

Tesis de Posgrado

Influencia de la estructura celular en el fenómeno de transporte de humedad durante el secado en corriente de aire de mango (*Manguifera indica* Linn)

Nieto, Andrea Bibiana

1998

Tesis presentada para obtener el grado de Magister de la Universidad de Buenos Aires en el área de Bromatología y Tecnología de la Industrialización de Alimentos de la Universidad de Buenos Aires

Este documento forma parte de la colección de tesis doctorales y de maestría de la Biblioteca Central Dr. Luis Federico Leloir, disponible en digital.bl.fcen.uba.ar. Su utilización debe ser acompañada por la cita bibliográfica con reconocimiento de la fuente.

This document is part of the doctoral theses collection of the Central Library Dr. Luis Federico Leloir, available in digital.bl.fcen.uba.ar. It should be used accompanied by the corresponding citation acknowledging the source.

Cita tipo APA:

Nieto, Andrea Bibiana. (1998). Influencia de la estructura celular en el fenómeno de transporte de humedad durante el secado en corriente de aire de mango (*Manguifera indica* Linn). Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires.
http://digital.bl.fcen.uba.ar/Download/Tesis/Tesis_3168_Nieto.pdf

Cita tipo Chicago:

Nieto, Andrea Bibiana. "Influencia de la estructura celular en el fenómeno de transporte de humedad durante el secado en corriente de aire de mango (*Manguifera indica* Linn)". Tesis de Magister. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires. 1998.
http://digital.bl.fcen.uba.ar/Download/Tesis/Tesis_3168_Nieto.pdf



UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES

**Influencia de la estructura celular en el
fenómeno de transporte de humedad
durante el secado en corriente de aire de
mango (*Manguifera indica* Linn)**

Andrea Bibiana Nieto

**Tesis presentada para optar al título de Magister en
Bromatología y Tecnología de Industrialización de
Alimentos**

**Directora de Tesis: Dra. Stella Maris Alzamora
Codirectora de Tesis: Dra. María Agueda Castro**

1998

№ 3 16 8 1

Agradecimientos

- * A la Universidad de Buenos Aires, el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, La Unión Europea (Proyecto STD3) y el Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED) por el aporte financiero brindado para la realización de esta tesis.
- * Al Departamento de Industrias de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires por permitir la realización del trabajo en sus instalaciones.
- * A la Dra. Stella Maris Alzamora, directora de este trabajo, por brindarme atención, dedicación y apoyo profesional e incentivar me en la tarea de investigación emprendida.
- * A la Dra. María Agueda Castro, codirectora de este trabajo, por su invaluable aporte en los temas relacionados con la morfología vegetal.
- * A la Dra. Susana Vidales, por su asesoramiento en el desarrollo de la deshidratación-impregnación de frutas y vegetales, a las Dras. Carmen Campos, Sandra Guerrero y Ana María Rojas y al Lic. Guillermo Binstok, con quienes pude aclarar temas relacionados con el trabajo y me acompañaron estrechamente durante todo este tiempo.
- * A la Dra Liliana Mauri, por su guía y apoyo profesional
- * A mis compañeros del Departamento de Industrias
- * A Refinerías de Maíz S.A. que proveyó la cerelose para la realización de este trabajo

Andrea Bibiana Nieto

A mis padres

A mi hermano

Indice

	página
1. OBJETIVO	1
2. INTRODUCCION	6
2.1. Métodos de conservación de alimentos	7
2.2. Deshidratación de alimentos. Aplicación a frutas y vegetales	9
2.3. Pretratamientos	12
2.3.1. Escaldado	12
2.3.2. Deshidratación-impregnación con solutos	13
2.4. Efectos del escaldado y la deshidratación-impregnación con solutos en la velocidad de secado de tejidos vegetales	18
2.5. Organización interna del cuerpo de una planta: células, tejidos y órganos	21
2.5.1. Sistemas de tejidos	21
2.5.2. La célula vegetal	23
2.6. El mango	32
2.6.1. Características botánicas	32
2.6.2. Descripción del fruto	32
2.7. Examen microestructural de los alimentos	38
3. MATERIALES Y METODOS	43
3.1. Materia prima	44
3.2. Pretratamientos	44
3.2.1. Preparación del material	44
3.2.2. Escaldado en vapor	44
3.2.3. Deshidratación-impregnación con glucosa	44
3.3. Descripción del equipo de secado	46

3.4.	Determinación de las curvas de secado	48
3.5.	Determinación del contenido de humedad	49
3.6.	Determinación de la actividad de agua	49
3.7.	Determinación de sólidos solubles	50
3.8.	Análisis de azúcares	50
3.9.	Medición del encogimiento de las placas	52
3.10.	Cálculo de la pérdida de agua, la pérdida de peso y la ganancia de sólidos	53
3.11.	Técnicas microscópicas	54
3.11.1.	Materia prima	54
3.11.2.	Microscopía estereoscópica	54
3.11.3.	Microscopía óptica	54
3.11.4.	Microscopía electrónica de transmisión	55
3.11.5.	Test microquímicos	55
4.	RESULTADOS Y DISCUSION	57
4.1.	Aspecto general de las curvas de secado	58
4.2.	Reproducibilidad de las curvas y condiciones de secado	60
4.3.	Tratamiento matemático de los datos de secado	62
4.3.1.	Modelo	62
4.3.2.	Análisis estadístico de los datos	65
4.4.	Efecto de los pretratamientos en la cinética de secado	66
4.4.1.	Efecto del escaldado	66
4.4.2.	Efecto de la impregnación con glucosa	68
4.4.3.	Efecto combinado del escaldado y la impregnación con glucosa	72
4.5.	Caracterización fisicoquímica del mango sometido a diferentes pretratamientos	78

4.5.1.	Análisis de la pérdida de peso, la ganancia de sólidos y la pérdida de agua del mango durante la impregnación con glucosa	78
4.5.2.	Contenido de azúcares	81
4.5.3.	Encogimiento volumétrico	84
4.6.	Caracterización estructural y ultraestructural del mango sometido a diferentes pretratamientos	85
4.6.1.	Descripción de la fruta fresca	85
4.6.2.	Efecto del escaldado	91
4.6.3.	Efecto de la impregnación con glucosa	91
4.6.3.1.	Tratamientos a presión atmosférica	91
4.6.3.2.	Tratamiento con pulso de vacío	96
4.6.4.	Efecto combinado del escaldado y la impregnación con glucosa	97
4.6.4.1.	Tratamientos a presión atmosférica	97
4.6.4.2.	Tratamiento con pulso de vacío	100
4.7.	Integración de resultados: algunas hipótesis sobre la conducta de secado del mango con pretratamientos	103
5.	CONCLUSIONES	113
6.	ANEXO	116
7.	BIBLIOGRAFIA	132

1

Objetivo

Las frutas y los vegetales tienen un rol significativo en la nutrición de nuestro organismo.

Además de incorporar "flavor", color y variedad a la ingesta, ellos se utilizan como fuente indispensable de ciertas vitaminas, minerales y otros nutrientes de los cuales otros alimentos son deficientes, si bien no son económicas y/o buenas fuentes de proteínas, grasas y energía. Contienen también agua y carbohidratos presentes como azúcares simples o polímeros. Las celulosas y hemicelulosas, las sustancias pécticas y la lignina que caracterizan a los productos vegetales constituyen la fibra dietaria, cuya presencia en la ingesta diaria está siendo valorada en años recientes.

