

## EFFECTO DE LAS CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO Y EL ENCERADO EN EL ESTATUS HÍDRICO Y LA CALIDAD POSCOSECHA DE PEPINO DE MESA

### EFFECT OF STORAGE CONDITIONS AND WAXING ON WATER STATUS AND POSTHARVEST QUALITY OF CUCUMBER

Dolores Muy Rangel<sup>1</sup>, Jorge Siller Cepeda<sup>1\*</sup>, Juan Díaz Pérez<sup>2</sup> y Benigno Valdéz 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, EE.UU. <sup>3</sup>Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey-Campus Sinaloa.

\* Autor responsable

#### RESUMEN

Las condiciones de almacenamiento y la aplicación de cera que influyen en el estatus hídrico y la calidad poscosecha de frutos de pepino (*Cucumis sativus* L.) cv. Conquistador, se investigaron para generar modelos empíricos que permitan predecir calidad y vida de anaquel. Los frutos se almacenaron bajo seis diferentes condiciones de déficit de presión de vapor (DPV desde 0.19 hasta 1.26 kPa). Se midieron pérdidas de peso diaria y acumulativa, firmeza, potenciales hídrico ( $\Psi_w$ ), osmótico ( $\Psi_s$ ) y de presión ( $\Psi_p$ ), así como sólidos solubles totales y contenido relativo de agua (CRA). Los primeros síntomas de pérdida de calidad (marchitamiento) se notaron cuando los frutos alcanzaron 6 % de pérdida de peso, independiente de las condiciones de DPV o de la aplicación de cera. El uso de cera redujo la pérdida de peso en las distintas condiciones de almacenamiento, en comparación con los frutos sin encerar. La pérdida de peso diaria de frutos con y sin cera en función de las condiciones de almacenamiento (DPV) permitió generar modelos para predecir la pérdida de peso. Los frutos encerados en condiciones de baja humedad relativa (DPV=1.26 kPa), alcanzaron 6 % de pérdida de peso a los 6 d, mientras que en alta humedad relativa (DPV = 0.2 kPa) los frutos (con o sin cera) no presentaron estas pérdidas. Al inicio, los potenciales hídrico, osmótico y de presión en el fruto mostraron valores de -0.4 MPa, -0.6 MPa y +0.2 MPa, respectivamente, y durante el almacenamiento los frutos redujeron sus valores de  $\Psi_w$  y  $\Psi_s$ , particularmente en baja humedad relativa. El contenido relativo de agua (CRA) disminuyó por encima de 10 % durante el almacenamiento. Valores inferiores a 88 % de CRA indicaron plasmólisis celular, causada por la disminución en el valor del  $\Psi_p$  de cero o menor.

**Palabras clave:** *Cucumis sativus* L., potencial hídrico, déficit de presión de vapor, contenido relativo de agua, calidad poscosecha.

#### SUMMARY

Storage conditions and waxing can affect water status and post-harvest quality of cucumber fruits (*Cucumis sativus* L.) cv. Conquistador. The factors were studied in order to develop empirical models for quality and shelf-life prediction. Fruits were stored under six different vapor pressure deficit conditions (VPD), from 0.19 to 1.26 kPa. Daily and cumulative water losses; firmness, water ( $\Psi_w$ ), os-

motric ( $\Psi_s$ ) and pressure ( $\Psi_p$ ) potentials, total soluble solids and relative water content (RWC) were measured. First symptoms of detrimental quality (shriveling) were observed when the fruits reached 6 % of weight loss, regardless of VPD conditions or wax application. Wax application reduced weight loss in all storage conditions as compared with non-waxed fruits. Daily weight loss on waxed and non-waxed fruits as a function of storage conditions (VPD) allowed to develop models for weight loss prediction. Waxed fruits under low relative humidity condition (VPD=1.26 kPa) reached 6 % of weight loss after six days; under a high relative humidity (VPD=0.2 kPa) fruits (waxed and non-waxed) did not reach those losses. Initial water, osmotic and pressure potentials values were -0.4 MPa, -0.6 MPa, and +0.2 MPa, respectively. During storage, fruit values of  $\Psi_w$  and  $\Psi_s$  were reduced, especially under low humidity conditions. Relative water content (RWC) decreased more than 10 % during storage. Values below 88 % of RWC indicated cell plasmolysis caused by a reduction of  $\Psi_p$  values to zero or less.

**Index words:** *Cucumis sativus* L., water potential, water vapor pressure deficit, relative water content, postharvest quality

#### INTRODUCCIÓN

En México, el cultivo del pepino (*Cucumis sativus* L.) ocupa el segundo lugar en importancia entre las hortalizas exportadas, superado solamente por el tomate (*Lycopersicon esculentum* L.) (Siller, 2000). Sinaloa alcanzó el primer lugar en la superficie sembrada de esta hortaliza en el 2001, con una superficie plantada de alrededor de 6000 ha (Robles *et al.*, 2002). El fruto de esta cucurbitácea se cosecha inmaduro, con 96 % de agua en sus tejidos (Musmade y Desai, 1998).

El principal problema poscosecha del pepino es la pérdida de turgencia, causada por la pérdida de agua a través de la transpiración y respiración del fruto; en consecuencia ocurre marchitamiento y pérdida de consistencia del fruto

(Walter *et al.*, 1990). De igual manera, pero en menor intensidad, la degradación de clorofila y la síntesis de xantofilas afectan la calidad del fruto en poscosecha (Suslow y Cantwell, 1997). Para reducir estos problemas, los productores enceran los frutos con productos naturales durante el proceso de selección, posterior al lavado y secado.

