

# **Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A. C.**

Condiciones de almacenamiento y estado hídrico en  
frutas y hortalizas predicen calidad y vida de anaquel

Por

María Dolores Muy Rangel

---

Tesis aprobada por la

UNIDAD CULIACÁN  
FISIOLOGÍA Y TECNOLOGÍA POSCOSECHA DE FRUTAS,  
HORTALIZAS Y GRANOS

Como requisito parcial para obtener el grado de

DOCTOR EN CIENCIAS

Culiacán, Sinaloa.

Diciembre de 2002.

## APROBACIÓN

Los miembros del comité designados para revisar la tesis de la M.C. María Dolores Muy Rangel, la han encontrado satisfactoria y recomiendan sea aceptada como requisito parcial para obtener el grado de Doctor en Ciencias.



---

Dr. Jorge Humberto Siller Cepeda  
Director de Tesis

---

Dr. Juan Carlos Díaz Pérez

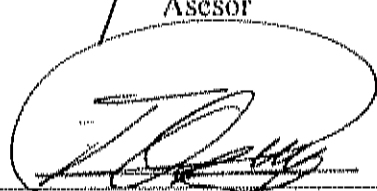
Asesor



---

Dr. Raymundo Saúl García Estrada

Asesor



---

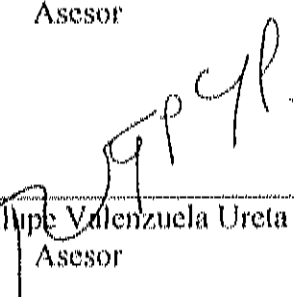
Dr. Tomás Osuna Enciso

Asesor

---

Dr. Guadalupe Valenzuela Ureta

Asesor



## DECLARACIÓN INSTITUCIONAL

Se permite y agradecen las citas breves del material contenido en esta tesis sin permiso especial del autor, siempre y cuando se dé el crédito correspondiente. Para la reproducción parcial o total de la tesis con fines académicos, se debe contar con la autorización escrita del director del Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. (CIAD, A.C.).

La publicaciones científicas o de divulgación popular de los datos contenidos en esta tesis, deberá dar los créditos a CIAD, previa autorización escrita del manuscrito en cuestión, del director o directora de tesis.

Dr. Alfonso Gardea Bejar  
Director General

## DEDICATORIAS

Con todo mi cariño y amor para mis padres  
**Roberto Muy y Mendoza<sup>†</sup> y María Loreto Rangel**  
Por la confianza que siempre me tuvieron y el apoyo para que siguiera adelante.  
MIL GRACIAS. Especialmente para tí Gladiolita.

Para Tí, **Juan Pedro Campos Saucedá**, porque te AMO.

A mis hermosos retoños  
**Juan José Campos Muy y Juan de Dios Campos Muy**  
Por haberme elegido para que fuera su mamá. Los quiero muchísimo.

Para mis hermanos que siempre me han apoyado en todos los momentos de mi vida.  
**Roberto, Víctor Manuel, Cuauhtemoc, Lydia Esperanza, Rafael, Dulce María, Reyna Alicia, Ignacio y Armando<sup>†</sup>.**

Para todos los que forman parte de mi familia.

A mis maestros, con respecto y admiración.

Para mis amigos.

A TODOS, michisisísimas gracias.

Quiero aprovechar este espacio para dedicar este ejemplar al *Dr. Inocencio Higuera Ciapara*. Así como agradecer todo el apoyo que recibí desde el inicio de mi llegada a CIAD Hermosillo, mi continuidad en CIAD Culiacán y en mis estudios de Doctorado. De igual forma gracias por sus consejos y amistad.

## AGRADECIMIENTOS

Con todo respecto y aprecio al Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. Unidad Culiacán, por permitirme desarrollar mi carrera y aceptarme nuevamente como estudiante. Por otorgarme el grado de Doctor en Ciencias, del cual me siento orgullosa y espero entregar mas de lo que recibido por parte de este Centro de Investigación.

Gracias CIAD, AC.

Al Consejo Estatal de Ciencia y Tecnología del Estados de Sinaloa. Por apoyar económicamente a estudiantes sinalocenses para engrandecer al Estado. Así como por su preocupación por la Ciencia y Tecnología.

Con mucho cariño para mi director de tesis, **Dr. Jorge Humberto Siller Cepeda**. Porque me siento complacida el haber compartido con Usted estos años de estudio dentro de los cuales recibí su sabiduría y experiencia en el camino de la ciencia. Así como por su amistad, respecto y confianza. Espero no defraudarlo en el futuro.

Gracias por aceptarme como su estudiante.

Para el comité de asesores con respecto y cariño:

Dr. Juan Carlos Díaz Pérez, Dr. Raymundo Saúl García Estrada, Dr. Tomás Osuna Enciso y Dr. Guadalupe Valenzuela Ureta.

Gracias por apoyarme y por sus atinados consejos.

Al Dr. Juan Pedro Camou Arriola, por su amistad.

Desco expresar mi agradecimiento a la familia Díaz, por toda la amistad y el apoyo recibido durante mi estancia en Tifton, Georgia. Gracias Juan Carlos, Carmen, Ana, Gabriela y Carlitos.

A los formadores de mi carrera en el ámbito de la investigación: Dr. Roberto de Jesús Avena Bustillos, M.C. Rodrigo Rojas Villegas, M.C. Jesús Rolando Soto. Así como: Dr. Reginaldo Báez Sañudo, Dr. Alberto González, M.C. Rosalba Troncoso y Dr. Ramón Pacheco Aguilar.

A TODOS los que forman parte de CIAD unidad Culiacán. Gracias por su apoyo, ayuda y compañerismo.

## ÍNDICE

Contenido	Página
ÍNDICE DE FIGURAS .....	ix
ÍNDICE DE CUADROS .....	x
RESUMEN .....	xi
INTRODUCCIÓN .....	1
OBJETIVO GENERAL .....	5
Objetivos Específicos .....	5
METAS .....	6
HIPÓTESIS .....	6
REVISIÓN DE LITERATURA .....	7
Generalidades .....	7
Características del Fruto de Pepino .....	10
Cultivares .....	11
Cosecha y Composición Química .....	12
Almacenamiento .....	12
Maduración y Senescencia .....	15
Calidad .....	15
Características del Fruto de Mango .....	16
Cultivares .....	16
Cosecha y Composición Química .....	18
Almacenamiento .....	18
Maduración y Senescencia .....	20
Calidad .....	20
El Agua en las Células Vegetales .....	21
Transpiración .....	22
Anatomía y Estructura .....	25
Cutícula y Ceras .....	29

Respiración .....	30
Condiciones de Almacenamiento .....	31
Parámetros Hídricos Involucrados en la Transpiración y Pérdida de Agua en Frutas y Hortalizas .....	34
Contenido Relativo de Agua (CRA) .....	35
Potencial de Agua o Potencial Hídrico ( $\Psi_w$ ) .....	37
Potencial hídrico ( $\Psi_w$ ) .....	39
Potencial osmótico ( $\psi_s$ ) .....	42
Potencial de presión ( $\psi_p$ ) .....	43
Tratamientos para Reducir Transpiración .....	45
Ceras, Resinas y Carbohidratos .....	45
Lípidos y resinas .....	46
Carbohidratos .....	48
Películas Plásticas .....	49
Parámetros de Calidad Asociados a la Transpiración de los Frutos.	49
Físicos .....	50
Textura .....	50
Color .....	51
Apariencia .....	52
Químicos .....	52
Carbohidratos .....	53
pH y acidez .....	53
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	55
ARTÍCULO I Efecto de las condiciones de almacenamiento y el encerado en el estatus hídrico y la calidad poscosecha en pepino de mesa .....	68
RESUMEN .....	69
SUMMARY .....	70
INTRODUCCIÓN .....	70

MATERIALES Y MÉTODOS .....	72
RESULTADOS Y DISCUSIONES .....	75
CONCLUSIONES .....	82
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	82
AGRADECIMIENTOS .....	85
GRÁFICOS DE RESULTADOS .....	85
ARTÍCULO II La aplicación de cera y las condiciones de almacenamiento modifican el estado hídrico y la calidad poscosecha en frutos de mango .....	90
RESUMEN .....	91
SUMMARY .....	92
INTRODUCCIÓN .....	93
MATERIALES Y MÉTODOS .....	95
RESULTADOS Y DISCUSIONES .....	99
CONCLUSIONES .....	105
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	106
GRÁFICOS DE RESULTADOS .....	111



## ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Producción mundial de hortalizas y frutas durante los años de 1997 a 2001 (FAO, 2002) .....	7
Figura 2. Producción de hortalizas y frutas durante los años de 1997-2001 en México (SAGARPA, 2002c) .....	9
Figura 3. Principales Estados productores de pepino en México (SIAP, 2002) .....	10
Figura 4. Principales Estados productores de mango en México (SIAP, 2002) .....	11
Figura 5. Representación de la líneas del flujo de vapor de agua entre los espacios aéreos de la hoja y la atmósfera exterior. cs, cavidad subestomática; m, células del mesófilo; se, principales sitios de evacuación; o, células oclusivas; vd, vía de difusión hacia el exterior; cp, corriente principal del agua líquida .....	23
Figura 6. Nanograma para calcular déficit de presión de vapor en función a la temperatura (°C) y la humedad relativa (%HR). Según lo reportado por Williams y Brochu 1969 .....	33
Figura 7. Diagrama de Höfler representando la relación de presión de turgencia, potencial de agua y potencial osmótico, en función al contenido relativo de agua en una célula porcentaje .....	40
Figura 8. Diagrama del valor de potencial hídrico en sustancias más comunes (Cook y Papendick, 1978) .....	41
Figura 9.- Modelo hipotético para diferenciar la permeabilidad del O <sub>2</sub> , CO <sub>2</sub> y vapor de agua en frutos con células lignificadas en la piel. A: Esquema natural y B: Esquema simulando aplicación de cera (Amarante y Banks, 2001) .....	47

## ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Principales características de algunas variedades del cultivo de pepino .....	13
Cuadro 2. Composición química del pepino (100 gramos de porción comestible) .....	14
Cuadro 3. Principales cultivares de mango en diferentes países .....	17
Cuadro 4. Coeficiente de transpiración de algunas frutas y hortalizas.	26
Cuadro 5. Porcentaje de pérdida de agua en frutas y hortalizas en poscosecha .....	27
Cuadro 6. Ejercicio para el cálculos del déficit de presión de vapor (DPV) considerando valores de saturación de presión de vapor del agua reportados en el Cuadro 1-Apéndice .....	32
Cuadro 7. Conversión de las unidades de presión más comunes para expresar el potencial hídrico de las plantas .....	38
Cuadro 8. Ácido cítrico y málico presente en frutas y hortalizas .....	54

## APÉNDICE

	Página
Cuadro 1. Saturación de presión de vapor (KPa) en agua a temperatura de 0 a 50°C .....	119

## RESUMEN

El estado hídrico presente en las células vegetales es uno de los factores principales que determinan la calidad y la vida de anaquel de los productos perecederos. El estrés de agua provocado por una transpiración excesiva al almacenar los frutos en condiciones deficientes de humedad, provoca frutos marchitos y flácidos, acelera los procesos de maduración y acorta la vida de anaquel. A pesar de que el contenido de agua en las frutas es considerado primordial para mantener frutos turgentes y una calidad aceptable, aun se desconoce la relación que existe entre el estado hídrico del producto hortofrutícola, el manejo poscosecha y las condiciones de almacenamiento. El estado hídrico esta definido por el contenido de agua y el potencial hídrico de los tejidos. La pérdida de agua de los frutos ocurre principalmente vía permeabilidad, así como también a través de los estomas y las lenticelas localizadas en la cutícula de los frutos. Este fenómeno, se puede reducir de manera significativa en función a las condiciones óptimas de almacenamiento del producto (temperatura y humedad relativa), así como con la aplicación de ceras, las cuales reducen la velocidad de transpiración. Dado que las frutas y hortalizas continúan perdiendo agua aún después de ser cosechados, desarrollar modelos que permitan predecir la calidad y la vida de anaquel, utilizando los cambios que ocurren en los parámetros de agua de los frutos en función a las diferentes condiciones de almacenamiento (déficit de presión de vapor: DPV) y manejo poscosecha (encerado) permitirá establecer estrategias de comercialización, enfocadas en mantener la calidad (apariencia y turgencia del fruto). Por tal motivo, el objetivo de este estudio fue investigar el efecto que tienen las condiciones de almacenamiento (DPV) y el encerado en el estatus hídrico y la calidad poscosecha, de tal manera que esta información nos permitiera generar modelos matemáticos para predecir la vida de anaquel de frutos de pepino y mango. Los frutos fueron inicialmente divididos en dos lotes. A un lote se le aplico cera comercial (Decco® para pepino y Britex® para mango) y el otro lote fue dejado como testigo (sin cera). Posteriormente, los frutos se almacenaron bajo diferentes condiciones de déficit de presión de vapor (DPV desde 0.19

hasta 1.26 KPa). Se monitoreo la pérdida de peso diaria y acumulativa, la firmeza, los potenciales hídrico ( $\Psi_w$ ), osmótico ( $\Psi_s$ ) y de presión ( $\Psi_p$ ); así como los sólidos solubles totales ( $^{\circ}$ Brix) y el contenido relativo de agua (CRA).

En pepino, los primeros síntomas de pérdida de calidad (marchitamiento) se mostraron cuando los frutos alcanzaron un 6% de pérdida de peso, independiente de las condiciones de DPV o la aplicación de cera. La aplicación de cera redujo la pérdida de peso en las distintas condiciones de almacenamiento. 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 y asociarlo con la calidad y vida de anaquel. Frutos encerados en condiciones de baja humedad relativa (DPV=1.26 KPa), alcanzaron el 6% de pérdida de peso a los seis días, mientras que los frutos con o sin cera bajo condiciones de alta humedad relativa (DPV=0.2 KPa), nunca alcanzaron estos valores durante los días de estudio. Los potenciales hídrico, osmótico y de presión iniciales en el fruto mostraron valores de -0.4 MPa, -0.6 MPa y 0.2 MPa, respectivamente. Durante almacenamiento los frutos generaron valores más negativos en el  $\Psi_w$  y  $\Psi_s$ , particularmente en condiciones de baja humedad relativa. El contenido relativo de agua (CRA) disminuyo arriba del 10% durante el almacenamiento. Valores inferiores al 88% de CRA, indicaron plasmólisis celular, al disminuir el  $\Psi_p$  a valores negativos. Valores más negativos de  $\Psi_s$  estuvieron asociados con incrementos en los sólidos solubles totales.

En los frutos de mango, la aplicación de cera fue más efectiva en reducir la pérdida de peso de los frutos almacenados en condiciones altas de DPV. A diferencia de los resultados generados para pepino, en mango, los modelos para predecir pérdida de peso en función de las condiciones de almacenamiento (DPV), presentaron interceptos similares entre frutos con y sin cera, pero pendientes diferentes y significativas a través del tiempo. A pesar de que los valores de CRA del 88% estuvieron asociados a un potencial de presión negativo (plasmólisis), los frutos de mango mantuvieron su calidad comercial hasta que los valores de CRA fueron inferiores al 84%. El comportamiento del  $\Psi_w$  en los frutos de mango mostró cambios más drásticos durante su

almacenamiento variando desde -1.0 hasta -2.8 MPa dependiendo de las condiciones de DPV y la aplicación de cera. Esto fue debido principalmente a la acumulación de solutos, característico de frutas dulces, observándose una estrecha relación entre el contenido de sólidos solubles y el  $\Psi_s$  ( $\Psi_s = -0.1031 * \text{Brix} - 0.3262$ ).

Las ecuaciones de regresión del porcentaje de pérdida de peso diaria en función al déficit de presión de vapor durante almacenamiento, pueden ser utilizadas para predecir la vida de anaquel de los frutos. De la misma manera, esta pérdida de calidad esta asociada a cambios en los potenciales hídricos y el contenido relativo de agua. Nuestro estudio ofrece información nueva acerca del estatus hídrico en poscosecha de frutos de pepino y mango y demuestra claramente la importancia del encerado en los frutos, así como la necesidad de mantener valores bajos de DPV (alta humedad relativa) para extender la vida de anaquel de los frutos.

## INTRODUCCIÓN

El estado de Sinaloa es considerado uno de los principales productores de frutas y hortalizas en el país. En esta región del noroeste, se concentra la producción de hortalizas como el tomate, chile, pepino, berenjena, y papa, mientras que en los frutales sobresale el mango, melón, papaya y la litchi. La mayoría de estas frutas y hortalizas son destinadas en gran parte a los mercados internacionales, llegando a alcanzar precios elevados (SAGARPA, 2002a).

Mantener la calidad de esta amplia variedad de productos es un reto, especialmente cuando estos productos se destinan a mercados lejanos (McGregor, 1987). La calidad de las frutas depende en gran medida de las características propias de cada especie, en donde se involucran todos los parámetros relacionados con su maduración (Kader, 2002; Wills *et al.*, 1998). De igual manera, esta calidad se encuentra asociada al manejo poscosecha que reciben, principalmente a las condiciones de almacenamiento, transporte y mercadeo (Ryall y Lipton, 1982). La temperatura al igual que la humedad relativa de almacenamiento, se consideran los factores físicos de mayor importancia en la vida poscosecha de estos productos (Shirazi y Cameron, 1993; van den Berg y Lentz, 1971). La relación de ambos, genera otra condición conocida como déficit de presión de vapor de agua (DPV) (Shibairo *et al.*, 1997), la cual se puede calcular usando como referencia la saturación de la presión de vapor al 100% (Percy *et al.*, 1991). De esta manera, la condición de DPV durante el almacenamiento de frutas y hortalizas permiten explicar con mayor precisión la pérdida de agua de las frutas, y en consecuencia predecir su vida de anaquel en relación a la apariencia de los mismos (Shirazi y Cameron, 1993; Paull, 1999).

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). Pequeñas fluctuaciones en la temperatura o en la

humedad relativa durante el almacenamiento afectan considerablemente el DPV, ya que modifican la velocidad de equilibrio de las moléculas del agua entre el aire circundante y el producto, afectando principalmente la pérdida de agua de los frutos, aunque también es importante considerar al área de exposición del producto al aire circundante (Shibairo *et al.*, 1997).

Todos los productos hortofrutícolas continúan perdiendo agua en forma de vapor aún después de que son cosechados, (fenómeno conocido como transpiración), lo cual reduce el peso inicial del fruto y afecta su apariencia física, ocasionando pérdidas económicas en poscosecha. Si la transpiración no se reduce, el producto rápidamente se marchita, muestra una consistencia flácida, se lignifica y, rápidamente estará en condiciones no comestibles. Estos síntomas de pérdida de agua llegan a ser evidentes cuando los productos han alcanzado entre un 5 y un 10% de pérdida de su peso debido a la transpiración (Ryall y Lipton, 1982). La velocidad con la que se pierde el contenido interno de agua del fruto depende también de la estructura y la condición de los productos hortofrutícolas, sin embargo, el contenido de humedad, la temperatura del aire en contacto con el producto, el movimiento del aire y la presión atmosférica son factores que intervienen en este proceso.

La pérdida de agua en la mayoría de los frutos ocurre por difusión a través de los estomas y las lenticelas localizadas en la cutícula (Salisbury y Ross, 1994). Las hortalizas de hoja pierden agua en forma de vapor principalmente a través de los estomas, aperturas diminutas en la epidermis, los cuales son los mismos poros a través de los cuales son intercambiados otros gases (tales como el O<sub>2</sub> y el CO<sub>2</sub>). Otros caminos o rutas naturales de pérdida de agua son la cicatriz del pedúnculo con el fruto, las lenticelas, las superficies cerosas de algunos productos, la permeabilidad de la cutícula o las estructuras externas adheridas a frutos, como el cáliz de la berenjena (Díaz-Pérez, 1988a; Cameron y Yang, 1982).

Para contrarrestar la pérdida de agua en frutas y hortalizas se han desarrollado tecnologías que permiten reducir las tasas de transpiración, entre las que se pueden mencionar el uso de atmósferas modificadas (AM), la aplicación de películas

comestibles, la utilización de ceras, así como el mantener altos porcentajes de humedad relativa en los cuartos de almacenamientos (Shirazi y Cameron, 1993).

El efecto benéfico de las cubiertas plásticas y ceras se traduce en un aumento de la vida de anaquel, que puede incluso llegar a ser más significativa en combinación con bajas temperaturas de almacenamiento (Ben-Yehoshua, 1987; Díaz *et al.*, 1995). Un efecto adicional a esta tecnología es la reducción de enfermedades, debido a la barrera protectora que ofrecen estos compuestos.

En algunos estudios en poscosecha se ha observado que el estrés hídrico provocado por una transpiración excesiva acelera los procesos de maduración en frutos como aguacate (Adato y Gazit, 1974). Otros investigadores han encontrado que frutos de limón y chile bell que manifiestan un bajo estatus hídrico presentan un mayor ablandamiento y una desintegración de las membranas cuticulares (Ben-Yehoshua y Aloni, 1974). Sin embargo, en otros casos, se ha reportado que mantener condiciones saturadas de humedad (baja transpiración), en frutos de plátano, acelera la maduración, comparado con los frutos almacenados a 85 % de humedad relativa (mayor transpiración) (Littman, 1972).

Diversos autores han encontrado un incremento en la producción de etileno en plantas sometidas a estrés hídrico (Jordan *et al.*, 1972; Kirkham, 1990). Resultados similares reportan Ben-Yehoshua y Aloni (1974), con respecto al estrés de agua y la producción de hormonas. Ellos encontraron altas producciones de etileno (20  $\mu\text{l/Kg-h}$ ) en hojas de naranja almacenadas a 55%, mientras que bajo condiciones de atmósfera saturada de humedad (100%), el rango de producción de etileno fue mínimo. Adato y Gazit (1974), demostraron que la maduración en frutos de aguacate del cv. Fuerte almacenado con humedad relativa entre el 10 y el 20% se adelanta tres días, en comparación con frutos almacenados en condiciones de alta humedad entre el 90 y 95%. Ellos mostraron que la maduración acelerada de los frutos presentó una estrecha relación con el déficit del estrés de agua. Reid (2002), sugiere que una mayor producción de etileno puede explicar la maduración acelerada en frutos sometidos a estrés hídrico.



En frutos de tomates se ha demostrado que la reducción de la turgencia celular precede a los cambios de color y firmeza en el fruto (Shackel *et al.*, 1991). Así mismo, se ha observado oxidación en los tejidos vegetales ocasionado por un déficit hídrico (Azcon-Bieto y Talón, 1993). Otro factor de elevada importancia es con relación a estudios encaminados a la presencia de enfermedades, donde se han demostrado que existe un valor específico de potencial hídrico en los tejidos que es necesario para que se exprese y desarrolle un patógeno (Cook y Papendick, 1978).

A pesar de que el contenido de agua es considerado primordial para mantener un adecuado funcionamiento de las plantas y que se han desarrollado diversos estudios de campo, aun no existe información que muestre la importancia del estatus hídrico del producto hortofrutícola después de ser cosechado y la relación que existe con la calidad y vida de anaquel.

Con toda esa información de las relaciones hídricas del fruto y su efecto en la maduración, se buscó determinar la relación entre el estatus hídrico del fruto y los cambios asociados a la firmeza, dulzor y transpiración que se presentan en los frutos de pepino y mango

## OBJETIVO GENERAL

Establecer la relación que existe entre el estado hídrico, la calidad y vida de anaquel de frutos de pepino y mango, encerados y sin encerar, cuando son almacenados bajo diferentes condiciones de déficit de presión de vapor (DPV) .

### Objetivos Específicos

Determinar la pérdida de peso y la firmeza de frutos de pepino y mango encerados y sin encerar durante su almacenamiento bajo diferentes condiciones de DPV.

Cuantificar el contenido relativo de agua, el potencial hídrico, el potencial osmótico y el potencial de presión de frutos de pepino y mango encerados y sin encerar durante su almacenamiento bajo diferentes condiciones de DPV.

Conocer el efecto de la aplicación de cera sobre la velocidad de pérdida de agua (transpiración) y las características hídricas de los frutos de pepino y mango almacenados a distintas condiciones de DPV.

Determinar los coeficientes de correlación y las ecuaciones de regresión entre los parámetros físicos y químicos de calidad y los resultados hídricos obtenidos de los frutos de pepino y mango encerados y sin encerar, y almacenados en diferentes condiciones de DPV.

Elaborar modelos matemáticos que sirvan como herramienta para predecir la vida poscosecha en los frutos de pepino y mango encerados y sin encerar en función a los parámetros hídricos y las condiciones de almacenamiento.

## METAS

Generar información básica y aplicada que contribuya a obtener un mejor entendimiento entre el contenido hídrico, el comportamiento fisiológico y la vida de anaquel de los frutos de pepino y mango.

Obtener modelos matemáticos para predecir la calidad y la vida de anaquel en los frutos de pepino y mango.

## HIPÓTESIS

Los parámetros hídricos y las condiciones de almacenamiento pueden ser utilizados para predecir la calidad y la vida de anaquel en los frutos de pepino y mango.

La aplicación de ceras a la superficie de los frutos reduce la velocidad de pérdida de agua (transpiración) almacenados en diferentes condiciones de DPV.

El contenido y estado hídrico presente en los frutos de pepino y mango será indicativo de su calidad y vida poscosecha.

## REVISION DE LITERATURA

### Generalidades

La importancia de las frutas y hortalizas frescas radica principalmente en la contribución de vitaminas, minerales y fibra que proporcionan a la dieta del humano (Artienda, 1999; Cid, 1999). A nivel mundial, se cultivan un gran número de productos hortofrutícolas, las cuales se desarrollan bajo condiciones específicas de climas y suelos. Debido a la gran demanda de estos cultivos, anualmente la producción de frutas y hortalizas se encuentra en ascenso (FAO, 2002) (Figura 1).

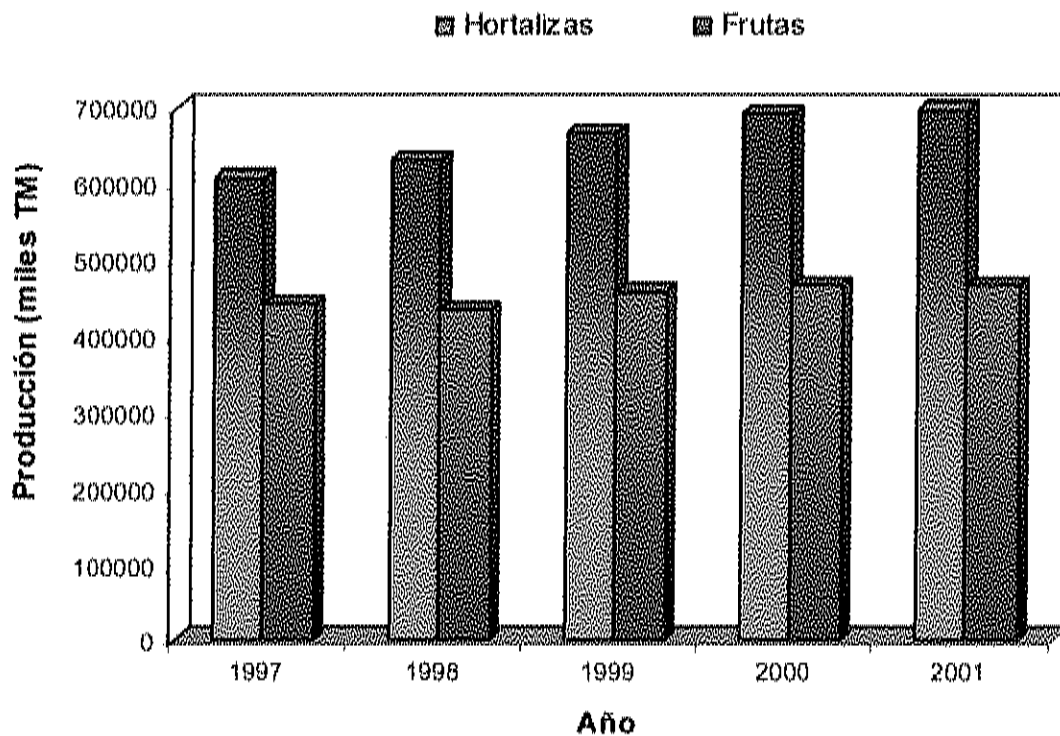


Figura 1. Producción mundial de hortalizas y frutas durante los años de 1997 a 2001 (FAO, 2002).

En el año 2001, la producción de frutas ascendió a 466 millones de toneladas métricas, las cuales fueron obtenidas en 43 millones de hectáreas cultivadas. A pesar de que se cultivan más de 180 familias diferentes, los frutos cítricos son los que presentan el mayor volumen de producción con un 20% del total (TIFAC, 2002; FAO, 2002). Entre países, China ocupa el primer lugar de producción en frutas con 67 millones de TM, seguido por la India con 48 millones de TM, destacando los cultivos de mango, plátano, cítricos, manzana y guayaba, entre otros.

Para el mismo ciclo agrícola, la producción de hortalizas fue superior a la de las frutas, alcanzando 698 millones de TM, en una superficie cultivada de 48.7 millones de hectáreas. Analizando la producción de hortalizas en los diferentes países y continentes, China ocupa de igual manera el primer lugar, con un volumen de 302 millones de TM, aportando el 43% del total. Los principales productos hortícolas producidos son la papa, el tomate, la cebolla, la calabaza, y la coliflor, entre otras (TIFAC, 2002; FAO, 2002).

En México, la diversidad topografía y climática de nuestro país hace posible que se puedan cultivar frutas y hortalizas en todos los Estados de la República. Para el año 2001, nuestro país aportó el 1.35% (9,450,711 TM) del volumen total de hortalizas (incluyendo el melón) y el 2.8% (13,236,412 TM) del volumen total de frutas considerando la producción mundial (Figura 2). En el caso de hortalizas, siete Estados contribuyen con la mayor producción, donde sobresale Sinaloa con 23.26%, seguido por Guanajuato (10.08%) y Sonora (6.68%), mientras que el Estado de México, Baja California y Jalisco aportan el 4% y Morelos 3.7%. En la producción de frutales, ocho Estados tienen la mayor producción, ocupando el primer lugar Michoacán con 24.68%, seguido por Colima (11.30%), Nayarit (10.8%), Tamaulipas (10.6%), Tabasco (8.9%), Chiapas (8.9%), Sonora (7.2), Jalisco (2.4) y Veracruz (2.1%) (SAGARPA, 2002c).

En Sinaloa, el tomate ocupa el primer lugar en volumen producido, seguido por el chile verde, la papa y el pepino. Este último, se ubica en el segundo lugar en cuanto al volumen exportado (CAADES, 2002). A nivel nacional, Sinaloa obtuvo el primer lugar en la producción de pepino para el ciclo 2001-2002 con 246,244 toneladas (Figura 3). El

81% del volumen producido fue exportado generando divisas por un valor de \$112,444 miles de dólares, y el resto se mandó al mercado nacional (CAADES, 2002).

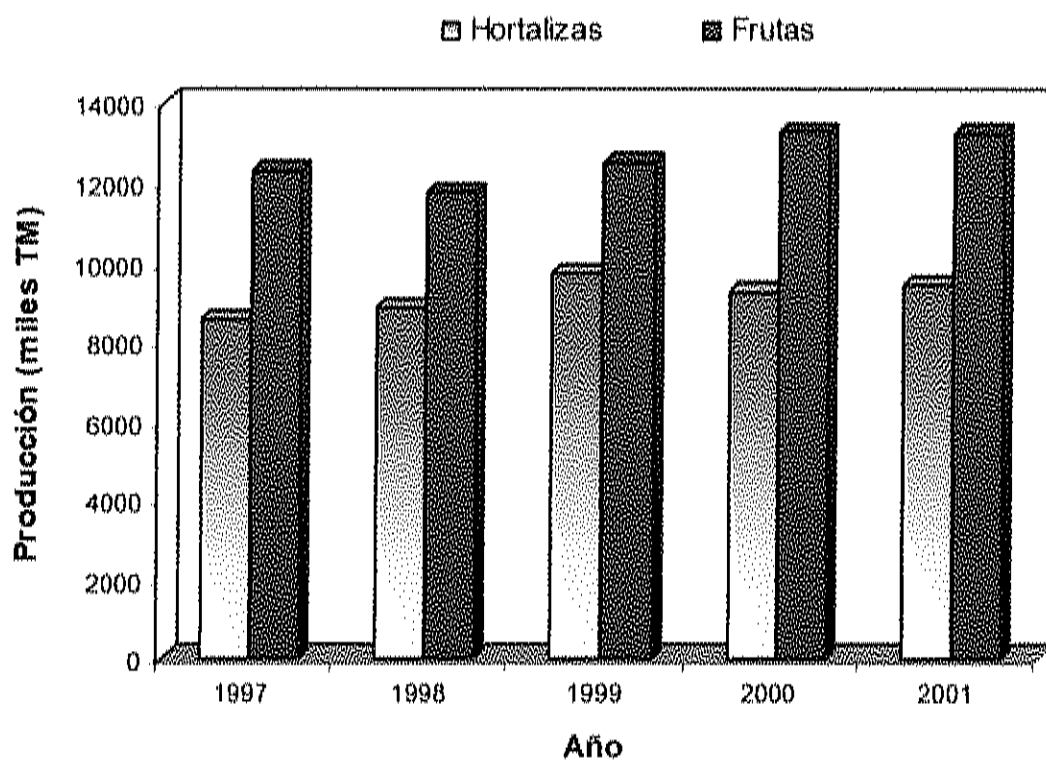


Figura 2. Producción de hortalizas y frutas durante los años de 1997-2001 en México (SAGARPA, 2002c).

Por otro lado, aunque Sinaloa no sobresale como uno de los principales productores de frutales, el cultivo del mango en todo el Estado ha sido un buen generador de divisas, ya que la mayoría de las variedades cultivadas como la Haden, Tommy Atkins, Kent y Keitt tienen la calidad que demanda el mercado internacional (Ireta y Guzmán, 2002).

Según las estadísticas de SAGARPA (2002b), para el año 2001, la producción de mango fue de 1,560,000 toneladas en el país, ocupando Sinaloa el primer lugar con 249,600 toneladas, representando el 16% de la producción nacional (Figura 4) con un valor en el mercado de \$ 48,367 miles de pesos.