Virtualmente toda la vitamina C que incorporamos es derivada de frutas y vegetales. Además, muchos de ellos (ej.: mango, zanahoria) son fuentes ricas de provitamina A, cuyo valor radica en ser un factor anticarcinogénico que ha ganado importancia en los últimos años. Son también importantes los suplementos de calcio, hierro y fósforo.

En la **Tabla 1-1** se listan los principales nutrientes presentes en el mango fresco y su cantidad aproximada.

Tabla 1-1: Composición química del mango fresco [†].

agua	82,4 g	
proteínas	0,7 g	
grasa	0,2 g	
hidratos de carbono	14,1 g	(almidón: 0,3g, azúcares: 13,8g)
fibra	2,9 g	
minerales	225 mg	(K: 180 mg, Ca: 12 mg, Mg: 13 mg, P: 16 mg)
vitamina C	37 mg	
caroteno	1,8 mg	
Energía	57 kcal	

[†] composición química promedio cada 100 g de porción comestible.

Fuente: Holland y col., 1992.

Los desarrollos recientes en las tecnologías agropecuarias han incrementado sustancialmente la producción mundial de frutas y vegetales, con

un concomitante aumento en la proporción que es manipulada, almacenada, transportada, procesada y vendida en todo el mundo (Jayaraman, 1995).

Las frutas y los vegetales contienen más del 80% en peso de agua, son altamente perecederas y su comercialización es muy limitada. Las pérdidas post-cosecha reportadas en países tropicales y subtropicales en desarrollo ascienden a un 30-40 %.

En particular, el pronunciado ablandamiento de la pulpa durante la maduración limita la vida comercial del mango (Lizada, 1993).

Las tecnologías de almacenamiento a largo plazo, como las atmósferas controladas o modificadas, que han sido utilizadas comercialmente para frutas climatéricas, no han sido aplicadas exitosamente al mango. La maduración no puede ser retrasada suficientemente para permitir su transporte a largas distancias. El mango es altamente susceptible de dañarse por temperaturas extremas y daño físico.

India, productora de grandes volúmenes, exporta mango principalmente procesado como jugo, puré o trozos. Filipinas y México, como fruta fresca.

Se hace así necesaria la búsqueda de tecnologías alternativas de mínimo procesamiento de mango y/o la optimización de tecnologías existentes, ampliando la conveniencia y la disponibilidad de este producto estacional e incrementando los mercados.

Diferentes procesos tecnológicos han sido empleados en escala industrial para preservar frutas y vegetales, siendo los principales: congelación, esterilización y deshidratación. Entre ellos, la deshidratación ofrece una significativa reducción del peso y del volumen con la correspondiente reducción de los costos de empaquetamiento, almacenamiento y transporte y al mismo tiempo permite almacenar los productos a temperatura ambiente cumpliendo una importante función en los países en desarrollo, en la alimentación de ejércitos militares y de astronautas. Pero cuando es aplicada a frutas y vegetales, los productos finales son estructuras rígidas que necesitan prolongados períodos de

rehidratación, siendo al final de esta etapa la textura y el “flavor” muy inferiores a los de la fruta fresca. Cuando se elimina agua a bajos niveles se remueve agua ligada, conduciendo esto a cambios estructurales irreversibles en los componentes moleculares. Además, una gran cantidad de energía es necesaria para remover por secado la humedad de las frutas y los vegetales (Jayaraman, 1995).

Diferentes autores han sugerido la realización de pretratamientos a los alimentos sólidos para otorgarle mayor calidad al producto final y/o reducir el contenido de agua a separar en el secador tales como: un tratamiento térmico para destruir enzimas y una deshidratación previa por inmersión en soluciones concentradas de sal y/o azúcares u otros solutos (Bonazzi y col., 1996).

El **objetivo** de este estudio fue analizar el efecto del escaldado y/o la impregnación con glucosa (a presión atmosférica y al vacío) en la cinética de movimiento de humedad durante el primer período de velocidad de secado decreciente de mango y clarificar el rol que juegan las modificaciones de la estructura celular ocurridas por estos pretratamientos.

Se siguieron las siguientes etapas:

- estudio de la influencia en las curvas de secado de mango de los siguientes factores:
 - * escaldado en vapor saturado
 - * impregnación con glucosa a presión atmosférica hasta una actividad de agua de equilibrio ($a_{w\ eq}$) 0,97 ó 0,93
 - * impregnación con glucosa con aplicación de un pulso de vacío hasta $a_{w\ eq}$ 0,97
 - * escaldado e impregnación con glucosa a presión atmosférica hasta $a_{w\ eq}$ 0,97 ó 0,93 o con aplicación de pulso de vacío hasta hasta $a_{w\ eq}$ 0,97
- cálculo del coeficiente de difusión efectivo del agua (D_{ef}) mediante la aplicación de la Ley de Fick

- cuantificación de azúcares del tejido vegetal (glucosa, fructosa, sacarosa) por cromatografía líquida de alta presión
- análisis del encogimiento de las muestras provocado por la aplicación de los pretratamientos
- análisis microscópico estructural y ultraestructural (microscopía óptica y electrónica de transmisión) del tejido vegetal.
- integración de los resultados y formulación de hipótesis sobre la conducta observada en el secado.

2

Introducción

2.1. Métodos de conservación de alimentos

La conservación de alimentos desde el punto de vista microbiológico implica básicamente colocar a los microorganismos en un ambiente hostil para inhibir su crecimiento, acortar su sobrevivencia y/o causar su muerte.

Las principales tecnologías que son empleadas para preservar la calidad y la seguridad microbiológica de los alimentos incluyen (Gould, 1995):

- 1- procedimientos que previenen el acceso de microorganismos al alimento
- 2- procedimientos que inactivan a los microorganismos
- 3- procedimientos que previenen o disminuyen el crecimiento

Algunas de las mismas se muestran en la **Tabla 2-1**.

Tabla 2-1: Tecnologías tradicionales y nuevas en el campo de la conservación de alimentos

- Restricción del acceso de microorganismos
 - envasado aséptico de alimentos procesados térmicamente
 - empaquetamiento
- Inactivación de microorganismos
 - aplicación de calor (esterilización o pasteurización)
 - uso de radiaciones ionizantes
 - adición de enzimas (lisozima)
 - aplicación de altas presiones hidrostáticas
 - aplicación de pulsos eléctricos
 - aplicación de pulsos luminosos
 - aplicación de campos magnéticos
 - aplicación de ultrasonido
- Disminución o prevención del crecimiento de microorganismos
 - uso de bajas temperaturas (refrigeración y congelación)
 - reducción de la a_w (curado, deshidratación)
 - acidificación
 - fermentación
 - empaquetamiento en atmósferas controladas o modificadas
 - adición de conservadores
 - control microestructural (emulsiones)

Fuente: Gould, 1995.

Recientemente ha surgido un renovado interés en modificar las metodologías tradicionales de conservación de alimentos y/o desarrollar nuevas tecnologías, principalmente en el sentido de disminuir la severidad de las técnicas más extremas, para lograr mayor calidad en los productos alimenticios y hacer frente a los requerimientos actuales de los consumidores (Gould, 1995).

Las técnicas nuevas o las técnicas tradicionales modificadas deben otorgar, no sólo un mejoramiento prometido en cuanto a calidad, sino también igualar o superar el nivel de seguridad comparado con los procedimientos que ellas reemplazan.