La velocidad de deterioro de los productos hortofrutícolas después de cosechados, está asociada con el manejo que recibe y con las condiciones de almacenamiento, transporte y mercadeo (Kader, 2002). En el almacenamiento, la temperatura y la humedad relativa (HR) se consideran los factores físicos de mayor importancia que afectan la vida poscosecha de los productos hortícolas (Ryall y Lipton, 1982). La relación de ambos factores genera otra condición conocida como déficit de presión de vapor de agua (DPV) (Shibairo *et al.*, 1997), que se puede calcular con base en la saturación de presión de vapor (HR = 100 %) a una temperatura dada, menos la saturación de presión de vapor a otro valor de HR (Pearcy *et al.*, 1991).

La pérdida de agua de un alimento es proporcional al área superficial de exposición y al DPV del aire circundante (Shibairo *et al.*, 1997). Un buen control del DPV durante el almacenamiento reduce la velocidad de transpiración y mantiene por mayor tiempo el agua en las células y la turgencia en los tejidos (Leonardi *et al.*, 2000). Según Walter *et al.* (1990), los pepinos encerados presentan una pérdida de agua de  $0.17 \text{ mg cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$  a un DPV de 0.1 kPa. El encerado reduce la permeabilidad al vapor de agua y el intercambio gaseoso entre el fruto y el ambiente que lo rodea, ya que la cubierta externa bloquea los poros de la epidermis y se logra una reducción en la pérdida de agua de los tejidos y un retraso en la aparición de los síntomas de marchitamiento (Amarante y Banks, 2001).

El estado hídrico de un tejido representa las condiciones que guarda el agua en función de sus requerimientos fisiológicos, y se expresa como contenido de agua y potencial hídrico (Hsiao, 1990). Los niveles elevados de contenido hídrico y alto potencial hídrico ( $\Psi_w$ ), denotan frutos firmes y turgentes (Herppich *et al.*, 2000). El  $\Psi_w$  expresa la cantidad de energía disponible en el agua para hacer un trabajo o una función (Salisbury y Ross, 1994; Koide *et al.*, 1991). Así, el movimiento del agua en el sistema depende del  $\Psi_w$ , que a su vez depende de la cantidad de solutos en el agua.

Los frutos de pepino presentan valores de  $\Psi_w = -0.594 \text{ MPa}$  al momento de corte. Durante el almacenamiento por 14 días a  $15.5 \text{ }^\circ\text{C}$  y 63 % de HR su potencial hídrico se reduce más que en los frutos expuestos a 93 % de HR (Walter *et al.*, 1990).

A pesar de la importancia que presentan los valores de DPV en las cámaras de almacenamiento y el contenido de agua o estatus hídrico de los frutos para determinar su vida de anaquel, existen pocos estudios que relacionen ambas variables y que arrojen información práctica que permita al agricultor tomar decisiones para mantener la calidad de sus productos. Por tal motivo, el estudio consistió en determinar los efectos que tienen el DPV de almacenamiento y el encerado del fruto de pepino en su estatus hídrico y calidad poscosecha, para generar modelos empíricos de predicción de la vida de anaquel de dicho fruto.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se usaron frutos de pepino cv. Conquistador de una empacadora comercial ubicada en La Cruz de Elota, Sinaloa, México, cosechados el mismo día. Para generar el modelo de predicción de vida de anaquel de los frutos, éstos se separaron en 12 lotes de 80 frutos cada uno, con dos repeticiones. Seis lotes de frutos fueron encerados manualmente con la cera comercial Decco® (encerados), y los otros seis lotes no fueron encerados (testigo). Los frutos con y sin cera fueron almacenados en cámaras de  $14 \text{ m}^3$  de capacidad a  $24 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ . En el interior de las cámaras se colocaron contenedores de  $0.231 \text{ m}^3$  de capacidad, para mantener condiciones diferentes de DPV, mediante aplicación de aire extra seco (1.1 kPa), seco (0.94 kPa), semi-húmedo (0.39 kPa) y húmedo (0.19 kPa), además de óxido de calcio con flujo de aire extra seco (1.26 kPa) y aserrín sobresaturado de agua con aire húmedo (0.20 kPa). Cada lote de frutos encerados y sin cera, replicados, fueron colocados en los contenedores con los diferentes DPV. Diariamente se registró pérdida de peso y transpiración de los frutos durante 14 d. Con los datos obtenidos se generaron varios modelos, de los cuales se seleccionaron tres condiciones de DPV (0.2, 0.94 y 1.26 kPa), para analizar cada 4 d el contenido relativo de agua (CRA, %), la firmeza (mm de deflexión), el contenido de sólidos solubles totales ( $^\circ\text{Brix}$ ) y los potenciales hídrico, osmótico y de presión (MPa), como se describe a continuación.

### Pérdida de peso

Se registró diariamente el peso de 10 frutos. La pérdida de peso se expresó en porcentaje diario o acumulativo, al relacionar el peso final con el peso inicial (Díaz-Pérez, 1998).

### Firmeza

Se determinó por compresión al aplicar una fuerza de 5 Kg-f en la parte central del fruto entero, con un penetrómetro Chatillon Digital (DFIS-50) equipado con una placa de 50 mm de diámetro y adaptado a una base Chatillon

TCD 200. Los resultados de firmeza se expresaron en milímetros de deformación al aplicar la fuerza (Bourne, 1980).

### Sólidos solubles totales

Se determinó con la metodología propuesta por la AOAC (1998). Los sólidos solubles totales del extracto utilizado para cuantificar el potencial osmótico, se midieron con un refractómetro ABBE Leica Mark II con temperatura compensada. Los resultados del contenido de sólidos solubles totales se expresaron como °Brix.