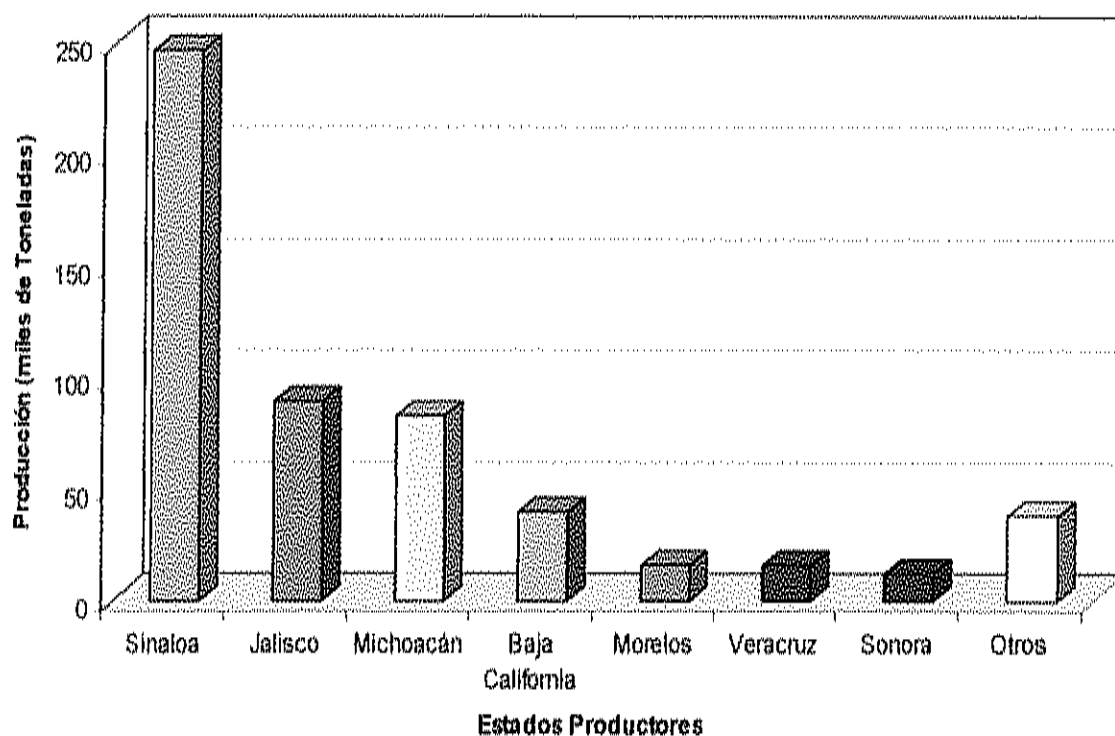


Figura 3. Principales Estados productores de pepino en México (SIAP, 2002).

### Características del Fruto de Pepino

El pepino (*Cucumis sativus* L.) es una hortaliza importante y popular entre los consumidores que pertenece a la familia de las Cucurbitáceas. Esta hortaliza está considerada como uno de los cultivos hortícolas más antiguos del mundo, el cual ha sido cultivado desde hace 3,000 o 4,000 años. Esta hortaliza es nativa de Asia y África, pero se cree que es originaria de la India (Hartmann *et al.*, 1981; Musmade y Desai, 1998).

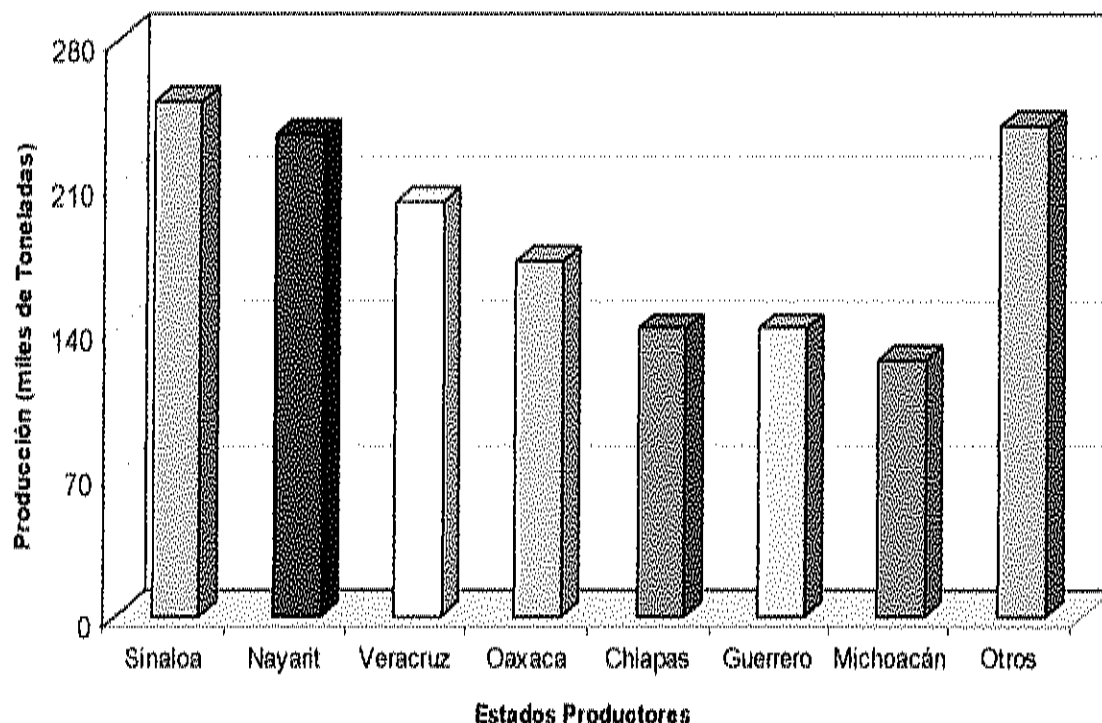


Figura 4. Principales Estados productores de mango en México (SIAP, 2002).

### Cultivares

Se han desarrollado un gran número de cultivares de pepino en muchas partes del mundo en los últimos años, los cuales difieren en el tamaño, la forma, el grosor, el contenido de semillas, la presencia de espinas y el color interno y externo. El fruto inmaduro presenta tonalidades ligeramente verdes hasta verde oscuro, pero cuando madura se torna la cáscara amarilla o café rojizo. De acuerdo a su uso, los tipos de pepino se clasifican usualmente como pepino pikele y pepino de mesa. El primero se utiliza para la industria procesadora, y el segundo se comercializa para consumo en fresco. Este último es más largo, desarrolla una mayor intensidad de color verde, y es más liso y uniforme que el pepino pickle (Salunkhe y Desai, 1984; Musmade y Desai, 1998). Según la variedad, el cultivo de pepino tiene en promedio desde siembra hasta



cosecha de 65 a 75 días. Algunas de las diferentes variedades más comunes para pepino de mesa, también conocido como "slicing cucumbers", se presentan en el Cuadro 1, las cuales se distinguen por el tamaño, color y resistencia a enfermedades, entre otras características. Otros materiales nuevos en evaluación como Abbott Cobb 5001 y 5002, Burples Bus y Daytona, Gemini, entre otras, podrían ser substitutos en un futuro (Production Guides, 2002).

### **Cosecha y Composición Química**

Entre los índices de madurez más utilizados para cosechar frutos de pepino de una manera práctica, se encuentra el tamaño del fruto, el cual es expresado como una medida física, en donde se recomienda una relación longitud-diámetro generalmente entre 3.6 y 4.0 (Hartmann *et al.*, 1981; Marcelis, 1994). El pepino se recolecta en un estado inmaduro de desarrollo, y se considera que los mejores frutos son los más delgados y cuando la maduración de la semilla no se ha completado (Suslow y Cantwell, 1997). Dentro de la composición química del fruto, el agua ocupa en promedio el 96%, siendo el mayor componente. Los frutos de pepino son también ricos en vitamina B y C, así como en algunos minerales como el calcio, fósforo hierro y potasio (Cuadro 2). Los frutos de pepino se recomiendan para prevenir la constipación, la ictericia y la indigestión en el ser humano (Musmade y Desai, 1998).

### **Almacenamiento**

Previo al almacenamiento de los frutos de pepino, se recomienda aplicar algún método de pre-enfriado para disminuir rápido su temperatura, ya sea utilizando túneles de aire forzado o enfriamiento evaporativo con aire forzado, aunque en algunas ocasiones se usa el hidrogenenfriamiento, con temperaturas del agua superior a los 10°C (DeEll *et al.*, 2000).

Cuadro 1. Principales características de algunas variedades del cultivo de pepino	
Variedades	Características
Dasher II	Frutos rectos y grandes de color verde oscuro, de alta calidad y consistencia.
Conquistador	Plantas vigorosas de alto rendimiento, con frutos rectos de color verde oscuro y altos porcentajes de frutos super-selecto. Fruto de color verde oscuro, uniforme.
Cortez	Planta vigorosa que desarrolla frutos de color verde oscuro.
Intimidator	Planta con frutos precoces de excelente rendimiento, frutos con escasa espina, de longitud y diámetro uniforme.
Indio	Plantas resistentes a enfermedades virales, con alto rendimiento, frutos largos, rectos y cilíndricos de color verde oscuro.
Moctezuma	Planta vigorosa, excelente para cosecha prolongada, con frutos de tamaño uniforme, aproximadamente de 23 cm de largo y 3 cm de diámetro de color verde oscuro.
Maverick	Es un híbrido de pickle de cáscara oscura, espina blanca y de elevado rendimiento, se adapta a cosecha manual y mecánica.
Eureka	Planta vigorosa, muy resistente a enfermedades con fruto de color verde oscuro.

Fuente: Productores de Hortalizas, 2002.

El pepino es susceptible al daño por frío a temperaturas inferiores a los 10°C, manifestando síntomas de hundimientos en la piel, manchas oscuras y duras (Purvis, 1994), además de que permite el desarrollo de enfermedades con mayor facilidad. Por el contrario, el almacenamiento de los frutos de pepino a temperaturas superiores a los 16.4°C, inducen el amarillamiento causado por degradación de la clorofila y la síntesis de carotenoides (DeEll *et al.*, 2000). La temperatura óptima de almacenamiento para el

fruto de pepino fluctúa entre los 10 y los 13°C, y si se mantiene una humedad relativa de 95%, se puede esperar una vida promedio de entre 2 y 3 semanas (McGregor, 1987). Frutos expuestos a 10°C por 1 o 2 días, podría presentar un mínimo daño por frío y retardar considerablemente la pérdida de clorofila y el desarrollo de cáscara amarilla (Purvis, 1994, Suslow y Cantwell, 1997).

Cuadro 2. Composición química del pepino (100 gramos de porción comestible).	
Constituyente	Contenido
Porción comestible	83 g
Humedad	96.3 g
Proteínas	0.4 g
Grasa	0.1 g
Minerales	0.3 g
Fibra	0.4 g
Carbohidratos	2.5
Calcio	10 mg
Fósforo	25 mg
Hierro	1.5 mg
Tiamina	0.037 mg
Riboflavina	0.2 mg
Vitamina C	7.0 mg
Energía	13 Kcalorías

Fuente: Musmade y Desai, 1998.

### **Maduración y Senescencia**

El pepino es altamente sensible al etileno, este compuesto natural es la hormona de la maduración que induce la senescencia en los frutos (Yang, 1980). Los efectos del etileno en los frutos de pepino se manifiestan mediante el desarrollo de coloración amarillenta de la cáscara y en la madurez de las semillas (Suslow y Cantwell, 1997). Entre más pequeño es el fruto al momento de corte, mayor será la producción de etileno, y por consecuencia menor será la vida de anaquel (Salunkhe y Desai, 1984).

Los frutos de pepino presentan una pérdida de agua considerable, producto de una tasa de transpiración elevada. Pérdidas de peso superiores al 5% durante almacenamiento conducen a que el pepino pierda su calidad comercial (Ben-Yehoshua, 1987) y se conduce a la senescencia. Dentro de las tecnologías utilizadas para reducir estas altas pérdidas de agua, el uso de ceras sobre la piel, ha permitido mantener por mayor tiempo el agua en las células y reducir la pérdida de peso y consistencia del tejido (Purvis, 1994).

### **Calidad**

El pepino es atractivo por la frescura que representa considerando algunas características para la adquisición por el consumidor. El contenido de agua asociado a la turgencia y la firmeza, al igual que el color verde oscuro en la cáscara y el tamaño son los principales parámetros de calidad (López *et al.*, 2000; Musmade y Desai, 1998). Los responsables del sabor en los frutos son el incremento en la acidez titulable y en el contenido de sólidos solubles (Prohens y Nuez, 1998). Cuando el pepino se destina al consumo en ensaladas o solo, éste debe de presentar consistencia compacta y jugosa, las semillas poco desarrolladas y la placenta que envuelve a las semillas deberá estar muy hidratada.

### Características del Fruto de Mango

El mango (*Mangifera indica* L.) es una de las especies frutícolas más antiguas que se cultiva y cosecha en la India, Birmania y posiblemente en Ceilan desde hace más de 4 mil años, de donde se considera nativo. El cultivo está distribuido en todas aquellas franjas del mundo con clima cálido húmedo y subhúmedo, bajo condiciones tropicales y subtropicales (Mata y Mosqueda, 1995; Ireta y Guzmán, 2002).

### **Cultivares**

Como consecuencia de la gran antigüedad como cultivo y la naturaleza de su reproducción anual, se ha originado un gran número de variedades cultivadas de mango (Cuadro 3). De manera general, puede decirse que los cultivares de Florida dominan las plantaciones de mango en casi todo el mundo, aunque en muchos lugares del sudoeste de Asia, Australia y varios países africanos se plantan fundamentalmente tipos de mangos seleccionados a nivel local (Galan, 1999).

En México, los cultivares destinados a la exportación se desarrollan en la costa del pacífico como Michoacán, Nayarit, Sinaloa y Sonora, donde se distinguen frutos de los cvs. Kent, Tommy Atkins, Haden y Keitt. En Sinaloa se cuenta además, con un banco de germoplasma de mango que contiene 60 materiales diferentes (Ireta y Guzmán, 2002). Las huertas de mango en Sinaloa están principalmente plantadas con los cvs. Manila (21.45%), Kent (22.5%), Tommy Atkins (15.6%), Haden (9.4), Keitt (19.2%), y el resto corresponde a Sensation, Irwin, Ataulfo y criollos. Sin embargo, en los últimos años este patrón de distribución ha cambiado ligeramente, ya que el cv. Haden ha disminuido en todo el estado, al igual que los cvs. Sensation, Irwin y los criollos; en cambio, las plantaciones con los cvs. Keitt y Ataulfo han tendido a incrementarse (Galán, 1999).

<b>Cuadro 3. Principales cultivares de mango en diferentes países</b>	
<b>Países</b>	<b>Cultivares</b>
África del sur	Tommy Atkins, Sensation, Kent, Heidi, Keitt, Zill
Australia	Kensington Pride, Keitt, Palmer, Irwin, Kent, R2E2
Bangladesh	Gopal Bloq, Langra, Fácil, Gila, Khirpasat, Faslu, Aswina, Himsagar
Brasil	Haden, Tommy Atkins, Keitt, Palmer
Camerún	Ameliores de Cameroun
Colombia	Tommy Atkins, Haden, Van Dyke, Kent, Ballenato, Azúca
Costa de Marfil	Kent, Amelie, Keitt, Brooks
Costa Rica	Tommy Atkins, Haden, Keitt, Irwin, Yellow
Cuba	Super Haden, Haden, Corazón, Mario, Manga Amarilla, San Diego, Minino, Biscochuelo, Mameyson, Chino Amarillo, Reina de México
España	Tommy Atkins, Keitt, Lippens, Irwin, Osteen, Gomera-1
Estados Unidos (California)	Keitt
Estados Unidos (Florida)	Tommy Atkins, Keitt, Van Dike, Kent, Palmer, Irwin
Estados Unidos (Hawái)	Ah Ping, Fairchild, Gouveia, Harders, Keitt, Momi K, Pope
Estados Unidos (Puerto Rico)	Keitt, Parvín, Irwin
Francia (Isla de Guadalupe)	Julie, Pomme, Irwin, Haden, Zill, Eldon
India	De postre: Alampur Baneshan, Neehum, Banesshan, Suvarnarekha, Rumani, Alfonso, Peter, Salem, Banglura, Kalepad, Himoyaddis, Himampasad, Gourmet-Alampur, Baneshan. Cultivares obtenidos: Neelgoa, Neelesham, KO-11, Arka Pennet, Arka Anmol, Mallika. Para mejora: Amrapalli. De jugo: Horukkurasam, Panchadharakalsda, Panakallu, Paddarasam, Chinnarasam, Firangiludea, Kolhapallyobberj y Mettavalva Peechumanu
Israel	Keitt, Tommy Atkins, Kent, Maya, Haden, Lily, Tango, Shelly
México	Manila, Haden, Kent, Tommy Atkins, Keitt, Osteen, Ataullo, tipos criollos.
Portugal (Madeira)	Tommy Atkins, Keitt, Osteen
Tailandia	Keaw, Khico Sawoej, Okrong, Nam Dok Mai, Pimsen, Prieo, Raed.
Taiwán	Irwin, Local, Haden, Keitt, Chan-Huang, Sensation
Venezuela	Tommy Atkins, Haden
Vietnam	Cat Hoa Loc

Galán, 1999. Variedades de Florida con color resaltado.

## Cosecha y Composición Química

El mango está clasificado como un fruto climatérico, y su estado de cosecha es cuando alcanza su madurez fisiológica en la planta (Medlicott *et al.*, 1990a). Diversos cambios subjetivos se pueden considerar para predecir cuando el fruto se encuentra listo para ser cosechado (Schmilovitch *et al.*, 2000).

Dentro de los principales criterios utilizados se encuentra el cambio de color en el tono de fondo de la piel, así como cambios en el aspecto de las lenticelas, las cuales pierden su color y se desecan cerca de la madurez, el desarrollo de una capa pulverulenta sobre la superficie del fruto, la lignificación de la epidermis del pedicelo, así como el cambio de forma del fruto (Galan, 1999; Bosques, 1997). De la misma manera, el estado de madurez mínimo al corte se puede evaluar mediante parámetros destructivos como el color interno, la firmeza, la acidez y el contenido de sólidos solubles. Báez-Sañudo en 1998, publicó una Norma Mexicana para Mango de Exportación y marcó los valores mínimos aceptables para cosechar mango de diferentes variedades.

Sin embargo, si el criterio de selección de cosecha del mango no es el correcto, se puede presentar el riesgo de cosechar frutos verdes inmaduros, los cuales no madurarán de forma aceptable, mientras que por el contrario, la cosecha de fruta sobremadura, reduce significativamente la vida poscosecha (Mizrach *et al.*, 1999; Schmilovitch *et al.*, 2000).

El mango esta considerado como una rica fuente de vitamina C (con valores entre 17 y 178 mg·100g<sup>-1</sup>), fibra y pro vitamina A (Thomas, 1975; Hulme, 1971). Además, aporta algunos minerales como Ca con 4.9 mg·g<sup>-1</sup>, 1.09% de K, 0.53% de Mg y 0.39% de N (Hofman *et al.*, 1997).

## Almacenamiento

Previo al empaque, selección, almacenamiento y comercialización del mango mexicano, con excepción del procedente del Estado de Sonora, la fruta tiene que ser

sometida a un tratamiento cuarentenario, debido a la posible infestación de la mosca de la fruta *Anastrepha ludens*, *Anastrepha obliqua* y *Anastrepha serpentina* (Sharp *et al.*, 1989). Este tratamiento consiste en sumergir totalmente la fruta en agua a 46.1°C por un tiempo de 90, 75 y 65 min. dependiendo del tamaño del fruto (90 minutos para mangos redondos de 500 a 700g; 75 minutos para mangos redondos menores de 500g y para mangos alargados/aplanados menores de 570g; y 65 minutos para mangos alargados/aplanados de 375 g o menos). Posteriormente a este tratamiento, los frutos son colocados en agua a 20°C por 30 minutos (Avena, 1997). Al final de la operación el fruto se selecciona, se empaca, preenfria, almacena y comercializa.

Para prolongar la vida poscosecha del mango, la reducción de la temperatura del fruto es el método más usado, ya que se disminuye la velocidad de respiración y la velocidad de maduración. Dependiendo del cultivar, las temperaturas mínimas de almacenamiento pueden llegar a ser desde 4 a 7°C para frutos del oeste de la India, mientras que para los frutos de Florida, su mínima temperatura no debe ser inferior a 10°C (Thompson, 1971). Temperaturas por debajo de las recomendadas inducen el daño por frío en los frutos (Thomas y Oke, 1983; Kane *et al.*, 1982). Algunos autores recomiendan que los frutos de mango de las 'variedades de Florida' deberán de ser almacenado a temperaturas mayores de 12°C, para asegurar que no se manifieste el daño por frío (Seymour *et al.*, 1990). Ellos también mencionan que la temperatura de almacenamiento para mango dependerá del cultivar, el estado de madurez y de las condiciones climatológicas donde se desarrolle el fruto. Los síntomas de daño por frío se manifiesta por decoloración, hendiduras en la piel, maduración irregular, pobre color y aroma en frutos maduros, así como un incremento en la susceptibilidad al desarrollo de patógenos (Kane *et al.*, 1982; Lederman *et al.*, 1997). De igual manera, Medlicott *et al.* (1990b), mencionan que la temperatura de almacenamiento ideal para mango está entre 12 y 13°C y que los frutos deberán de haberse cosechado en madurez fisiológica para ofrecer una mayor vida poscosecha, ya que en madurez avanzada no se recomienda almacenarlos por tiempos prolongados.



## Maduración y Senescencia

Para una óptima maduración del fruto de mango se recomiendan temperaturas entre 20 y 25°C y una HR de 90-95%, temperaturas superiores pueden madurar al fruto con escaso o nulo aroma y manchas en la piel (Medlicott, 1996). De acuerdo con Kader y Mitcham (1998), durante el proceso de maduración del mango se presentan diversos cambios previos a la senescencia, tales como:

- Cambios de color de la piel de verde a amarillo (en algunos cultivares).
- Cambios en el color de la pulpa de amarillo verdoso a amarillo o naranja.
- Aumento de carotenoides y disminución en el contenido de clorofila.
- Disminución de la firmeza de la pulpa e incremento de la jugosidad. A valores inferiores a los 2 kg-f de firmeza, se pierde la calidad del fruto (Lakshminarayana, 1980).
- Solubilización de las sustancias pécticas y ruptura de la pared celular, causadas por poligalacturonasas (Gómez-Lim, 1997).
- Incremento en la tasa de producción de bióxido de carbono de 40-50 a 160-200 mg·Kg<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup> a 20°C.
- Aumento en la tasa de producción de etileno de 0.2 - 0.4 a 2.0-4.0 µl·Kg<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup> a 20°C.
- Conversión de almidón a azúcares e incremento de sólidos solubles con valores entre 10.5 y 18.5 ° Brix (Thompson, 1971).
- Disminución de la acidez titulable.
- Incremento en los compuestos volátiles característicos del aroma.

Sin embargo, cuando el fruto avanza hacia la senescencia, se reduce de manera considerable la firmeza, los azúcares, la acidez titulable y la respiración.

## Calidad

Para que el mango producido en México sea competente en el mercado internacional, la Empacadora de Mango de Exportación, A.C. (EMEX), ha establecido y reformado de manera continua algunas normas de calidad para sus asociados, que puedan asegurar una buena madurez del fruto durante almacenamiento y comercialización, una mayor vida poscosecha y una más amplia aceptabilidad del fruto

por los consumidores, clasificando tres categorías de calidad para su exportación (Ontiveros *et al.*, 1997).

Categoría extra: Calidad superior y característicos de la variedad, con defectos superficiales muy leves que no afecten el aspecto general del fruto, su calidad, conservación y presentación.

Categoría I: De buena calidad y característicos de la variedad, con defectos leves de forma y de cáscara (debido a fricción, quemaduras por el sol, suberización debido a la exudación de resinas), magulladuras cicatrizadas que no excedan 12 mm en grupo de mango calibre 12, 14, 16, 18 y 20 y 16 mm de diámetro en grupos de mango de calibre 9, 10 y 21 mm de diámetro para los grupos 7 y 8.

Categoría II: Comprenden los frutos de mango que no pueden ser clasificados en las categorías anteriores, pero satisfacen los requisitos mínimos especificados en la Norma de Calidad de EMEX.

### El Agua en las Células Vegetales

Los primeros estudios del agua en las células se realizaron a mediados del siglo pasado, cuando Dutrochet introdujo la teoría de la ósmosis. Posteriormente entre 1867 y 1977 se crearon los conceptos de la permeabilidad diferencial de las membranas, y en 1984 se describió el fenómeno de la plasmólisis, explicándose los conceptos necesarios para el desarrollo de la turgencia en las células. Fue a principios del siglo XX cuando se empezó a reconocer que el movimiento del agua en las células no podría explicarse únicamente en términos de distintos gradientes de presión osmótica, sino más bien, en términos que actualmente se conocen como potencial hídrico (Kramer, 1974).

En la fisiología vegetal el agua no se considera pura, debido a que en ella están disueltos una diversidad de solutos y por esta razón, es necesario entender las propiedades del agua en la solución, con referencia al agua pura. Las características del agua en solución puede conocerse mediante la tabulación de las propiedades coligativas tales como el punto de ebullición, el punto de congelación, la presión osmótica, la presión de

vapor y el potencial químico, considerando las propiedades asociadas a la concentración de solutos disueltos (Tinoco *et al.*, 1980).

Las relaciones hídricas de las plantas y frutos están dominadas por las relaciones hídricas de células individuales, ya que la mayoría del agua presente dentro de ellas se localiza en la vacuola. Para lograr entender las relaciones del agua dentro de las plantas vegetales, es necesario conocer las características de la velocidad de transpiración del solvente por los tejidos, la permeabilidad, el contenido hídrico y otros parámetros asociados.

### Transpiración

La transpiración es un proceso fisiológico natural que se presenta en plantas y animales, el cual se manifiesta mediante la evaporación del agua. En plantas vegetales, se considera que la pérdida de agua de los tejidos repercute en la pérdida de peso, y se realiza principalmente a través de los estomas, así como también por las lenticelas y la cutícula. Los frutos presentan velocidades de transpiración más bajas que algunos tejidos vegetales como las hojas, debido a que estos presentan un reducido número de estomas (fruto y hoja de plátano:  $480/\text{cm}^2$  y  $17,000/\text{cm}^2$ , respectivamente), cutículas relativamente permeables y una menor relación superficie volumen (Azcon-Bieto y Talon, 1993; Palmer, 1971).

Los sitios de evaporación en las plantas están localizados dentro de las cavidades subestomáticas, sobre todo en la pared epidérmica interna próxima al poro estomático, como en las paredes celulares externas de las células epidérmicas, siempre que no exista un engrosamiento secundario importante (Figura 5) (Azcon-Bieto y Talon, 1993).

La transpiración es uno de los muchos procesos fisiológicos que reduce la comercialización y el deterioro de frutas y hortalizas. La desecación resultante de la pérdida de agua por efecto de la transpiración afecta la apariencia, la textura, el sabor, el peso y todos los factores que determinan la calidad y el precio de los productos hortofrutícolas en su comercialización. Este fenómeno induce marchitamiento,

arrugamiento y/o encogimiento de la piel, pérdida de firmeza y succulencia, y afecta a los componentes asociados a la frescura de frutas y hortalizas (Ben-Yehoshue, 1987).

Existen dos factores que contribuyen a la velocidad de transpiración. El primero, es el diferencial de la concentración de vapor del agua que existe entre el exterior y el interior del producto. Si se tiene un balance de aire saturado al 100% de humedad relativa entre el exterior e interior del fruto, la transpiración será muy baja. El segundo factor, es la resistencia difusiva, la cual esta asociada a la naturaleza de la planta y estará en función del poro estomático y el desarrollo de la capa límite de las células (Hurley, 1999).

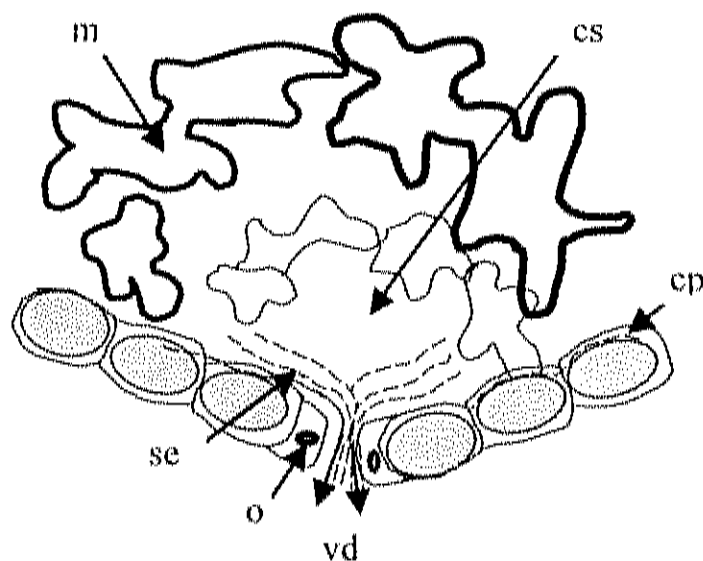


Figura 5. Representación de la líneas del flujo de vapor de agua entre los espacios aéreos de la hoja y la atmósfera exterior. cs, cavidad subestomática; m, células del mesófilo; se, principales sitios de evacuación; o, células oclusivas; vd, vía de difusión hacia el exterior; cp, corriente principal del agua líquida (Azcón-Bieto y Talon, 1993).

Según Azcon-Bieto y Talon (1993), la intensidad de la transpiración depende del suministro de energía para evaporizar el agua, del gradiente de concentración o presión de vapor y de la magnitud de las resistencias.

Por lo tanto, lo que determina el flujo variable de vapor en la transpiración es la resistencia a la difusión del agua hacia el exterior o resistencia difusiva. Utilizando la ley de Ohm, que es un análogo eléctrico de la ley de Fick de la difusión se tiene que:

$$T = \frac{C_h - C_a}{r_h + r_a}$$

donde:

T= Transpiración ( $\text{g cm}^{-2} \text{s}^{-1}$ )

C= Concentración de vapor del agua ( $\text{g m}^{-3}$ )

R = Resistencia difusiva ( $\text{m s}^{-1}$ )

h = Hoja o fruto

a = Aire

También, se tiene algunos factores externos como la radiación, el déficit de presión de vapor del aire (ambiente o cámaras de almacenamiento), la temperatura, la velocidad de flujo del aire, el contenido de agua, el área foliar, la estructura y composición foliar, la resistencia estomática, la relación superficie:volumen, la anatomía del fruto, el contenido de ceras epicuticulares, la composición lipídica de la pared celular y el tipo de cutícula, entre otras, que afectan la velocidad de transpiración y la pérdida de peso de plantas y frutos (Azcon-Bieto y Talon, 1993 y Ryall y Lipton, 1982). En los Cuadros 4 y 5, se pueden observar los coeficientes de transpiración y los porcentajes de pérdida de peso en diversas frutas y hortalizas almacenadas bajo diferentes condiciones. Vegetales de hoja con una mayor área de exposición, como la lechuga, muestran un coeficiente de transpiración mayor y una alta pérdida de peso.

## Anatomía y Estructura

La velocidad de transpiración en frutas y hortalizas esta fuertemente asociada al tamaño (superficie:volumen), las características de la cutícula, la superficie estomática y de lenticelas, el desarrollo de estructuras externas y la presencia de cáliz o pedicelo, entre otras (Ben-Yehoshua, 1987; Wills *et al.*, 1998; Lownds *et al.*, 1993).

En vegetales de hoja como la lechuga y las acelgas (Cuadro 4 y 5), se observa una rápida pérdida de agua, debido a que existe una mayor área de exposición de los tejidos al medio ambiente y una mayor superficie estomática, en comparación con frutos como la manzana (Wills *et al.*, 1998).

Díaz-Pérez (1998a), trabajando con frutos de berenjena reportó un comportamiento asintótico en la velocidad de transpiración en relación con el peso de la fruta, estableciendo que este fenómeno esta en función al área superficial y la masa de la fruta. Además, él observó que por la zona del cáliz del fruto se pierde mas del 50% del agua de la fruta. De igual manera, Ehret y Ho (1986), mostraron que los frutos de tomate pierden mayor agua cuando son pequeños que cuando alcanzan su máximo desarrollo. Esta relación fue reportada también por Wills *et al.* (1998), demostrando que frutos pequeños, raíces o tubérculos, perdían más agua cuando eran chicos que cuando incrementaban su tamaño.

Ketsa (1990), trabajando con tangerina, reportó que la diferencia en la pérdida de peso entre frutos pequeños y grandes cosechados en su madurez comercial, fue mayor en los frutos pequeños con un 30%, debido a la relación superficie / volumen y la velocidad de transpiración.

Para reducir la velocidad de transpiración en flores se utiliza una humedad relativa elevada durante el desarrollo y después de su corte. En flores, una elevada velocidad de transpiración esta asociada a una área foliar mayor, como en caso de las rosas y lirios, mientras que en claveles el área y la transpiración son menores (va-Doorn, 1997).

Cuadro 4. Coeficiente de transpiración de algunas frutas y hortalizas	
<i>Cultivar</i>	<i>Coeficiente de Transpiración (mg/Kg sec MPa)</i>
Manzana	42
Uva	123
Naranja	117
Pérsimo	1930
Pera	69
Zanahoria	1207
Limón	186
Cebolla	60
Lechuga	7400
Tomate	140
Papa	25

Ben-Yehoshua, 1987.

En algunos frutos como las manzanas, los estomas presentes durante su desarrollo, puede transformarse en lenticelas al final del mismo (Esau, 1977). Las lenticelas se desarrollan en la parte interior de las células de los estomas ([www.botgard.ucla.edu](http://www.botgard.ucla.edu)). Cuando los estomas envejecen, se cicatrizan y permiten la expresión de las lenticelas, las cuales llegan a realizar su función (Maguire *et al.*, 2001).