La **Tabla 2-2** resume las demandas de los consumidores e indica algunos de los medios para satisfacerlas.

Tabla 2-2: Impacto de los requerimientos de los consumidores en el desarrollo de las tecnologías de conservación

DESEOS DE LOS CONSUMIDORES

- mayor conveniencia
 - fácil almacenamiento
 - vida útil satisfactoria
- alta calidad
 - mejor "flavor", textura, apariencia
- seguridad química y microbiológica
- fresca
- más natural
- nutricionalmente saludable

MEDIOS PARA ADQUIRIRLOS

- procesamientos menos severos
 - menos intensidad de calentamiento
 - mínimo daño por congelación
- menor uso de aditivos artificiales - mayor uso de sistemas de preservación naturales
- menores contenidos de sal, grasa y azúcar
- eliminación de microorganismos contaminantes de los alimentos por decontaminación de alimentos y materias primas

Fuente: Gould, 1995.

2.2. Deshidratación de alimentos. Aplicación a frutas y vegetales

La conservación de alimentos por deshidratación se basa en la reducción de la actividad de agua (a_w) para inhibir del desarrollo de microorganismos, tal como figura en la Tabla 2-1.

Aún con el desarrollo de nuevas técnicas de secado (al vacío, en microondas, etc.), muchos vegetales seguirán siendo procesados por el método tradicional de deshidratación en corriente de aire por ser ésta una operación simple y económica.

Los principales problemas asociados con el secado en corriente de aire son el encogimiento causado por el colapso celular debido a la pérdida de agua, las pobres características de rehidratación del producto seco y los cambios desfavorables en el color, textura, "flavor" y valor nutritivo (Achanta y Okos, 1995).

A nivel microestructural, se han reportado distintos cambios asociados a la operación de deshidratación, a saber (Alzamora y col., 1997):

- modificación de la cristalinidad de la pared celular, desorganización de las microfibrillas de celulosa y ruptura de la laminilla media
- pérdida de la funcionalidad del plasmalema debido al estrés osmótico con pérdida del turgor
- incapacidad del protoplasto para expandirse y recuperar su volumen original
- encogimiento del tejido
- ruptura de membranas y formación de vesículas durante la rehidratación
- gelatinización del almidón y fusión y redistribución de grasas.

Diferentes autores han sugerido la realización de pretratamientos a los alimentos sólidos para otorgarle mayor calidad al producto final y/o reducir el contenido de agua a separar en el secador. Las modificaciones indeseables del color y la apariencia pueden ser disminuidos por la aplicación de pretratamientos apropiados tales como: un tratamiento térmico para destruir enzimas y una

deshidratación previa por inmersión en soluciones concentradas de sal y/o azúcares u otros solutos (Bonazzi y col., 1996).

Cuando el secado se realiza en corriente de aire bajo condiciones de operación (temperatura, humedad relativa y velocidad del aire) constantes se distinguen generalmente dos fases: un período de velocidad constante y uno o más períodos de velocidad decreciente. Los datos obtenidos durante la deshidratación de un material se presentan en general representando gráficamente el contenido de humedad promedio, \bar{m} , o la velocidad de secado, $\frac{d\bar{m}}{dt}$, en función del tiempo, t (Figura 2-1).

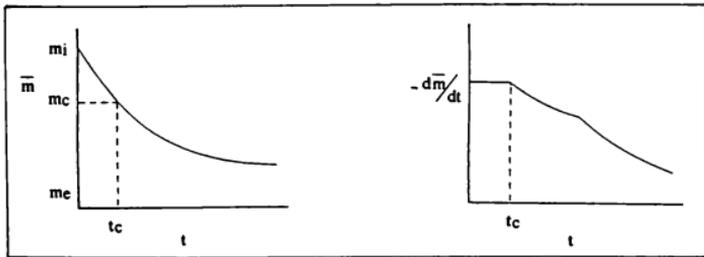


Figura 2-1: Representación de los períodos de secado de placas bajo condiciones de temperatura y humedad constantes. Fuente: Karel, 1975.

En el *período de velocidad de secado constante* el agua que se evapora de la superficie del producto es agua libre que es renovada rápidamente por el flujo capilar de agua libre interna a través de los poros del material.

La resistencia a la transferencia de masa está controlada por la etapa de difusión del vapor de agua desde la superficie del sólido húmedo hacia el seno del aire a través de la película externa.

La superficie de la placa tiene un contenido de humedad tal que la presión

de vapor de agua en la superficie del alimento es igual a la presión de vapor del agua pura ($p = p_0$) a la temperatura de bulbo húmedo (T_{bh}).

La velocidad de secado durante este período se mantiene constante siempre que la relación entre los coeficientes de transferencia de calor y masa y el área expuesta al medio no varíen durante el proceso.

Este período se extiende hasta que el contenido de humedad promedio de la placa llega a un valor conocido como contenido de humedad crítica (\overline{m}_c). A partir de este punto la migración del agua dentro del alimento es insuficiente para saturar la superficie. Los valores de \overline{m}_c son característicos de cada alimento pero además dependen de otros factores, tales como la relación de velocidad del movimiento interno/externo del agua, el espesor de la pieza y las condiciones del aire (temperatura de bulbo seco, T_{bs} ; porcentaje de humedad relativa, % HR; y velocidad del aire, v).

Saravacos y Charm (1962) determinaron \overline{m}_c para diferentes frutas y vegetales. La **Tabla 2-3** muestra los valores obtenidos y las condiciones experimentales de secado utilizadas.

Tabla 2-3: Contenido de humedad crítica (\overline{m}_c) de frutas y vegetales *

Alimento		\overline{m}_c (g agua / g masa seca)
papa	placa de 3 mm de espesor	3,5
manzana	placa de 0,5 × 0,5 × 0,25 pulgadas	6,0
zanahoria	placa de 0,5 × 0,5 × 0,25 pulgadas	5,0
ajo	láminas de 3 mm de espesor	2,4
cebolla	láminas de 4 mm de espesor	6,0
damasco	mitades	7,7
uva s/semilla	una capa	4,8
pera	placa de 6 mm de espesor	6,5

* Condiciones de secado: velocidad del aire = 2 m/s; T_{in} = 61-65 °C; HR = 13-18 %

Fuente: Saravacos y Charm, 1962.

Puede observarse que los valores de $\overline{m_c}$ son muy cercanos al contenido de humedad inicial; por lo tanto en muchos alimentos este período no es observado experimentalmente o es insignificante.

El período de velocidad de secado constante es seguido por el *primer período de velocidad de secado decreciente*. En este período, a diferencia del anterior, la velocidad de secado disminuye a medida que la presión de vapor de la humedad remanente en el producto se aproxima a la presión de vapor de equilibrio con el aire circundante. El fenómeno que limita la velocidad de secado es la transferencia de agua o de vapor desde el interior a la superficie del producto.

Se postula que el primer período de velocidad de secado decreciente finaliza cuando se alcanza el máximo contenido de humedad higroscópico (presión de vapor del agua en el alimento igual a la presión de vapor del agua pura) en el centro de la muestra, el cual marca la transición entre el agua ligada y el agua libre en el alimento. A partir de este momento la velocidad de secado disminuye aún más rápidamente, comenzando el *segundo período de velocidad de secado decreciente*.