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

Para el  $\Psi_w$  se utilizó el método de volumen constante (Shibairo *et al.*, 1997). Cilindros de tejido de 5 mm de diámetro y 4 cm de longitud se pesaron y colocaron en soluciones de sacarosa de distintas molalidades (0.025, 0.05, 0.1 y 0.15 M). A estas soluciones se les determinó el potencial osmótico mediante la ecuación  $\Psi_s = -C_i R T$ , donde  $C_i$  es la concentración molal de sacarosa,  $R$ = constante ideal de los gases ( $0.0083 \text{ kg MPa mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$ ) y  $T$ = temperatura (K). En estas circunstancias el  $\Psi_p$  es igual a cero, y por tanto,  $\Psi_w = \Psi_s$  (Salisbury y Ross, 1994). Las muestras se dejaron en reposo durante 2 h, se retiraron de la solución, se les eliminó el agua excedente de la superficie y se registró el peso. Posteriormente, se graficó el valor del  $\Psi_s$  contra el peso ganado o perdido. La solución de sacarosa en que la muestra no ganó o perdió peso correspondió a su potencial hídrico (Salisbury y Ross, 1994).

El  $\Psi_s$  se midió con un osmómetro de presión de vapor Wescor modelo 5520, de acuerdo con la metodología propuesta por Turner (1981). Se colocaron 10  $\mu\text{L}$  de savia del fruto en un disco de papel filtro de 0.32  $\text{cm}^2$ , instalado previamente en la cámara de recepción de la muestra del equipo. La savia se obtuvo de trozos de frutos congelados a  $-20 \text{ }^\circ\text{C}$ , mismos que fueron descongelados a temperatura ambiente para romper las membranas celulares y llevar el potencial de turgencia a cero. El equipo fue calibrado previamente con soluciones de potencial osmótico de 290, 1000 y 100  $\text{mmol kg}^{-1}$  de NaCl, según el orden de calibración. Las lecturas del osmómetro son unidades de concentración en ( $\text{mmol kg}^{-1}$ ), que se convierten a potenciales osmóticos con la ecuación de Van't Hoff (Salisbury y Ross, 1994): ( $\Psi_s$ ) =  $- C_i R T$ .

El  $\Psi_p$  se calculó por diferencia entre el potencial hídrico y el osmótico ( $\Psi_p = \Psi_w - \Psi_s$ ), como indica Turner (1981).

### Contenido relativo de agua (CRA)

Se determinó conforme a la metodología de Pomper y Breen (1997), con modificaciones. Con un sacabocados se cortaron discos de 20 mm de diámetro de tejido vegetal, que se pesaron en una balanza digital Mettler Toledo modelo PR80 para obtener el peso fresco ( $P_f$ ). Los discos fueron colocados en vasos de precipitado con agua destilada a temperatura ambiente ( $25 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ ) y se dejaron saturar por 2.15 h, hasta alcanzar el equilibrio. Los discos se sacaron del vaso, se les eliminó el exceso de agua superficial con papel secante y se registró su peso turgente ( $P_t$ ). Luego, las muestras se secaron en una estufa a  $75 \text{ }^\circ\text{C}$  durante 48 h y nuevamente se pesaron para determinar su peso seco ( $P_s$ ). El CRA se determinó con la ecuación:  $\text{CRA (\%)} = [(P_f - P_s)/(P_t - P_s)] 100$ .

### Diseño experimental

El experimento se estableció bajo un diseño de bloques completamente al azar. Los datos de mediciones destructivas (CRA, potenciales, firmeza y °Brix) se analizaron con un arreglo factorial, mientras que los de las variables no destructivas (pérdida de peso) se usó un arreglo de factores cruzados y anidados en bloques, al considerar a la cera y al tiempo como factores y al DPV como bloque. Al realizar los análisis de varianza y encontrar diferencias significativas, se aplicó la prueba de comparación de medias de Tukey ( $\alpha=0.05$ ), mediante un programa estadístico computacional (MINITAB versión 13.1, 2002).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Pérdida de peso

La pérdida de peso acumulada durante el estudio difirió entre los pepinos sin encerar (testigos) y los encerados, así como entre frutos almacenados a diferentes condiciones de DPV. La Figura 1 (a y b) muestra el beneficio de mantener valores bajos de DPV (0.2 kPa), para reducir la pérdida de agua de los frutos, al abatir la transpiración y mantener por mayor tiempo el agua en el producto (Walter *et al.*, 1990). En valores altos de DPV (0.94 y 1.26 kPa), los frutos pierden agua más rápido y en grandes cantidades.

Con la aplicación de la cera comercial (Figura 1b) se redujo significativamente la pérdida de agua en los frutos, en las tres condiciones de DPV, en comparación con los frutos testigo sin encerar (Figura 1a).

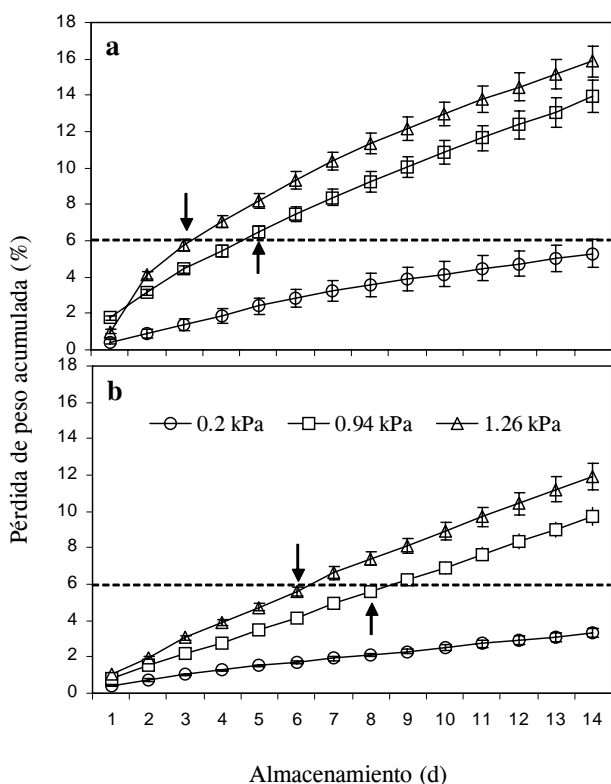


Figura 1. Porcentaje de pérdida de peso acumulado en (a) pepinos sin encerar y en (b) pepinos encerados, durante el almacenamiento a  $24 \pm 2$  °C con diferentes condiciones de déficit de presión de vapor (DPV en kPa). La barra vertical en cada punto corresponde al error estándar de 10 repeticiones. La flecha indica el tiempo al cual los frutos presentaron los primeros síntomas de marchitez en cada tratamiento. La línea punteada representa pérdida de peso de 6%, correspondiente a marchitez.