En raíces como la papa, la presencia de lenticelas es notable y son necesarias para realizar el proceso de respiración. En suelos compactos, la expresión de las lenticelas es mas evidente en el cultivo de papa, lo cual reduce la vida poscosecha ([www.osnelksu.edu](http://www.osnelksu.edu)).

Cuadro 5. Porcentaje de pérdida de agua en frutas y hortalizas en poscosecha.

Cultivo	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Perdida de peso (% día <sup>-1</sup> mbar wvpd <sup>-1</sup> )
Lechuga	15	45-65	7.5
Espárrago	10	60-75	3.6
Apio	15	45-65	2.8
Coliflor	0-2	85	1.2
Elote dulce	15	45-65	1.4
Bell peper, verde	10	60-75	0.06
Tomate, Eurocross	10	60-75	0.1
Pepino	15	45-65	0.04
Manzana, Golden	0	85-90	0.07
Plátano	12.5	90	0.06
Guayaba, Safeda	11-13	87-90	0.3
Mango, Totapuri	6-7	85-90	0.1
Naranja, Valencia	3.3	82-92	0.06
Pera	0	85-92	0.05

Ben-Yehoshua, 1987.

Sin embargo, en este mismo tubérculo, se ha observado que en los espacios intercelulares de la pared de las lenticelas, presenta pequeñas cantidades de ceras, que permiten reducir la pérdida de agua por esta vía (Esau, 1977).

En algunos frutos se ha demostrado que la pérdida de agua ocurre a través de la cutícula y no necesariamente por lenticelas y estomas, tal es el caso de uvas (McBean *et al.*, 1971), tomate (Shirazi y Cameron, 1993) y chile bell (Lownds *et al.*, 1993). En las cucurbitáceas como el pepino y la calabaza, la transferencia de agua es a través de la cutícula y estomas (Esau, 1977). Para manzanas Golden Delicious, Canada Real y



Baldwin se reportan 21, 19 y 8% de transpiración vía lenticelas, respectivamente, pero de 5 a 10 veces mas, por la cutícula (Maguire *et al.*, 2001; Maguire *et al.*, 1999).

McBean *et al.* (1971), encontró que los frutos de durazno pierden mayor cantidad de agua que los frutos de nectarinas almacenados bajo condiciones similares, lo cual se debe a la pérdida de pelos cuticulares, permitiendo una mayor transferencia de vapor a través de las lenticelas y los estomas expuestos en los frutos. Ellos mencionan, que conforme se incrementa la pérdida de agua del producto, se remueve con mayor facilidad el pelo cuticular. Ellos también observaron, que antes de la cosecha de los frutos de durazno, las hojas del árbol desprenden mayor pelo cuticular por fricción, favoreciendo la exposición de las lenticelas y estomas al medio ambiente.

De igual manera, Landrigan *et al.* (1996), han demostrado que en los frutos de rambutan, la mayor pérdida de peso es a través de los pelos cuticulares y la piel del fruto (35% en 8 días a 20°C). Además, ellos reportaron que esa pérdida de agua induce al encafecimiento y reduce la calidad del fruto. Un fenómeno similar de encafecimiento causado por la pérdida de agua ha sido reportado para frutos de litchi (Holeroft y Mitcham, 1996; Underhill y Critchley, 1993; Underhill y Critchley, 1992). Algunos autores reportan que una de las causas principales de la pérdida de agua es la presencia de pequeñas fisuras en la epidermis de la fruta características de su anatomía, que permiten la desecación de la cáscara del fruto (Underhill y Simons, 1993). Estos autores mencionan también, que los frutos presentan lenticelas y algunos estomas. Peet (1992), en su análisis de diferentes teorías que inducen las fisuras, menciona las relacionadas con el exceso de agua y el estrés de la misma, así como algunas deficiencias nutricionales de la planta durante el desarrollo. Underhill y Simons (1993), citan que los frutos de cereza, uva, tomate y durazno, presentan el fenómeno de ruptura cuticular. Para uvas, discuten que podría deberse a la presión hidrostática interna de la fruta, previo a una elevada precipitación pluvial o a un exceso de agua en precosecha. En tomate, también se observa ruptura de la cutícula o del pedicelo, permitiendo una mayor velocidad de transpiración y pérdida de la calidad del fruto.

## Cutícula y Ceras

En frutas y hortalizas, las cutículas juegan un papel importante en su estructura elemental, ya que permite sostener el tejido celular contra impactos, además de que ayuda en la firmeza. También, protege a los tejidos contra el viento o abrasión. En particular, las cutículas muestran un importante control en el contenido de agua del sistema (Maguire *et al.*, 2001). En algunas plantas, las cutículas pueden atrapar, absorber o verter agua permitiendo reducir su pérdida por transpiración. En frutos, la cutícula es más fuerte comparada con la cutícula de las hojas (Martín y Juniper, 1970).

El componente estructural de la cutícula es un poliéster llamado cutina, la cual está formada por una capa de células más externas, conocidas como células epidérmicas. Estas células están formadas por polímeros insolubles elaborados con pequeñas sustancias derivadas de células grasas, que generan una barrera altamente impermeable (Kolattukudy, 1984). Los ácidos grasos de la cutina son estabilizados por enlaces covalentes permitiendo ser sólidos a temperaturas fisiológicas ([www.botany.hawaii.edu/faculty/webb/bot311](http://www.botany.hawaii.edu/faculty/webb/bot311)). También, la cutícula contiene ceras, formadas por mezclas de cadenas de hidrocarburos, cetonas, alcohol y aldehídos alifáticos, ésteres y ácidos grasos, las cuales se cristalizan sobre la superficie de la cutícula formando una capa transparente llamada cera epicuticular (Jenks y Ashworth, 1999).

La cutina, la suberina y las ceras, los cuales son constituyentes grasosos, actúan como superficies protectoras de los tejidos de las plantas. La cutina se encuentra en la epidermis, la suberina en el tejido secundario, y las ceras se presentan en combinación con cutina y suberina sobre la superficie de la cutícula. Todas forman una capa de cutina que protege el exterior de la pared de la epidermis. La cutina y las ceras son sintetizadas en el protoplasto y migran a la superficie a través de la pared celular (Esau, 1977).

La cutícula está presente entre las células epidérmicas y la hipodermis, la cual muestra diferente grosor durante el desarrollo de la hoja o fruto. La permeabilidad del agua a través de la cutícula no depende del grosor, sino de la composición química de la misma y de la estructura física de los depósitos de los lípidos cuticulares solubles

(Maguire *et al.*, 2001; Maguire *et al.*, 1999; Schonherr, 1976). Además, estos parámetros varían entre frutos (Maguire *et al.*, 1999; Ben-Yehoshua, 1987).

En precosecha, el estrés hídrico estimula la formación de ceras epicuticulares en el cultivo de algodón, en comparación con plantas irrigadas, ayudando a reducir la transpiración (Jenks y Ashworth, 1999).

En poscosecha de frutas durante el almacenamiento, se observan cambios en la composición de las ceras, debido a la modificación de su estructura. Existe un comportamiento controversial entre las ceras y aceites presentes en las frutas en pre y poscosecha. Cuando unas incrementan otras disminuyen, o viceversa. Sin embargo, el mayor contenido de aceites en frutas coincide con la máxima respiración (pico climatérico) en poscosecha (Baker, 1975)

Ju y Bramlage (2001), reportan que la manzana muestra coloraciones grisáceas en la piel del fruto, debido al prolongado almacenamiento, originado por cambios en las características físicas y químicas de las cutículas. Estos mismos autores, mencionan que la cutícula de manzanas y peras, además de servir como barrera protectora de los frutos, también atrapan compuestos lipofílicos, metabolitos volátiles como el  $\beta$ -farnesen, hidrocarburos y protegen al fruto de una posible escaldadura.

## Respiración

El proceso respiratorio de una hortaliza o fruta afecta indirectamente a la transpiración por dos eventos: 1) la liberación de moléculas de agua y 2) la generación de energía que altera los procesos metabólicos.



La pérdida de peso por efecto de la respiración es del 3 al 5%, así como es necesario considerar de manera adicional la generación de calor (Ben-Yehoshua, 1987). El calor de la respiración de las frutas y hortalizas esta en función a la temperatura, teniendo que el mango a 13°C con humedad relativa entre el 85 y 90%, presenta 0.5

Btu/lb·°F (Hardenburg, 1990), lo cual incrementa el déficit de presión de vapor (DPV) de los cuartos de almacenamiento, por lo que se aumenta la transpiración por efecto del déficit de saturación del agua en el aire circundante. Por este motivo, es importante reducir el calor de campo de los productos hortofrutícolas antes de su almacenamiento o comercialización.

### Condiciones de Almacenamiento

Las frutas y hortalizas son seres vivos que continúan su proceso de maduración y senescencia una vez separado de su planta progenitora. La actividad fisiológica de cada cultivar es específica, los cuales presentan una mayor o menor vida poscosecha, dependiendo de las condiciones de manejo, incluyendo almacenamiento, transporte y comercialización.

Durante el manejo poscosecha de frutas y hortalizas, el parámetro de mayor importancia está enfocado a reducir la actividad fisiológica (respiración y transpiración). Dentro de las operaciones más comunes para prolongar vida poscosecha de los frutos se usa el almacenamiento a bajas temperaturas y condiciones de humedad relativa (HR) apropiadas, y en menor escala el uso de atmósferas modificadas y controladas (Kader, 2002; Wills *et al.*, 1998; Ryall y Lipton, 1982).

La utilización de temperaturas bajas durante el almacenamiento, reduce de manera significativa la transpiración, la actividad respiratoria y en consecuencia la senescencia del fruto. Esta operación unitaria en combinación con humedad relativa alta, favorece para obtener un menor diferencial de presión de vapor (DPV) del aire circundante en la cámara de almacenamiento y el fruto, lo que en consecuencia, disminuye la transpiración de los frutos, manteniendo su consistencia turgente (Ryall y Lipton, 1982).

Existen diferentes métodos para calcular el DPV en una cámara de almacenamiento. Pearcey *et al.* (1991) publican tablas de la saturación de presión de vapor en KPa del agua expuesta entre 0 y 50°C con intervalos de 0.1 (Cuadro 1-Apéndice). Conociendo el contenido del porcentaje de humedad relativa, es factible conocer el DPV según cálculos expuestos en el Cuadro 6. Por otro lado, el DPV también

se puede calcular de forma directa mediante el uso del nanograma que reportan Williams y Brochu (1969), conociendo los valores de temperatura y humedad relativa (Figura 6).

Altos valores de DPV en el aire circundante en las plantas y frutas durante precosecha estimulan el suplemento del agua de la planta al fruto, e incrementan la transpiración de la fruta. El balance del agua en la fruta es un factor determinado para movilizar la savia de la planta a través del xilema y floema (Leonardi *et al.*, 2000).

Cuadro 6. Ejercicio para el cálculos del déficit de presión de vapor (DPV) considerando valores de saturación de presión de vapor del agua reportados en el Cuadro 1-Apéndice.

Calcular el DPV de una cámara de almacenamiento considerando condiciones de 20°C y HR = 85%

- Para considerar los valores del cuadro 8, se asume que el cuarto esta a 100% de HR.
- Buscar en el cuadro 8 el vapor de la presión del cuarto a 20.0°C = 2.337 kPa.
- El vapor de presión del aire será =  $(2.337) * (0.85) = 1.98645$  kPa.

DPV = Vapor de presión del cuarto a 100% HR – Vapor de presión del aire a 85% HR

DPV = 2.337 kPa – 1.98645 kPa

**DPV = 0.35055 kPa.**

Según Kader (2002) y McGregor (1987), cada producto hortofrutícola requiere una condición óptima de humedad relativa y temperatura de almacenamiento, las cuales en conjunto permitirán prolongar la vida poscosecha. Para pepino, la temperatura recomendada oscila entre 10 y 15°C, siendo a 13°C la mejor, acompañado de una HR entre el 90 y el 95%. Un incremento en la temperatura de almacenamiento de 13 a 20°C para este fruto, reduce la vida poscosecha en un 50%.

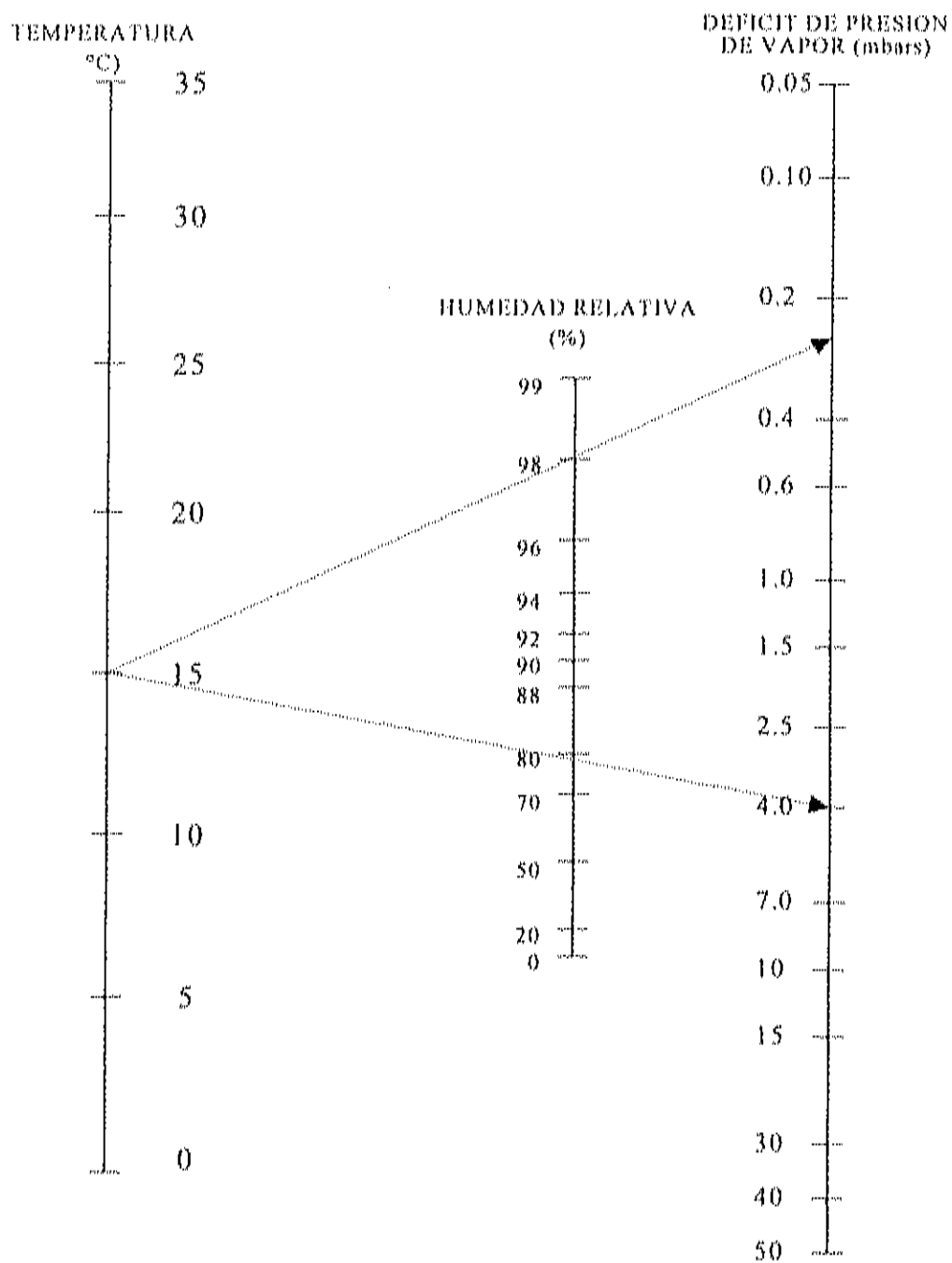


Figura 6. Nanograma para calcular déficit de presión de vapor en función a la temperatura (°C) y la humedad relativa (%HR). Según lo reportado por Williams y Brochu (1969).

Purvis (1994), reporta que temperaturas de almacenamiento inferiores a los 10°C son inadecuadas para pepino, manifestándose daño por frío, fenómeno fisiológico que se presenta en el fruto como hendiduras de la cutícula rodeada de manchas duras y oscuras.

Todas las frutas y hortalizas que se cosechan inmaduros, como por ejemplo el pepino, son sensibles al daño por frío, con excepción del clote dulce y chícharos los cuales pueden ser almacenados hasta temperaturas de 0°C (Kader, 2002).

En mango, se recomienda 13°C como temperatura óptima de almacenamiento, aunque se menciona que los frutos maduros pueden tolerar temperaturas hasta 10°C (Kader, 2002). De igual manera, McGregor (1989), cita para frutos de mango condiciones de almacenamiento entre 10 y 13°C con un 95% de humedad relativa. Temperaturas inferiores a las recomendadas, pueden inducir daño por frío, donde los síntomas se manifiestan en forma de escaldaduras, áreas oscuras, decoloración y hundimiento en la piel del fruto, estimulando la velocidad de transpiración y la senescencia de los frutos (Lederman *et al.*, 1997).

Thomson (1971), reporta que los frutos de mango de la Indias pueden tolerar temperaturas de almacenamiento entre 4 y 7°C, mientras que los frutos de los cultivares de Florida solamente soportan como mínimo 10°C, sin inducir daño por frío. Bajo condiciones de baja temperatura, los frutos de mango presentan una reducción en la velocidad de respiración y transpiración, pero no maduran de manera normal.

#### Parámetros Hídricos Involucrados en la Transpiración y Pérdida de Agua en Frutas y Hortalizas

El agua en su forma líquida, permite la difusión y flujo masivo de solutos, lo cual, es esencial para el transporte de nutrientes y metabolitos a toda la planta. También, el agua es importante en las vacuolas de las células vegetales, ya que ejerce presión sobre el protoplasma y pared celular manteniendo así su turgencia. La deshidratación de los tejidos a niveles críticos de agua, se acompaña de cambios irreversibles en la

estructura de la célula hasta lograr la muerte de los tejidos (con excepción de semillas y algunas especies vegetales) (Azcon-Bieto y Talon, 1993).

La cantidad de agua en los tejidos de frutas y hortalizas es un determinante de la calidad interna y externa de los productos, permitiendo predecir la perecibilidad de los productos hortofrutícolas. Niveles elevados de agua, indican frescura y textura crujiente, mientras que la reducción de agua en los tejidos, influye de forma negativa en la calidad y en el precio (Herppich *et al.*, 2000).

El agua presente en un sistema, ya sea hoja, fruto o célula, se puede cuantificar en función a dos principales componentes: a) al contenido de agua y b) el potencial de agua. El primero, está en función del peso fresco y seco, sin embargo, las variaciones que se han encontrado al evaluar la materia seca, han propuesto modificar este parámetro, a contenido relativo de agua a un 100% para el agua pura y, considerando para esta condición, un potencial de agua igual a cero. Por otro lado, el segundo componente, el potencial de agua, involucra al potencial químico del agua, el cual ha sido originado de conceptos termodinámicos (Hsiao, 1990).

### **Contenido Relativo de Agua (CRA)**

El CRA expresa la cantidad de agua en la muestra original como un porcentaje del agua en el tejido completamente saturado (Salisbury y Ross, 1994). Esta definición, no solo indica el contenido de agua en el sistema, sino también su volumen mantenido. Desafortunadamente, la evaluación de este parámetro envuelve determinantes imprecisas sobre el tiempo de saturación del contenido de agua en la muestra (Hsiao, 1990; Turner, 1981).



Este parámetro se determina mediante la fórmula  $CRA (\%) = 100 \times (P_f - P_s) / (P_f - P_s)$ , midiendo el peso fresco ( $P_f$ ), el peso cuando la masa está turgente ( $P_t$ ) y el peso seco de la muestra ( $P_s$ ) (Burdon y Clark, 2001; Hsiao, 1990). Con estos mismos parámetros, también se puede calcular el déficit de saturación de agua (DSA), donde  $DSA = 100 - CRA$  (Turner, 1981).

La pérdida de agua en las frutas y hortalizas, así como la diferencia absoluta en el contenido de agua de la fruta, considerando el estado hídrico interno del tejido, pueden alterar su metabolismo o los parámetros de calidad por diversas vías (Burdon y Clark, 2001). Para frutos de kiwi con alto y bajo contenido de agua (valores de CRA de 97.5 y 91.2 %, respectivamente), la pérdida de agua es mayor en los frutos con mayor valor de CRA, debido posiblemente a una diferencia en la capacidad de retención del agua del pericarpio de ambos frutos a consecuencia de los diferentes niveles de agua, sucediendo lo contrario con los frutos con menor valor de CRA (Burdon y Clark, 2001).

De la misma manera, el efecto de las condiciones de almacenamiento, como lo es el porcentaje de humedad relativa (HR) presente, influye en el CRA. Para pepino pielde con un valor de  $CRA = 81.5\%$  al momento de corte, se observó una reducción considerable en este parámetro cuando los frutos fueron almacenados por 28 días a  $15.5^\circ\text{C}$  dependiendo de la humedad relativa del almacenamiento en donde estuvieron expuestos los frutos. A 93% de HR, el valor de CRA alcanzó un 67%, mientras que a 62 % de HR, el valor de CRA fue del 51% (Walter *et al.*, 1990). Incrementos en valores de CRA han sido reportados en frutos de zanahoria cuando estos han sido almacenados en condiciones de aire saturado de agua ( $HR \approx 100\%$ ), después de haberse cosechado con valores iniciales de  $CRA = 89\%$  (Herppich *et al.*, 2000).

En hojas, la relación entre el CRA y el potencial de agua, pueden ser un buen indicador de la resistencia a la sequía de la planta. En zarzamora, se observó que el contenido de agua de las hojas decrece un 6.4%, por cada 1.0 MPa de reducción del potencial de agua. De igual manera, pero con mayor sensibilidad se tiene que hojas de tomate presentaron un cambio de 25% de CRA por cada 1 MPa de reducción en el potencial hídrico (Davis y Jonson, 1982).

En vegetales de hoja (*Brassica juncea* L.), el uso de baja temperatura y condiciones de humedad apropiadas presentaron un CRA= 94%, pero cuando estas fueron transferidas a condiciones del medio ambiente (24-28°C) por cinco días, el CRA disminuyó hasta un 78%. El acelerado estrés de agua en hojas indujo la senescencia, caracterizada por una rápida degradación de clorofila y proteínas (Lazan *et al.*, 1987).

### Potencial de Agua o Potencial Hídrico ( $\Psi_w$ )

Para definir al potencial hídrico como una propiedad importante en el sistema planta-suelo-aire, se propuso que se usara como referencia el potencial químico (energía libre por mol de sustancia), y se conoce con el símbolo " $\mu$ " del agua. Por lo tanto, el potencial hídrico es el potencial químico de un sistema o parte de un sistema, expresado en unidades de presión, comparado con el potencial químico del agua pura a una presión atmosférica y a la misma temperatura y altura, con un potencial químico de referencia fijado a cero. El potencial hídrico se representa por:  $\Psi_w = (\mu_w - \mu_w^*) / V_w$ , donde:  $\Psi_w$  = potencial hídrico,  $\mu_w$  = potencial químico o energía libre por mol de agua en algún parte del sistema a temperatura y presión constante,  $\mu_w^*$  = potencial químico del agua pura a una misma temperatura y a una atmósfera de presión,  $V_w$  = volumen molar del agua (Koide *et al.*, 1991).

Al potencial hídrico del agua pura (libre) se le asigna el valor de cero (Salisbury y Ross, 1994). Debido a que se adopta el valor de cero, todos los potenciales que caracterizan el agua ligada, son negativos, puesto que sería necesario suministrar un trabajo para llevar el agua a un  $\Psi_w = 0$  (Azcon-Bieto y Talon, 1993).

Spomer (1985), define al  $\Psi_w$  como la disponibilidad fisicoquímica que tiene el agua para participar en las funciones de las plantas y determinar la tendencia de transferencia del agua neta dentro de un sistema. El  $\Psi_w$  se expresa en unidades de presión siendo más común en mega Pascales (MPa), Pascales (Pa) y bares (bars), aunque también puede ser reportado en atmósferas (atms), mm de mercurio (mmHg), kilogramo

por centímetro cuadrado ( $\text{Kg cm}^{-2}$ ), kilo joule por kilogramo ( $\text{KJ Kg}^{-1}$ ) y joule por mol ( $\text{Jmol}^{-1}$ ) (Salisbury y Ross, 1994). En el Cuadro 7, se presentan los equivalentes de las unidades de presión del potencial hídrico.

Cuadro 7. Conversión de las unidades de presión más comunes para expresar el potencial hídrico de las plantas.

	Bar	J/Kg	KPa	MPa	Atm	cm H <sub>2</sub> O
Bar	1	0.01	0.01	10	1.01	0.00098
J/Kg	100	1	1	1000	101	0.098
Kpa	100	1	1	1000	101	0.098
Mpa	0.1	0.001	0.001	1	0.101	0.000098
Atm	0.99	0.0099	0.0099	9.9	1	0.00097
cm H <sub>2</sub> O	1020	10.2	10.2	10200	1030	1

(Decagon, 1990).

Los componentes del potencial de agua pueden ser indicativos de estado de agua de una planta o sus partes que la forman (hoja, raíz, tallo o fruto). Cuando la tasa de pérdida de agua de una planta, excede los niveles de absorción del agua por la raíces, los tejidos de la planta están sujetos a tensión por estrés de agua (presión negativa). Por tal motivo, el potencial disminuye y ocurre la competencia del agua en los tejidos, debido a la alteración del equilibrio de los parámetros que forman el potencial de agua.

El potencial hídrico total en cualquier parte de una planta puede ser considerado como la suma de cuatro componentes: Potencial osmótico ( $\psi_s$ ), presión de turgencia ( $\psi_p$ ), potencial mátrico ( $\psi_m$ ) y potencial gravitacional ( $\psi_g$ ), teniendo:  $\Psi_w = \psi_s + \psi_p + \psi_m + \psi_g$  (Turner, 1981). Como el componente gravitacional del agua es solamente 0.01MPa, este se puede eliminar con excepción de plantas muy altas, quedando entonces:  $\Psi_w = \psi_s + \psi_p + \psi_m$  (Connor *et al.*, 1977).

Los componentes totales del potencial de agua pueden ser diferenciados en las partes de la célula. En la vacuola, el potencial de agua está grandemente expresado en

forma de fuerzas osmóticas y turgor, mientras que en la pared celular las fuerzas mátricas son las mayores y una menor parte en fuerzas osmóticas, teniendo que:

$$\Psi_w = \psi_s + \psi_p = \psi_s + \psi_p + \psi_m = \psi_s + \psi_m$$

Vacuola                  Citoplasma                  Pared celular

En la práctica, el potencial mátrico es transformado en términos de presión y osmóticos y el potencial de agua total dentro del plasmalema puede ser considerado únicamente en componentes osmóticos y de presión,  $\Psi_w = \psi_s + \psi_p$  (Turner, 1981).

De igual manera, Azcon-Bieto y Talon (1993), reportan que en ocasiones no se puede distinguir la diferencia entre  $\psi_s$  y  $\psi_m$ , ya que es difícil decidir si la partícula es sólido o soluto, por lo tanto se incluye el  $\psi_m$  en el  $\psi_s$ .

La relación entre el potencial de agua total, el potencial osmótico y la presión de turgencia en la célula se puede representar mediante el diagrama de Höfler (Turner, 1981; Azcon-Bieto y Talon, 1993; Salisbury y Ross, 1994) (Figura 7).

Potencial hídrico ( $\Psi_w$ ). De manera termodinámica el potencial hídrico se describe como el estado energético del agua en las plantas (Koide *et al.*, 1991). Cualquier parte de la planta, presenta una gran cantidad de agua y solutos que son característicos del tejido. Por esta razón, el potencial hídrico será cero en el agua pura y con valores negativos conforme la disponibilidad del agua disminuya y/o los solutos disueltos aumenten (Figura 8).

En hojas de frijol con un contenido de humedad cercano al 100% se reporta un potencial de agua igual a  $-0.6$  MPa, mientras que en la misma hoja, el potencial de agua disminuye hasta  $-1.2$  MPa cuando existe solamente un 20% de agua (Costa *et al.*, 2000). El diferencial en el contenido de solutos afecta de igual forma el potencial hídrico. Cuando se comparan valores de potencial hídrico entre hoja y fruta de fresa, la fruta contiene un mayor contenido de solutos (azúcares) en comparación de su hoja, variando su potencial hídrico (Pomper y Breen, 1997). Similar comportamiento se observa también en tomate (Jonson *et al.*, 1992).

Wang y Stutte (1992), desarrollaron modelos matemáticos para hojas de manzana donde relacionaron los parámetros hídricos ( $\Psi_w$ ) con el contenido de carbohidratos como el almidón y los azúcares individuales como la glucosa, sacarosa, sorbitol y fructosa. La correlación entre el almidón y la sacarosa con el potencial hídrico obtenida dio las siguientes ecuaciones: almidón (mg/ml savia) =  $4.96 - 0.03 (\Psi_w) - 1.22 (\Psi_w)^2$  y para sacarosa (mg/ml savia) =  $12.43 - 4.85 (\Psi_w) - 1.24 (\Psi_w)^2$ , lo que indica una dependencia entre los parámetros hídricos y el contenido de solutos.

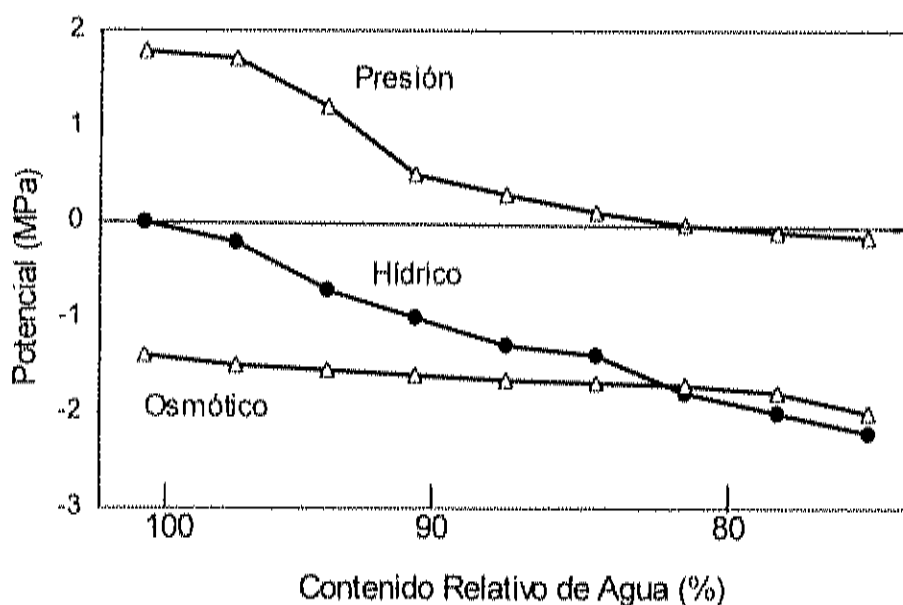


Figura 7. Diagrama de Höfler representando la relación de presión de turgencia, potencial de agua y potencial osmótico, en función al contenido relativo de agua en una célula porcentaje.

Durante poscosecha, los cambios en el potencial hídrico en frutas y hortalizas son pequeños en comparación con la variación que presentan las hojas o tallos, observándose una reducción del mismo debido principalmente a la pérdida de agua de los tejidos y a la concentración de soluto. Cook y Papendick (1978), relacionaron el potencial hídrico con los sólidos solubles totales en jugo de frutas de diversas bayas y obtuvieron la ecuación del potencial hídrico:  $\Psi_w = 7.79 - 2.14^\circ\text{Brix}$ . Ellos concluyeron que conforme se

incrementan los sólidos solubles totales, el potencial de agua se hace más negativo, observándose que las cerezas fueron las que alcanzaron los máximos valores negativos de  $\Psi_w = -4.0$  MPa, mientras que en fresas los valores fueron menos negativos con  $\Psi_w = -1.25$  MPa.

Beccher *et al.* (2001), reportan una reducción del potencial hídrico de  $-1.5$  a  $-2.0$  MPa en champiñones almacenados por 4 días a  $18^\circ\text{C}$  y 95% HR y observaron que los frutos mostraron un comportamiento similar en reducción en los parámetros antes citados, cuando fueron expuestos a  $25^\circ\text{C}$ . Ellos también mencionan que el potencial de agua y la permeabilidad de la membrana son factores determinantes en la velocidad de pérdida de humedad de los productos.

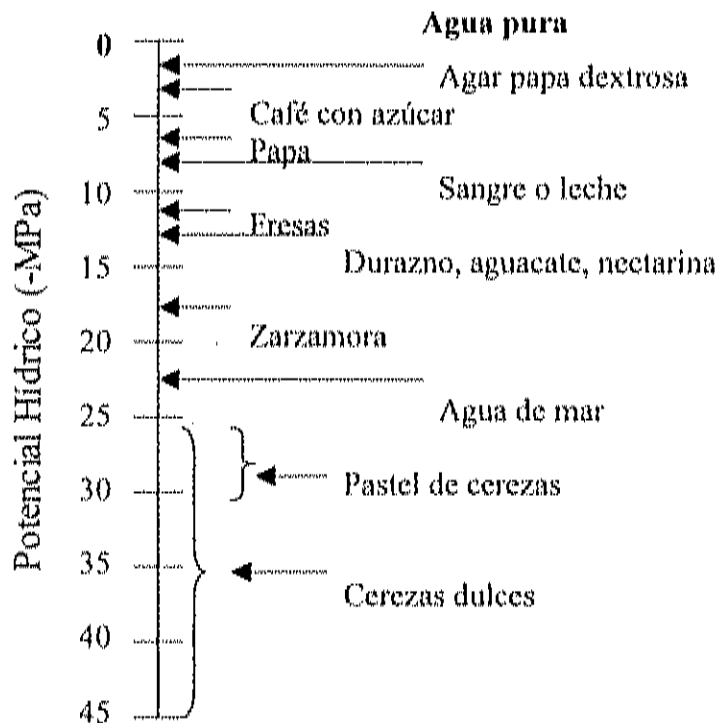


Figura 8. Diagrama del valor de potencial hídrico en sustancias más comunes (Cook y Papendick, 1978).