Los materiales higroscópicos, como son los alimentos, nunca se secan hasta un contenido de humedad cero.

2.3. Pretratamientos

2.3.1. Escaldado

El escaldado como pretratamiento a los procesos de congelado, deshidratación y esterilización de frutas y vegetales es usualmente llevado a cabo para prevenir la formación de aromas y sabores desagradables y cambios de color debido a reacciones enzimáticas durante el procesamiento y almacenamiento posterior. En las tecnologías de procesamiento mínimo, como por ejemplo las

tecnologías de barreras para obtener frutas mínimamente procesadas, no sólo se aplica para inactivar enzimas sino para destruir o para dañar por calor los microorganismos presentes (entre otros hongos y levaduras), reduciendo la carga microbiana inicial o sensibilizado a los sobrevivientes ante otros factores de estrés (Alzamora y col., 1995).

2.3.2. Deshidratación-impregnación con solutos.

La eliminación de agua de materiales biológicos sólidos con alto contenido de agua (frutas y vegetales, carnes y pescado, queso) puede ser obtenida contactando el alimento con una solución concentrada de solutos solubles, o bien agregando directamente el soluto al alimento (Bonazzi y col., 1996).

La fuerza impulsora para la remoción de agua es el gradiente de potencial químico entre el medio de inmersión y el fluido intracelular. Las membranas celulares son parcialmente selectivas y permiten libremente el pasaje de moléculas de agua, y en menor medida, la difusión de soluto hacia el interior del alimento. Aunque cuantitativamente es despreciable, se produce también la salida de solutos propios (azúcares, ácidos orgánicos, minerales y sales, etc.) a través de la membrana, hecho que puede resultar esencial para la calidad organoléptica y/o nutricional del producto.

Este proceso transmembrana de pérdida de agua y ganancia de solutos se conoce como “deshidratación osmótica”. Actualmente, en el caso de tejidos vegetales, se utiliza la expresión “deshidratación-impregnación por inmersión en solutos y/o en sus soluciones concentradas” (DIS), para tener en cuenta aquellos procesos en donde la membrana ha sido dañada y ya no regula el transporte de agua y solutos, si bien ocurre una pérdida de agua y ganancia de solutos como resultado del tratamiento. Debe considerarse que los cambios en el almacenamiento y/o los pretratamientos químicos o térmicos pueden modificar la permeabilidad diferencial y la selectividad de las estructuras de membranas (Torreggiani, 1995). Estos procesos de transferencia de masa simultáneos se

esquematan en la **Figura 2-2**.



Figura 2-2: Esquema de los procesos de transferencia de masa durante la deshidratación - impregnación con solutos. Fuente: Bonazzi y col., 1996.

Mediante la selección del(los) soluto(s) y de sus concentraciones y el control de los parámetros del proceso es posible obtener diferentes combinaciones de pérdida de agua y ganancia de sólidos, desde una remoción sustancial de agua y sólo una pequeña incorporación de solutos hasta un proceso de endulzado o salado, en el cual la penetración de soluto es significativa. A través de esta incorporación selectiva en el alimento es posible en cierta forma cambiar las propiedades nutricionales y funcionales logrando una formulación específica del producto sin modificar mayormente su integridad.

Como la deshidratación-impregnación con solutos es un proceso de transferencia de masa, la efectividad de la remoción de humedad y la incorporación de sólidos depende de aquellos factores que afecten la fuerza impulsora y la(s) resistencia(s) al transporte.

El principal factor es la *naturaleza del material vegetal*, que puede ser modificada también por posibles pretratamientos. Se observa una gran variabilidad en la cantidad de azúcares y de agua intercambiadas entre frutas de distintas especies y entre variedades de la misma especie. La variabilidad podría ser debida a las diferencias en estructuras, compactabilidad del tejido, contenido de sólidos y espacio intercelular, composición química a nivel molecular y de macromoléculas, proporción de los distintos tipos de tejidos, madurez, etc.

El tipo de *agente de impregnación* utilizado, su peso molecular y/o carga iónica afectan fuertemente la cinética de remoción de agua, la ganancia de sólidos, el contenido de agua en el equilibrio y el tiempo necesario para llegar a este valor. Los agentes de impregnación más comúnmente utilizados son sacarosa, glucosa y cloruro de sodio. Otros agentes ensayados por diferentes investigadores son fructosa, maltodextrinas, jarabes de almidón hidrolizado, sorbitol y glicerol (Lerici y col. 1985; Giangiacomo y col. 1987; Torreggiani y col., 1987; Biswal y Le Mager, 1989). Al incrementar la masa molecular de los solutos se obtiene una disminución de la ganancia de sólidos y un incremento de la pérdida de agua, favoreciéndose la pérdida de peso y el proceso de deshidratación. A bajo peso molecular de azúcares (por ej.: glucosa, fructosa, sorbitol), se favorece su ingreso por la mayor velocidad de penetración de las moléculas, ocurriendo entonces un enriquecimiento en sólidos también importante. Para mejorar la cinética de ósmosis, Hawkes y Flink (1978) estudiaron la posibilidad de utilizar mezclas de maltodextrinas o lactosa con sacarosa. Estos autores observaron también un efecto sinérgico entre la sal y el azúcar al utilizar una mezcla binaria de sacarosa y cloruro de sodio (Islam y Flink, 1982; Lenart y Flink, 1984).

Una alta *concentración de la solución de impregnación* favorece la pérdida de agua más que la ganancia de sólidos. Se ha señalado que a bajas concentraciones, la ganancia de sólidos en un agar es mayor que la pérdida de agua; cuando aumenta la concentración, los sólidos ganados alcanzan un máximo, disminuyendo luego y llegando a ser mucho menores que la pérdida de agua.

La velocidad de transferencia de masa se incrementa con la *temperatura*, pero encima de 45 °C el pardeamiento enzimático y el deterioro del "flavor" comienzan a tener lugar, y además se altera la permeabilidad de las membranas.

La pérdida de agua y ganancia de sólidos depende del *tamaño* (Lerici, 1985) y la *geometría de la pieza* (Monsalve-González y col., 1993) y de la

relación entre la fruta y el jarabe (Lenart y Flink, 1984).

En la *deshidratación-impregnación con solutos por inmersión en soluciones concentradas al vacío* (DIS-V), el proceso se realiza a presiones menores que la atmosférica (Fito y Chiralt, 1995). La *deshidratación-impregnación por inmersión en soluciones concentradas por pulsos de vacío* (DIS-PV) es una modificación de la DIS-V. El vacío se aplica durante cortos períodos de tiempo (por ej.: 5 min) mientras que el producto está inmerso en la solución de impregnación. Luego se restituye el sistema a la presión atmosférica y continúa la DIS a presión normal. De esta forma se induce un llenado completo de los poros del alimento con la solución concentrada de soluto, incrementándose el área interfacial sólido-líquido para la transferencia de masa. En la **Figura 2-3** se observa la fracción de un poro idealizado de tejido vegetal ocupada por la solución de impregnación para experiencias realizadas a presión atmosférica y con aplicación de pulso de vacío.

Cuando la impregnación se realiza a presión atmosférica se produce una pequeña modificación en la fracción gaseosa ocluida en el poro y las fuerzas capilares actúan como fuerza impulsora para la penetración de la solución. En la DIS-PV sólo permanece un pequeño porcentaje del volumen inicial de gas (el resto es expulsado durante la etapa de vacío) dentro de ellos y la dramática penetración del líquido en los poros se debe en este caso a una combinación de las fuerzas capilares y la diferencia de presiones.