Los primeros síntomas de marchitamiento asociados con la pérdida de calidad comercial de los frutos se observaron cuando éstos registraron 6 % de pérdida de peso (Figura 1, línea punteada). En frutos testigo almacenados en baja humedad relativa (DPV=1.26 kPa), el marchitamiento se presentó en 3 d (Figura 1a), mientras que en frutos encerados se expresó hasta los 6 d (Figura 1b). En los frutos almacenados a DPV=0.94 kPa, la marchitez ocurrió a los 5 y 8 d en los frutos testigo y encerados, respectivamente. Por el contrario, los pepinos con y sin cera expuestos a las condiciones de bajo DPV (0.2 kPa), no mostraron síntomas de marchitamiento durante el tiempo en que se desarrolló el experimento, ni alcanzaron 6 % de pérdida de peso.

Ben-Yehoshua (1987) menciona que la calidad comercial de los pepinos demerita cuando los frutos alcanzan pérdidas de peso superiores a 5 %. Otros autores consideran que los síntomas de pérdida de agua en frutas y hortalizas llegan a ser evidentes cuando pierden entre 5 y el 10

% de su peso, debido principalmente a la transpiración y a las características estructurales de los tejidos (Ryall y Lipton, 1982). La pérdida de peso de 6 % aquí observada como indicio de los primeros síntomas de marchitamiento, está en el rango citado por Ryall y Lipton (1982), y difieren ligeramente (1 %) con los datos reportados para pepino por Ben-Yehoshua (1987).

La relación de la pérdida de peso diaria ( $\% d^{-1}$ ) en función de las condiciones de almacenamiento expresadas como valores de DPV para los frutos testigo y encerados, se muestran en la Figura 2. Las pendientes de la ecuación de regresión muestran valores mayores en los frutos testigo que en los frutos encerados, lo que indica mayor velocidad de pérdida de peso en los frutos sin cera. En frutos testigo se obtuvieron valores inferiores a  $0.4 \% d^{-1}$  cuando fueron expuestos a condiciones de almacenamiento por debajo de 0.4 kPa, mientras que en los frutos encerados estos mismos valores de pérdida aún se pueden obtener cuando son almacenados en DPV menores a 0.68 kPa.

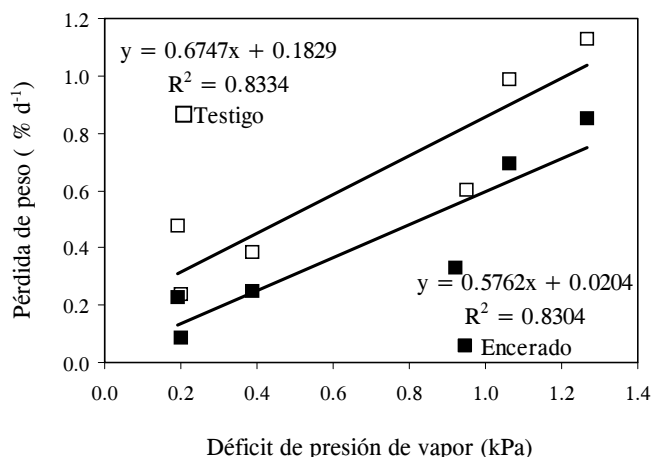


Figura 2. Efecto del encerado de frutos de pepino en el porcentaje de pérdida de peso diaria durante el almacenamiento en diferentes condiciones de déficit de presión de vapor (DPV), por 14 d a  $24 \pm 2$  °C. Las ecuaciones corresponden al modelo de regresión lineal de mejor ajuste.

Los resultados muestran que la aplicación de cera comercial en los frutos puede compensar ligeros incrementos de DPV durante el almacenamiento y reducir la permeabilidad al vapor de agua y gases del fruto. Según Amarante y Banks (2001), la aplicación de cubiertas externas bloquea los poros de la epidermis y reduce la permeabilidad al vapor del agua y el intercambio de gases del fruto.

La diferencia en DPV durante el almacenamiento de champiñones (*Agaricus bisporus* Lange), acelera o reduce la translocación del agua en los tejidos y puede afectar la velocidad de respiración y la expansión del tejido (Beecher *et al.*, 2001). En el estudio con pepino también se

demuestra que las diferencias en DPV regulan la velocidad y cantidad de pérdida de agua del fruto y alteran su calidad. Si las condiciones de almacenamiento de los pepinos alcanzan valores altos de DPV se acelera la pérdida de agua, el tejido del fruto se torna esponjoso (datos no mostrados) y la capacidad de deflexión se incrementa (Figura 3).