Para el caso de hortalizas que presentan un tejido más compacto como la zanahoria, se observó que cinco variedades mostraron cambios en el potencial hídrico en promedio de - 0.7 a - 1.0 MPa, durante 21 días de almacenamiento, cuando fueron conservados en bolsas plásticas a 13°C y  $80 \pm 5$  %HR (Shibairo *et al.*, 1997).

Por otro lado, en casos extremos de pérdida de agua en hojas de frijol, se han reportado reducciones de potencial de agua de -0.6 a -1.2 MPa cuando muestran valores de porcentaje de contenido de agua de 100 a 18%, respectivamente, observándose un comportamiento no lineal al realizar una regresión entre el potencial hídrico y el contenido de agua (Costa *et al.*, 2000).

Potencial osmótico ( $\psi_s$ ). Este parámetro describe las fuerzas entre las partículas disueltas (principalmente iones) y las moléculas del agua (Raviv y Blom, 2001). El decremento del  $\psi_s$  puede ser el resultado de una concentración pasiva de los solutos por efecto de la deshidratación o acumulación neta de los sólidos (Patakas y Noitsakis, 2001). Para soluciones nutritivas el potencial osmótico se puede estimar conociendo la conductividad eléctrica (CE) usando una ecuación de  $\psi_s = -0.036 \text{ EC}$  (MPa), donde EC está en  $\text{dSm}^{-1}$  (Raviv y Blom, 2001). También, se puede conocer cuantificando la molalidad de la solución y aplicando la ecuación de van'Höff donde  $\psi_s = CRT$ , C= concentración molal, R= constante ideal de los gases, con un valor de  $0.0083 \text{ Kg}\cdot\text{MPa}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{T}^{-1}$  y la T= temperatura absoluta en °Kelvin (Salisbury y Ross, 1992; Pomper y Breen, 1997).

La acumulación de solutos en la célula se puede representar con la presencia de valores más negativos en el potencial osmótico y cuando este potencial decrece, afecta de manera directa el potencial hídrico, la pérdida de turgencia y disminuye el volumen celular. Sin embargo, muchas plantas tienen la capacidad de osmoregulación manteniendo el turgor de la célula y la acumulación de azúcares (Yakushiji *et al.*, 1996).

Los niveles de sacarosa y hexosas son los que determinan en su mayoría al potencial osmótico en zanahoria, y se han reportado cambios considerables durante el almacenamiento, con valores iniciales y finales de -1.3 y -1.7 MP, respectivamente,

para zanahorias almacenadas por 21 días a 13°C (Shibairo *et al.*, 1997). Ellos también, mencionan que para mantener el balance del potencial osmótico y del potencial hídrico en la célula, se depende de la semi permeabilidad del plasma de la membrana, la cual se incrementa con la temperatura. Este mismo fenómeno se observa en papa, en donde se ha reportado que *Sclerotinia sclerotiorum* es la responsable de incrementar la permeabilidad de la membrana y hacer mas negativo el potencial osmótico (Spychalla y Desborough, 1990).

El contenido de humedad en frutos de Kiwi al momento de corte puede ser un factor determinante para mantener o reducir el potencial osmótico y la calidad. Frutos con un 88.8 y 86.7 % de agua al inicio del estudio, presentaron un  $\psi_s = -1.08$  y  $-1.15$  MPa, respectivamente, logrando disminuir en un 11% el potencial osmótico en los frutos de mayor contenido de agua expuestos 16 días a 18-25°C y 90-95% HR, contra un 39% en los frutos con menor contenido de agua expuestos a las mismas condiciones (Burdon y Clark, 2001).

El grado de estrés de agua en hojas de manzana inducen un cambio en la concentración de carbohidratos como almidón, sacarosa, fructosa y sorbitol afectando las características fisicoquímicas de las células. Wang y Stutte (1992), expresaron estos cambios en una ecuación no lineal que relaciona al  $\psi_s$  con el  $\Psi_w$ , teniendo  $\psi_s = -1.61 + 0.82 \Psi_w + 0.17 (\Psi_w)^2$ . La degradación del almidón y formación de glucosa fueron los principales cambios relacionados con la reducción del potencial hídrico y osmótico.

Beecher *et al.* (2001), reportaron que la estructura y parte anatómica en champiñones (*Agaricus bisporus*) fueron un factor importante en los cambios hídricos y osmóticos. Zonas como el pileo (copa), talo (tallo), raíz y piel, presentan distintos valores de potencial de agua durante el almacenamiento, siendo la piel la mas sensible a la deshidratación durante 6 días de almacenamiento a 25°C, con  $\psi_s = -2.7$  MPa contra valores promedio de 2.0 MPa en el resto de las partes anatómicas.

Potencial de presión ( $\psi_p$ ). Este parámetro es determinado por el incremento de la presión de la célula por el agua. Un alto valor del potencial de presión es indicativo de un buen



estado hídrico de las células presentes en las frutas y hortalizas. La turgencia celular y la integridad de la pared celular son importantes componentes de la rigidez y firmeza del material vegetal (Greve *et al.*, 1994). Este parámetro presenta valores positivos en los tejidos vivos y llega a ser cero o negativo cuando existe estrés de agua o plasmólisis celular (Hsiao, 1990). Sin embargo, se pueden encontrar valores negativos en los tejidos muertos del xilema, en el suelo (positivo bajo el nivel freático), así como en el protoplasma y en la vacuola en el tejido del xilema, los cuales constantemente están bajo tensión (Salisbury y Ross, 1994; Tyree, 1976). Consecuentemente, un  $\psi_p$  negativo, es un incremento de cavitación y/o colapso de la pared celular (Rhizopoulou, 1996). Este mismo autor y Tyree (1976), mencionan que existen reportes donde los resultados obtenidos de  $\psi_p$  son negativos, y atribuyen este comportamiento principalmente a cambios incontrolados en el contenido hídrico del tejido durante la evaluación arrojando resultados poco confiables.

El  $\psi_p$  en el tejido de plantas o frutas es muy sensible a déficit de agua. De manera indirecta, el  $\psi_p$  se calcula por diferencia, conociendo el  $\psi_w$  y el  $\psi_s$  del tejido, teniendo que  $\psi_p = \psi_w - \psi_s$ . También, se puede medir directamente evaluando la presión hidrostática del tejido mediante el uso de sensores específicos para determinar la presión (Barrs, 1968; Hsiao, 1990).

Para frutos de tomate en dos estados de madurez (fisiológica y comercial) se han reportado valores de potencial de presión de 0.14 y 0.03 MPa, respectivamente, los cuales se encuentran asociados a la presencia de solutos en el tejido. En las células del pericarpio de estos mismos frutos, se registran valores de  $\psi_p = 0$  cuando los frutos fueron almacenados por 12 días a 20°C, asociándolo con una pérdida de firmeza y un desarrollo de color rojo intenso en el fruto (Shackel *et al.*, 1991).

Cambios considerables en el  $\psi_p$  se han observado en champiñones durante poscosecha, en donde factores como la temperatura aceleraron la pérdida de turgencia en los tejidos, observándose reducciones hasta de 0.5 MPa en el  $\psi_p$ . Sin embargo, después de seis días de estudio a 18 y 25°C, no se observó la plasmólisis en el tejido (Beecher *et al.*, 2001).

### Tratamientos para Reducir Transpiración

Existen muchos estudios realizados con el propósito de reducir el coeficiente de transpiración en plantas, vegetales y frutas (Bittelli *et al.*, 2001; Ben-Yehoshua, 1969). En precosecha, la reducción de la velocidad de transpiración durante la sequía permitiría que los cultivos sobrevivieran con un mínimo daño, así como también se podría incrementar el rendimiento del agua. Ciertos tipos de funguicidas, herbicidas, inhibidores metabólicos y reguladores de crecimiento han sido reconocidos como reductores de la transpiración, ya que usualmente provocan el cierre de estomas, así como varias clases de películas, emulsiones de látex, ceras polivinílicas, y polietileno, entre otros (Kramer, 1974). En poscosecha, el uso de ceras, aceites, parafinas, carbohidratos y películas plásticas, ha permitido reducir la transpiración en frutas y hortalizas. De manera general, estos compuestos se utilizan como barrera a la difusión de los gases, ayudando a reducir la pérdida de humedad y los niveles de oxígeno, e incrementar los niveles de CO<sub>2</sub> y el etileno interno de los tejidos, así como inhibiendo la migración de aromas y lípidos (Nussinovitch, 2001).

#### **Ceras, Resinas y Carbohidratos**

En años recientes, la aplicación de algunos compuestos como las ceras, carbohidratos, resinas, y mezclas, entre otros, han mostrado éxito, ya que cubren la superficie de frutas y hortalizas y mantienen la calidad del producto fresco en poscosecha, además de reducir el uso de materiales de empaque no biodegradables. Esta operación de proceso ha sido ampliamente usada para reducir la pérdida de agua (Amarante *et al.*, 2001). Sin embargo, su empleo inadecuado, puede afectar el comportamiento fisiológico del fruto e inducir anaerobiosis en los tejidos hasta desarrollar fermentación (Amarante y Banks, 2001). De manera natural, los gases y el agua se difunden a través de los poros de la piel del tejido de cualquier fruta y hortaliza y también por medio de la fase acuosa de los componentes de la cutícula (Figura 5 y Figura 9A).

Sin embargo, el uso de cubiertas sobre la piel de los frutos, puede bloquear los poros presentes (estomas y lenticelas), reduciendo considerablemente la transferencia de CO<sub>2</sub> y oxígeno, y en menor magnitud la pérdida de agua (Figura 9B).

Lípidos y resinas. Estos componentes son adicionados a la formulación de las cubiertas para frutas y hortalizas (como el agua, plastificantes, emulsionantes, lubricantes, ligadores) para reducir el intercambio de los gases, mantener una parte hidrofóbica, (reducir la pérdida de agua) y también, para dar brillo a los productos. Entre los compuestos a base de lípidos, los más conocidos son las ceras naturales como la cera de carnauba, candelilla y salvado de arroz;, las ceras a base de petróleo como parafina, polietileno, aceites minerales; así como las ceras de vegetales como los aceites de maíz, soya o coco. Los tipos de resinas más frecuentes se pueden citar la resina de madera y eumarina (Amarante y Banks, 2001).

Con el propósito de tratar de reducir la pérdida de agua en los tejidos vivos mediante el uso de ceras, se han experimentado la adición de gomas (xantana y guar) e hidrocoloides, sin embargo, los resultados han mostrado un desorden en los componentes de la cera, evitando el mínimo intercambio de gases en los tejidos, principalmente oxígeno, lo cual indujo a la formación de etanol y acumulación de acetaldehído (Nussinovitch, 2000). De igual manera, Nussinovitch (2001), reporta que la principal desventaja de uso de ceras es la posible pérdida de sabor, la cual es atribuida a la inhibición del intercambio de gases, resultando en una respiración anaeróbica.

Purvis (1994), reporta el uso de cera de carnauba en diferentes diluciones para frutos de pepinos almacenados a 5 y 15°C. Los frutos expuestos a baja temperatura con y sin cera afectaron la pérdida de peso, debido al desarrollo de daño por frío. Sin embargo, frutos encerados y almacenados a 15°C mostraron una menor pérdida de peso en comparación con los frutos no encerados.

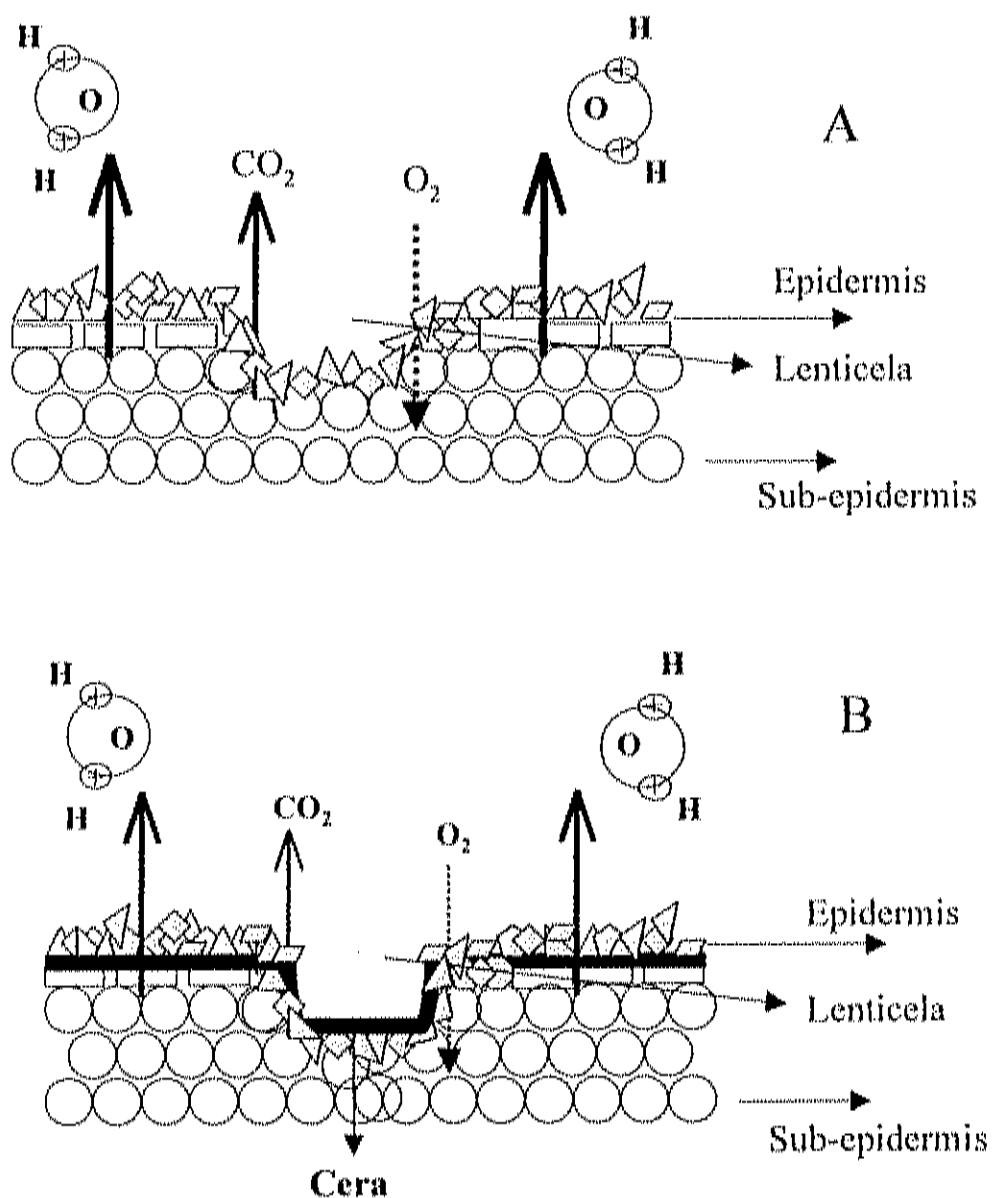


Figura 9.- Modelo hipotético para diferenciar la permeabilidad del O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> y vapor de agua en frutos con células lignificadas en la piel. A: Esquema natural y B: Esquema simulando aplicación de cera (Amarante y Banks, 2001).

Carbohidratos. La cubierta para frutas y hortalizas a base de polisacáridos es efectiva para reducir la permeabilidad del O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub>, pero no muy efectiva para el agua. Esta propiedad posiblemente esta asociada a la densidad de la estructura y a la alta polaridad de la película. Sin embargo, para reducir transpiración en frutas y hortalizas, la cubierta de este tipo, tendrá que ser mas gruesa, en comparación a las elaboradas con ceras (Lau y Meheriuk, 1994).

En este tipo de cubierta se utilizan principalmente derivados de la celulosa como: metil celulosa, hidroxipropil celulosa, hidroxipropil metil celulosa, carboximetil celulosa, y ester aniónico de celulosa, entre otros. La concentración de los componentes antes citados afecta los propiedades físicas y químicas de la solución en estudio. Dentro de la mezcla de componentes, también se puede agregar glicerol, sorbitol, manitol, propilenglicol y polietilenglicol para ayudar a la firmeza del polímetro (Amarante y Banks, 2001).

El citosan (2-amino, 2-deoxi-β-D-glucano), es otro polisacárido soluble en agua usado como cubierta protectora contra la oxidación y pérdida de agua en productos. Este, se obtiene a partir de la deacetilación alcalina de la quitina. Se considera un polímero semipermeable efectivo para la reducción de la pérdida de agua, además de ayudar a modificar la atmósfera interna de los tejidos (Bittelli *et al.*, 2001).

En frutos de melón honeydew se ha reportado una mayor efectividad en la reducción de la pérdida de peso en frutos tratados con cera (Citrusel), en comparación con frutos cubiertos con celulosa (Semperfresh), aunque ambos tratamientos fueron mejores en comparación con los resultados de los frutos testigo (Edwards y Blennerhassett, 1990).

Para fruto de granada cubierta con semperfresh (celulosa), se observó una reducción de la pérdida de peso en un 60% en comparación con los frutos sin encerar. La temperatura de almacenamiento afectó la velocidad de pérdida de peso de los frutos con cera y sin cera, encontrando una mayor pérdida en frutos sin cera almacenados a 25°C, en comparación con los frutos almacenados a 15 y 8°C (Nanda *et al.*, 2001).

Por otro lado, la aplicación de cubiertas a base de polisacáridos (Nature Seal) en frutos de mango, no presentó diferencia significativa en la pérdida de peso durante el almacenamiento por 12 días a 10°C mas 3 días a 20°C, en comparación con los frutos no cubiertos, mientras que la aplicación de cera de carnauba mostró un efecto protector contra la pérdida de peso en los frutos de mango (Baldwin *et al.*, 1999).

### **Películas Plásticas**

El empaque en atmósferas modificadas mediante el uso de películas plásticas permiten prolongar la vida de anaquel de frutas y hortalizas, ya que se genera una atmósfera baja de oxígeno que reduce la tasa de respiración. Además, estas películas actúan como una barrera que limita la difusión de las moléculas del agua, que por consecuencia dentro del material de empaque se crea una atmósfera de alta humedad relativa que reduce la transpiración de los productos (Díaz-Pérez, 1998b; Kader, 2002).

La selectividad de películas plásticas en frutas y hortalizas para incrementar vida poscosecha esta en función de la permeabilidad al oxígeno y bióxido de carbono que se pueda realizar a través de la misma. Es importante considerar la actividad respiratoria del producto, para generar una atmósfera con bajos niveles de oxígeno y altos de CO<sub>2</sub>, pero que no ocasione anaerobiosis e intoxicación de los tejidos (Silva *et al.*, 1999).

### Parámetros de Calidad Asociados a la Transpiración de los Frutos

La transpiración es uno de los muchos procesos que afectan la comercialización e inducen al deterioro fisiológico de las frutas y hortalizas. La desecación, resultado de la pérdida de humedad afecta la apariencia, la textura, el sabor y el peso de producto, todos ellos, factores que se involucren en el precio de venta (Ben-Ychoushua, 1987).

## Físicos

La pérdida de consistencia de los tejidos, al igual que los cambios de color y apariencia, son los parámetros de mayor importancia que se utilizan para evaluar la calidad física de un producto. La reducción del contenido de humedad en los frutos se manifestará principalmente en la textura y apariencia.

Textura. Este parámetro abarca un grupo de características físicas que son usadas para interpretar las sensaciones relacionadas con el tacto, la cual corresponde con la deformación, desintegración y flujo de un alimento hacia la aplicación de una fuerza y se mide de manera objetiva considerando la fuerza, el tiempo y la distancia. El término textura, puede caracterizar a un producto como firme, frágil, masticable, gomoso, elástico, jugoso, esponjoso, viscoso, y adhesivo, entre otros (Bourne, 1980).

La firmeza, el aroma y el color, son los criterios mayormente usados por los consumidores para determinar la calidad en duraznos y mangos (Hung *et al.*, 1999). Harker y Hellett (1994), reportan que la pérdida de la firmeza en kiwi es el principal atributo de calidad. Para éste fruto, la firmeza difiere entre secciones (corazón, pericarpio interno, pericarpio externo y piel) donde cada zona responde diferente debido a la diversidad en el contenido de minerales y características propias de la célula. Por tal motivo, el pericarpio interno es el primero que se ablanda.

El ablandamiento del tejido es usualmente acompañado de la ruptura y solubilidad del material péctico y por catabolismo de los polisacáridos de la pared celular (Kim *et al.*, 1999). La jugosidad en peras esta asociada al incremento de las sustancias pécticas solubles en la pulpa (Zagory y Kader, 1989). De igual manera, para duraznos, el proceso de maduración y pérdida de la firmeza esta relacionada a la modificación de la fibra del mesocarpio hacia la conversión de masa jugosa y fácilmente se puede separar el hueso de la parte comestible. Por tal motivo, el fruto maduro, es muy sensible a la compresión o daño mecánico durante el manejo (Hung *et al.*, 1999).

En pepino pickle, la pérdida de la firmeza se manifiesta como tejido esponjoso, este se incrementa cuando el fruto se almacena a bajas concentraciones de humedad

relativa (Walter *et al.*, 1990). De igual manera, en chiles la pérdida de agua, induce marchitamiento y flacidez del tejido, siendo más evidente en chile tipo bell debido a su anatomía hueca y poco material comestible (Báez-Sañudo, 2001; Lownds *et al.*, 1993), reportan que la jugosidad de muchas frutas y hortalizas están ampliamente relacionadas con la textura.

Para frutos de mango, el proceso de maduración se desarrolla del hueso hacia la cáscara. Siller-Cepeda *et al.* (2000), recomiendan evaluar la firmeza en frutos de mango en dos zonas diferentes del fruto denominándolas base (área mas retirada al pedúnculo) y ápice, ya que en esta última, la firmeza se pierde con mayor rapidez, debido al escaso grosor del pericarpio en comparación con la parte basal. A pesar de que el fruto de mango no muestra un porcentaje elevado de pérdida de peso durante almacenamiento, éste presenta una drástica pérdida de la firmeza bajo condiciones de mercadeo, alcanzando los valores mínimos de firmeza entre los dos y cuatro días posterior a su corte, cuando son expuestos bajo condiciones de simulación de mercadeo.

Para mango, Krishnamurty y Subramanyan (1973), reporta que cuando los frutos alcanzan valores inferiores a los 2 Kg-f de firmeza, los frutos pierden su calidad comercial. Los valores de firmeza presentes en los frutos de mango pueden ser utilizados como herramienta para predecir el tiempo poscosecha de un cultivo. Conforme la velocidad de pérdida de firmeza sea mayor en una variedad de mango, menor será su vida de anaquel. Los resultados reportados por Siller *et al.* (2002), con 12 cultivares de mango muestran que frutos cosechados a un similar estado de madurez y valor de firmeza inicial, presentan diferentes velocidades en la pérdida de firmeza.

Color. La base primaria que los consumidores perciben para adquirir frutas y hortalizas es la apariencia, donde el color es el principal componente visual. Este parámetro esta formado por de tres diferentes receptores para el ojo humano compuesto por los colores rojo, verde y azul (Gnanasekharan *et al.*, 1992).

La evaluación del color, generalmente se aplica a frutas y hortalizas como medida indirecta de la calidad (McGuire, 1992). Los pigmentos naturales en las frutas de



los productos hortofrutícolas se caracterizan por desarrollar clorofila, carotenoides, antocianinas, betalainas, flavonoides y taninos (Clydesdale y Francis, 1990). La síntesis o degradación de los mismos, estará en función al estado de desarrollo, madurez y senescencia de los frutos.

En las frutas y hortalizas, la degradación de pigmentos es uno de los parámetros asociados a la pérdida de calidad. En pepino, tomate, brócoli y los vegetales de hojas verdes se degrada la clorofila y se sintetizan los carotenoides (IFT, 1990). En mango se degradan los carotenoides y las antocianinas (Thomas, 1975; Jacob *et al.*, 1970), y en guayabas se degradan los carotenoides y se sintetizan algunos flavonoides y taninos.

Sin embargo, existen algunas frutas en las que el cambio de color de la cáscara es inducido por la pérdida de agua, como en la litchi, donde el color rojo de la cáscara se vuelve café debido a la desecación (Holcroft y Mitcham, 1996). En muchos otros frutos, la pérdida de agua permite que los pigmentos se concentren y aumente su cuantificación.

Apariencia. En este factor se incluye el tamaño, forma, brillo, color, la consistencia, la ausencia de defectos y las enfermedades (IFT, 1990; Kays, 1999). La pérdida de agua en los tejidos se manifiesta como una pérdida de la presión interna en las células, los tejidos se contraen, la cáscara se marchita e induce un arrugamiento, se reduce el tamaño y se modifica la forma, a tal grado que se pierde la apariencia, su calidad y su comercialización (Kays, 1999; Beecher *et al.*, 2001; Azcón-Bieto y Talon, 1993).

### **Químicos**

El agua es la composición primaria en frutas y vegetales, se encuentra presente en un amplio rango, entre el 65% para persimos y el 96% para pepinos. Las frutas y hortalizas son pobres en proteínas y lípidos (excepto aguacate y olivo) y ricos en carbohidratos, vitaminas y minerales (IFT, 1990).

Carbohidratos. Las frutas y vegetales están compuestos de azúcares individuales y complejos. La glucosa, fructosa y sacarosa son los principales azúcares individuales, y el almidón, es un azúcar complejo compuesto por cadenas de glucosa, localizado en los amiloplastos (El-Zoghbi, 1994). El fruto del plátano, es el típico ejemplo de ambos componentes, en su estado inmaduro de desarrollo es rico en almidón, pero cuando madura, éste es convertido a glucosa, fructosa y sacarosa (Chitarra y Lajolo, 1981). La fibra, formada por cadenas de carbohidratos como pectinas, hemicelulosa y celulosa se localiza en la pared celular de los tejidos de la planta (IFT, 1990) y es una de las responsables de la firmeza de los frutos. La ruptura de la pared celular se manifiesta como plasmólisis y el potencial de presión del tejido se vuelve negativo (Salisbury y Ross, 1994).

La pérdida de agua en las frutas, induce la senescencia del tejido, la fruta se marchita, los azúcares se concentran y el potencial osmótico se reduce (Beetcher *et al.*, 2001). Por otro lado, durante el proceso de maduración en los frutos climatéricos como el mango, los carbohidratos se incrementan y durante la senescencia se disminuyen, debido a que se requiere utilizar las reservas presentes en forma de azúcares y ácidos para continuar con su actividad fisiológica. Por el contrario, las frutas no climatéricas (ejemplo el pepino), no alcanzan a sintetizar los azúcares previo a su corte, y estos se degradan hasta que los frutos adquieren la senescencia (Wills *et al.*, 1998).

El contenido de azúcares expresado en °Brix en los frutos esta correlacionado con el potencial hídrico ( $\psi_w$ ), a medida que se incrementa este parámetro, el potencial hídrico se hace más negativo. Cook y Pependick (1978), generaron un modelo de regresión para potencial hídrico en función del valor de °Brix para frutas pequeñas (cereza, frambuesa y zarzamora), mostrando que el mayor cambio fue atribuido al potencial osmótico del jugo.

pH y acidez. La determinación del pH es uno de los procedimientos analíticos más importantes, ya que con el se pueden determinar muchas características notables de la

estructura y la actividad de macromoléculas biológicas y por lo tanto, la conducta de las células y de los organismos (Lehninger, 1981).

El pH, es un símbolo que representa el potencial de iones hidrógeno o exponentes de hidrógeno en una solución, y es una expresión logarítmica que indica que por cada unidad del entero representa una concentración de iones de hidrógeno diez veces mayor que el entero inmediato siguiente. El pH se expresa como  $\text{pH} = \log 1/[\text{H}^+]$  o  $\text{pH} = -\log [\text{H}^+]$ . A un mayor valor de pH le corresponde una menor concentración de acidez (Orozco, 1989).

La acidez en frutas y hortalizas esta en función a la concentración de ácidos orgánicos, generalmente estos ácidos se encuentran en niveles superiores a los que se requieren en el ciclo de los ácidos tricarbóxicos. En su mayoría, los ácidos orgánicos que más predominan es el cítrico y el málico (Cuadro 8). Otros ácidos importantes son el ácido tartárico (uvas), el oxálico (espinacas y carambola), y el isocítrico (zarzamoras) (Wills *et al.*, 1998).

Por lo general, los niveles de ácido orgánicos descienden durante la maduración de los frutos. La acidez titulable, corresponde a la proporción de acidez no combinada con los cationes y es un parámetro que se usa frecuentemente para cuantificar la acidez en los frutos (Azcon-Bieto y Talon, 1993).

Cuadro 8. Ácido cítrico y málico presente en frutas y hortalizas			
CÍTRICO		MÁLICO	
Mango	Cítricos	Pepino	Brócoli
Guayaba	Pera	Manzana	Cereza
Piña	Tomate	Plátano	Melón
Ciruella	Papa	Zanahoria	Lechuga
Betabel	Vegetales de hija	Apio	Cebolla

Wills *et al.*, 1998.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adato, I. y Gazit S. 1974. Water deficit stress, ethylene production, and ripening in avocado fruits. *Plant Physiology* 53:45-46.
- Artianda, D.A. 1999. Frutas y frutos secos. En: Alimentos, composición y propiedades. Astiasarán I. y Martínez A. Editores. Primera edición. McGraw-Hill- Interamericana. España. P- 191-211.
- Avena, B.R. 1997. Tratamiento hidrotérmico. En: Manejo poscosecha de mango. Capítulo 7. Empacado de Mango de Exportación, A.C. Reginaldo Báez Sañudo. Copilador. México. P. 30-35.
- Amarante, C y Banks N. H. 2001. Postharvest physiology and quality of coated fruits and vegetables. *Horticultural Reviews*. 26:161-238.
- Amarante, C., Banks N. y Ganes S. 2001. Relationship between character of skin cover of coated pears and permeance to water vapour and gases. *Postharvest Biology and Technology*. 21:291-301.
- Azcon-Bieto, J. y Talon M. 1993. Relaciones hídricas. En: Fisiología y Bioquímica Vegetal. Interamericana, McGraw-Hill. Madrid, España. 49-90.
- Báez-Sañudo, R. 1998. Norma mexicana de calidad para mango fresco de exportación. Comité técnico científico de Empacadores de Mango de Exportación, A.C. (EMEX, A.C.). Guadalajara, Jalisco. México.
- Báez-Sañudo, M. 2001. Efecto de las aplicaciones precosecha de calcio y ácidos carboxílicos en el contenido hídrico y la vida de anaquel de chile bell. Tesis de Maestría. Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. Unidad Culiacán. Culiacán, Sinaloa.
- Baker, J.E. 1975. Morphological changes during maturation and senescence. En: Postharvest physiology handling and utilization of tropical and subtropical fruits and vegetables. Pantastico ER. B., Editor. The AVI Publishing Company, Inc. Westport Connecticut. P. 141-147

Baldwin E.A., Burns J.K., Kazokas W., Brecht J.K., Hagenmaier R.D., Bender R.J. y Pesis E. 1999. Effect of two edible coating with different permeability characteristics on mango (*Mangifera indica* L.) ripening during storage. *Postharvest Biology and Technology*. 17:215-226.

Barrs, H.D. 1968. Determination of water deficits in plant tissue. En: *Water deficits and plant growth*. Vol. 1. Development, control and measurement. T.T. Kozlowsky Editor. Academic Press, New York. P. 235-368.

Beecher, T.M., Magan N. y Burton K.S. 2001. Water potentials and soluble carbohydrate concentrations in tissue of freshly harvest and storage mushrooms (*Agaricus bisporus*). *Postharvest Biology and Technology*. 22:121-131.

Ben-Yehoshua, S. 1969. Gas exchange, transpiration, and the commercial deterioration in storage of orange fruit. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 94:524-524.

Ben-Yehoshua, S. 1987. Transpiration, water stress, and gas exchange. En: *Postharvest physiology of vegetables*. J. Weichman. Ed. Marcel Dekker, Inc. New. York. Pp.113-170.

Ben-Yehoshua, S. y Aloni B. 1974. Effect of water stress on ethylene production by detached leaves of Valencia orange (*Citrus sinensis* Osbeck). *Plant Physiology*. 53:863-865.

Bittelli, M., Flury M., Campell G.S. y Nichols E. 2001. Reduction of transpiration through application of chitosan. *Agricultural and Forest Meteorology*. 107:167-175.

Bosques, M. E. 1997. Índices de Cosecha. En: *Manejo poscosecha de mango*. R. Báez Sañudo, compilador. Empacadoras de Mango Exportación de Exportación A. C. México P. 8-13.

Bourne, M. C. 1980. Texture evaluation of horticultural crops. *HortScience* Vol. 51 (1):51-56.

Burdon, J. and Clark C. 2001. Effect of postharvest water loss on 'Hayward' kiwifruit water status. *Postharvest Biology and Technology*. 22:215-225.

CAADES, 2002. Cierre del ciclo de hortalizas 2000-2001. Información Básica. Exportación total de hortaliza.

Cameron, A.C. y Yang S.F. 1982. A simple method for the determination of resistance to gaseous diffusion in plant organs. *Plant Physiology*. 70:21-23.