De esta forma los tratamientos con aplicación de vacío presentan mayor velocidad de transferencia de masa comparados con la impregnación a presión atmosférica a altos niveles de a_w . Además las frutas procesadas por DIS-V o DIS-PV muestran mejores propiedades sensoriales que las tratadas a la misma temperatura pero a presión atmosférica y también presentan mayor estabilidad en relación a otras reacciones de deterioro (por ej.: pardeamiento y oxidación) (Shi y col., 1995).

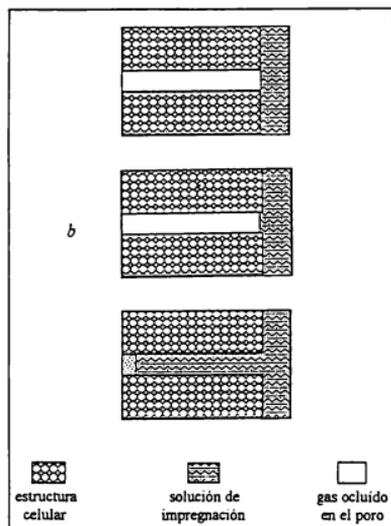


Figura 2-3: Fracción gas-sólido en un poro ideal de tejido vegetal después de un tratamiento de impregnación a presión atmosférica o por aplicación de pulso de vacío. **a:** fruta fresca, **b:** DIS y **c:** DIS-PV. Fuente: Fito y Chiralt, 1995.

La deshidratación-impregnación con solutos no es un factor de preservación que permita *per se* lograr la estabilidad microbiológica del alimento. En particular se podría reducir la a_w hasta valores de 0,75 (a_w correspondiente a una solución saturada de NaCl), valor al que puede todavía existir crecimiento de hongos y levaduras y deterioro por reacciones enzimáticas y fisicoquímicas. En general, se utiliza como procesamiento complementario del secado, la congelación, la pasteurización, la esterilización, el frito y la adición de conservantes.

La razón de su utilización como pretratamiento está relacionada no sólo con la modificación de la composición química de las frutas y vegetales a través de la pérdida simultánea de agua y la incorporación de sólidos, sino que esta

transformación resulta interesante desde el punto de vista del mejoramiento de la calidad. El efecto de formulación directa mejora las propiedades nutricionales, sensoriales y funcionales o de estabilidad en el almacenamiento, a saber (Bonazzi y col., 1996):

a) estabiliza los pigmentos durante el procesamiento y el subsecuente período de almacenamiento.

b) limita o evita la introducción de SO₂ utilizado para disminuir reacciones de pardeamiento y de oxidación.

c) la presencia del soluto introducido puede también mejorar la rehidratación del alimento y tener un efecto protector sobre la estructura del tejido natural durante el secado en corriente de aire, congelación o liofilización posteriores, limitando el colapso y la disrupción celular.

d) permite el uso de temperaturas de operación moderadas y la remoción de agua del producto sin cambio de fase, lo que puede ser interesante para sistemas biológicos

e) se obtiene un producto más blando y dulce que la fruta secada convencionalmente sin ningún tratamiento previo.

2.4. Efectos del escaldado y la deshidratación-impregnación con solutos en la velocidad de secado de tejidos vegetales

La impregnación con azúcares y el tratamiento térmico afectan, en mayor o menor grado de acuerdo a la severidad del proceso, la estructura del tejido vegetal, variando las características de la matriz y alterándose en consecuencia sus propiedades de transporte.

Diferentes investigadores han estudiado el efecto del escaldado y de la DIS previos al secado convencional sobre la velocidad de transporte de humedad. La influencia del escaldado y la DIS sobre el secado es diferente dependiendo de

las propiedades del tejido vegetal.

Saravacos y Charm (1962) encontraron que el escaldado en vapor de papas no tenía un efecto significativo sobre la velocidad de secado cuando se comparaba con la muestra control secada en corriente de aire.

Vaccarezza y Chirife (1975) reportaron que el escaldado en agua incrementaba la velocidad de secado de remolacha azucarera debido a la pérdida de sólidos solubles y a la alteración de la permeabilidad de las membranas celulares. Sin embargo, en manzanas, Rotstein y Cornish (1978) encontraron que el fenómeno de secado no era controlado por la permeabilidad a través de la membrana.

Mazza (1983) mostró que el escaldado en agua incrementaba significativamente la velocidad de secado de cubos de zanahoria, atribuyendo este comportamiento a cambios producidos en las propiedades físicas del tejido, la destrucción de las membranas por efecto del calor y la pérdida de sólidos solubles.

Alzamora y Chirife (1980) encontraron que el escaldado, tanto en vapor como en agua, disminuía la velocidad de secado de papa y atribuyeron el efecto a cambios causados por la gelatinización del almidón. En palta, estos autores mencionaron que el escaldado en vapor sólo tuvo un pequeño efecto sobre la velocidad de secado y lo atribuyeron a la escasa pérdida de sólidos solubles al medio, ya que la palta tiene baja concentración de sólidos y el tratamiento térmico se realizó en vapor.

Vaccarezza y col. (1974) encontraron que el coeficiente de difusión efectivo del agua (D_{ef}) en remolacha azucarera disminuía con el incremento del contenido de sacarosa.

Uddin y Hawlader (1990) reportaron similares coeficientes de difusión del agua en ananaes frescos y en ananaes osmotizados con sacarosa.

Flink (1980) halló similares velocidades de deshidratación para zanahorias osmotizadas y no osmotizadas cuando las velocidades de secado eran expresadas

en función de los sólidos originales de la muestra, concluyendo que la incorporación de sólidos en el proceso de ósmosis no resultaba en sí mismo en una significativa disminución de la velocidad de secado, pero ellos no reportaron valores de D_{ef} para ambos tipos de placas de zanahoria.

Islam y Flink (1982) mostraron que el coeficiente de difusión del agua para el primer período de secado decreciente para placas de papa secadas a temperatura de 52-68 °C disminuía en el orden: no osmotizada > 60 %p/p sacarosa > 45 %p/p sacarosa /15 %p/p sal, concluyendo que la incorporación de sal y/o azúcar incrementaba la resistencia interna al movimiento de humedad.

Karathanos y col. (1995) encontraron que el D_{ef} disminuía significativamente para manzanas pretratadas con soluciones concentradas de azúcar (por ej.: 45 %p/p) debido a la disminución de la porosidad y a otros factores fisicoquímicos.

Sankat y col. (1996) reportaron que las velocidades de secado decrecían cuando el contenido de azúcar se incrementaba en placas de bananas por tratamiento osmótico.

Mazza (1983) observó que cuando la concentración de sacarosa usada para la impregnación de cubos de zanahoria previamente escaldados se incrementaba de 5 a 60 %p/p, la velocidad de transporte de humedad disminuía debido a la depresión de la presión de vapor de agua en el producto por la disolución del azúcar, a la mayor resistencia a la transferencia de calor y a la disminución de la difusividad del vapor de agua dentro del producto causada por la cristalización de la sacarosa durante el proceso de secado por aire.