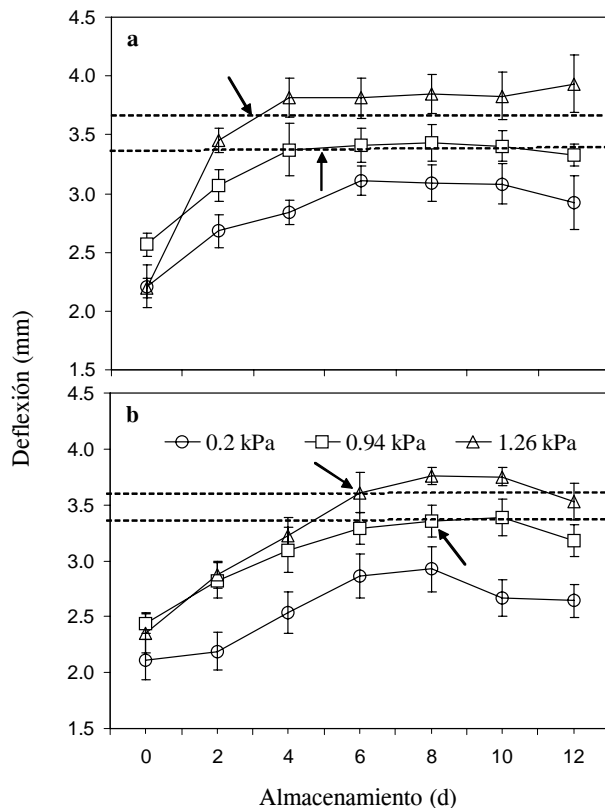


Figura 3. Firmeza (deflexión) en pepinos sin encerar (a) y encerados (b) durante el almacenamiento en diferentes condiciones de déficit de presión de vapor (DPV, en kPa). La barra vertical en cada punto corresponde al error estándar de seis repeticiones. Las flechas indican el tiempo donde se presentó marchitez. Las líneas punteadas representan el rango de firmeza asociada con la marchitez del fruto.

En pepino almacenado a 15 °C y 55 % HR (DPV de 0.76 kPa, según Pearcy *et al.*, 1991), se registró una pérdida de peso de 0.4 % d<sup>-1</sup> (Ben-Yehoshua, 1987), la cual es similar al comportamiento de los pepinos encerados en nuestro estudio. Se propone entonces que 5 % de pérdida de peso ya es indicativo de pérdida de calidad comercial y que los frutos de pepino que han perdido entre 5 y 6 % de su peso carecen de calidad comercial. Con la información de la Figura 2 y los datos obtenidos en la Figura 1, es posible predecir la vida de anaquel de los frutos en función de las condiciones de almacenamiento (valores de DPV), mediante las ecuaciones de regresión.

En frutos de pepino 'Pickle' la pérdida de peso es de 0.54 y 1.82 % d<sup>-1</sup>, cuando son almacenados a un DPV de 0.12 y 0.66 kPa, respectivamente (Walter *et al.*, 1990). La pérdida de agua ocasionada por la transpiración de los frutos se acelera cuando el DPV alcanza valores altos, como también se muestra en este estudio. La pérdida de peso diaria encontrada por Walter *et al.* (1990) es más alta en comparación con este estudio, lo cual podría deberse a las diferencias genéticas del fruto, ya que el pepino 'Pickle' posee una actividad fisiológica más acelerada (Kader, 2002).

### Firmeza

El incremento en el DPV de las cámaras de almacenamiento y la ausencia de cera en los frutos, redujeron de manera significativa su firmeza durante el almacenamiento (Figura 3a). Los frutos testigo almacenados a 1.26 y 0.94 kPa de DPV sufrieron la mayor deformación a los 4 d de almacenamiento, mientras que a menores DPV los frutos alcanzaron la máxima deformación a los 6 d, con una deflexión promedio de 3.1 mm (Figura 3a). Para el caso de los frutos encerados (Figura 3b), los valores altos de deflexión se alcanzaron hasta los 8 d de almacenamiento, lo que indica que la cera protegió a los frutos de la pérdida de agua al mantener su turgencia. Cuando los frutos fueron almacenados a un DPV de 0.2 kPa, los pepinos con y sin cera no alcanzaron valores de deformación mayores de 3 mm, ni desarrollaron tejido esponjoso durante el tiempo del experimento.

La expresión de los primeros síntomas de marchitamiento del fruto asociado con cambios en su firmeza, varió entre diferentes valores de DPV (Figura 3). Para llegar a perder 6% de su peso, el rango de deflexión varió entre 3.4 a 3.7 mm (Figura 3 a y b), situación en la que se considera que el fruto ya ha perdido su calidad comercial. Frutos con y sin cera almacenados a bajos valores de DPV (0.2 kPa) nunca alcanzaron este rango.

La pérdida de firmeza en frutos de pepino 'Pickle' se caracteriza por el desarrollo de tejido esponjoso y menor turgencia, debido a la pérdida de agua de las células por la transpiración. Según Walter *et al.* (1990), cuando los frutos se almacenan por 8 d a 15.5 °C y 62 % de HR, la presencia de tejido esponjoso es superior a 50 %, en comparación con frutos almacenados a 95 % de HR. Esto explica el que los frutos se deformaran más rápido cuando las condiciones de DPV de las cámaras de almacenamiento son altas (mayor desarrollo de tejido esponjoso) que en frutos almacenados a menores DPV.

### Sólidos solubles totales

Los pepinos no se caracterizan por mostrar valores altos de °Brix (Musmade y Desai, 1998). En nuestro estudio se encontró que los sólidos solubles totales están moderadamente correlacionados con el  $\psi_s$  ( $R^2=0.46$ ), donde los mayores valores de °Brix correspondieron a valores inferiores del  $\psi_s$  (Figura 4). Al considerar que los pepinos no son climatéricos (Suslow y Cantwell, 1997), los cambios observados en los solutos posiblemente estén asociados con la pérdida de humedad de los tejidos. Resultados similares en frutos no climatéricos han sido reportados para zanahoria (*Dacus carota* L.) (Shibairo *et al.*, 1997). La ecuación  $\psi_s$  (MPa) =  $-0.101$  (°Brix) -  $0.18$ , explica parcialmente la relación entre la reducción del potencial osmótico y el aumento de los sólidos solubles totales (Figura 4).