- Chitarra, A.B. y Lajolo F.M. 1981. Phosphorylase, phosphatase, amilasa activity and starch breakdown during ripening of "Marmelo" banana. *J. Amer. Hort. Sci.* 106(5):579-584.
- Cid, M.C. 1999. Frutas y frutos secos. En: Alimentos, composición y propiedades. Astiasarán I. y Martínez A. Editores. Primera edición. McGraw-Hill- Interamericana. España, P- 169-190.
- Clydesdale, F. M. y Francis F.J. 1990. Pigmentos. En: Introducción a la ciencia de los alimentos. Fenemma, O.R. Editor. Editorial Reverte, S.A. Barcelona, España. P. 449-496.
- Connor, D.J., Legge N.J. y Turfer N.C. 1977. Water relation of mountain ash (*Eucalyptus reanans* F.) forests. *Austrian J. Plant Physiology*, 4:753-762.
- Cook, J. R. y Papendiek R.I. 1978. Role of water potential in microbial growth and development of plant disease, with special reference to postharvest pathology. *HortScience*. Vol. 13(5):559-564.
- Costa, F.M, Pham, T.A., Pimentel C., Pereyra R.R., Zuily-Fodil Y. y Laffray D. 2000. Difference in growth and water relations among *Phaseolus vulgaris* cultivars in response to induced stress. *Environmental and Experimental Botany*, 43:227-237.
- Davis, F.S. and Johnson C. R. 1982. Water stress, growth, and critical water potential of rabbiteye blueberry (*Vaccinium ashei* Reade). *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 107 (1):6-8.
- Decagón, 1990. Tru Psi operator's manual. Water relations analysis. USA. 21 p.
- DeEll, J.R., Vigneault C. y Lemerre S. 2000. Water temperature for hydrocooling field cucumbers in relation to chilling injury during storage. *Postharvest Biology and Technology*, 18:27-32.
- Díaz-Pérez, J.C. 1998a. Transpiration rates in eggplant fruit as affected by fruit and calyx size. *Postharvest Biology and Technology*, 13:45-49.
- Díaz-Pérez, J.C. 1998b. Empaque de berenjena (*Solanum melongena* L.) 'Clasica' y 'Japonesa' con películas plásticas. *Agrociencia*. Vol. 32 (1): 71-74,
- Díaz-Pérez, J., Araiza, E., Báez, M., García-Estrada, R.S., Muy M., y Siller, J. 1995. Uso de cubiertas plásticas y baja temperatura de almacenamiento para alargar la vida de anaquel de berenjena tipo "Japonesa". Memoria del VI congreso. Soc. Mexicana de Ciencias Hortícolas A.C. p.35

Edwards, M.E. y Blennerhassett R.M. 1990. The use of postharvest treatment to extend storage life and control postharvest wastage of honeydew melons (*Cucumis melo* L. var. *inodorus* Naud.) in cool storage. *Australian Journal of Experimental Agriculture*. 30:693-697.

Ehret, D.L. and Ho L.C. 1986. Effects of osmotic potential in nutrient solution on diurnal growth of tomato fruit. *J. Exp. Bot.* 37 (182):1294-1302.

El-Zoghbi, M. 1994. Biochemical changes in some tropical fruits during ripening. *Food Chemistry*. 49:33-37.

Esau, K. 1977. The fruit; Periderm. En: *Anatomy of seed plants*. 2nd. Edition. John Wiley & Son Inc. New York. P. 429-451;194-196; 87-88.

FAO. 2002. Food and Agriculture organization of the united nations. FAO Statistical database. <http://apps.fao.org/page/collections?subset=agriculture>

Galan, S.V. 1999. El cultivo de mango. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid-Barcelona-México. P. 31-48

Gnanasekharan, V., Shewfelt R.L. y Chinnan. 1992. Detection of color changes in green vegetables. *Journal of Food Science*. 57: 149-154.

Gómez-Lim, M.A. 1997. Postharvest physiology. En: *the mango: botany, production, and uses*. Litz R.E. Edited. CAB International. New York. PP. 225-445.

Greve, L.C., Shackel K.A., Ahmadi H., McArdle R.N., Gohlke J.L. y Labavitch J.M. 1994. Impact of heating on carrot firmness: Contribution of cellular turgor. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 42:2896-2899.

Hardenburg, R. 1990. The commercial storage of fruits, vegetables, and florist and nursery stocks. *Agriculture Handbook*. No. 66. P. 30.

Harker, F.R. y Hallett I.C. 1994. Physiological and mechanical properties of kiwifruit tissue associated with texture change during cool storage. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 119 (5):987-993.

Harker, F.R., Stec M.G., Hallett I.C. y Bennett C.L. 1997. Texture of parenchymatous plant tissue: a comparison between tensile and other instrumental and sensory measurements of tissue strength and juiciness. *Postharvest Biology and Technology*. 11:63-72.

Hartmann, H. T., Flocker E.J. y Kofranek A.M. 1981. Vegetable crops grown for fruits or seeds. En: Plant Science. Growth development, and utilization of cultivated plants. Prentice-Hall, Inc. New Jersey. P. 536-537.

Herppich, W.B, Mempel H. y Geyer M. 2000. Carrot water relations during postharvest: Effects on internal and external product quality. In: Integrated view of fruits & vegetables quality. Florkowski E.J., Prussia S.E. y Shewfelt R.L. Editors. Technomic Publishing Co., Inc. Lancastes-Basel. P. 64-72.

Hofman, P., Smith L.G., Joyce D.C., Johnson G.I. y Meiburg G. 1997. Bagging of mango (*Mangifera indica* cv. 'Keitt') fruit influences fruit quality and mineral composition. Postharvest Biology and Technology. 12:83-91.

Holcroft, D.M. and Mitcham E.J. 1996. Postharvest physiology and handling of litchi (*Litchi chinensis* Sonn). Postharvest Biology and Technology. Vol. 9:265-281.

Hsiao, T.C. 1990. Measurements of plant water status. In: Irrigation of agricultural crops. Stewart B.A and Nielsen D. R. Editors. American Society of Agronomy, Inc., Crop Science Society of America, Inc and Soil Science Society of America, Inc. Madison, Wisconsin USA. P. 243-279.

Hulme, A.C. 1971. The mango. En: The biochemistry of fruits and their products. Volume 2. Academic Press London and New York. PP. 233-253.

Hung, Y.C., Prusia S.E. y Ezeike G.O. 1999. Nondestructive firmness sensing using a laser air-puff detector. Postharvest Biology and Technology 16:15-25.

Hurley, S. 1999. What factor affect transpiration in dicotyledons?. MadSci Network:Botany. [www.madsci.org/posts/archives/mar99/920601027.B1.r.html](http://www.madsci.org/posts/archives/mar99/920601027.B1.r.html).

IFT, 1990. Quality of fruits and vegetables. Institute of Food Technologists. Food Technology. June. 99-106.

Ireta, O.A. y Guzmán, E.C. 2002. Guía técnica para la producción de mango en Sinaloa. INIFAP, Folleto técnico No. 22, Culiacán, Sinaloa. P.6-13.

Jacob, J., Subbarayan C. y Cama H R. 1970. Carotenoids in three stages of ripening of mango. Journal of Food Science. 35: 262-265.

Jenks, M. A. and Ashworth E. N. 1999. Plant epicuticular waxes: function, production, and genetics. Horticultural Reviews Vol. 23:1-68.

Johnson, R.W., Dixon, M.A. y Lee D.R. 1992. Water relation of the tomato during fruit growth. Plant Cell and Environmental. 15:947-953.



Jordan, W.R., P.W. Morgan, y T.L. Davenport. 1972. Water stress enhances ethylene-mediated leaf abscission in cotton. *Plant Physiology*, 22:185-196.

Ju, Z. and Bramlage W. J. 2001. Developmental changes of cuticular constituents and their association with ethylene during fruit ripening in 'Delicious' apples. *Postharvest Biology and Technology*, 21:257-263.

Kader, A. y Mitcham B. 1998. Procedimiento óptimo para la maduración de mango. En: *Maduración de frutos procedimientos y recomendaciones. Serie de Horticultura Postcosecha No. 95*. University of California, Davis, California. PP. 20-23B.

Kader, A. 2002. *Postharvest technology of horticultural crops*. University of California, Agriculture and Natural Resources. Publication 3311. Third edition. P. 39-55; 135-145; 279-286.

Kane, O., Boulet M. y Castaigne F. 1982. Effect of chilling-injury of texture and fungal rot of mangoes (*Mangifera indica* L.). *Journal of Food Science*. Vol. 47. P. 992-995.

Kays, S.J. 1999. Preharvest factors affecting appearance. *Postharvest Biology and Technology*, 15:233-247.

Kramer, P.J. 1974. El agua y el papel que desempeña en las plantas. En: *Relaciones hídricas de suelos y plantas*. EDUTEX, S.A. México. D.F. P. 1-50.

Ketsa, S. 1990. Effect of fruit size on weight loss and shelf life of tangerines. *Journal of Horticultural Science*, 65(4):485-488.

Kim, J., Solomos T. y Gross K. 1999. Changes in cell wall galactose and soluble galactose content in tomato fruit in low oxygen atmospheres. *Postharvest Biology and Technology*, 17:33-34.

Kirkham, M.B. 1990. Plant responses to water deficits. In: B.A. Stewart y D.R. Nielsen (eds) *Irrigation of agricultural crops ASA-CSSA-SSSA*, Madison, WI, USA. Agronomy Monograph no. 30, pp.323-342.

Koide, R.T., Robichaux R.H., Morse S.R. y Smith C.M. 1991. Plant water status, hydraulic resistance and capacitance. En: *Plant physiological ecology*. Percy R.W., Ehleringer J.R., Mooney H.A. y Rundel P.E. Editors, Chapman and Hall. London. P. 161-183.

Kolattukudy. P.E. 1984. Natural wax in fruits. *Post Harvest Pomology Newsletter* 2(2):3-7.

- Landrigan, M., Morris S.C, Eamus D. y McGlasson W.B. 1996. Postharvest water relationships and tissue browning of rambutan fruit. *Sci. Horticulture*. 66:201-208.
- Lakshminarayana, S. 1980. Mango. En: Tropical and subtropical fruits. Nagy S. y Shaw P.E. Editors. AVI Publishers. New York. PP. 184-257.
- Lau, O.L. y Meheriuk M. 1994. The effect of edible coating on storage quality of McIntosh, delicious and Spartan apples. *Canadian Journal of Plant Science*. 74:847-852.
- Lazan, H., Mohd Z., Mohd A. and Bee G. 1987. Influence of water stress on cold-induced sweetening in leafy vegetable, *Brassica juncea* L. *Journal of Food Science* 52(5):1289-1292.
- Lederman, Ildo E., Zauberman Giora, Weksler Asya, Rot Ilene and Fuchs Yoram. 1997. Ethylene-forming capacity during cold storage and chilling injury development in "Keitt" mango fruit. *Postharvest Biology and Technology*. 10:107-112.
- Leonardi, C., Guichard S. y Bertin N. 2000. High vapor pressure deficit influences growth, transpiration and quality of tomato fruits. *Scientia Horticulturae*. 84:285-296.
- Lehninger, A.L. 1981. El agua. En: Bioquímica. Segunda edición. Ediciones Omega, S.A. Barcelona, España. P. 41-58.
- Leonardi, C., Guichard S. y Bortin N. 2000. High vapor pressure deficit influence growth, transpiration and quality of tomato fruits. *Scientia Horticulturae* 84:285-296.
- Littmann, M.D. 1972. Effect of water loss on the ripening of climacteric fruits. *Queenly J. Agric. Anim. Sci.* 29:103-113.
- López, S., Maroto J.V., Bautista A.S., Pascual B. y Alagarda J. 2000. Qualitative changes in pepino fruits following preharvest applications of ethephon. *Scientia Horticulturae*. 83:157-164.
- Lownds, N.K., Banaras M. and Bosland P.W. 1993. Relationships between postharvest water loss and physical properties of pepper fruits (*Capsicum annum* L.). *HortScience* Vol. 28 (12):1182-1184.
- Maldwin, E.A., Burns J.K., Kazokas W., Brecht J.K., Hagenmaier R.D., Bender R.J. y Pesis E. 1999. Effect of two edible coating with different permeability characteristics on mango (*Mangifera indica* L.) ripening during storage. *Postharvest Biology and Technology*. 17:215-226.

- Maguire, K. M., Banks N. H. and Opara L. U. 2001. Factors affecting weight loss of apples. *Horticultural Reviews* 25:197-234.
- Maguire, K. M, Banks N. H. and Lang A. 1999. Sources of variation in water vapor permeance of apple. *Postharvest Biology and Technology*. 17:11-17.
- Marcelis, L.F. 1994. Fruit shape in cucumber as influenced by position within the plant, fruit load and temperature. *Science Horticulturae*. 56:309-320.
- Martin, J.T. and Juniper B.E. 1970. *The cuticles of plants*. New York. St. Martin's Press. P. 9; 184-185; 193;
- Mata, B.I. y Mosqueda R.V. 1995. *La producción de mango en México*. Editorial Uteha. Noriega Editores. México. P11-38.
- McBean, D., Joslyn M.A. and Nury F.S. 1971. Dehydrated fruit. In: *The biochemistry of fruits and their products*. A.C. Hulme editor. Volume II. Academic Press London and New York. P. 639-641.
- McGuire, R.G. 1992. Reporting of objective color measurements. *HortScience* Vol. 27(12):1254-1255.
- McGregor, B.M. 1987. Tropical products transport handbook. *Agriculture Handbook*. No. 668. Washington, D.C. P. 70.
- McGuire, R.G. 1992. Reporting of objective color measurements. *HortScience*. Vol. 27(12):1254-1255.
- Medlicott, A. 1996. Postharvest handling of mango. *Global Agribusiness Information Network*, <http://www.fintrac.com/gain/guides/ph/mango.htm>. Julio. PP. 1-6.
- Medlicott, A.P., N'Diaye M. y Sigrist J.M. 1990a. Harvest maturity, concentration and exposure time to acetylene influence initiation of ripening in mango. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 115 (3):426-430.
- Medlicott, A.P., Sigrist J.M. y Sy O. 1990b. Ripening of mango following low-temperature storage. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 115(3):430-434.
- Mizrach A., Flitsanov U., Schmilovitch Z. y Fuchs Y. Determination of mango physiological indices by mechanical wave analysis. *Postharvest Biology and Technology*. 16:179-186.
- Musmade, A.M. y Desai U.T. 1998. Cucumber and melon. 1999. En: *Handbook of vegetables science and technology*. B.K. Salunke y S.S. Kadam Editores. Marcel Dekker, Inc. New York. P. 245-253.

Nanda, S., Sudhakar D.V., Krishnamurthy S. 2001. Effects of shrink film wrapping and storage temperature on the shelf life quality of pomegranate fruits cv. Ganesh. *Postharvest Biology and Technology*. 22:61-69.

Nussinovitch, S.H. 2000. Galactomannans in disturbances of structured wax-hydrocolloid-based coatings of citrus fruit (easy-peelers). *Food Hydrocolloids*. 14:561-568.

Nussinovitch, S.H. 2001. Permeability and roughness determinations of wax-hydrocolloid coating, and their limitations in determining citrus overall quality. *Food Hydrocolloids*. 15:127-137.

Ontiveros, S.M., Cruz L.A. y Báez R. 1997. Inspección de calidad. En: Manejo poscosecha de mango. Reginaldo Báez Sañudo. Copilador. Empacadora de Mango de Exportación, A.C. PP. 71-79.

Orozco, F. 1989. Teoría general de acidimetría y alcalimetría. En: Análisis químico cuantitativo. Cap. 13. Editorial Porrúa, S.a. P. 183-202.

Palmer, J.K. 1971. The banana. In: The biochemistry of fruits and their products. A.C. Hulme editor. Volume II. Academic Press London and New York. P. 76-79.

Patakas, A. y Noitsakis B. 2001. Leaf age effects on solute accumulation in water-stressed grapevines. *Journal of plant Physiology*. 158:63-69.

Paull, R. 1999. Effect of temperature and relative humidity on fresh commodity quality. *Postharvest Biology and Technology*. 15:263-277.

Pearcy, R.W., Ehleringer J.R., Mooney H.A. y Rundel P.W. 1991. Plant physiology ecology. Field Methods and Instrumentation. Chapman and Hall Company. New York. P. 430-431.

Pect, M.N. 1992. Fruits cracking in tomato. *HortTechnology*. April/June. 2(2):216-223.

Pomper, W.K. y Breen P. 1997. Expansion and osmotic adjustment of strawberry fruits during water stress. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 122(2):183-189.

Production Guides, 2002. Slicing (fresh market) cucumbers. Commercial vegetables. Oregon state University. [www.orst.edu/Dept/NWREC/slicing.html](http://www.orst.edu/Dept/NWREC/slicing.html)

Productores de Hortalizas. 2002. Cucurbitáceas. Guía dorada de semillas. No. 3.

Prohens, J. y Nuez F. 1998. Strategies for breeding a new greenhouse crop, the pepino (*Solanum muricatum* Aiton). *Canadian Journal of Plant Science*. 79:269-275.

- Purvis, A.C. 1994. Interaction of waxes and temperature in retarding moisture loss from and chilling injury of cucumber fruit during storage. *Proc. Fla. State Hort. Soc.* 107:257-260.
- Raviv, M. y Blom T. 2001. The effect of water availability and quality on photosynthesis and productivity of soilless-grown cut roses. *Scientia Horticulturae*. 88:257-276.
- Reid, M. 2002. Ethylene in postharvest technology. In: *Postharvest technology of horticultural crops*, Adel A. Kader, Editor. University of California, Agricultural and Natural Resources. Publication 3311. P. 149-162.
- Ryall, L.A. y Lipton W. 1982. Refrigerated storage. En: *Handling transportation and storage of fruits and vegetables*. Vol. 1. AVI Publishing Company, INC. Westport, Connecticut. P. 293-306.
- Rhizopoulou, S. 1996. Is negative turgor fallacious?. *Physiology Plantarum* 99:505-510.
- SAGARPA. 2002a. Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera. Producción agrícola en Sinaloa. Año 2000.
- SAGARPA. 2002b. Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera. Producción y valor de mango en México. En *Agroenlínea.com*.
- SAGARPA. 2002c. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Anuario estadístico de la producción agrícola.
- Salisbury, F.B. and Ross C.W. 1994. Difusión, termodinámica y potencial hídrico. En: *Fisiología vegetal*. Grupo editorial Iberoamérica, S.A de C.V. México D.F. P. 29-46.
- Salunkhe, D.K. y Desai B.B. 1984. Cucumber, melón, pumpink and squash. In: *Postharvest biotechnology of vegetables*. Volume II. CRC Press, Inc. Boca Ratón, Florida. P. 64-70.
- Schmilovitch, Z., Mizrach A., Hoffman A., Egozi H. y Fuchs Y. 2000. Determination of mango physiological indices by near-infrared spectrometry. *Postharvest Biology and Technology*. 19:245-252.
- Schonherr, J. 1976. Water permeability of isolates cuticular membranes: the effect of cuticular waxes on diffusion of water. *Planta*. 131:159-164.
- Seymour, G.B., N'Diaye M., Wainwright H. y Tucker A. 1990. Effects of cultivars and harvest maturity on ripening of mangoes during storage. *Journal of Horticultural Science*. 64(4):479-483.

Shackel, K.A., Greve C., Labavitch J.M. y Ahmadi H. 1991. Cell turgor changes associates with ripening in tomato pericarp tissue. *Plant Physiology*. 97:814-816.

Sharp, J.L., Ouye M.T., Ingle S.J. y Hart W. 1989. Hot-water quarantine treatment for mangoes from Mexico infested with Mexican fruit fly and west Indian fruit fly (Diptera:Tephritidae). *Journal of Economic Entomology*. Vol. 82(6):1657-1661.

Shibairo, S.I., Upadhyaya M.K. y Toivonen P.M. 1997. Postharvest moisture loss characteristics of carrot (*Daucus carota* L.) cultivars during short-term storage. *Scientia Horticulturae* 71:1-12.

Shirazi, A. y Cameron A. 1993. Measuring transpiration rates of tomato and other detached fruit. *HortScience*. 28(10):1035-1038.

SIAP. 2002. Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera. Avance de Siembra y cosecha ciclo 2001-2002. Vinculado con SAGARPA en los Estados (SIACAP).

Siller-Cepeda, J., Muy-Rangel D., Báez-Sañudo M. y Araiza-Lizarde E. 2002. Calidad poscosecha de cultivares de mango de maduración temprana, intermedia y tardía. *Enviado Fitotecnia*.

Siller-Cepeda, J., García E. R., Muy R. D., Carrillo F. A. 2000. 1-metilciclopropano (1-MCP) regula la velocidad de maduración y la vida de anaquel de frutos de mango. ROMAN HASS CO. CIAD/DUC/TR/10/00.

Silva, F.M., Chau K.V., Brecht J.K. y Sargent S.A. 1999. Modified atmosphere packaging for mixed loads of horticultural commodities exposed to two postharvest temperatures. *Postharvest Biology and Technology*. 17:1-9.

Spomer, L.A. 1985. Techniques for measuring plant water. *HortScience* 20:1021-1028.

Spychalla, J.P., Desborough S.L. 1990. Fatty acids, membrane permeability, and sugars of stored potato tubers. *Plant Physiol*. 94:1270-1213.

Suslow, T. y Cantwell M. 1997. Cucumber. Produce facts. Perishables Handling No. 90. University of California, Davis. USA.

TIFAC. 2002. Technology Information, Forecasting & Assessment Council. Información mundial de países productores de frutas y Hortalizas. <http://dst.gov.in/autoinst/tifac.htm>

Thomas, P. 1975. Effect of post-harvest temperature on quality carotenoids and ascorbic acid content of Alphonso mangoes on ripening. *Journal of Food Science*. 40:704-706,

Thomas P. y Oke M.S. 1983. Improvement in quality and storage of 'Alphonso' Mangoes by cold adaptation. *Scientia Horticulturae*, Vol. 19. P. 257-262.

Thompson, A.K. 1971. The storage of mango fruits. *Trop. Agric. (Trinidad)*. Vol. 48, No.1, January. P. 63-70.

Tinoco, I., Sauer K. y Wang J.C. 1980. *Fisicoquímica, principios y aplicaciones en las ciencias biológicas*. Prentice-Hall Hispanoamericana, S.A. México-Englewood Cliffs. P. 184-193.

Turner, N.C. 1981. Techniques and experimental approaches for the measurement of plant water status. *Plant and Soil*. 58:339-366.

Tyree, M.T. 1976. Negative turgor in plant cells: fact or fallacy?. *Can. J. Bot.* 54:2738-2746.

Underhill, S.J.R. and Critchley C. 1993. Physiological, biochemical and anatomical changes in lychee (*Litchi chinensis* Sonn.) pericarp during storage. *Journal of Horticultural Science*. Vol. 68(3):327-335.

Underhill, S.J.R. and Critchley C. 1992. The physiological and anatomical of lychee (*Litchi chinensis* Sonn.) pericarp during fruits development. *Journal of Horticultural Science*. Vol. 67(4):437-444.

Underhill, S.J.R. and Simons D.H. 1992. Lychee (*Litchi chinensis* Sonn.) pericarp desiccation and the importance of postharvest micro-cracking. *Scientia Horticulturae*. Vol. 53:287-294.

va Doon, W. G. 1997. Water relation of cut flowers. *Horticultural Reviews*. Vol. 18:2-68.

van den Berg, L. y Lentz P. 1971. High humidity storage of carrots, parsnips, rutabagas, and cabbage. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 98(2):129-132.

Wang, Z. y Stutte G.W. 1992. The role of carbohydrates in active osmotic adjustment in apple under stress- *J. Amer. Hort. Sci.* 117(5):816-823.

Walter, W.M., Empley D. and Mefeeters R.F. 1990. Effect of water stress on storage pickling cucumbers. *J. Agric. Food Chem.* 38:2185-2191.

Wills, Ron, McGlasson Barry, Graham Doug and Joyce Daryl. 1998. Water loss and humidity. En: Postharvest. An introduction to the physiology & handling of fruits, vegetables & ornamentals. CAB International. Hyde Park Press, Adelaide, South Australia. P. 77-96.

Williams, G.D. and Brochu J. 1969. Vapor pressure deficit vs. relative humidity for expressing atmospheric moisture content. In: Vegetables as living products respiration and heat production. Handling, transportation and storage of fruits and vegetables. Volume 1. Ryall A.L. y Lipton W. Editor. AVI Publishing Company, Inc. Westport, Connecticut. P. 17.

[www.oznet.ksu.edu/dp\\_hfrr/extensn/problems/Potato\\_Enlarged\\_Lenticels.htm](http://www.oznet.ksu.edu/dp_hfrr/extensn/problems/Potato_Enlarged_Lenticels.htm)

[www.botgard.ucla.edu/html/botanytextbooks/generalbotany/barkfeatures/lenticels.htm](http://www.botgard.ucla.edu/html/botanytextbooks/generalbotany/barkfeatures/lenticels.htm)

[www.botany.hawaii.edu/faculty/webb/bot311/PlnatCellWalls00/Cutin.htm](http://www.botany.hawaii.edu/faculty/webb/bot311/PlnatCellWalls00/Cutin.htm)

Yakushiji, H., Nonami H., Fukuyama T., Ono S., Takagi N. y Hashimoto Y. 1996. Sugar accumulation enhanced by osmoregulation in satsuma mandarin fruits. J. Amerc. Soc. Hort. Sci. 12(3):466-472.

Yang, S.F. 1980. Regulation of ethylene biosynthesis. HortScience. 15(3):238-243.

Zagory, D. y Kader A.A. 1989. Quality maintenance in fresh fruits and vegetables by controlled atmospheres. En: Quality factors of fruits and vegetables. Symposium series 405. Cap. 14. Joseph J. Jen. Editor. American Chemical Society. Washington, D.C. P.174-188.



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

**EFFECT OF STORAGE CONDITIONS AND WAXING ON THE WATER  
STATUS AND POSTHARVEST QUALITY OF SLICING CUCUMBER FRUITS**

Muy Rangel D.<sup>1</sup>, Siller Cepeda J.<sup>1</sup>, Díaz Pérez J.<sup>2</sup>, García Estrada R.<sup>1</sup> y Osuna Enciso T.<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. Unidad Culiacán. Apdo. postal 32-A, Culiacán, Sinaloa, México. 80129. E-mail: [duc@ciad.edu.mx](mailto:duc@ciad.edu.mx). <sup>2</sup> University of Georgia, Tifton GA. USA.

## RESUMEN

La influencia que las condiciones de almacenamiento y la aplicación de cera tienen en el estatus hídrico y la calidad poscosecha de frutos de pepino (*Cucumis sativus* L.) cv. Conquistador fueron investigadas, para generar modelos matemáticos 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 monitoreo la pérdida de peso diaria y acumulativa, la firmeza, los potenciales hídrico ( $\Psi_w$ ), osmótico ( $\Psi_s$ ) y de presión ( $\Psi_p$ ); así como los sólidos solubles totales y el contenido relativo de agua (CRA). Los primeros síntomas de pérdida de calidad (marchitamiento) se mostraron cuando los frutos alcanzaron un 6% de pérdida de peso, independiente de las condiciones de DPV o la aplicación de cera. La aplicación 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. Frutos encerados en condiciones de baja humedad relativa (DPV=1.26 KPa), alcanzaron el 6% de pérdida de peso a los seis días. Los frutos (con o sin cera) bajo condiciones de alta humedad relativa (DPV=0.2 KPa), nunca alcanzaron estos valores. Los potenciales hídrico, osmótico y de presión iniciales en el fruto mostraron valores de -0.4 MPa, 0.6 MPa y 0.2 MPa, respectivamente. Durante almacenamiento los frutos generaron valores más negativos en el  $\Psi_w$  y  $\Psi_s$ , particularmente en condiciones de baja humedad relativa. El contenido relativo de agua (CRA) disminuyo arriba del 10% durante el almacenamiento. Valores inferiores al 88% de CRA, indicaron plasmólisis celular, al disminuir el  $\Psi_p$  a valores negativos. Valores más negativos de  $\Psi_s$  estuvieron asociados con incrementos en los sólidos solubles totales.

Palabras claves: *Cucumis sativus* L., potenciales hídricos, déficit de presión de vapor, contenido relativo de agua, calidad poscosecha.

## SUMMARY

The influence of storage conditions and waxing on the water status and postharvest quality of slicing cucumber fruits (*Cucumis sativus* L.) cv. Conquistador were investigated to develop a mathematical model to predict quality and shelf-life. Fruits were stored under six different conditions (vapor pressure deficits from 0.19 to 1.26 KPa). Daily and cumulative water loss, firmness, water potential ( $\Psi_w$ ), osmotic potential ( $\Psi_s$ ), pressure potential ( $\Psi_p$ ), relative water content (RWC) and total soluble solids ( $^{\circ}$ Brix) were monitored. First symptoms of detrimental quality (shriveling) were observed when the fruits reached 6 % of cumulative weight loss, independent of the storage conditions and wax application. Waxed fruits reduced daily weight loss on 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 the development of a regression model to estimate weight loss. Waxed fruits stored under low relative humidity (VPD=1.26 KPa) reached 6% of cumulative weight loss after six days. Fruits (with or without wax) stored under high relative humidity (VPD=0.2 KPa) never reached that value. Initial fruit values for  $\Psi_w$ ,  $\Psi_s$ , and  $\Psi_p$  were -0.4, - 0.6, +0.2Mpa, respectively. Water loss during storage generated a more negative  $\Psi_w$  and  $\Psi_s$  values, specially under low humidity conditions. RWC was reduced more than 10% during the storage period. RWC values under 88% indicated plasmolysed tissue, as the  $\Psi_p$  drops to negative values. Reduction on the  $\Psi_s$  (more negative) was associated with an increase on total soluble solids.

Key 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 dentro de las hortalizas exportadas, superado solamente por el tomate (Siller, 1999). Sinaloa ha ocupado el primer lugar en la superficie plantada de esta hortaliza en los últimos años. Para el 2001, se plantaron alrededor de 6,000 ha. de esta

hortaliza en Sinaloa (CAADES, 2002). El fruto del pepino pertenece a la familia de las Cucurbitáceas, se cosecha en estado de desarrollo inmaduro y presenta en promedio un 96% de agua en sus tejidos (Musmade y Desai, 1998).

Los principales problemas poscosecha que se presentan en pepino son la pérdida de la turgencia, debido principalmente a la pérdida de agua ocasionada por la transpiración y la respiración del fruto. Esto en consecuencia, ocasiona un marchitamiento y una reducción de su consistencia. De igual manera, pero en menor intensidad, la degradación de la clorofila y la síntesis de xantofilas afectan la calidad del fruto en poscosecha (Suslow y Cantwell, 1997). Para reducir estos problemas, los productores emplean tecnologías durante los procesos de selección, posterior al lavado y secado de la fruta, que consisten en la aplicación de ceras naturales sobre la parte superficial del fruto, con el objetivo de reducir la transpiración, mejorar la apariencia y mantener la calidad comercial.

La velocidad de deterioro de los productos hortofrutícolas después de ser cosechados se encuentra asociada al manejo que recibe, así como a las condiciones de almacenamiento, transporte y mercadeo. Dentro de las condiciones de almacenamiento, la temperatura, al igual que la humedad relativa, 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 parámetros, genera otra condición conocida como déficit de presión de vapor de agua (DPV) (Shibairo *et al.*, 1997). Esta variable se puede calcular usando como referencia la saturación de la presión de vapor al 100% (Pearey *et al.*, 1991).

La pérdida del 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). Walter *et al.* (1990), reportan que los frutos de pepino encerados presentan una pérdida de agua de  $0.17 \text{ mg}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$  a un DPV 0.1 KPa

El estado hídrico de un tejido expresa las condiciones que guarda el agua en la planta o en el fruto en función a sus requerimientos fisiológicos y se expresa en los términos de contenido de agua y potencial hídrico (Hsiao, 1990). Los niveles elevados del contenido hídrico y menos negativos del potencial hídrico, denotan frutos firmes y turgentes (Herppich *et al.*, 2000). El potencial hídrico ( $\Psi_w$ ), participa en expresar la cantidad de energía en forma de trabajo que puede generar el agua para realizar una función (Salisbury y Ross, 1994; Koide *et al.*, 1991). De esta manera, se establece el movimiento del agua en el sistema y puede ser determinada considerando la cantidad de solutos y de agua.

Los frutos de pepino presentan valores de  $\Psi_w = -0.594$  MPa al momento de corte. Durante el almacenamiento por 14 días a 15.5°C y 63% de HR muestran valores más negativos del potencial hídrico en comparación con los frutos expuestos a 93% de HR (Walter *et al.*, 1990).

A pesar de la importancia que tienen los valores de DPV en las cámaras de almacenamiento y el contenido de agua o estatus hídrico de los frutos en determinar su vida de anaquel, existen pocos estudios que relacionen ambos parámetros y que arrojen información práctica que permita al agricultor tomar decisiones para mantener la calidad de sus productos hortícolas. Por tal motivo, el objetivo de este estudio fue investigar el efecto que tienen las condiciones de almacenamiento (DPV) y el encerado en el estatus hídrico y la calidad poscosecha, de tal manera que esta información nos permitiera generar modelos matemáticos para predecir la vida de anaquel de frutos de pepino.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se seleccionaron frutos de pepino del cv. Conquistador de un empaque comercial ubicado en La Cruz de Elota, Sinaloa, México. Para generar el modelo de predicción de vida de anaquel de los frutos de pepino, se separaron los frutos en doce lotes de 80 frutos cada uno, con dos repeticiones. La mitad de los frutos (seis lotes), fueron encerados manualmente con la cera comercial Decco®, (frutos encerados); mientras que la otra mitad de los frutos (seis lotes) no fueron encerados (frutos testigo). Los frutos sin y con

cera fueron posteriormente almacenados en cámaras de almacenamiento de 14 m<sup>3</sup> de capacidad a una temperatura de 24 ± 2°C. En el interior de las cámaras se colocaron contenedores de 0.231 m<sup>3</sup> de capacidad, para mantener condiciones diferentes de DPV. Las condiciones de DPV fueron logradas utilizando 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 evaluaron la pérdida de peso y la transpiración de los frutos durante 14 días. Una vez generado el modelo matemático, se seleccionaron tres condiciones de DPV (0.2, 0.94 y 1.26 KPa), para analizar cada cuatro días el contenido relativo de agua (CRA,%), la firmeza (mm de deflexión), el contenido de sólidos solubles (°Brix) y los potenciales hídrico, osmótico y de presión (MPa), .

#### **Pérdida de Peso**

Se registró diariamente el peso de 10 frutos. La pérdida de peso se expresó en porcentaje diario y/o acumulativo, relacionando el peso final al peso inicial, según lo recomendado por Díaz-Pérez (1998).

#### **Firmeza**

La firmeza se determinó por compresión aplicando una fuerza de 5 Kg-f en la parte central del fruto entero, utilizando 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 como los milímetros de deformación alcanzados en cada muestreo al aplicar la fuerza (Bourne, 1980).