Alvarez y col. (1995) encontraron que el escaldado incrementaba el D_{ef} en frutillas pero la impregnación con glucosa después del escaldado no causaba un efecto adicional. Los autores atribuyeron el comportamiento observado a las modificaciones de la estructura celular que se producen por aplicación del calor y/o la pérdida al medio de componentes solubles que contrarrestan la resistencia al transporte de agua ofrecida por los sólidos incorporados.

Por lo tanto, el reconocimiento del efecto importante de la estructura del tejido y de las propiedades heterogéneas del mismo, como asimismo el conocimiento de los cambios estructurales producidos por los tratamientos, son esenciales para una mayor comprensión del fenómeno complejo del transporte de masa en los tejidos vegetales.

2.5. Organización interna del cuerpo de la planta: células, tejidos y órganos

2.5.1. Sistemas de tejidos

Las plantas con semillas tienen un cuerpo muy evolucionado con huellas de una especialización estructural y funcional. Esta especialización se expresa en la diferenciación de este cuerpo externamente, en órganos (raíz, tallo y hoja) e internamente, en varias categorías de células, tejidos y sistemas de tejidos (Esau, 1982).

En cuanto a la organización interna, el cuerpo de la planta está constituido por unidades morfológicamente reconocibles o células, cada una de ellas dentro de su propia pared celular y unidas entre sí por una sustancia intercelular cementante. De esta forma, las células se agrupan formando tejidos y éstos se distinguen unos de otros estructural y/o funcionalmente.

De acuerdo con Sachs (1875), para realizar una descripción ordenada de la estructura de la planta es necesario establecer categorías o sistemas de tejidos. Los principales sistemas de tejidos son: el *dérmico*, el *vascular*, el *mecánico* y el *fundamental*.

El *tejido dérmico* comprende la *epidermis* y la *peridermis*.

La *epidermis* es un sistema de células variable en estructura y función que constituye el recubrimiento del cuerpo primario de la planta. Está formada generalmente por una sola capa de células. Muchas de las características

estructurales de la epidermis pueden relacionarse con los papales que desempeña este tejido como capa de células en contacto con el ambiente externo de la planta. La función de la epidermis es proteger los tejidos internos del medio ambiente externo y ello sirve para la defensa contra daños mecánicos y el ataque de microorganismos patógenos y/o deteriorativos, y está relacionada también con la transpiración y la aireación. La *peridermis* sustituye a la epidermis fundamentalmente en las partes de la planta que experimentan un aumento de espesor de origen secundario (tallos y raíces) (Esau, 1982).

El *sistema vascular* contiene dos tipos de tejidos conductores: el *xilema* y el *floema*. Son estructural y funcionalmente tejidos complejos que se extienden sin interrupción por el cuerpo de la planta. El *xilema* tiene como función principal la conducción del agua y los iones disueltos y el *floema* transporta los productos orgánicos. Las principales células conductoras del xilema son las traqueidas y los elementos de vaso y las del *floema* son las células cribosas y los elementos de los tubos cribosos. También forman parte de estos tejidos las células parenquimáticas típicas, en las que se almacenan sustancias de reserva, y fibras y esclereidas cuya función es dar fortaleza al cuerpo de la planta (Fahn, 1985).

El *sistema mecánico* de sostén comprende al *colénquima* y al *esclerénquima*.

El *colénquima* en posición subepidérmica puede aparecer en tallos, hojas, partes florales, frutos y raíces. El tamaño y la forma de sus células son variables. Las paredes primarias son no lignificadas, flexibles, relativamente blandas y desigualmente engrosadas.

Las células del *esclerénquima* pueden formar masas continuas o discontinuas en forma de pequeños grupos o individualmente entre otras células. Las células del esclerénquima tienen paredes secundarias más o menos rígidas, duras, que están generalmente lignificadas. Se distinguen dos tipos celulares: esclereidas y fibras. Las esclereidas varían en forma desde poliédricas hasta

alargadas y pueden ser muy ramificadas. Las fibras generalmente son células largas y angostas (Esau, 1982).

El *sistema fundamental* tiene como principal representante al tejido *parenquimático*. Las células parenquimáticas pueden ser esféricas, considerablemente alargadas a variadamente lobadas. Generalmente su tamaño varía entre 50 y 500 μm . Dependiendo del arreglo espacial y tamaño relativo de las células, el tejido tiene cantidades significativas (1-25 %) de espacios intercelulares llenos de aire que tienen un impacto considerable en las propiedades mecánicas (Jackman y Stanley, 1995).

2.5.2. La célula vegetal

La célula es una masa de protoplasma limitada en el espacio por una membrana celular. Considerando su grado de organización interna, se distinguen dos tipos básicos de células: las procariontes y las eucariontes. Las células eucariontes características de plantas y animales, exceptuando las algas azules y las bacterias, poseen un núcleo limitado por una membrana y otros orgánulos. Las células procariontes carecen de endomembranas y de un núcleo verdadero. Las células vegetales (**Figura 2-4**) tienen además una envoltura rígida, la pared celular, depositada por fuera de la membrana plasmática (Curtis, 1985).

El *núcleo* es, generalmente, más o menos esférico. Una envoltura nuclear (carioteca) encierra la matriz nuclear (carioplasma) y uno o varios nucléolos. En el carioplasma se encuentra la cromatina, un complejo formado por ácido desoxirribonucleico (ADN) y proteínas. En el momento de la división celular, las fibras más gruesas de cromatina se empaquetan y adquieren la forma característica de los cromosomas. Los nucléolos son muy densos, granulares y fibrosos en su estructura; no están rodeados de una membrana limitante. Contienen ARN y ADN, así como proteínas (Lehninger, 1988).

El citoplasma rodea al núcleo y es más complejo en organización estructural.

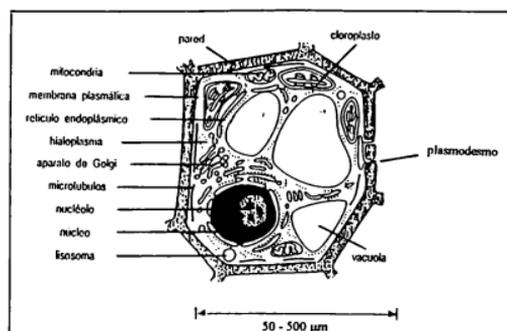


Figura 2-4: Esquema general de la ultraestructura de una célula vegetal.
Fuente: Curtis, 1985.

Al examinar una célula con el microscopio electrónico se observa un enorme desarrollo de membranas y el citoplasma se separa en dos fases, una contenida dentro del sistema de membranas que da origen a las *organelas* (Tabla 2-4), y la otra situada por fuera, que constituye la *matriz citoplasmática* propiamente dicha.

La *matriz citoplasmática* o *citoplasma fundamental* está formado por una sustancia semilíquida, la cual está en estado de sol o en estado de gel, y cumple la función de proveer un medio para el desarrollo de los procesos citoplasmáticos (Jackman y Stanley, 1995). El componente mayoritario (85-90%) es el agua y contiene proteínas, lípidos y otras sustancias solubles en agua, es decir, no ligadas a cuerpos estructurados (Fahn, 1985).