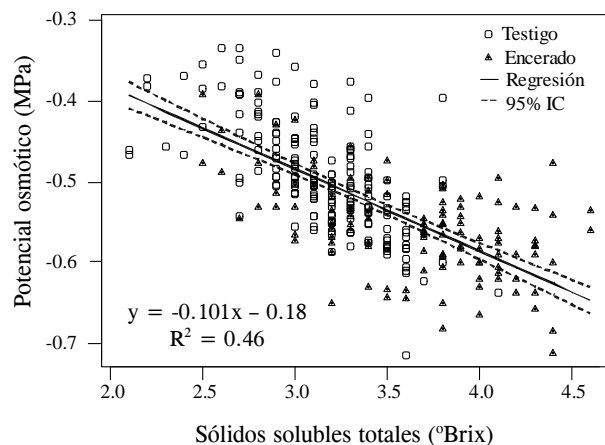


Figura 4. Relación del potencial osmótico y la concentración de sólidos solubles totales (°Brix) en pepinos sin encerar (testigo) y encerados durante el almacenamiento (n = 310 frutos), IC = intervalos de confianza.

Los frutos sin encerar mostraron valores más bajos de °Brix, asociados con un potencial osmótico inferior, debido a una mayor pérdida de agua (Figuras 1 y 4). La reducción de los solutos por efecto del estrés hídrico ha sido reportada por varios autores (Leonardi *et al.*, 2000; Walter *et al.*, 1990).

En fresa (*Fragaria xavanarsa* Duch), cereza dulce (*Prunus avium* L.) y frambuesa (*Vaccinium angustifolium* Ait.) se ha demostrado que durante el almacenamiento ocurre una reducción significativa en el potencial hídrico y un incremento en el contenido de sólidos solubles totales por efecto de la pérdida de agua. Para fresa, Cook y Pappendick (1978) encontraron un potencial hídrico al momento de corte de  $\Psi_w = -1.14$  MPa, el cual después de 2 d de almacenamiento se redujo a  $\Psi_w = -1.71$  MPa, mientras que para cereza dulce reportaron valores entre  $\Psi_w =$

-2.5 a -4.5 MPa, debido a su mayor contenido de solutos. Para explicar la relación entre estas variables, presentan un modelo similar al de esta investigación.

### Potenciales hídrico, osmótico y de presión

Durante los primeros 4 d de almacenamiento, se observó una clara diferencia entre los frutos testigo y los encerados, en el comportamiento de los potenciales hídrico, osmótico y de presión, en los diferentes DPV. Los frutos encerados y almacenados a valores bajos de DPV presentaron potenciales hídrico, osmótico y de presión más altos (Figura 5).

En el periodo de estudio se observó una disminución marcada en el potencial de presión de los frutos testigo almacenados a 0.94 kPa de DPV, así como en los frutos testigo y encerados expuestos a valores altos de DPV (1.26 kPa). Los potenciales de presión igual a cero coinciden con la intersección de las líneas de los potenciales hídrico y osmótico (Figura 5); dicha condición fisiológica podría indicar plasmólisis de células del mesocarpio del fruto, según reportan Turner (1981), Sánchez-Díaz y Aguirreolea (1993) y Salisbury y Ross (1994). La plasmólisis del tejido fue más evidente en los frutos que perdieron agua más rápido, al presentarse ésta de manera desfasada en tiempo y en función a la velocidad de la pérdida de agua. Este efecto fue más notorio en los frutos sin cera y en todos los almacenados en DPV's elevados.

A medida que ocurrió la pérdida de agua de los frutos durante el almacenamiento (Figura 2), se redujeron los potenciales hídrico y de presión (Figura 5), así como el potencial osmótico por efecto de la mayor concentración de solutos (Figura 4).

En kiwi (*Actinidia deliciosa*) se reportó una reducción significativa en los potenciales hídrico y osmótico después de 16 d de almacenamiento a 20 °C. Al inicio del estudio, los frutos con CRA de 89 % tuvieron valores de  $\Psi_w = -1.02$  MPa,  $\Psi_s = -1.08$  MPa,  $\Psi_p = 0.06$  MPa, y después de 4 d de almacenamiento el  $\Psi_p$  fue menor de cero e inició la plasmólisis celular (Burdon y Clark, 2001). Un comportamiento similar se observó en pepino.

Por el contrario, reducciones considerables en el  $\psi_p$  hasta de 0.5 MPa observados en champiñones durante 6 d a 18 y 25 °C, no fueron suficientes para observar plasmólisis en el tejido, a pesar de que la temperatura aceleró la pérdida de turgencia (Beecher *et al.*, 2001).