#### **Sólidos Solubles Totales**

Esta evaluación se realizó siguiendo las metodologías propuestas por la AOAC (1998). Los sólidos solubles se midieron del extracto utilizado para potencial osmótico, utilizando un refractómetro ABBE Leica Mark II con temperatura compensada. Los resultados del contenido de sólidos solubles totales se expresaron como °Brix.

### Potencial Hídrico ( $\Psi_w$ )

Para medir esta variable se utilizó 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 0.15 M). A estas soluciones se les determinó el valor de su potencial osmótico mediante la ecuación  $\Psi_s = -C_iRT$ ; donde  $C_i$  es la concentración molal de la sacarosa. Bajo estas circunstancias, el potencial de presión es igual a cero, y por lo tanto el  $\Psi_w = \Psi_s$ . (Salisbury y Ross, 1994). Las muestras se dejaron en reposo durante 2.0 horas, se retiraron de la solución, se secaron del agua excedente de la superficie y se registro el peso. Posteriormente se grafico el valor del  $\Psi_s$  vs. el peso ganado o perdido. La muestra en donde no se gano o perdió peso a una concentración de sacarosa conocida, correspondió a su potencial hídrico (Salisbury y Ross, 1994).

### Potencial Osmótico ( $\Psi_s$ )

Se determinó utilizando un osmómetro de presión de vapor Wescor modelo 5520 de acuerdo a la metodología propuesta por Turner (1981). Diez  $\mu\text{L}$  de savia del fruto fueron colocados en un disco de papel filtro de  $0.32 \text{ cm}^2$ , instalado previamente en la cámara de muestra del equipo. La savia se obtuvo de trozos de frutos de pepino congelados a  $-20^\circ\text{C}$  y posteriormente 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 mmol/kg de NaCl (según el orden de calibración). Los resultados obtenidos fueron de concentración en mmol/kg. La conversión de molalidad a potencial osmótico se llevo a cabo considerando la ecuación de Van't Hoff, en donde  $(\Psi_s) = -C_iRT$ . (Salisbury y Ross, 1994).

### Potencial Presión ( $\Psi_p$ )

Se calculó mediante utilizando la ecuación  $\Psi_w = \Psi_s + \Psi_p$  (Turner, 1981), por diferencia del potencial hídrico y el osmótico ( $\Psi_p = \Psi_w - \Psi_s$ ).

### Contenido Relativo de Agua (CRA)

El contenido relativo de agua fue determinado de acuerdo a la metodología de Pomper y Breen (1997) con algunas modificaciones. Con un sacabocados se cortaron discos de

20 mm de diámetro de tejido vegetal los cuales se pesaron en una balanza digital Mettler Toledo modelo PR80, para obtener el peso fresco ( $P_f$ ). Después, los discos fueron colocados en vasos de precipitado con agua destilada a temperatura ambiente ( $25 \pm 2^\circ\text{C}$ ) y se dejaron saturar por un período de 2.15 h (tiempo suficiente para lograr absorber el 100% de agua por el tejido). Posteriormente, los discos fueron sacados del vaso, eliminando el exceso de agua de la superficie con papel secante y se pesaron de nuevo registrando el peso turgido ( $P_t$ ). Finalmente, las muestras fueron secadas en una estufa de calor seco a  $75^\circ\text{C}$  durante 48 horas y nuevamente pesadas, para determinar el peso seco ( $P_s$ ). El CRA se determinó con la ecuación:  $\text{CRA (\%)} = [(P_f - P_s) / (P_t - P_s)] * 100$ .

### **Diseño de Experimento**

Se realizó un diseño completamente al azar. Para las pruebas destructivas (CRA, potenciales, firmeza y °Brix) se utilizó un arreglo factorial en bloques aleatorizados completos. Mientras que para las variables no destructivas (pérdida de peso) se usó un arreglo de factores cruzados y anidados en bloques, considerando a la cera y el tiempo como factores y como bloque a los DPV. Al analizar el ANOVA y encontrar diferencia significativa, se realizó la separación de medias mediante la prueba de comparación de Tukey con una probabilidad de error del 5%. Para esto, se utilizó un programa estadístico computacional (MINITAB, 2002).

## **RESULTADOS Y DISCUSIONES**

### **Pérdida de Peso**

Se observó un efecto significativo en el porcentaje de pérdida de peso acumulado durante el estudio, entre los frutos de pepino sin encerar (testigos) y los frutos encerados, así como entre los frutos de un mismo tratamiento almacenados bajo diferentes condiciones de DPV. La Figura 1a, muestra el comportamiento en la pérdida de peso durante el estudio en los frutos sin encerar (testigo). La gráfica muestra claramente el beneficio de mantener valores bajos de DPV (0.2 KPa) para reducir la pérdida de agua de los frutos.



A valores altos de DPV (0.94 y 1.26 KPa), los frutos pierden agua más rápido y en mayores cantidades. La aplicación de ceras comerciales (Figura 1b, frutos encerados) redujo significativamente la pérdida de agua en las tres condiciones de DPV, en comparación con los frutos testigos (Figura 1a). A valores bajos de DPV (0.2 KPa), los frutos pierden agua más despacio y en menores cantidades.

Los primeros síntomas de marchitamiento asociados con la pérdida de calidad comercial de los frutos de pepino se observaron cuando los frutos alcanzaron un 6% de pérdida de peso. La línea punteada en la gráfica denota cuando alcanzaron los frutos un 6% de pérdida de peso acumulada en los diversos tratamientos, lo cual desmerito su apariencia y por ende su calidad comercial. En la Figura 1 a y b se marcan con una flecha, los días en que ocurrieron los primeros síntomas de marchitamiento en los frutos de pepino con y sin cera, almacenados a diferentes condiciones de DPV. En frutos testigo (sin cera) almacenados en condiciones de baja humedad relativa (DPV = 1.26 KPa), estos valores se alcanzaron a los tres días (Figura 1a), mientras que cuando los frutos fueron encerados, este valor se alcanzó a los seis días (Figura 1b). En los frutos almacenados a un DPV de 0.94 KPa, los síntomas se expresaron a los cinco y ocho días en los frutos testigo y encerados, respectivamente. Por el contrario, los frutos de pepino con y sin cera expuestos a las condiciones mas altas de humedad relativa (bajo DPV = 0.2 KPa), no alcanzaron el 6% de pérdida de peso, ni mostraron síntomas de marchitamiento durante el tiempo en que se desarrollo el experimento.

Ben-Yehoshua, (1987) estudiando la pérdida de peso en frutos de pepino menciona que cuando los frutos alcanzan pérdidas de peso superiores al 5%, la calidad comercial se desmerito. Otros autores mencionan que los síntomas de pérdida de agua llegan a ser evidentes cuando los productos han perdido entre el 5 y el 10% de su peso debido a la transpiración, dependiendo el porcentaje exacto de su estructura (Ryall y Lipton, 1982). Nuestros resultados acerca de a que porcentaje de pérdida de peso se presentan los primeros síntomas de marchitamiento, en particular cuando los frutos son almacenados bajo diferentes condiciones de DPV, se encuentran dentro del rango citado por Ryall and

Lipton (1982), y difieren ligeramente (1%) con los datos reportados para pepino por Ben-Yehoshua (1987).

La relación de la pérdida de peso diaria ( $\% \cdot \text{día}^{-1}$ ) en función de las condiciones de almacenamiento expresadas como valores de DPV, se muestra en la Figura 2 para los frutos testigo y encerados. Las pendientes obtenidas en el gráfico del modelo de regresión, muestran que los frutos testigo presentan valores mayores comparado con los frutos encerados, indicando una mayor velocidad de pérdida de peso en los frutos sin cera, en comparación con los frutos encerados (Figura 2). En frutos testigo (sin cera) se pueden obtener valores inferiores a  $0.4 \% \cdot \text{día}^{-1}$  cuando son expuestos a condiciones de almacenamiento por debajo de 0.4 KPa, mientras que en los frutos encerados, estos valores aún se pueden obtener cuando son almacenados bajo condiciones de DPV debajo de 0.68 KPa (Figura 2).

Los datos 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. Amarante y Banks (2001), mencionan que la aplicación de cubiertas externas, bloquea los poros de la piel, reduce la permeabilidad al vapor del agua y el intercambio de gases del fruto.

Algunos autores han mostrado que la diferencia en DPV durante el almacenamiento de champiñones, acelera o reduce la translocación del agua en lo tejidos y puede afectar la velocidad de respiración y la expansión del tejido (Beecher *et al.*, 2001). De igual manera, nuestros datos muestran que las diferencias en DPV regulan la velocidad y cantidad de pérdida de agua del fruto, alterando su calidad. Si las condiciones de almacenamiento de los frutos de pepino presentan valores altos de DPV, se acelera la pérdida de agua, el tejido del fruto se observa esponjoso (datos no mostrado) y la capacidad de deflexión se incrementa (Figura 3).

En pepino almacenado a  $15^{\circ}\text{C}$  y 55 %HR (DPV=0.76 KPa, usando tablas de Pearcey *et al.*, 1991), se reporta una pérdida de peso de  $0.4 \% \cdot \text{día}$ , la cual es similar al comportamiento de los pepinos encerados de este estudio (Ben-Yehoshua, 1987). Este mismo autor reporta que los frutos de pepino deberán presentar valores de pérdida de

peso acumulada inferiores al 5% para mantener su calidad comercial. Con esta referencia, así como con nuestros datos mostrados en la Figura 1, es posible afirmar que los frutos de pepino pierden la calidad comercial cuando alcanzan valores entre 5 y 6% de pérdida de peso. Utilizando la información presentada en la Figura 2, y los datos obtenidos en la Figura 1, es posible predecir la vida de anaquel de los frutos de pepinos en función de las condiciones de almacenamiento (valores de DPV), utilizando las ecuaciones de regresión presentadas en la Figura 2.

Por otro lado, Walter *et al.* (1990), reportan para frutos de pepino pickle, una pérdida de peso de 0.54 y 1.82 (%/día), cuando son almacenados a un DPV de 0.12 y 0.66 KPa, respectivamente. Ellos muestran que la pérdida de agua ocasionada por la transpiración de los frutos, se acelera cuando el DPV alcanza valores altos, resultados muy similares a los mostrados en este estudio. Sin embargo, la diferencia en pérdida de peso encontrada por ellos, en comparación con nuestros resultados, podría deberse a las diferencias genéticas, ya que este tipo de pepino se destina principalmente a proceso y su actividad fisiológica es más acelerada (Kader, 2002).

### **Firmeza**

El incremento en el DPV de las cámaras de almacenamiento y la ausencia de cera en los frutos, afectaron de manera significativa la firmeza de los pepinos durante el almacenamiento (Figura 3a). Frutos testigo (sin cera) almacenados a 1.26 y 0.94 DPV presentaron la mayor deformación a los cuatro días de almacenamiento, mientras que los frutos expuestos al valor menor de DPV, la máxima deformación se alcanzó a los seis días, con un valor promedio de 3.1 mm de deflexión (Figura 3a). Para el caso de los frutos encerados (Figura 3b), se observó que los mayores valores de deflexión se alcanzaron hasta los ocho días de almacenamiento, lo que indicó que la cera protegió a los frutos de la pérdida de agua manteniendo la turgencia de los mismos y reflejándose en la deflexión de los pepinos hacia una fuerza aplicada. Por el contrario, cuando los frutos son almacenados bajo condiciones con valores de DPV más bajos (0.2 KPa), los pepinos con y sin cera no alcanzaron valores de deformación mayores de 3 mm, ni mostraron tejido esponjoso durante el tiempo en que se desarrolló el experimento.

Al relacionar el tiempo donde los frutos de pepino expresaron los primeros síntomas de marchitamiento cuando fueron almacenados a diferentes valores de DPV (Figura 2) y marcando este tiempo con una flecha en la gráfica de firmeza, se obtiene que al perder el 6% de su peso los frutos, estos se encuentran entre un rango de deflexión que varía entre 3.4 a 3.7 mm (Figura 3 a y b), situaciones en las cuales podemos considerar que la fruta ha perdido su calidad comercial.

Walter *et al.* (1990), mencionan que la pérdida de firmeza en frutos de pepino pickle se caracteriza por el desarrollo de tejido esponjoso y una menor turgencia en los frutos, debido a la pérdida de agua de las células por efecto de la transpiración. Ellos mencionan que cuando almacenaron frutos por ocho días a 15.5°C, la presencia de este tejido fue superior al 50%, cuando los frutos se encontraban expuestos a condiciones de baja humedad relativa (62%), en comparación con frutos almacenados a condiciones de alta humedad relativa (95%) (Walter *et al.*, 1990). Esto podría explicar en parte nuestras observaciones de la firmeza de los frutos, y el porque los frutos se deforman más en un tiempo más corto cuando las condiciones de DPV de las cámara de almacenamiento son altas (mayor desarrollo de tejido esponjoso) en comparación con frutos almacenados bajo condiciones de DPV menores.

#### **Potenciales Hídrico, Osmótico y de Presión**

Al inicio del estudio, se consideró para las tres condiciones de almacenamiento (DPV) el valor inicial de los potenciales en los frutos de pepino analizados al momento de corte. Durante los primeros cuatro días de almacenamiento, se observó una clara diferencia en el comportamiento de los potenciales hídrico, osmótico y de presión en los frutos testigo contra los encerados mantenidos a diferentes DPV. Los frutos encerados y almacenados a valores bajos de DPV, presentaron potenciales hídrico, osmótico y de presión menos negativos (Figura 4).

Durante 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 condiciones de valores altos de DPV (1.26 KPa). Los resultados encontrados en los potenciales de presión por debajo de los valores positivos,

así como la intersección de las líneas en los potenciales hídrico y osmótico (Figura 4), podrían indicar una plasmólisis de las células del mesocarpio del fruto según lo reportado por Turner (1981); Azcon-Bieto y Talon (1993) y Salisbury y Ross (1994). Este fenómeno (plasmólisis en el tejido), fue más rápido en los frutos que perdieron agua más pronto, se presentó de manera desfasada en tiempo y se aceleró en función a la velocidad de la pérdida de agua, ambas por efecto de la falta de protección de la piel del fruto (cera) y de elevados valores de DPV en las cámaras de almacenamiento.

A medida que se presentó la pérdida de agua de los frutos durante el almacenamiento (Figura 2), se afectó de forma directa los potenciales hídrico y de presión. Así mismo, se redujo el potencial osmótico por efecto de la concentración de los solutos (Figura 5). Aunque los pepinos no se caracterizan por presentar valores altos de sólidos solubles totales, la concentración de éstos, podrían estar asociados a la pérdida de humedad de los tejidos. En esta misma figura se puede observar una ecuación de  $\Psi_s$  (MPa) = - 0.1013 (°Brix) - 0.1798, relacionando una clara reducción de potencial osmótico conforme aumentan los sólidos solubles.

De igual manera, Cook y Papendick (1978) reportan una reducción significativa en el potencial hídrico (expresado en bares, donde 1 bar = 0.1MPa) en frutas de bayas conforme se incrementan los sólidos solubles, con un modelo de  $\Psi_w = 7.79 - 2.14$  (°Brix). Así mismo, ellos también encontraron que la fresa al momento de corte presentó un  $\Psi_w = -1.14$  MPa y después de dos días de almacenamiento se redujo a  $-1.71$  MPa, mientras que las cerezas dulces desarrollaron valores de  $\Psi_w = -2.5$  a  $-4.5$  MPa, debido al mayor contenido de solutos.

Resultados similares para frutos de kiwi se han reportado, en donde se observó una reducción significativa en los potenciales hídrico y osmótico durante 16 días de almacenamiento a 20°C. Al inicio del estudio, los frutos con valores de CRA de 89 %, presentaron valores de  $\Psi_w = -1.02$  MPa,  $\Psi_s = -1.08$  y  $\Psi_p = +0.06$  MPa, y posterior a cuatro días de almacenamiento, el  $\Psi_p$  se volvió negativo para dar inicio a la plasmólisis celular (Burdon y Clark, 2001), como lo observado en pepino.

Por el contrario, cambios considerables en el  $\Psi_p$  con reducciones hasta de 0.5 MPa observados en champiñones durante seis días de estudio a 18 y 25°C, no fueron suficientes para observar la plasmólisis en el tejido, a pesar de que factores como la temperatura, aceleraron la pérdida de turgencia en los tejidos (Beecher *et al.*, 2001).

Greve *et al.* (1994) y Beecher *et al.* (2001), reportan que el potencial de turgencia se considera como el responsable de la forma y rigidez de las células, debido a la presión que ejerce el agua sobre la pared celular. Esto podría explicar que valores de potencial de presión cercanos a cero o negativos observados en pepino (Figura 4) hallan correspondido a frutos con características flácidas y con menor resistencia a la deformación (Figura 2).

#### **Contenido Relativo de Agua (CRA)**

El contenido relativo de agua en frutos de pepino es variable, el cual puede depender del estado de madurez al corte y de las condiciones de manejo poscosecha. Al inicio del estudio, los frutos de pepino correspondiente a la primera y segunda repetición, presentaron un valor promedio de CRA de 93 y 91%, respectivamente, registrándose una pérdida hasta del 10% durante el almacenamiento cuando los frutos fueron mantenidos en valores elevados de DPV.

Al graficar los valores de los potenciales hídrico, osmótico y de presión en función al CRA se logró obtener un gráfico de Höfler para pepino (Figura 6), considerando únicamente los valores de los frutos que mostraron un cambio de potencial de presión de positivo a negativo bajo diferentes valores de DPV (0.94 testigo y 1.26 KPa testigo y encerado). Según Hsiao (1990), este comportamiento depende de la cantidad de agua disponible en las células del mesocarpio del tejido, hasta poder observar la plasmólisis celular.

En la figura 6, se puede observar que el cambio del potencial hídrico de un valor positivo a un valor negativo, corresponde al intercepto de los potenciales hídrico y osmótico (línea punteada), y se manifiesta a valores de CRA entre 87.6 y 87.9%, lo cual nos permite sugerir, que cuando los pepinos alcanzan esos porcentajes de CRA, la

plasmólisis del tejido se presenta, o bien, cuando exista una reducción del 3.0% del contenido relativo de agua.

En arándano se observó que el contenido de agua de las hojas decrece un 6.4%, por cada 1.0 MPa de reducción del potencial de agua (Davis y Johnson, 1982). En nuestro estudio se observó un comportamiento diferente, donde por cada cambio de 1MPa en el potencial hídrico, se obtiene una reducción en el CRA del 15% en frutos de pepino (Figura 6), lo cual es indicativo de que este fruto sufre una mayor deshidratación.

### CONCLUSIONES

Las ecuaciones de regresión del porcentaje de pérdida de peso diaria en función al déficit de presión de vapor durante almacenamiento, pueden ser utilizadas para predecir la vida de anaquel de los frutos de pepino, considerando que la pérdida de la calidad de los frutos se presenta cuando los frutos han alcanzado valores superiores al 6% de la pérdida de peso. De la misma manera, esta pérdida de calidad se observa cuando los frutos alcanzan valores iguales o menores de 88% del contenido relativo de agua. Nuestro estudio demuestra claramente la importancia del encerado en los frutos de pepino, ya que esta práctica permite mantener los parámetros hídricos de los tejidos de los frutos en mejor condición, reduciendo la transpiración de los mismos, en comparación con los frutos no encerados. Así mismo, nuestros resultados muestran la importancia de mantener bajos valores de DPV (alta humedad relativa) para extender la vida de anaquel de los frutos, al reducir la demanda de agua en las cámaras de almacenamiento expresado como déficit de vapor de presión.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amarante, C and 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., Ed. Published by Association of Official Analytical Chemists. Washington, D.C. CD Rom.

- Azeon-Bieto, J And M Talon. 1993.** Relaciones hídricas. En: Fisiología y Bioquímica Vegetal. Interamericana. McGraw-Hill, Madrid, España. 49-90.
- Beecher, T M, N Magan and K S Burton. 2001.** Water potentials and soluble carbohydrate concentrations in tissues of freshly harvested and stored mushrooms (*Agaricus bisporus*). Postharvest Biology and Technology. 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. P. 113-138.
- Bourne, M C. 1980.** Texture evaluation of horticultural crops. HortScience Vol. 51 (1):51-56.
- Burdon, J and C Clark. 2001.** Effect of postharvest water loss on 'Hayward' kiwifruit water status. Postharvest Biology and Technology. 22:215-225.
- CAADES, 2002.** Cierre del ciclo de hortalizas 2000-2001. Información básica. Exportación total de hortaliza.
- Cook, J R and R I Papendiek. 1978.** Role of water potential in microbial growth and development of plant disease, with special reference to postharvest pathology. HortScience. 13(5):559-561.
- Davis, F S and C R Johnson. 1982.** Water stress, grow, and critical water potential of rabbiteye blueberry (*Vaccinium ashei* Reade). J. Amer. Soc. Hort. Sci. 107 (1):6-8.
- Díaz-Pérez, J. C. 1998.** Transpiration rates in eggplant fruit as affected by fruit and calyx size. Postharvest Biology and Technology. 13:45-49.
- Greve, L C, K A Shackel, H Ahmadi, R N McArdle, J Gohlke and J M Labavitch. 1994.** Impact of heating on carrot firmness: Contribution of cellular turgor. J. of Agric. and Food Chem. 42:2896-2899.
- Herppich, W B, H Mempel and M Geyer. 2000.** Carrot water relations during postharvest: Effects on internal and external product quality. In. Integrated View of Fruits & Vegetables Quality. Florkowski E.J., Prussia S.E. and Shewfelt R.L. Editores. Technomic Publishing Co., Inc. Lancaster-Basel. P. 64-72.



- Hsiao, T C. 1990.** Measurements of plants water status. In: Irrigation of Agricultural Crops. Agronomy monograph. No. 30. Madison, USA. P. 243-277.
- Kader, A A. 2002.** Postharvest technology of horticultural crops. University of California. Agriculture and Natural Resources. Publication 3311. Third edition, P. 39-55; 135-145; 279-286.
- Koide, R T, R H Robichaux, S R Morse and C M Smith. 1991.** Plant water status, hydraulic resistance and capacitance. En: Plant physiological ecology. Pearcy R.W., Ehleringer J.R., Mooney H.A. y Rundel P.E. Editors. Chapman and Hall. London. P. 161-183.
- Leonardi, C, S Guichard and N Bertin. 2000.** High vapor pressure deficit influences growth, transpiration and quality of tomato fruits. *Scientia Horticulturae*. 84:285-296.
- MINITAB, 2002.** Statically software. Ver. 13.1. [www.minitab.com](http://www.minitab.com).
- Musmade, A M and U T Desai. 1998.** Cucumber and melon. In: Handbook of vegetables science and technology. B.K. Salunke y S.S. Kadam Editores. Marcel Dekker, Inc. New York. P. 245-253.
- Pearcy, R W, J R Ehleringer, H A Mooney and P W Rundel. 1991.** Plant physiology ecology. Field Methods and Instrumentation. Chapman and Hall Company. New York. P. 430-431.
- Pomper, W K and 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 and W Lipton. 1982.** Refrigerated storage. En: Handling transportation and storage of fruits and vegetables. Vol. 1. AVI Publishing Company, INC. Westport, Connecticut. P. 293-306.
- Salisbury, F B and C W Ross. 1994.** Difusión, termodinámica y potencial hídrico. En: Fisiología vegetal. Grupo editorial Iberoamérica, S.A de C.V. México D.F. P. 29-46.
- Shibairo, S I, M K Upadhyaya and P M Toivonen. 1997.** Postharvest moisture loss characteristics of carrot (*Daucus carota* L.) cultivars during short-term storage. *Scientia Horticulturae* 71:1-12.

Siller, C J. 1999. Diagnóstico global de la producción y el manejo poscosecha en hortalizas. Diplomado en manejo poscosecha de frutas y hortalizas. Modulo I. CIAD, A.C. Culiacán P. 1-30.

Suslow, T and M Cantwell. 1997. Cucumber. Produce facts. Perishables Handling No. 90. University of California, Davis. USA.

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 y R F McFeeters. 1990. Effect of water stress on stored pickling cucumbers. J. Agric. Food Chem. 38:2185-2191.

#### AGRADECIMIENTOS

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

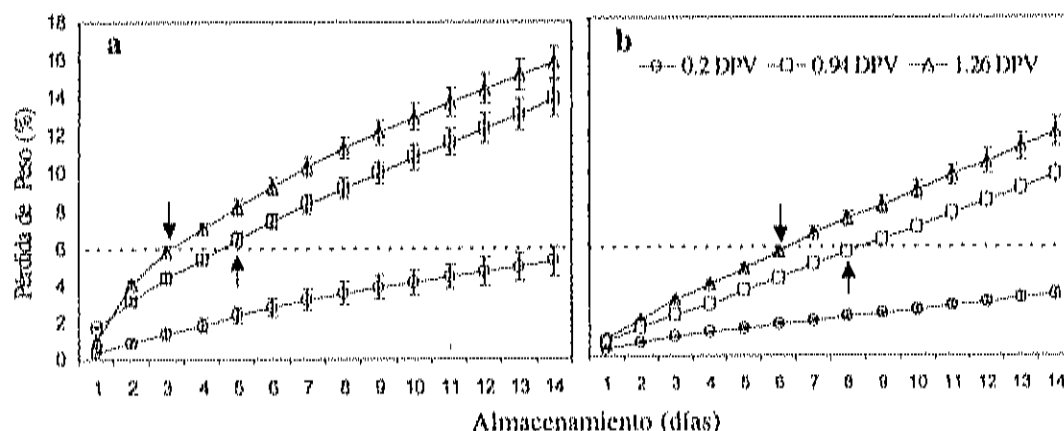


Figura 1. Porcentaje de pérdida de peso acumulado en (a) frutos de pepino testigo; y (b) frutos de pepino encerado, durante el almacenamiento a  $24^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  con diferentes condiciones de DPV.  $\pm$  Error estándar de 10 repeticiones.

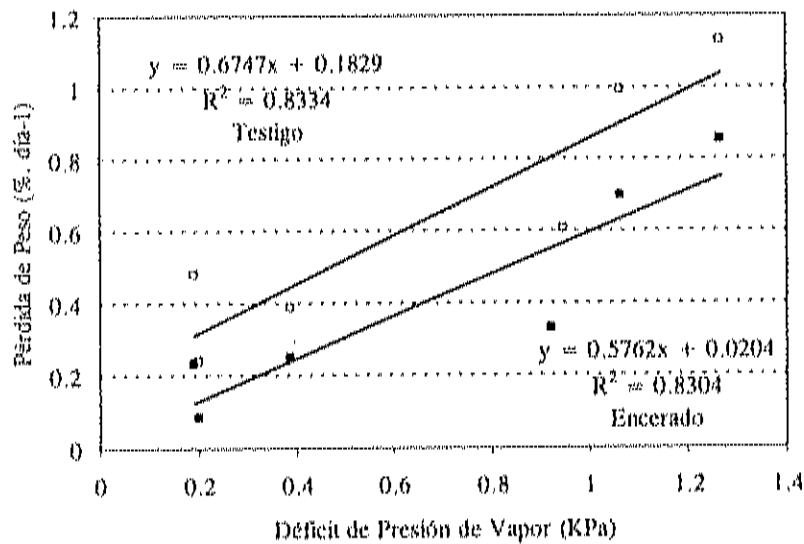


Figura 2. Porcentaje de pérdida de peso diaria en frutos de pepino almacenado bajo diferentes condiciones de DPV durante 14 días a  $24^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ .

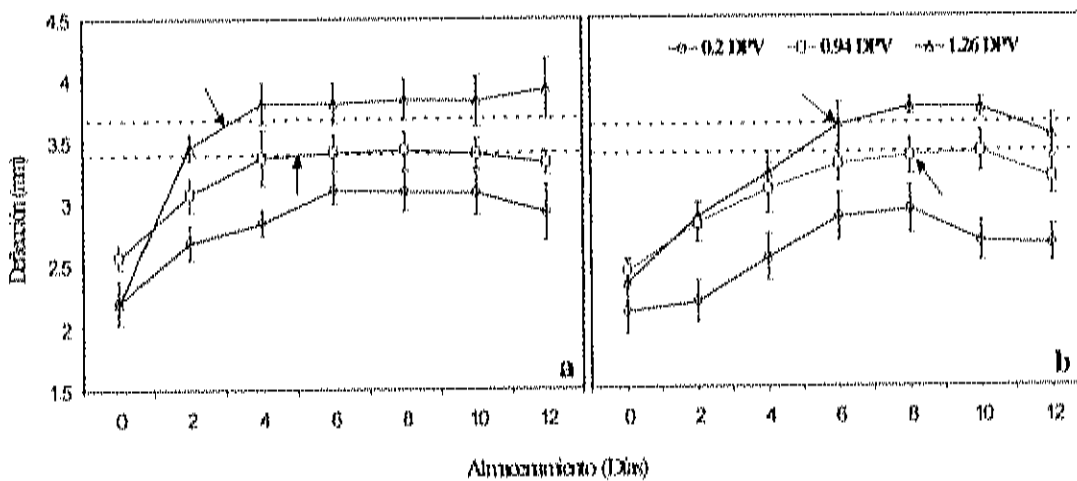


Figura 3. Deflexión en frutos de pepino testigos (a) y encerados (b) durante el almacenamiento bajo diferentes condiciones de DPV (KPa).  $\pm$  Error estándar de seis repeticiones.

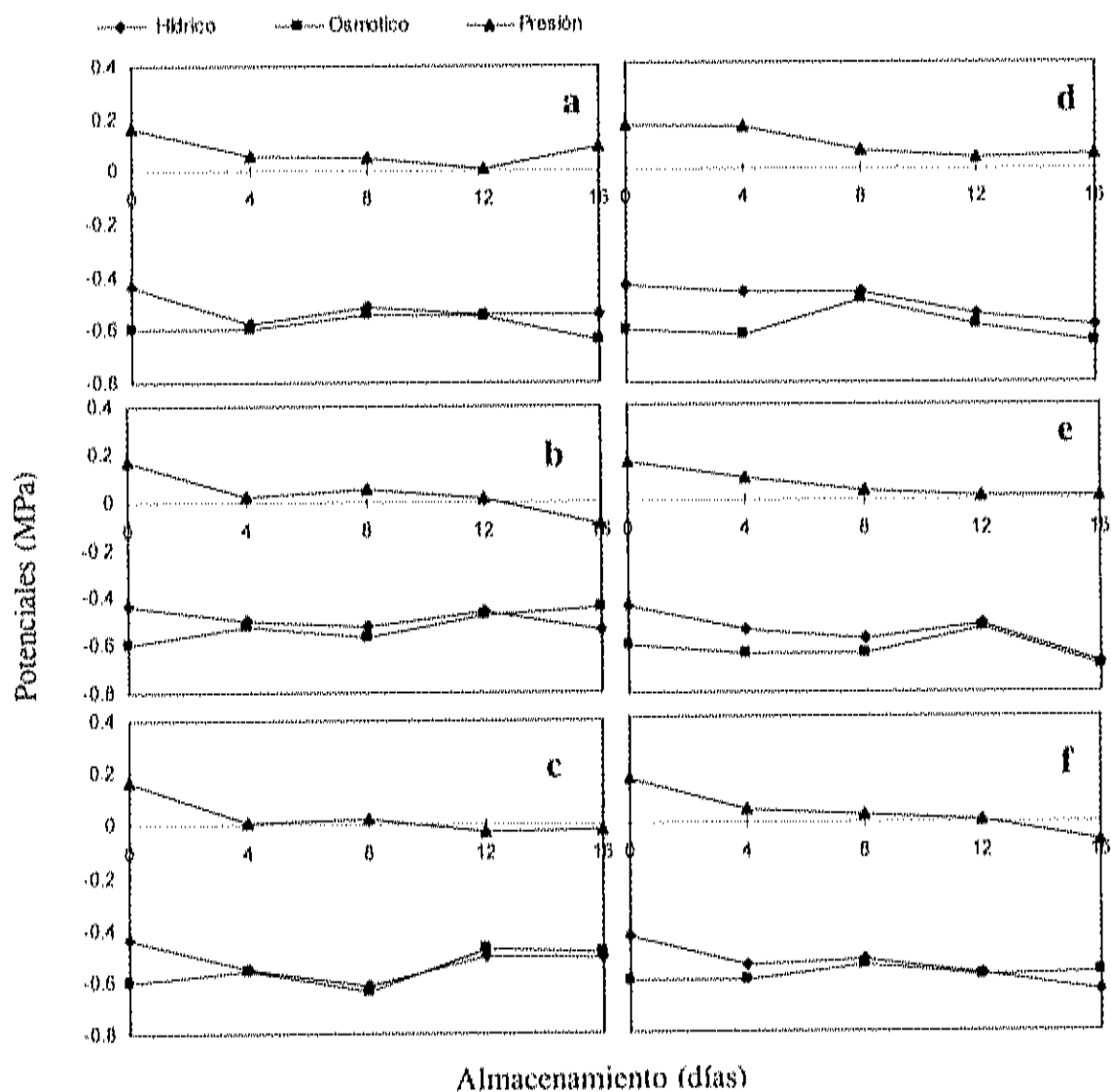


Figura 4. Potenciales hídrico, osmótico y de presión en frutos de pepino testigo y encerados durante el almacenamiento bajo diferentes condiciones de DPV (KPa). a) Testigo a 0.2 KPa de DPV; b) Testigo a 0.94 KPa de DPV; c) Testigo a 1.26 KPa de DPV; d) Encerado a 0.2 KPa de DPV; e) Encerado a 0.94 KPa de DPV; f) Encerado a 1.26 KPa de DPV.