La *vacuola* es un componente importante del protoplasto de la célula vegetal. Contiene agua y una variedad de sustancias orgánicas e inorgánicas, muchas de las cuales están presentes en estado disuelto (Tabla 2-4). El *tonoplasto* que encierra a la vacuola tiene permeabilidad diferencial y está por lo tanto relacionado con la regulación de los fenómenos osmóticos asociados con las

Tabla 2-4: Organelas de la célula vegetal. Composición molecular, propiedades y funciones

Estructura	Composición molecular	Propiedades y funciones
Retículo Endoplasmático(RE)	Sistema complejo formado por dos unidades de membrana que encierran un espacio entre ellas. El RE presenta la forma de sistemas extendidos o túbulos. Cuando los ribosomas se adhieren a la superficie del RE éste se denomina granular. Si, por el contrario, faltan los ribosomas, se dice que es liso.	La asociación con los ribosomas se toma como evidencia de que el RE está implicado en la síntesis de proteínas. Se ha sugerido que el RE sirve como sistema de transporte intracelular y que en algunos casos asume funciones en la formación de la pared celular. Las sistemas del RE pueden dilatarse y acumular proteínas u otros productos y formar vacuolas.
Ribosomas	Son pequeñas partículas y pueden estar libres en el citoplasma, por fuera de las membranas del retículo endoplasmático así como en el núcleo, los cloroplastos y las mitocondrias. Cada uno de ellos posee una subunidad principal y otra menor. Constan de ARN (65%) y proteínas, principalmente histona (35%).	Los ribosomas encadenados en racimos están involucrados en la síntesis, concretamente en la reunión de aminoácidos para formar cadenas polipeptídicas a partir de la información contenida en el ARN mensajero.
El aparato de Golgi.	Consta de un sistema de pilas de sáculos o sistemas circulares deprimidos, limitadas cada una por una unidad de membrana lisa. Cada pila se denomina dictiosoma. En las proximidades dilatadas de los sáculos o sistemas existen generalmente numerosas vesículas con una posición tal que parecen haber nacido de los márgenes del sáculo.	Los dictiosomas están relacionados con los procesos de secreción. Los dictiosomas tienen que ver principalmente con la secreción de azúcares, polisacáridos y complejos proteínicos
Mitocondrias.	En cortes observados con microscopio electrónico presentan varias formas: esféricas, alargadas y a veces lobadas. La envoltura externa consiste en dos unidades de membrana y la membrana interna forma invaginaciones (cristas) dentro de la matriz constituida fundamentalmente por proteínas. Las mitocondrias contienen ribosomas y fibrillas de ADN.	Están involucradas en los procesos de transformación de la energía y poseen muchas enzimas, especialmente las del ciclo de Krebs, localizadas en la membrana interna. Los glucidos, lípidos y aminoácidos se oxidan a CO ₂ y H ₂ O por el oxígeno molecular, y la energía liberada se transforma en energía del ATP.

Tabla 2-4: continuación

Estructura	Composición molecular	Propiedades y funciones
Vacuolas	<p>Las vacuolas ocupan más del 90% del volumen de casi todas las células vegetales adultas. Contienen agua, además de variadas sustancias orgánicas tales como azúcares, proteínas, ácidos orgánicos, fosfátidos, taninos, flavonoides y oxalato cálcico. Están rodeadas por una membrana, el tonoplasto.</p> <p>Las células meristemáticas poseen gran cantidad de vacuolas diminutas. Con el crecimiento y la diferenciación las vacuolas aumentan de tamaño y se fusionan, constituyendo en muchas ocasiones una gran vacuola central que comprime al citoplasma contra la pared celular.</p>	<p>Las vacuolas funcionan como reguladoras del contenido de agua y de sustancias disueltas de la célula, tal como en la regulación de la presión osmótica, en el almacenamiento de sustancias de reserva o en la digestión. Hay evidencias de que las vacuolas contienen enzimas digestivas capaces de disociar componentes citoplasmáticos y metabolitos.</p>
Microsomos	<p>Son pequeños corpusculos y están limitados por una membrana sencilla. Su matriz presenta un aspecto granular o fibrilar.</p> <p>En las hojas de las plantas superiores se encuentran unos microsomos denominados peroxisomas.</p>	<p>Estos microsomos sirven para la oxidación de ácidos glicólicos que proceden de la fijación del dióxido de carbono.</p> <p>La oxidación de estos compuestos conduce a la liberación de dióxido de carbono y oxígeno.</p>
Plastidios	<p>Varían en forma, tamaño y pigmentación. Las clases principales de plastidios son cloroplastos, cromoplastos y leucoplastos. En los cloroplastos predomina la clorofila, en los cromoplastos los pigmentos carotenoides y los leucoplastos, que son plastos sin pigmentación, acumulan sustancias de reserva tales como almidón, proteínas o grasas.</p> <p>Los plastidios están rodeados por una membrana. Internamente contienen un sistema de membranas que se presenta en forma de séculos deprimidos denominados tilacooides, embebidos en una matriz proteica o estroma. Este contiene fibrillas de ADN y ribosomas de menor tamaño que los citoplasmáticos.</p>	<p>Además del sistema de captación de luz, los cloroplastos contienen enzimas responsables de la fijación del dióxido de carbono en azúcar.</p>

Fuente: Lehninger, 1988.

vacuolas, especialmente con el mantenimiento de la turgencia en la célula (Lehninger, 1988).

La *membrana plasmática* o *plasmalema* controla el transporte de agua y de solutos y es sede de numerosos procesos bioquímicos. Para explicar su estructura, tiene actualmente gran aceptación el modelo de mosaico fluido propuesto por Singer y Nicolson (1972), en el que la membrana está constituida por una bicapa fosfolipídica fluida con moléculas de proteínas globulares penetrando por cada lado de la membrana o extendiéndose enteramente por ella (Figura 2-5).

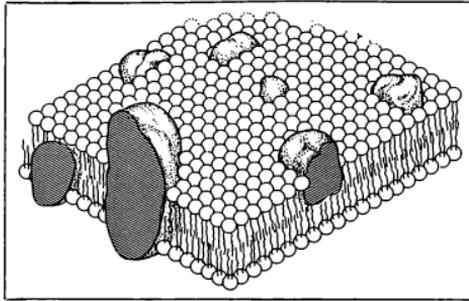


Figura 2-5: Dibujo esquemático tridimensional del modelo de mosaico fluido de la membrana celular. La doble capa de fosfolípidos consta de a) grupos de cabezas polarizadas e iónicas (estructuras circulares) de moléculas de fosfolípidos, y b) cadenas de ácidos grasos (líneas onduladas). Los cuerpos de gran tamaño representan proteínas globulares. Fuente: Lehninger, 1988.

Por fuera del plasmalema se encuentra la *pared celular*. La pared celular de una célula parenquimática es en promedio delgada (0,1-10 μm) pero fuerte. Su presencia restringe la distensión del protoplasto por la vacuola osmóticamente activa y estabiliza el tamaño y la forma de la célula en la madurez. La pared celular interviene en actividades tan importantes de los tejidos vegetales como son la absorción, la transpiración, el transporte y la secreción.

Las paredes celulares de los vegetales contienen aproximadamente 65 % de agua y 35 % de compuestos poliméricos (Tabla 2-5). El tipo de paredes celulares determina la textura de un tejido.

Tabla 2-5: Composición química de la pared celular

Polímero	Solubilidad en agua ^a	Composición centesimal ^b
Polisacáridos		
Celulosa	insoluble	30
Hemicelulosas		
xiloglucano	soluble	25
xilano	soluble	5
mezclas de glucanos	soluble	0?
Pectinas		
homogalacturonano	soluble	15
rhamnogalacturonano I	soluble	15
rhamnogalacturonano II	soluble	5
Glicoproteínas		
Arabinogalactanos proteínas	soluble	variable
Extensina	soluble	~5

^a solubilidad después de la extracción del polímero de la pared.