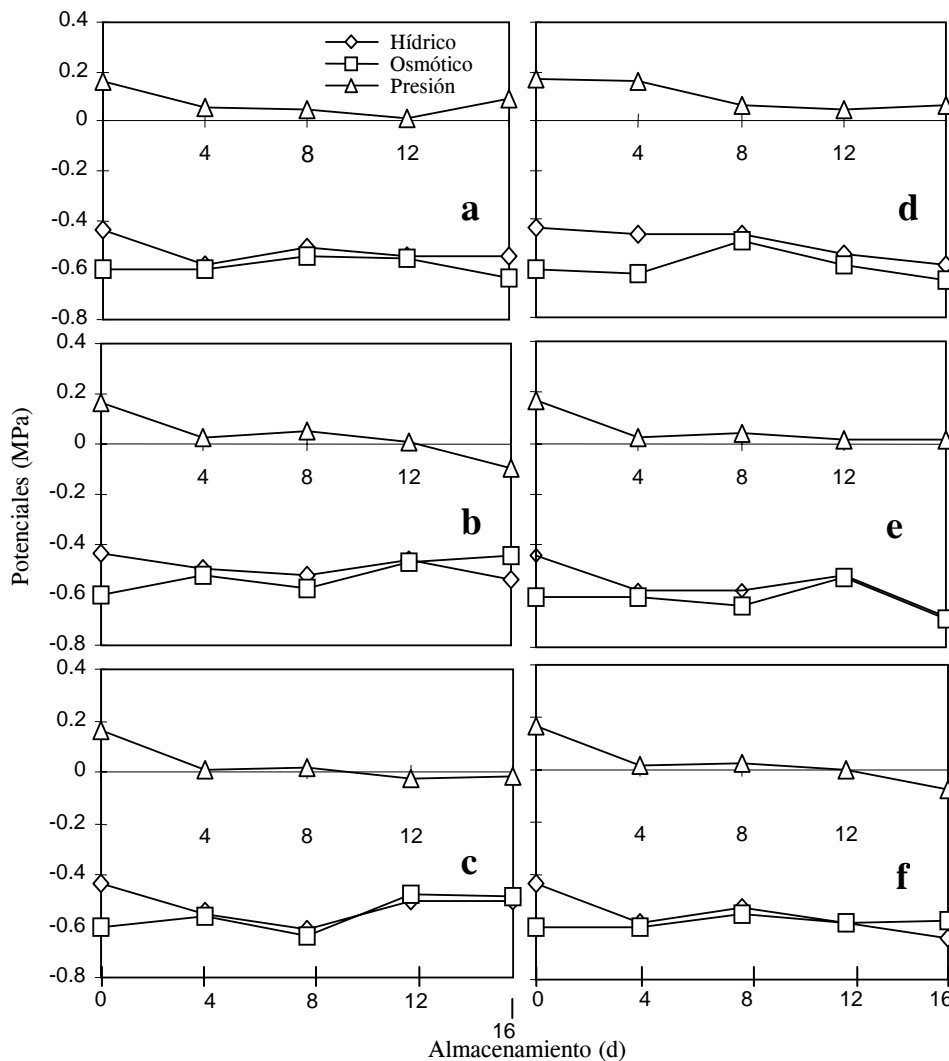


Figura 5. Potenciales hídrico, osmótico y de presión en pepino sin encerar (a, b, c) y encerados (d, e, f) almacenados en diferentes condiciones de déficit de presión de vapor (DPV). a) 0.2 kPa; b) 0.94 kPa; c) 1.26 kPa; d) 0.2 kPa; e) 0.94 kPa; y f) 1.26 kPa.

Greve *et al.* (1994) y Beecher *et al.* (2001) consideran al potencial de turgencia como el responsable de la forma y rigidez de las células, debido a la presión que ejerce el agua sobre la pared celular. Esto explica que los valores de potencial de presión cercanos a cero o inferiores observados en pepino (Figura 5), hayan correspondido a frutos con características flácidas y con menor resistencia a la deformación (Figura 3).

**Contenido relativo de agua (CRA)**

En frutos de pepino el CRA varía en función del estado de madurez al corte y de las condiciones de manejo pre y poscosecha (Walter *et al.*, 1990). Al inicio del estudio, los frutos correspondientes a la primera y segunda repetición

tuvieron valores promedio de 93 y 91 %, respectivamente, y registraron una pérdida hasta de 10 % durante el almacenamiento cuando los frutos se mantuvieron en valores elevados de DPV.

Al graficar los valores de los potenciales hídrico, osmótico y de presión en función al CRA, se obtuvo un gráfico de Höfler para pepino (Figura 6). El gráfico muestra únicamente los valores de los frutos que presentaron una reducción de potencial de presión de positivo a cero o menor bajo diferentes valores de DPV (0.94 kPa en el testigo y 1.26 kPa en testigo, y encerado). Según Hsiao (1990), cuando el potencial de presión alcanza valores de cero o menores se reduce la cantidad de agua disponible en las células del mesocarpio, lo que causa plasmólisis celular.

Cuando el potencial de presión alcanza un valor cero o menor y ocurre el intercepto de los potenciales hídrico y osmótico (línea punteada), los valores de CRA varían entre 87.6 y 87.9 % para las tres condiciones de DPV, (Figura 6), lo cual permite inferir que cuando los pepinos presentan esos porcentajes de CRA, o bien cuando exista una reducción de 3 % en el contenido relativo de agua, ocurre la plasmólisis del tejido.

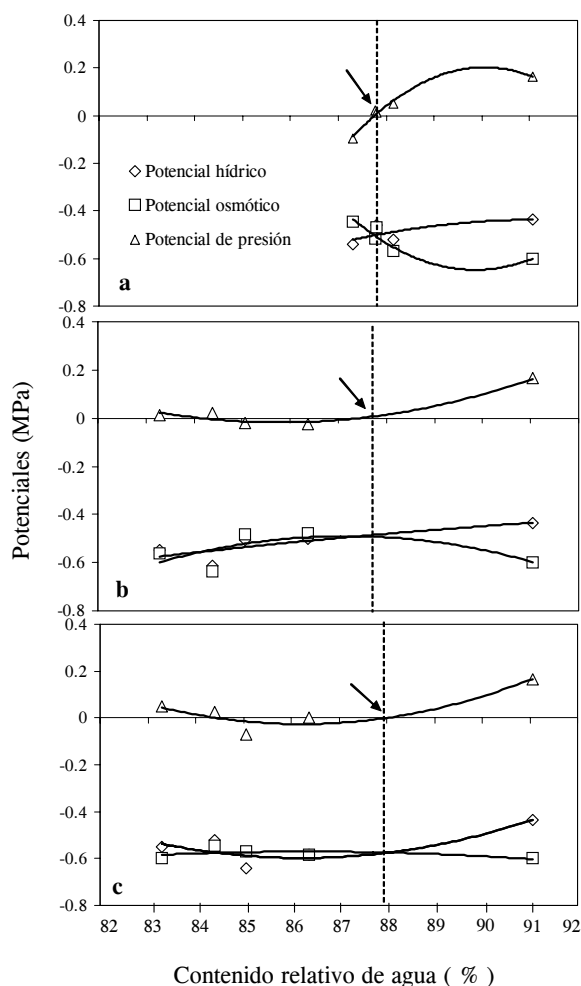


Figura 6. Gráficas de Höfler que esquematizan los potenciales hídrico, osmótico y de presión en función del contenido relativo de agua en pepino. a) Testigos sin encerar a 0.94 kPa; b) Testigos sin encerar a 1.26 kPa; y c) Encerados a 1.26 kPa. La flecha indica el punto de plasmólisis celular ( $\psi_p = 0$ ). La línea punteada define el CRA cuando ocurre la plasmólisis.