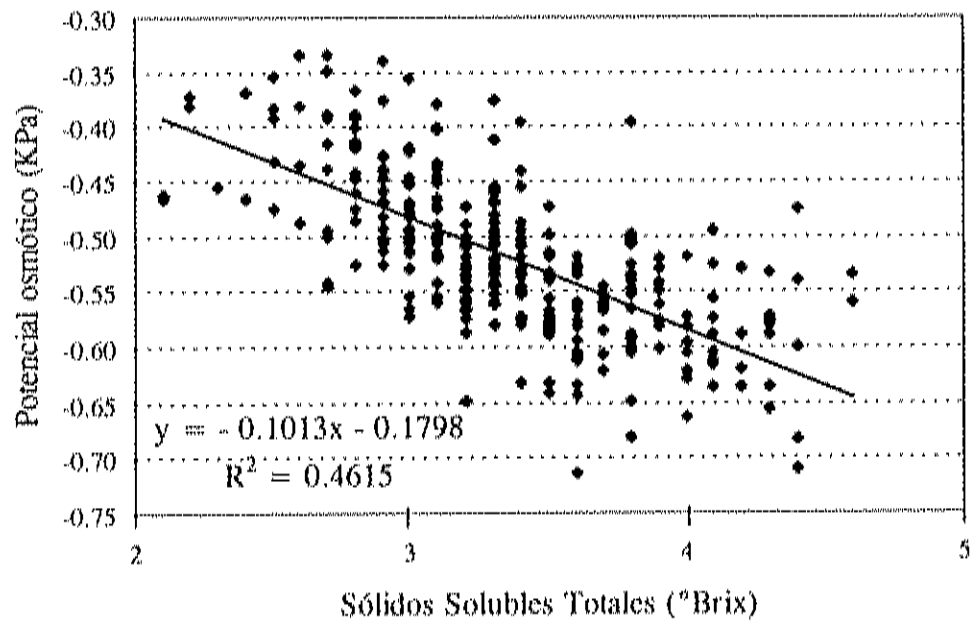


Figura 5. Relación del potencial osmótico y la concentración de sólidos solubles totales (°Brix) en frutos de pepino sin y con cera durante el almacenamiento (n= 310 frutos).

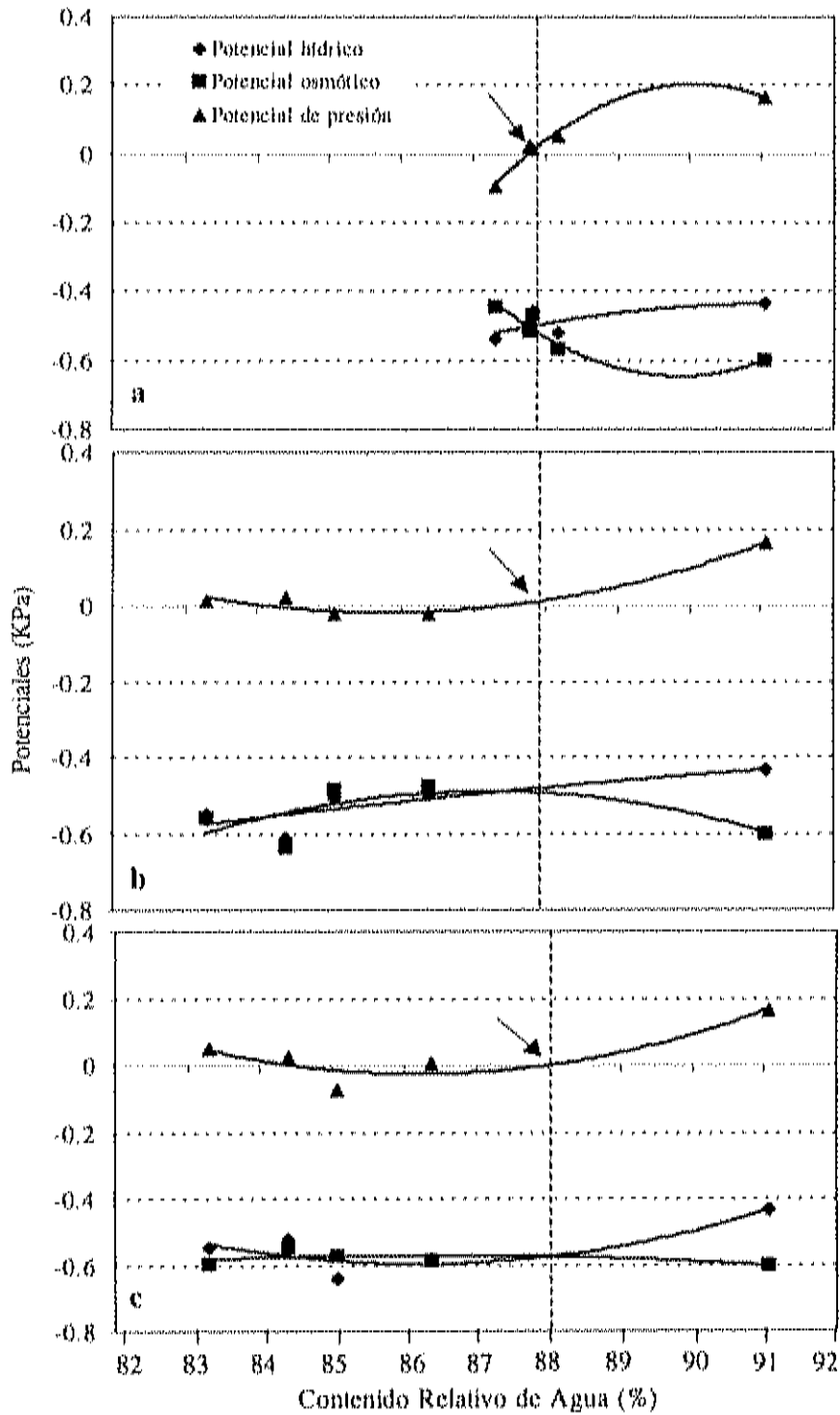


Figura 6. Gráfica de Höfler esquematizando los potenciales hídrico, osmótico y de presión en función del contenido relativo de agua en frutos de pepino. a) 0.94 MPa, testigo, b) 1.26 DPV, testigo y c) 1.26 DPV, encerado.

**LA APLICACIÓN DE CERA Y LAS CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO  
MODIFICAN EL ESTADO HÍDRICO Y LA CALIDAD POSCOSECHA DE  
FRUTOS DE MANGO**

**WAX APPLICATION AND STORAGE CONDITIONS MODIFY  
POSTHARVEST WATER STATUS AND QUALITY OF MANGO FRUITS**

Muy Rangel D.<sup>1</sup>, Siller Cepeda J.<sup>1</sup>, Díaz Pérez J.<sup>2</sup>, Valdez Torres B.<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. E-mail: [duc@ciad.edu.mx](mailto:duc@ciad.edu.mx). <sup>2</sup>University of Georgia, Tifton GA, USA. <sup>3</sup>Instituto Tecnológico de Monterrey. Campus Sinaloa.

## RESUMEN

El objetivo de este estudio fue enfocado a conocer la influencia que las condiciones de almacenamiento y la aplicación de cera tienen en el estatus hídrico y la calidad poscosecha de frutos de mango (*Mangifera indica* L.) cv. Keitt, con la idea de generar modelos matemáticos que permitan predecir calidad y vida de anaquel. Frutos de mango cv. Keitt previamente hidrotratados fueron divididos en dos lotes; a la mitad de los frutos se les aplicó la cera comercial Britex® y el resto se dejó como frutos testigos (sin cera). Los frutos testigos y encerados fueron colocados bajo tres diferentes condiciones de déficit de presión de vapor (DPV) de 1.52, 1.14 y 0.222 KPa durante diez días a  $24 \pm 1^\circ\text{C}$ . La pérdida de peso diaria y acumulada, la firmeza, el contenido relativo de agua (CRA), los potenciales de agua (hídrico, osmótico y de presión) y los sólidos solubles totales fueron determinados durante el estudio. La pérdida de peso se incrementó conforme los valores de DPV fueron mayores. La aplicación de cera fue efectiva en reducir la pérdida de peso de los frutos almacenados, particularmente en condiciones altas de DPV. La pérdida de peso diaria de frutos con y sin cera en función de las condiciones de almacenamiento (DPV) permitió generar modelos matemáticos para predecir la pérdida de peso diaria, logrando obtener ecuaciones confiables para los frutos testigos y encerados con  $r^2 = 0.90$ . A pesar de que los valores de CRA del 88% estuvieron asociados a un potencial de presión negativo (plasmolisis), los frutos de mango no perdieron su calidad comercial. La calidad comercial se perdió hasta que los valores de CRA fueron inferiores al 84% y con firmezas debajo de 20 Nw. Los frutos testigo se mantuvieron más firmes cuando fueron almacenados en condiciones de alta humedad relativa (bajo DPV). Cuando los frutos fueron encerados, la firmeza se mantuvo similar, independientemente de las condiciones de almacenamiento. El comportamiento del  $\Psi_w$  en los frutos de mango mostró cambios hacia valores más negativos durante su almacenamiento variando desde -1.0 hasta -2.8



MPa, dependiendo de las condiciones de DPV y la aplicación de cera. Estos cambios fueron debidos principalmente a la acumulación de solutos, característico de frutas dulces, lo cual modificó el potencial osmótico, observándose una estrecha relación entre ambas variables ( $\Psi_s = -0.1031 * \text{Brix} - 0.3262$ ). La información generada permite utilizar modelos para predecir la calidad y la vida de anaquel de frutos de mango en función del manejo poscosecha y las condiciones de almacenamiento.

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

#### SUMMARY

The effect of storage conditions and wax application on the postharvest water status and quality of mango fruits (*Mangifera indica* L.) cv. Keitt were investigated to obtain mathematical models to predict quality and shelf life. Mango fruits cv. Keitt previously hydrothermal treated were divided on two lots; half of the fruits were waxed with Britex® a commercial wax, and the rest was left as a control fruits (non waxed). Waxed and non waxed fruits were stored under three different water vapor pressure deficits (VPD) of 1.52, 1.14 and 0.222 KPa during ten days at  $24 \pm 1^\circ\text{C}$ . Daily and cumulative weight loss, firmness, relative water content (RWC), water potential (osmotic and pressure) and soluble solids content were determined on this study. Weight loss was higher as VPD increased. Wax application was effective in reducing weight loss of stored fruits, specially on the fruits exposed to high VPD conditions. Daily weight loss of waxed and non waxed fruits as a function of storage conditions (VPD) gave the opportunity to generate mathematical models to predict daily weight loss, obtaining equations for the control and waxed fruits with high confidence ( $r^2=0.90$ ). Even that the 88% RWC values were associated with a negative pressure potential (turgor loss point, i.e.  $\Psi_p=0$ ), mango fruits did not lost commercial quality. Values lower than 84% of

RWC and firmness below 20Nw reflected quality loss of mango fruits. High relative humidity (low VPD) maintained control fruits more firm. On waxed fruits, the storage conditions did not affected firmness. Water potential changed to more negative values during storage, from  $-1.0$  to  $-2.8$  MPa, depending on VPD conditions and wax application. These changes were mainly due to solutes accumulation (i.e. sugars), characteristic of mango fruits, which modified osmotic potential to more negative values, establishing a close relationship between both variables ( $\Psi_s = -0.1031 \cdot \text{Brix} - 0.3262$ ). Our results allowed the use of models to predict quality and shelf life of mango fruits as a function of postharvest management and storage conditions.

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

## INTRODUCCIÓN

El cultivo del mango (*Mangifera indica* L.) en México, mantiene una importancia significativa en el contexto agrícola, ya que se destinan alrededor de 153, 433 hectáreas al cultivo de este fruto, alcanzando una producción anual de 1,560,000 toneladas (FAO, 2000; SAGARPA, 2002). En el año 2000, México exportó solamente 206,782 toneladas de mango hacia el exterior, destinando gran parte de la producción nacional de este frutal al mercado nacional y a la industrialización, sin menospreciar las pérdidas ocurridas desde cosecha hasta comercialización (SAGARPA, 2002).

El fruto del mango, al igual que todas las frutas y hortalizas, continúa sus procesos metabólicos y fisiológicos aun después de separar el fruto de la planta, los cuales conducen a la maduración y la senescencia. Algunos de estos procesos inducen cambios en el color, aumento de los sólidos solubles totales, el pH, la relación azúcar/ácido, así como una reducción en la firmeza, una disminución del peso asociado a la transpiración y una reducción en la acidez del fruto (Hulme, 1971; Seymour *et al.*,

1990). Adicionalmente, el mango es una fruta climatérica que incrementa su velocidad de respiración hasta alcanzar el climaterio, y que responde al etileno externo induciendo su maduración durante el almacenamiento, reduciendo su vida poscosecha (Medlicott *et al.*, 1990). Con la medición de algunas de estas variables, es posible determinar el estado de madurez de un fruto y su calidad poscosecha.

El almacenamiento a bajas temperaturas ha sido una de las tecnologías más utilizadas para mantener la calidad poscosecha de los frutos de mango (Thompson, 1971). La temperatura óptima recomendada para mantener la calidad poscosecha de frutos de mango es de 12 a 13°C, ya que temperaturas inferiores pueden causar daño por frío y afectar la calidad de los frutos (Medlicott y Sigrist, 1990). A pesar de que algunas investigaciones con mango se han enfocado en estudiar la temperatura de almacenamiento para extender la vida de anaquel (Thomson, 1971; Thomas, 1975; Thomas, 1983), estos estudios no han considerado la importancia de la humedad relativa (Shirazi y Cameron, 1993; van den Berg y Lentz, 1971). La relación entre la temperatura y la humedad relativa genera otra variable conocida como déficit de presión de vapor de agua (DPV) (Shibairo *et al.*, 1997), la cual utiliza como referencia la saturación de la presión de vapor al 100% (Pearcy *et al.*, 1991). Esta variable permite conocer con mayor exactitud bajo que condiciones se presenta la pérdida de agua, la cual conduce a la pérdida de peso, la flacidez y el marchitamiento de los frutos (Shirazi y Cameron, 1993; Paull, 1999).

Bajos valores del DPV durante el almacenamiento permiten reducir la velocidad de transpiración y mantener por mayor tiempo el agua en las células, así como la turgencia en los tejidos (Leonardi *et al.*, 2000; Montero *et al.*, 2001). Lentz y Rooke (1964), señalan para frutos de manzana, que una reducción del 65% del DPV durante el almacenamiento, puede incrementar la vida poscosecha en los frutos, de tres a seis meses.

El estado hídrico o nivel de agua interna de los tejidos se puede conocer determinando el contenido relativo de agua (CRA) y el potencial hídrico ( $\Psi_w$ ) (Hsiao, 1990). El CRA esta en función al peso fresco, peso hidratado y peso seco del sistema en estudio, mientras que el  $\Psi_w$  se relaciona con el contenido de solutos ( $\Psi_s$ ) y la presión ( $\Psi_p$ ) que ejerce el agua sobre la pared de las células. Valores elevados (menos negativos y cercanos a cero) en el estado hídrico del tejido ( $\Psi_w$ ) indican frescura y turgencia de las células, mientras que la reducción (valores más negativos), denota un efecto nocivo en la calidad de los productos frescos (Herppich *et al.*, 2000). Es importante también considerar que el agua no esta pura en la célula, sino acompañada de solutos. Las características del agua en solución puede determinarse mediante la tabulación de las propiedades coligativas tales como el punto de ebullición, el punto de congelación, la presión osmótica, la presión de vapor y el potencial químico. Todos estos factores se relacionan con el agua en los tejidos, considerando las propiedades asociadas a la concentración de solutos disueltos (Tinoco *et al.*, 1980).

A pesar de la importancia que tiene el agua en los tejidos vegetales, a la fecha no existen estudios que muestren estos valores en frutos de mango, el grado de asociación que tienen con la calidad del producto, y como estos son afectados por el manejo poscosecha y las condiciones de almacenamiento. Por tal motivo, el objetivo de este estudio fue conocer el estado hídrico de los frutos de mango cv. Keitt durante poscosecha, la asociación con los parámetros que definen su calidad y como se comportan bajo diferentes condiciones de almacenamiento (DPV) y encerado.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en 480 frutos de mango cv. Keitt previamente hidrotratados obtenidos directamente de un empaque comercial ubicado en Ahome, Sinaloa, México. Los frutos fueron divididos inicialmente en dos lotes; a la mitad de los frutos se les aplicó la cera comercial Britex® y el resto se dejó como frutos testigos (sin cera). Los frutos testigos y encerados fueron transferidos a cámaras de almacenamiento de 14 m<sup>3</sup>

de capacidad con una temperatura controlada ( $24 \pm 1^\circ\text{C}$ ). En el interior de las cámaras se colocaron contenedores de  $0.231 \text{ m}^3$  de capacidad, para mantener condiciones diferentes de DPV. Las condiciones de DPV fueron logradas utilizando óxido de calcio con flujo de aire extra seco (1.52 KPa), aire seco (1.14 KPa), y aserrín sobresaturado de agua con aire húmedo (0.222 KPa). Estos valores fueron obtenidos con las tablas de Pearcey *et al.* (1991), utilizando los datos de temperatura y humedad relativa obtenidas de un higrotermómetro Hobo Pro, Series Modelo HO8-032-08. Cada lote de frutos encerados y sin cera replicados fueron colocados en los contenedores con los diferentes DPV. Diariamente se evaluaron la pérdida de peso y la transpiración de los frutos durante diez días. Cada dos días se determinó la firmeza (Nw), los sólidos solubles totales ( $^\circ\text{Brix}$ ), el contenido relativo de agua (CRA en %) y los potenciales hídrico, osmótico y de presión (MPa).

#### **Pérdida de Peso**

Se registró diariamente el peso de 10 frutos. La pérdida de peso se expresó en porcentaje diario y/o acumulativo, relacionando el peso final al peso inicial, según lo recomendado por Díaz-Pérez (1998).

#### **Firmeza**

La firmeza se determinó en ambos lados del fruto, en tres secciones distintas (ápice, centro y pedúnculo), eliminando previamente la cáscara del fruto, utilizando un penetrómetro Chatillon Digital (DFIS-50) equipado con una puntilla de 10 mm de diámetro y adaptado a una base Chatillon TCD 200. Los resultados se expresaron en Newtons, confirmando el esfuerzo de resistencia que presenta el fruto hacia una fuerza aplicada, siguiendo la metodología reportada por Bourne (1980).

#### **Sólidos Solubles Totales**

Esta evaluación se realizó siguiendo las metodologías propuestas por la AOAC (1998). Los sólidos solubles se midieron del extracto utilizado para potencial osmótico, utilizando un refractómetro ABBE Leica Mark II con temperatura compensada. Los resultados del contenido de sólidos solubles totales se expresaron como  $^\circ\text{Brix}$ .

### **Potencial Hídrico ( $\Psi_w$ )**

Para medir esta variable se utilizó 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 0.15 M). A estas soluciones se les determinó el valor de su potencial osmótico mediante la ecuación  $\Psi_s = -C_iRT$ ; donde  $C_i$  es la concentración molal de la sacarosa. Bajo estas circunstancias, el potencial de presión es igual a cero, y por lo tanto el  $\Psi_w = \Psi_s$ . (Salisbury y Ross, 1994). Las muestras se dejaron en reposo durante 2.15 horas, se retiraron de la solución, se secaron del agua excedente de la superficie y se registro el peso. Posteriormente se grafico el valor del  $\Psi_s$  vs. el peso ganado o perdido. La muestra en donde no se gano o perdió peso a una concentración de sacarosa conocida, correspondió a su potencial hídrico (Salisbury y Ross, 1994).

### **Potencial Osmótico ( $\Psi_s$ )**

Se determinó utilizando un osmómetro de presión de vapor Wescor modelo 5520 de acuerdo a la metodología propuesta por Turner (1981). Diez  $\mu\text{L}$  de savia del fruto fueron colocados en un disco de papel filtro de  $0.32 \text{ cm}^2$ , instalado previamente en la cámara de muestra del equipo. La savia se obtuvo de trozos de frutos de mango congelados a  $-20^\circ\text{C}$  y posteriormente 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 mmol/kg de NaCl (según el orden de calibración). Los resultados obtenidos fueron de concentración en mmol/kg. La conversión de molalidad a potencial osmótico se llevo a cabo considerando la ecuación de Van't Hoff, en donde  $(\Psi_s) = - C_iRT$ . (Salisbury y Ross, 1994).

### Potencial Presión ( $\Psi_p$ )

Se calculó utilizando la ecuación que describe el potencial hídrico ( $\Psi_w = \Psi_s + \Psi_p$ ) (Turner, 1981). El potencial de presión se determinó por diferencia, restando del potencial hídrico, el potencial osmótico ( $\Psi_p = \Psi_w - \Psi_s$ ).

### Contenido Relativo de Agua (CRA)

El contenido relativo de agua fue determinado de acuerdo a la metodología de Pomper y Breen (1997) con algunas modificaciones. Con un sacabocados se cortaron discos de 20 mm de diámetro de tejido vegetal los cuales se pesaron en una balanza digital Mettler Toledo modelo PR80, para obtener el peso fresco ( $P_f$ ). Después, los discos fueron colocados en vasos de precipitado con agua destilada a temperatura ambiente ( $25 \pm 1^\circ\text{C}$ ) y se dejaron saturar por un período de 2.15 h (tiempo suficiente para lograr absorber el 100% de agua por el tejido). Posteriormente, los discos fueron sacados del vaso, eliminando el exceso de agua de la superficie con papel secante y se pesaron de nuevo registrando el peso turgido ( $P_t$ ). Finalmente, las muestras fueron secadas en una estufa de calor seco a  $75^\circ\text{C}$  durante 48 horas y nuevamente pesadas, para determinar el peso seco ( $P_s$ ). El CRA se determinó con la ecuación:  $\text{CRA (\%)} = [(P_f - P_s) / (P_t - P_s)] * 100$ .

### Diseño de Experimento

Para las variables destructivas (CRA, potencial hídrico, potencial osmótico, potencial de presión y SST), el análisis se realizó mediante un diseño de dos factores (cera y tiempo) en bloques (DPV) aleatorizados completos. Para las variables no destructivas (pérdida de peso y firmeza), se utilizó un diseño de factores cruzados y anidados en bloques. El factor cera como factor cruzado, el factor fruto como un factor anidado en cera y el factor tiempo, un factor en medidas repetidas en el tiempo. El estudio se analizó mediante un análisis de varianza. Para las diferencias en el ANOVA se realizó la separación de medias mediante la prueba de comparación de Tukey con una probabilidad de error del 5%. Los análisis de regresión y comparación de las pendientes se realizó según lo recomendado por Kleninbaum *et al.* (1998). Para todos los análisis se utilizó un programa estadístico computacional MINITAB versión 13.1 (MINITAB, 2002).

## RESULTADOS Y DISCUSIONES

### **Pérdida de Peso**

La pérdida de peso entre los frutos de mango tratados y no tratados con cera a un dado nivel de DPV fue estadísticamente diferente ( $P=0.0001$ ), solo en las condiciones de altos valores de DPV (baja humedad relativa). El efecto de la cera no fue significativamente diferente en la pérdida de peso cuando los frutos fueron almacenados en condiciones de 1.12 o de 0.222 kPa DPV (Figura 1). Los frutos testigo (sin encerar) almacenados en condiciones de baja humedad relativa (1.52 DPV) presentaron la mayor pérdida de peso alcanzando valores del 11%, mientras que los frutos almacenados en condiciones de media y alta humedad relativa (DPV de 1.12 y 0.222 kPa) perdieron solamente el 7 y 3%, respectivamente, siendo las diferencias estadísticamente significativas.

El fruto de mango está caracterizado dentro de los frutos de moderada pérdida de peso bajo condiciones óptimas de almacenamiento (McGregor, 1987). Nuestros resultados muestran que la pérdida de peso dependerá del DPV presente en la cámara de almacenamiento, así como de la aplicación de cera al fruto. La fluctuación en un grado de temperatura o un cambio en el porcentaje de humedad relativa, afecta considerablemente el DPV de la cámara de almacenamiento, lo cual acelera o reduce la velocidad de equilibrio de las moléculas del agua en el aire circundante y el producto, reflejándose en la pérdida de peso de los frutos (Shibairo *et al.*, 1997).

La pérdida de peso es lineal (Wells, 1962) y esta relacionada al DPV del agua, por lo tanto, la pérdida puede ser reducida bajando el DPV del agua, por medio de la disminución de la temperatura del aire, incrementando la humedad o creando una barrera a la pérdida del agua (Grierson and Wardowski, 1978; Ben-Yehoshua, 1987). Nuestros datos muestran que es posible disminuir la pérdida del agua disminuyendo el DPV o aplicando una cera sobre la superficie del fruto. Shirazi y Cameron (1993) reportan que



las condiciones de manejo y almacenamiento de los productos frescos está asociada a la pérdida de humedad de los tejidos. Ellos observaron que la reducción de la HR en el medio ambiente afecta la permeabilidad del agua de los frutos, tal como se observó en este estudio con los diferentes valores de DPV. Maguire *et al.* (1999), encontraron que la pérdida de agua es dependiente de cada fruto y está en función del arreglo de los ácidos grasos de la membrana celular y la composición de la cutícula de la epidermis.

En duraznos, la pérdida de peso esta directamente relacionada al DPV y el flujo del aire en el almacenamiento (Whitelock *et al.*, 1994). Al graficar nuestros valores de porcentaje de pérdida de peso por día bajo diferentes condiciones de DPV en los frutos de mango con y sin cera, se observa al igual que ellos, una relación directa del DPV y la pérdida de peso (Figura 2). Así mismo, al aplicar la cubierta protectora a los frutos de mango (cera Britex) se reduce significativamente la pérdida de peso, mostrando los valores de las pendientes una diferencia significativa ( $P=0.007$ ) entre ellas. La relación entre la pérdida de peso diaria de los frutos y el DPV del almacenamiento genera modelos matemáticos que muestran la velocidad de pérdida de peso de los frutos de mango con y sin cera bajo diferentes condiciones de almacenamiento y permiten predecir la pérdida de peso según sea la condición de almacenamiento (DPV) del producto.

La aplicación de ceras o cubiertas protectoras en los frutos está ampliamente estudiada y tiene el propósito de reducir la pérdida de peso y mantener calidad en las frutas y hortalizas (Amarante y Banks, 2001; Díaz-Pérez, 1998; Jiang y Li, 2001). Los resultados obtenidos en este estudio son similares a lo reportado por Baldwin *et al.* (1999), donde encontraron que la aplicación de cera en frutos de mango Tommy Atkins redujo la pérdida de peso de los frutos en un 26%. Como se puede observar en nuestros resultados, la aplicación de cera permite en cierto grado reducir la pérdida de peso aún en condiciones de DPV altos, aunque en condiciones de alta humedad relativa (bajo DPV), estas diferencias son mínimas.

### Firmeza

La pérdida de firmeza en los frutos de mango es un proceso natural que se presenta durante la maduración, ocasionada principalmente por la acción de las enzimas involucradas en la degradación de los componentes de la pared celular (poligalacturonasa, pectilmetilesterasa y celulasa) y el contenido de almidón (amilasa y amilopectinasa) (Hulme, 1971). Sin embargo, la humedad relativa puede impactar el ablandamiento relacionado a la maduración (Littmann, 1972). En la Figura 3 se observa que los mangos sin encerar expuestos a valores altos de DPV perdieron más rápido su firmeza en el tiempo, comparados con los frutos encerados y almacenados a una humedad relativa más alta (DPV bajos). Krishnamurty y Subramanyan (1973) mencionan que los frutos de mango pierden su calidad comercial cuando alcanzan una firmeza de 20 Nw. Al ubicar en nuestra gráfica este mínimo valor de calidad reportado, se observa que los frutos sin encerar expuestos a 1.52 DPV perdieron su calidad después de los siete días de almacenamiento, mientras que bajo condiciones de almacenamiento inferiores a los 1.14 DPV y con el uso de ceras, los frutos no alcanzaron este valor a los nueve días, incrementándose su vida de anaquel.

Baldwin *et al.* (1999), reportan para frutos de mango Tommy Atkins, que el uso de cera Nature Seal® (NS) y Carnauba retrasaron de manera significativa la pérdida de firmeza en comparación con los frutos no encerados, similar a los resultados encontrados en este estudio. Además, ellos asocian que la retención del agua en los frutos causada por la cera se relaciona con la firmeza del fruto. Otros estudios en durazno (Sharkey and Peggie, 1984) berenjena (Fallik *et al.*, 1995) y mango (Kane *et al.*, 1984), reportan que la pérdida de firmeza esta relacionada con la velocidad de pérdida de peso, así como con las diferencias entre los valores de DPV presentes en el medio circundante al fruto, observándose que los frutos con mayor pérdida de peso almacenados a baja humedad relativa, perdieron más turgencia y firmeza que los frutos almacenados a alta humedad relativa en donde se generaron niveles bajos de DPV, tal como se observó con los frutos de mango en este estudio.

### Contenido Relativo de Agua (CRA)

En los frutos de mango se presenta una fuerte relación entre la pérdida de peso y el contenido relativo de agua, el cual está asociado al potencial de presión (indicativo de la presión que ejerce el agua presente en la célula sobre la pared celular). Es evidente que almacenar frutos a elevados valores de DPV aumenta la pérdida de agua del tejido (Figura 1), lo cual se refleja en una reducción del CRA (Figura 4).

Al graficar el CRA con el potencial de presión ( $\Psi_p$ ) de los frutos de mango almacenados por nueve días a diferentes condiciones de DPV se observa una relación muy estrecha entre estas variables. Los gráficos de regresión muestran que el CRA se reduce más cuando la fruta sin encerar se almacena a valores altos de DPV, alcanzando valores de CRA menores de 80% y  $\Psi_p = -1.15$  KPa (Figura 4A), mientras que al aplicar cera a los frutos, los valores de CRA son ligeramente superiores (Figura 4B).

Algunos autores consideran que la plasmólisis celular se manifiesta cuando se alcanza un potencial de presión con valores de cero de acuerdo al diagrama de Hoffer (Hsiao, 1990). En nuestro estudio, los frutos de mango presentaron un potencial de presión de cero cuando alcanzaron valores de CRA alrededor del 89%, independiente de la aplicación de cera (Figura 4A y B, representado por las líneas punteadas), una reducción del 3% con relación al valor inicial de los frutos. Sin embargo, en los frutos de mango se requiere una liberación del agua de la célula, debido a que su consumo y características sensoriales que presenta el fruto están asociados a la jugosidad cuando inicia su madurez comercial, pero no necesariamente indica la pérdida de calidad comercial.

Burdon y Clark (2001), observaron que frutos de Kiwi maduros expuestos a 2.1 KPa de DPV mostraron la plasmólisis celular a los tres días de almacenamiento, lo cual se caracterizó por un cambio en el potencial de presión de un valor positivo a uno negativo (resultados similares a los mostrados en la figura 4), observándose también una reducción del CRA de 88 a 85.5%. Esto parece indicar, que ligeros cambios en el CRA

durante el almacenamiento de algunos frutos, pueden o no pueden impactar de manera irreversible el contenido interno del agua de las células y la resistencia de los tejidos.

En el caso del mango, los valores de CRA pueden ser utilizados para obtener modelos de predicción sobre la velocidad de ablandamiento, al relacionarlos con la firmeza, y permiten visualizar mejor cuando los frutos pierden su calidad comercial (Figura 5). Ubicando en este gráfico el valor de CRA=89% (línea discontinua, valor obtenido en Figura 4) donde posiblemente ocurre la plasmólisis celular, se puede observar que a ese tiempo corresponde una firmeza promedio en los frutos de 100 Nw, valor superior a límite de firmeza indicativo de calidad comercial. Según Krishnamurty y Subramanyan, (1973), el valor mínimo de firmeza que el mango debe presentar para ser aceptado con calidad comercial es de alrededor de 20 Nw, así que si lo relacionamos con el CRA en la Figura 5 (línea continua), los frutos presentan valores de CRA inferiores al 84%, cinco puntos porcentuales abajo del valor en donde el potencial de presión ( $\Psi_p$ ) fue de cero y probablemente ocurrió la plasmolisis celular. Esto demuestra, que en algunos frutos, se requiere una mayor liberación de agua (jugosidad) para ser consumidos, y no por alcanzar ese valor en el  $\Psi_p$ , estos pierden su calidad comercial.

### Potenciales Hídrico, Osmótico y Presión

La Figura 6 muestra la reducción de los valores de potencial hídrico en el tejido de mango durante el estudio, y es indicativo de la pérdida de agua que se expresa en el potencial de presión, así como de la acumulación de los solutos relacionada con el potencial osmótico. Durante el proceso de maduración del mango, ocurre una degradación de macromoléculas a compuestos simples, incrementándose de esta manera los solutos y el sabor del fruto (Seymour *et al.*, 1990). De esta manera, el potencial osmótico se reduce de valores de  $\Psi_s = -1.4$  hasta  $-2.25$  y el potencial de presión que es positivo en los primeros días del estudio se hace negativo en mayor o menor tiempo según la condición de almacenamiento (Figura 5).

Los frutos de mango sin encerar y almacenados por nueve días a condiciones extremas de baja humedad relativa (DPV=1.52 Kpa) (Figura 6E) mostraron los valores

de potencial hídrico más negativos, cercanos a  $\Psi_w = -2.8$  MPa, mientras que en los frutos almacenados a 1.14 y 0.22 KPa de DPV, los valores de  $\Psi_w$  fueron de  $-2.5$  MPa y  $-2.0$  MPa, respectivamente (Figuras 6A y C). Esto es debido en parte, a la elevada pérdida de agua (Figura 1 y 2) de los frutos en esas condiciones, así como a la acumulación de solutos que se da por efecto de la maduración (Figura 6). Mill y Behboudian (1996), mencionan que los solutos juegan un papel importante en la reducción de potencial osmótico, en donde se incluyen a los azúcares solubles, los aminoácidos, los ácidos orgánicos y los minerales como el ión  $K^+$ .

Después de almacenar los frutos por nueve días, no fue factible realizar mediciones de los potenciales bajo la metodología antes citada, debido principalmente a la hidrólisis de compuestos como pectinas, almidón, y ácidos, entre otros, obteniendo tejidos muy flojos, con características de lisis celular, lo cual se puede asociar con los valores negativos del potencial de presión observados (figura 4 y 6).

### Sólidos Solubles Totales (°Brix)

El fruto de mango es clasificado como un fruto climatérico (Kader, 1992). Estos frutos presentan la particularidad de incrementar el contenido de los sólidos solubles durante la maduración, alcanzando las características sensoriales buscadas por consumidor, especialmente el aumento del dulzor del fruto. La Figura 7 presenta la asociación del contenido de sólidos solubles (°Brix) con el potencial osmótico ( $\Psi_s$ ). Valores de °Brix menores corresponden a frutos en etapa temprana de madurez fisiológica (inicio del estudio) y presentan  $\Psi_s$  alrededor de  $-1.0$  MPa. Conforme los frutos maduran y alcanzan valores más altos de °Brix, los valores de  $\Psi_s$  se vuelven más negativos, correlacionándose estrechamente los incrementos en sólidos solubles con la reducción del potencial osmótico.