## CONCLUSIONES

El porcentaje de pérdida diaria de peso en función al déficit de presión de vapor durante almacenamiento, puede ser utilizado para predecir la vida de anaquel del pepino. La pérdida de la calidad se observó cuando los frutos alcanzaron valores superiores a 6 % en la pérdida de peso. Esta pérdida corresponde a valores iguales o menores de

88 % del contenido relativo de agua en el fruto. El encerado de los frutos de pepino permite mantener el estado hídrico de los tejidos en mejor condición, al reducir la transpiración de los mismos, en comparación con los frutos no encerados. Es importante mantener alta humedad relativa de los frutos almacenados para extender su vida de anaquel, porque reduce el déficit de presión de vapor de la cámara de almacenamiento.

## AGRADECIMIENTOS

Se agradece el apoyo económico para la realización de esta investigación al CONACYT, al SIMAC-CONACYT, así como a la Fundación Produce Sinaloa.

## BIBLIOGRAFÍA

- Amarante C, N H Banks (2001) Postharvest physiology and quality of coated fruits and vegetables. Hort. Rev. 26:261-238.
- 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.
- Beecher T M, N Magan, K S Burton (2001) Water potentials and soluble carbohydrate concentrations in tissues of freshly harvested and stored mushrooms (*Agaricus bisporus*). Postharvest Biol. Tech. 22:121-131.
- Ben-Yehoshua S (1987) Transpiration, water stress, and gas exchange. In: Postharvest Physiology of Vegetables. J Weichmann (ed). Marcel Dekker, Inc. New York. pp: 113-138.
- Bourne M C (1980) Texture evaluation of horticultural crops. HortScience 51 (1):51-56.
- 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.
- Greve L C, K A Shackel, H Ahmadi, R N McArdle, J Gohlke, J M Labavitch (1994) Impact of heating on carrot firmness: Contribution of cellular turgor. J. Agric. Food Chem. 42:2896-2899.
- 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, SE Prussia, RL Shewfelt (eds). Technomic Publishing Co., Inc. Lancaster-Basel. pp: 64-72.
- Hsiao T C (1990) Measurements of plants water status. In: Irrigation of Agricultural Crops. BA Stewart, DR Nielsen (eds). Agronomy monograph. No. 30. Madison, USA. pp: 243-277.
- Kader A A (2002) Postharvest technology of horticultural crops. University of California. Agriculture and Natural Resources. Publication 3311. Third edition. pp: 39-55, 135-145, 279-285.
- Koide R T, R H Robichaux, S R Morse, C M Smith (1991) Plant water status, hydraulic resistance and capacitance. In: Plant Physiological Ecology. R W Percy, J R Ehleringer, H A Mooney, P E Rundel (eds). Chapman and Hall. London. pp: 161-183.
- Leonardi C, S Guichard, N Bertin (2000) High vapor pressure deficit influences growth, transpiration and quality of tomato fruits. Scientia Horticulturae 84:285-296.
- MINITAB (2002) Statistical software. Release number 13.1. www.minitab.com.



- Musmade A M, U T Desai (1998)** Cucumber and melon. *In: Handbook of Vegetables Science and Technology*. B K Salunke, S S Kadam (eds). Marcel Dekker, Inc. New York. pp: 245-253.
- Pearcy R W, J R Ehleringer, H A Mooney, P W Rundel (1991)** Plant Physiology Ecology. Field Methods and Instrumentation. 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.
- Ryall L A, W J Lipton (1982)** Refrigerated storage. *In: Handling Transportation and Storage of Fruits and Vegetables*. Vol. I. L Ryall, W Lipton (eds). AVI Publishing Company, INC. Westport, Connecticut. pp: 293-306.
- Robles M E, Ibarra A E Gómez E G (2002)** Informe anual. Cierre del ciclo de hortalizas 2000-2001. Información Básica. Confederación de Asociaciones Agrícolas del Estado de Sinaloa. Comité de Investigación y Defensa de Hortalizas. pp: 1-63
- Salisbury F B, C W Ross (1994)** Difusión, termodinámica y potencial hídrico. *In: Fisiología Vegetal*. F Salisbury, C Ross (eds). Grupo Editorial Iberoamérica, S.A de C.V. México, D.F. pp: 29-46.
- Sánchez-Díaz M, J Aguirreolea (1993)** Relaciones hídricas. *In: Fisiología y Bioquímica Vegetal*. J Azcón-Bieto, M Talón (eds). Interamericana. McGraw-Hill. Madrid, España. pp:49-90.
- Siller C J H 2000.** Análisis de la Horticultura en México. *Productores de Hortalizas* 9 (19); 8-12.
- Shibairo S I, M K Upadhyaya, P M Toivonen (1997)** Postharvest moisture loss characteristics of carrot (*Daucus carota* L.) cultivars during short-term storage. *Scientia Hort.* 71:1-12.
- Suslow T, M Cantwell (1997)** Cucumber. *Produce facts*. Perishables Handling No. 90. University of California, Davis. USA. pp: 21-22.
- Turner N C (1981)** Techniques and experimental approaches for the measurement of plant water status. *Plant and Soil* 58:339-366.
- Walter W M, D G Epley, R F McFeeters (1990)** Effect of water stress on stored pickling cucumbers. *J. Agric. Food Chem.* 38:2185-2191.