Pomper y Breen (1997), reportan para frutos de fresa una descenso significativo en el potencial osmótico al comparar frutos en madurez comercial e inmaduro con valores de  $\Psi_s = -0.94$  a  $-0.72$  MPa, respectivamente. Ellos concluyen que esta diferencia en potencial osmótico se puede deber a que en la fruta de fresa con madurez

comercial, ya se han hidrolizado las macromoléculas incrementándose los sólidos disueltos, situación similar a lo observado en este trabajo.

De igual manera, Cook y Papedick (1978) reportan para frutas pequeñas (cereza, fresas y frambuesa), una relación estrecha entre el potencial hídrico y los sólidos solubles totales con una ecuación de  $\Psi_w$  (-bars) =  $7.79 - 2.14^{\circ}\text{Brix}$  ( $r=0.98$ ) (1 bars equivale a 0.1 MPa). Ellos encontraron que las cerezas pueden llegar a desarrollar valores superiores a  $20^{\circ}\text{Brix}$  y  $\Psi_w = -4.0$  MPa, asumiendo que el principal cambio en el potencial es debido a la elevada concentración de solutos, haciendo más negativo al  $\Psi_s$  y por consecuencia el  $\Psi_w$ .

### CONCLUSIONES

El déficit de presión de vapor de agua (DPV) que define las condiciones de almacenamiento afecta la pérdida de agua de los frutos de mango. A mayores valores de DPV (baja humedad relativa), mayor es la pérdida de agua. La aplicación de cera disminuye significativamente la pérdida de agua en frutos de mango, pero solamente cuando son almacenados en condiciones de baja humedad relativa (alto DPV). La relación de la pérdida de agua diaria de los frutos y las condiciones de almacenamiento (diferentes DPV) puede ser utilizada para predecir la pérdida de peso de los frutos de mango durante su comercialización. A medida que los frutos avanzan en su maduración, los potenciales hídrico, osmótico y de presión se vuelven más negativo por la pérdida de agua y la acumulación de solutos. La pérdida de turgencia ( $\Psi_p=0$ , plasmólisis celular del tejido de acuerdo al diagrama de Höfler) se presentó a un contenido relativo de agua igual a 88%, sin embargo los frutos no perdieron su calidad comercial, ya que presentaban firmezas muy elevadas. Para el caso del mango, la relación entre el contenido relativo de agua (CRA) y la firmeza permite más claramente definir la pérdida de calidad del fruto. Cuando los frutos alcanzan los valores mínimos de firmeza para el consumidor, los valores de CRA son inferiores al 84%. Conforme el fruto madura, el contenido de sólidos solubles se incrementa y el potencial osmótico se vuelve más

negativo. Los modelos matemáticos generados en este estudio pueden ser utilizados como herramientas de predicción de la calidad y la vida de anaquel de los frutos de mango.

#### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- A.O.A.C., 1998.** Official methods of analysis. 16th. Edition. William S., Ed. Published by Association of official Analytical Chemists. Washington, D.C. CD rom.
- Amarante, C. y Banks N. 2001.** Postharvest physiology and quality of coated fruits and vegetables. Horticultural Reviews. 26:161-238.
- Baldwin, E.A., Burns J.K., Kazokas W., Brecht J., Hagenmaier R., Bender R., y Pesis E. 1999.** Effect of two edible coating with different permeability characteristics on mango (*Mangifera indica* L.) ripening during storage. Postharvest Biology and technology. 17:215-226.
- Barrs, H.D. 1668.** Determination of water deficits in plant tissue. En: Water deficits and plant growth. Vol. 1. Development, control and measurement. T.T. Kozlowsky Editor. Academic Press, New York. P. 235-368.
- Ben-Yehoshua, S. 1987.** Transpiration, water stress, and gas exchange. In: Weichmann, J. (Ed.), Postharvest Physiology of Vegetables. Marcel Dekker, New York, pp. 113-170.
- Bourne, M.C. 1980.** Texture evaluation of horticultural crops. HortScience. 15(1):51-57.
- Burdon, J. and Clark, C. 2001.** Effect of postharvest water loss on 'Hayward' kiwifruit water status. Postharvest Biology and Technology. 22:215-225.
- Cook, J.R. y Papendick, R.I. 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 Biology and Technology. 13:45-49.

- Fallik, E., Temkin-Gorodeiski N., Grinberg S. y Davidson H. 1995.** Prolonged low-temperature storage of eggplants in polyethylene bags. *Postharvest Biology and Technology*, 5:83-89.
- FAO. 2002.** Food and Agriculture Organization. Agriculture. Cucumber and mangoes.
- Grierson, W., Wardowsky, W.F. 1978.** Relative humidity effects on the postharvest life of fruits and vegetables. *HortScience* 13:570-574.
- Hsiao, T.C. (1990).** Measurements of plants water status. In: *Irrigation of Agricultural Crops*. Agronomy monograph. No. 30, Madison, USA, P. 243-277.
- Herppich, W.B., Mempel H. y Geyer M. 2000.** Carrot water relation during postharvest: Effects on internal and external product quality. In: *Integrated view of fruit & vegetable quality*. Florkowski W.J., Prussia S.E. y Shewfelt R.L. Editors. International Multidisciplinary Conference. Technomic Publishing Co. Inc. Lancaster, Basel. P.64-72.
- Hulme, A.C. 1971.** The mango. In: *The biochemistry of fruits and their products*. Hulme A.C. Editor. Volume 2. Academic Press. London and New York, P. 233-253.
- Jiang, Y. y Li Y. 2001.** Effects of chitosan coating on postharvest life and quality of longan fruit. *Food Chemistry* 73:139-143.
- Kane, O., Boulet M. y Castaigne F. 1984.** Effect of chilling injure on texture and fungal of mangoes (*Mangifera indica* L.). *Journal of Food science*, 47:992-995.
- Kleinbaum, D.G., Kuper L., Muller K. y Nizam A. 1998.** Dummy Variables in regression. En: *Applied regression analysis and other multivariable methods*. Third edition. Duxbury Press. P. 317-360.
- Krishnamurty, S., Subramanyan H. 1973.** Pre and post harvest physiological of the mango fruit: a review. *Trop. Sci.* 15(2): 167-193.
- Lentz C.P. y Rooke E.A. 1964.** Rates of moisture loss of apples under refrigerated storage conditions. *Food Technology*. (1229-1231):119-121
- Leonardi, C., Guichard S. y Bertin N. 2000.** High vapor pressure deficit influences growth, transpiration and quality of tomato fruits. *Scientia Horticulturae*, 84:285-296.



- Littmann, M.D.** 1972. Effect of water loss on the ripening of climateric fruits. *Queensland J. Agric. Anim. Sci.* 29:103-113.
- Maguire, K.M., Banks N., Lang A.** 1999. Sources of variation in water vapour permeance of apple fruits. *Postharvest Biology and Technology.* 17:11-17.
- McGregor, B.M.** 1987. Tropical products transport handbook. *Agriculture Handbook*, No. 668. Washington, D.C. P. 70.
- Medlicott, A.P., N'Diaye M. y Sigris J.M.** 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.
- Medlicott, A.P. y Sigris J.M.** 1990. Ripening of mangos following low-temperature storage. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 115(3):430-434.
- Mill, T.M., Behboudian M. y Clotier B.** 1996. Water relation, growth and the composition of 'Braeburn' apple fruit under deficit irrigation. *J. Amer. Hort. Sci.* 121(2):286-291.
- MINITAB.** 2002. Minitab Inc. Release for windows. Statistical software. Version 13.1.
- Montero, J.I., Antón A., Muñoz P. y Lorenzo P.** 2001. Transpiration from geranium grow under high temperatures and low humidities in greenhouses. *Agricultural and Forest Meteorology.* 107:323-332.
- Thomas, P.** 1975. Effect of postharvest temperature on quality, carotenoids and ascorbic acid content of Alphonso mangoes on ripening. *Journal of Food Science.* Vo. 40: 704-706.
- Paull, R.** 1999. Effect of temperature and relative humidity on fresh commodity quality. *Postharvest Biology and Technology.* 15:263-277.
- Pearcy, R.W., Ehleringer J.R., Mooney H.A. y Rundel P.W.** 1991. *Plant physiology ecology. Field Methods and Instrumentation.* Chapman and Hall Company, New York. P. 430-431.
- Pomper, W.K. y Breen P.** 1997. Expansion and osmotic adjustment of strawberry fruits during water stress. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 122(2):183-189.

**Ryall, L.A. y Lipton W. 1978.** Refrigerated storage. En: Handling transportation and storage of fruits and vegetables. Vol. 1. AVI Publishing Company, INC. Westport, Connecticut. P. 293-306.

**SAGARPA, 2002.** Producción y valor de mango en México. En Agroenlínea.com.

**Salisbury, F.B. and Ross C.W. 1994.** Difusión, termodinámica y potencial hídrico. En: Fisiología vegetal. Grupo editorial Iberoamérica, S.A de C.V. México D.F. P. 29-46.

**Seymour, G.B., N'Diaye M., Wainwright H. y Tucker G.A. 1990.** Effects of cultivars and harvest maturity on ripening of mangoes during storage. Journal of Horticultural Science. 65(4):479-483.

**Sharkey, P.J., Peggic, I.D. 1984.** Effect of high humidity storage on quality, decay and storage life of cherry, lemon and peach fruits. Sci. Hort. 23:181-190.

**Shirazi, A. y Cameron A. 1993.** Measuring transpiration rates of tomato and other detached fruit. HortScience. 28(10):1035-1038.

**Shibairo, S.L, Upadhyaya, M.K. y Toivonen, P.M. 1997.** Postharvest moisture loss characteristics of carrot (*Daucus carota* L.) cultivars during short-term storage. Scientia Horticulturae 71:1-12.

**Thomas P. y Oke M.S. 1983.** Improvement in quality and storage of 'Alphonso' Mangoes by cold adaptation. Scientia Horticulturae. Vol. 19:257-262.

**Thompson, A.K. 1971.** The storage of mango fruits. Trop. Agric. (Trinidad). Vol. 48, No.1, January. P. 63-70.

**Tinoco, L, Sauer K. y Wang J.C. 1980.** Fisicoquímica, principios y aplicaciones en las ciencias biológicas. Prentice-Hall Hispanoamericana, S.A. México-Englewood Clifs. P. 184-193.

**Turner, N.C. 1981.** Techniques and experimental approaches for the measurement of plant water status. Plant and Soil. 58:339-366.

**Van den Berg, L. y Lentz P. 1971.** High humidity storage of carrots, parsnips, rutabagas, and cabbage. J. Amerc. Soc. Hort. Sci. 98(2):129-132.

**Wells, A.W. 1962.** Effect of storage temperature and humidity on loss of weight by fruits. US Dept. Agric. Marketing Research Rpt # 539.

**Whitelock, D.P., Brusewitz, G.H., Smith, M.W., Zhang, X.H. 1994.** Humidity and air flow during storage affect peach quality. *HortScience* 29:798-801.

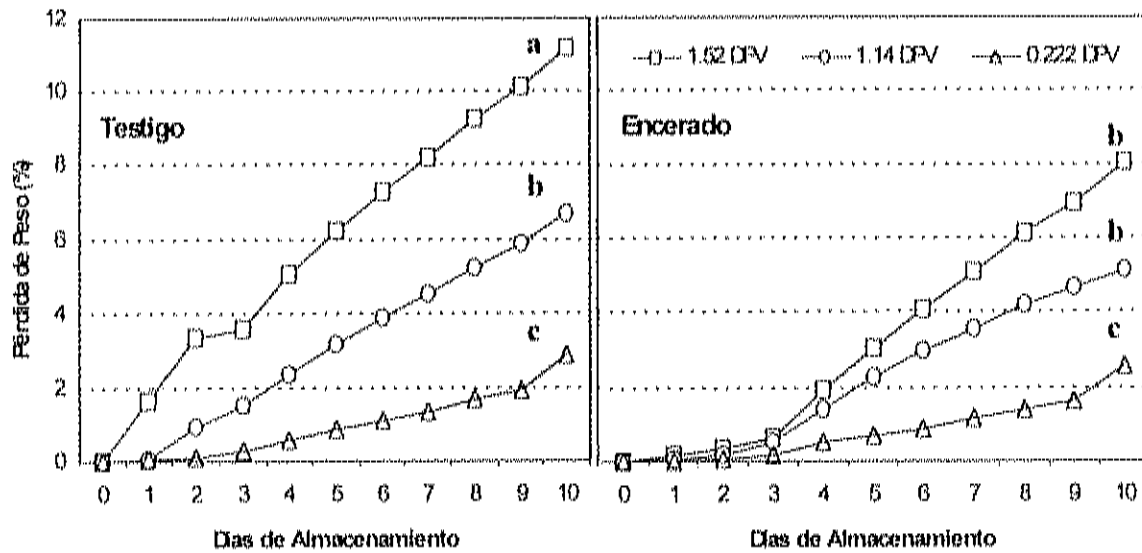


Figura 1. Pérdida de peso en frutos de mango cv. Keitt testigos y encerados almacenado bajo diferentes condiciones de DPV.

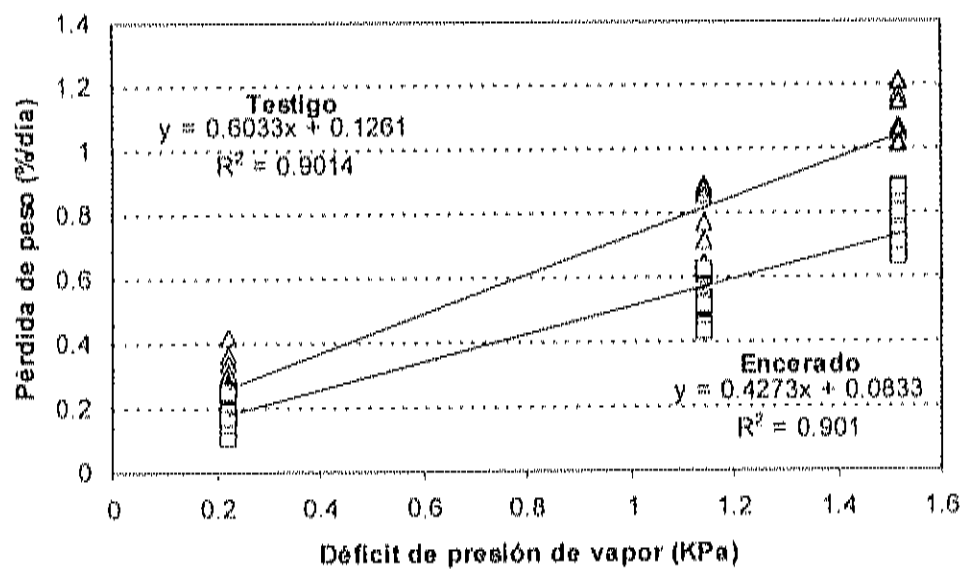


Figura 2. Porcentaje de pérdida de peso diario en frutos de mango cv. Keitt testigos y encerados bajo diferentes condiciones de DPV.

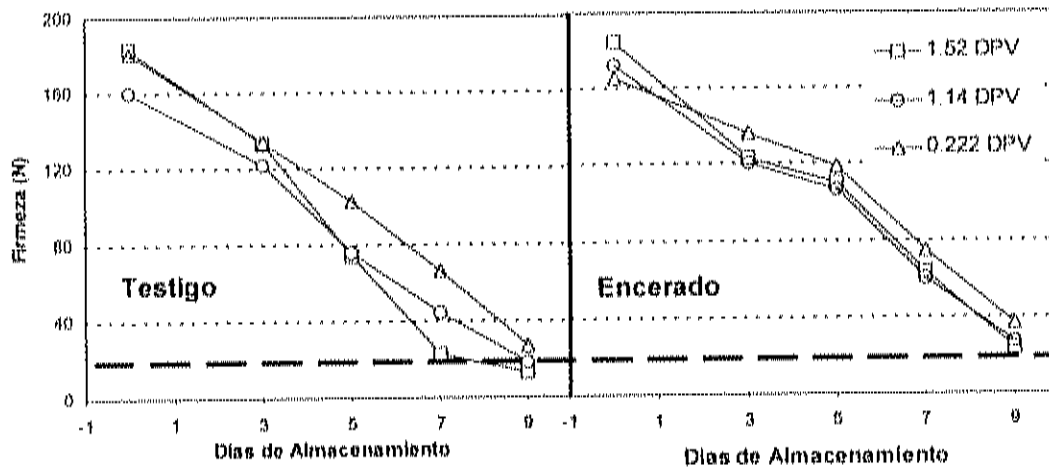


Figura 3. Firmeza en frutos de mango cv. Keitt testigos y encerados almacenados bajo diferentes condiciones de DPV. (La línea gruesa punteada indica el valor mínimo de firmeza que el mango debe presentar para ser aceptado con calidad comercial, según Krishnamurty y Subramanyan, 1973).

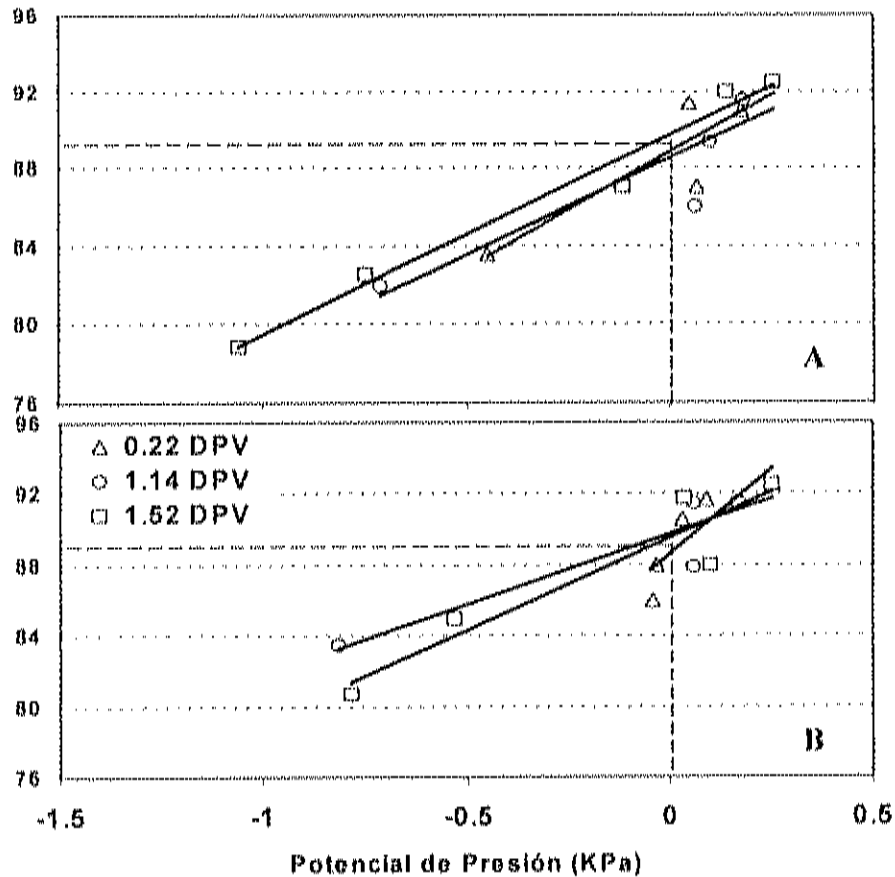


Figura 4. Análisis de regresión entre potencial de presión y contenido relativo de agua en frutos de mango testigo (A):  $CRA (\%) = 12.1(\psi_p) + 88.8$  a 0.22 DPV ( $R^2=0.79$ );  $CRA (\%) = 9.95(\psi_p) + 88.5$  a 1.14 DPV ( $R^2=0.81$ );  $CRA (\%) = 10.3(\psi_p) + 89.7$  a 1.52 DPV ( $R^2=0.97$ ) encerrados (B):  $CRA (\%) = 19.4(\psi_p) + 88.5$  a 0.22 DPV ( $R^2=0.73$ );  $CRA (\%) = 8.0(\psi_p) + 89.7$  a 1.14 DPV ( $R^2=0.85$ );  $CRA (\%) = 10.4(\psi_p) + 89.4$  ( $R^2=0.88$ ) durante almacenamiento por 10 días.

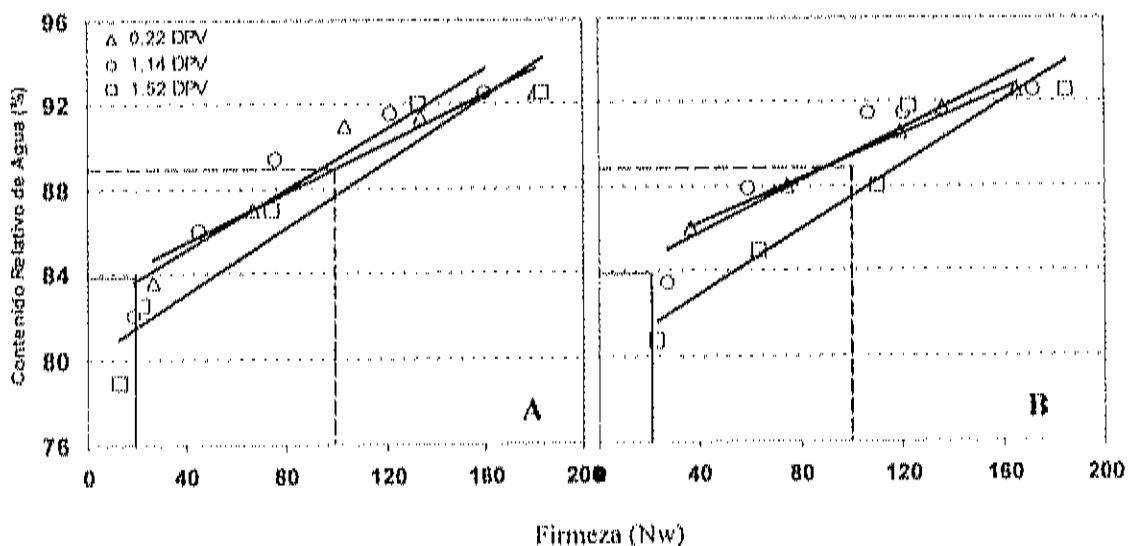


Figura 5. Análisis de regresión entre la firmeza y el contenido relativo de agua en frutos de mango testigo (A):  $CRA (\%) = 0.058(\text{Firmeza}) + 83.1$  a 0.22 DPV ( $R^2=0.88$ );  $CRA (\%) = 0.071(\text{Firmeza}) + 82.2$  a 1.14 DPV ( $R^2=0.89$ );  $CRA (\%) = 0.077(\text{Firmeza}) + 79.9$  a 1.52 DPV ( $R^2=0.91$ ) y encerados (B):  $CRA (\%) = 0.52(\text{Firmeza}) + 84.2$  a 0.22 DPV ( $R^2=0.99$ );  $CRA (\%) = 0.062(\text{Firmeza}) + 83.34$  a 1.14 DPV ( $R^2=0.86$ );  $CRA (\%) = 0.076(\text{Firmeza}) + 79.9$  ( $R^2=0.90$ ) durante almacenamiento por 10 días.



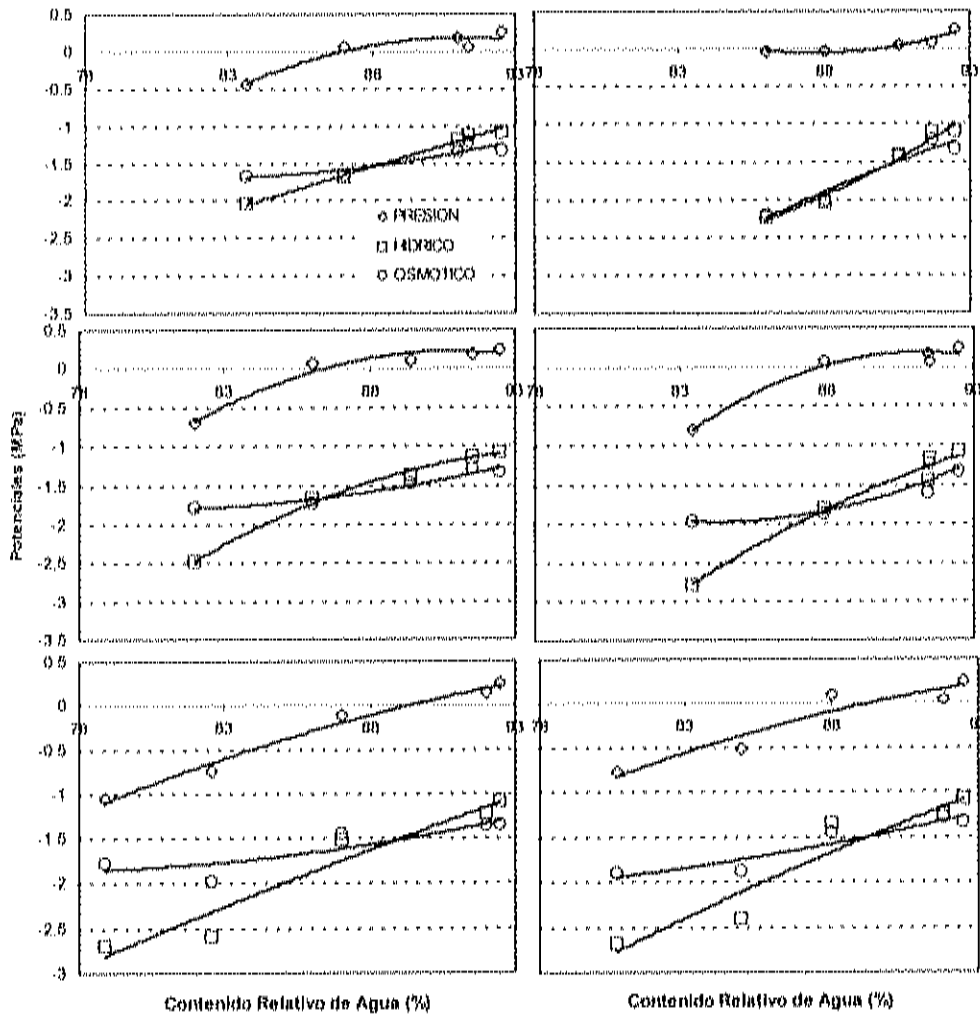


Figura 6. Potencial hídrico, osmótico y de presión en frutos de mango cv. Keitt testigos y encerados almacenados bajo diferentes condiciones de DPV. A y B: Testigo y encerado a 0.222 KPa de DPV; C y D: Testigo y encerado a 1.14 KPa de DPV; E y F: Testigo y encerado a 1.52 KPa de DPV.

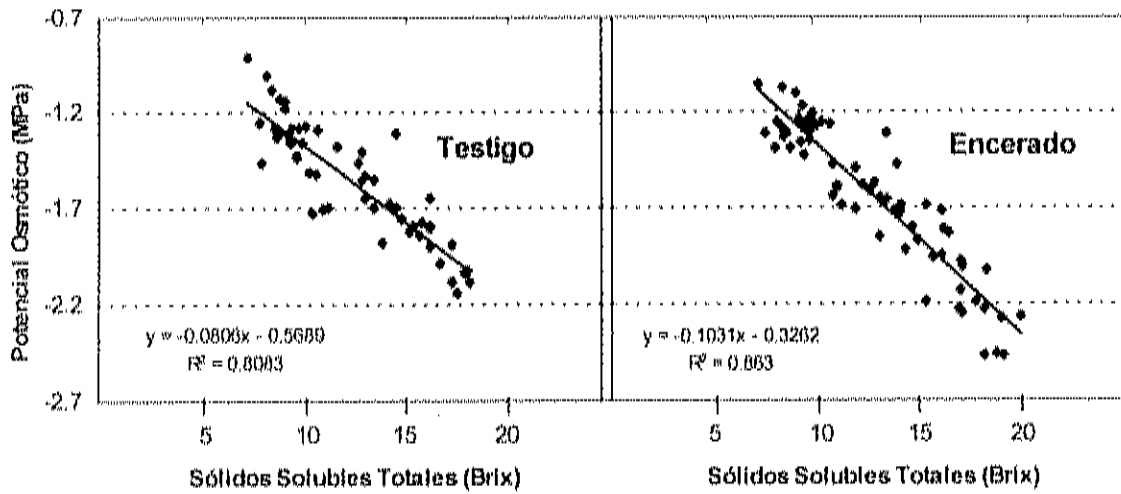


Figura 7. Relación entre el potencial osmótico y los sólidos solubles totales ( $^{\circ}$ Brix) en frutos de mango cv. Keitt testigos y encerados almacenado bajo diferentes condiciones de DPV (n=130).

## APENDICE

## APÉNDICE

Cuadro 1. Saturación de presión de vapor (KPa) en agua a temperatura de 0 a 50°C.

T °C	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
0	0.611	0.615	0.620	0.624	0.629	0.633	0.638	0.643	0.647	0.652
1	0.627	0.661	0.666	0.671	0.676	0.681	0.686	0.690	0.695	0.700
2	0.705	0.711	0.716	0.721	0.726	0.731	0.736	0.742	0.747	0.752
3	0.758	0.763	0.768	0.774	0.779	0.758	0.790	0.796	0.802	0.807
4	0.813	0.819	0.824	0.830	0.836	0.842	0.848	0.854	0.860	0.866
5	0.872	0.878	0.884	0.890	0.897	0.903	0.909	0.915	0.922	0.928
6	0.935	0.941	0.948	0.954	0.961	0.967	0.974	0.981	0.988	0.994
7	1.001	1.008	1.015	1.022	1.029	1.036	1.043	1.050	1.058	1.065
8	1.072	1.079	1.087	1.094	1.102	1.109	1.117	1.124	1.132	1.140
9	1.147	1.155	1.163	1.171	1.179	1.187	1.195	1.203	1.211	1.219
10	1.227	1.235	1.244	1.252	1.261	1.269	1.277	1.286	1.295	1.303
11	1.312	1.321	1.329	1.338	1.347	1.356	1.365	1.374	1.383	1.392
12	1.402	1.411	1.420	1.430	1.439	1.449	1.458	1.468	1.477	1.487
13	1.497	1.507	1.517	1.527	1.537	1.547	1.557	1.567	1.577	1.587
14	1.598	1.608	1.619	1.629	1.640	1.650	1.661	1.672	1.683	1.693
15	1.704	1.715	1.726	1.738	1.749	1.706	1.771	1.783	1.794	1.806
16	1.817	1.829	1.841	1.852	1.864	1.876	1.888	1.900	1.912	1.924
17	1.937	1.949	1.961	1.974	1.986	1.999	2.012	2.024	2.037	2.050
18	2.063	2.076	2.089	2.102	2.115	2.129	2.142	2.156	2.169	2.183
19	2.196	2.210	2.224	2.238	2.252	2.266	2.280	2.294	2.308	2.323
20	2.337	2.352	2.366	2.381	2.396	2.411	2.426	2.441	2.456	2.471
21	2.486	2.501	2.517	2.532	2.548	2.563	2.579	2.595	2.611	2.627
22	2.643	2.659	2.675	2.692	2.708	2.725	2.741	2.758	2.775	2.792
23	2.809	2.826	2.843	2.860	2.877	2.895	2.912	2.930	2.947	2.965
24	2.983	3.001	3.019	3.037	3.056	3.074	3.092	3.111	3.130	3.148
25	3.167	3.186	3.205	3.224	3.243	3.263	3.282	3.302	3.321	3.341

Cuadro 1. Continuación.

T °C	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
26	3.361	3.381	3.401	3.421	3.441	3.462	3.482	3.503	3.523	3.544
27	3.565	3.586	3.607	3.628	3.649	3.671	3.692	3.714	3.736	3.758
28	3.780	3.802	3.824	3.846	3.869	3.891	3.914	3.937	3.959	3.982
29	4.005	4.029	4.052	4.075	4.099	4.123	4.147	4.171	4.195	4.219
30	4.243	4.267	4.292	4.317	4.341	4.366	4.391	4.417	4.442	4.467
31	4.493	4.518	4.544	4.570	4.596	4.622	4.649	4.675	4.702	4.728
32	4.755	4.782	4.809	4.836	4.864	4.891	4.919	4.947	4.974	5.003
33	5.031	5.059	5.087	5.116	5.145	5.174	5.203	5.232	5.261	5.290
34	5.320	5.350	5.380	5.410	5.440	5.470	5.500	5.531	5.562	5.593
35	5.624	5.655	5.686	5.718	5.749	5.781	5.813	5.845	5.877	5.910
36	5.942	5.975	6.008	6.041	6.074	6.107	6.141	6.174	6.208	6.242
37	6.276	6.311	6.345	6.380	6.414	6.449	6.484	6.520	6.555	6.591
38	6.626	6.662	6.698	6.735	6.771	6.808	6.845	6.881	6.919	6.956
39	6.993	7.031	7.069	7.107	7.145	7.183	7.222	7.261	7.299	7.338
40	7.378	7.417	7.457	7.497	7.537	7.577	7.617	7.658	7.698	7.739
41	7.780	7.821	7.863	7.905	7.946	7.988	8.031	8.073	8.116	8.159
42	8.202	8.245	8.288	8.332	8.375	8.419	8.464	8.508	8.553	8.597
43	8.642	8.687	8.733	8.778	8.824	8.870	8.916	8.963	9.010	9.056
44	9.103	9.151	9.198	9.246	9.294	9.342	9.390	9.439	9.487	9.536
45	9.585	9.635	9.684	9.734	9.784	9.835	9.885	9.936	9.987	10.038
46	10.089	10.141	10.193	10.245	10.297	10.350	10.403	10.456	10.509	10.562
47	10.616	10.670	10.724	10.778	10.833	10.888	10.943	10.998	11.054	11.110
48	11.166	11.222	11.279	11.336	11.393	11.450	11.507	11.565	11.623	11.682
49	11.740	11.799	11.858	11.917	11.977	12.037	12.097	12.157	12.218	12.278
50	12.340	12.401	12.462	12.524	12.587	12.649	12.712	12.775	12.838	12.901

Percy *et al.*, 1991.