^b expresada como porcentaje en base seca. La pared primaria tiene ~ 65 %p/p de agua. Fuente: Jackman y Stanley, 1995.

La celulosa, polímero lineal de unidades de 1,4'-β-D-glucosa, forma una matriz insoluble en agua a partir de la cual se desarrolla la pared celular. El marco celulósico es un sistema de fibrillas de diferente magnitud; las más grandes son visibles con un microscopio óptico y se llaman macrofibrillas. Con un microscopio electrónico convencional estas fibrillas se resuelven en microfibrillas de aproximadamente 100 Å. Con el aumento en el poder de resolución de los microscopios electrónicos, se ven fibrillas más y más pequeñas que se describen como subunidades de la microfibrilla (Esau, 1982).

La celulosa tiene propiedades cristalinas a causa de la disposición ordenada dentro de la microfibrilla. Dicha disposición está restringida a las partes

conocidas como micelas. Las cadenas de glucosa menos regularmente dispuestas se encuentran entre las micelas y constituyen las regiones paracristalinas de la microfibrilla. La estructura cristalina de la celulosa hace que la pared de la célula sea anisótropa (**Figura 2-6**).

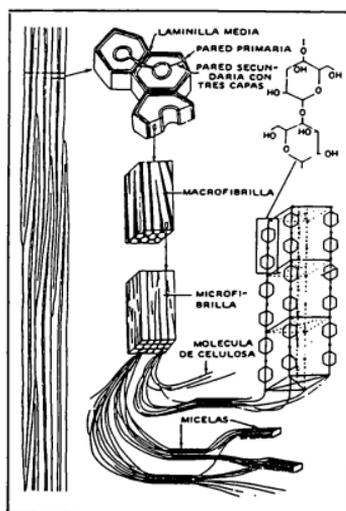


Figura 2-6: Estructura de la celulosa. Fuente: Esau, 1982.

Este hidrato de carbono forma el marco interpenetrado por la matriz constituida por los hidratos de carbono no celulósicos.

Un modelo desarrollado recientemente para la pared celular primaria (Carpita y Gibeaut, 1993) propone la existencia de tres dominios independientes que interactúan entre sí para formar la estructura final (**Figura 2-7**). Las hemicelulosas constituyen el principal componente de unión. Poseen muchas ramificaciones de conformación lineal que conducen a la orientación de las microfibrillas de celulosa ligándolas por uniones puente de hidrógeno.

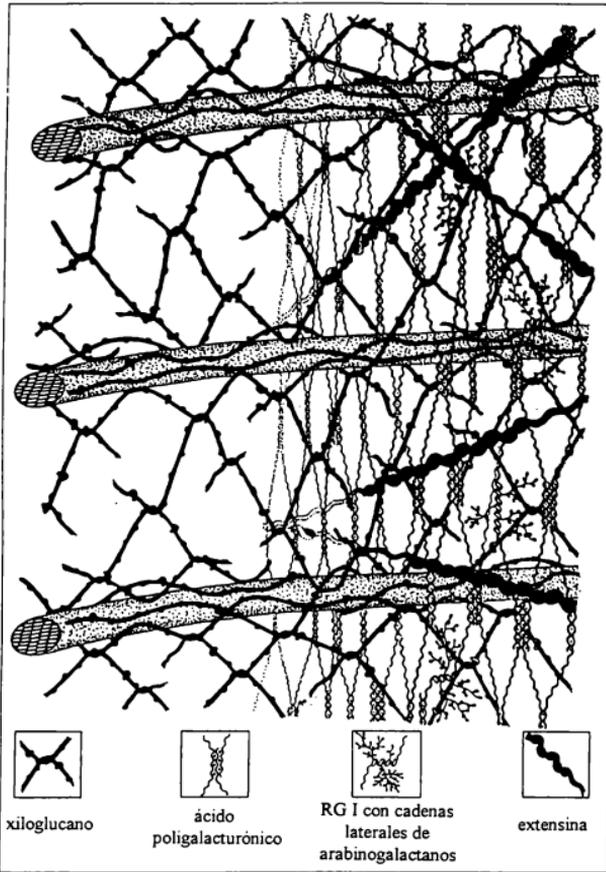


Figura 2-7: Representación de la pared celular primaria. Fuente: Carpita y Gibeaut, 1993.

Esto resulta en un dominio de hemicelulosa-celulosa, que representa el 50-60 % del peso seco de la pared y el cual está embebido en un segundo dominio constituido por sustancias pécticas, que constituyen el 30% adicional de la masa

de la pared. El mecanismo más frecuente de enlace de las cadenas helicoidales de homogalacturonano de pectina de-esterificada es por medio de puentes Ca^{2+} para formar las zonas de unión. Las macromoléculas de ramnogalacturomananos I (RG I) representan una porción del polímero rica en arabinogalactanos a ambos lados de la cadena e interrumpen las uniones con iones calcio. Por lo tanto la matriz péctica controla el tamaño del poro de la pared celular. El tamaño y la frecuencia de las zonas de unión y el tamaño y conformación de las cadenas laterales de RG pueden influir en la porosidad del gel de pectina. Un tercer dominio estructural contiene unidades de extensina (glicoproteína rica en hidroxiprolina), que forma enlaces cruzados covalentemente.

Conceptualmente existen tres planos de orientación de los dominios. El arreglo de microfibrillas en el eje transversal, los xiloglucanos y pectinas en el eje longitudinal y la extensina en el eje radial.

La organización ultraestructural de los compuestos polisacáridos de la pared primaria le confieren propiedades que le permiten soportar las tensiones de estrés y el crecimiento simultáneamente.

Las sustancias pécticas se hallan concentradas en la laminilla media, que se encuentra entre las paredes celulares de dos células adyacentes y actúa como sustancia cementante entre ellas. Es lábil al calor y en su ausencia las células de las plantas se separan fácilmente (Jackman y Stanley, 1995).

Fisiológicamente existen tres posibles vías para el transporte del agua hacia el exterior (Tyree, 1970). En la primera, el agua nunca abandona el citoplasma, pero pasa de una célula hacia otra vía los plasmodesmos (*transporte simplástico*). Fundándose en estudios con microscopio electrónico, Robards (1971) ha sugerido que en los canales intercelulares de los plasmodesmos, el plasmalema de las dos células colindantes es continuo y su eje está ocupado por el desmotúbulo, que se interpreta como una prolongación de las cisternas del RE situadas contra las aperturas de los plasmodesmos. La matriz citoplasmática llena

el resto del canal y de esta forma los protoplasmas vivos forman una unidad o simplasto.

En una segunda vía el agua entra y sale alternativamente de las células por pasaje a través de la membrana plasmática o plasmalema (*transporte transmembrana*). Finalmente, el *transporte apoplástico* transcurre a través de la pared celular.

2.6. El mango

2.6.1. Características botánicas

El género *Mangifera* L., taxonómicamente ubicado dentro de la familia de las Anacardeáceas, agrupa unas 30 especies originarias de Asia. La especie *Mangifera indica* L., nombre vulgar mango, es un árbol de gran porte con follaje persistente. Sus hojas son simples, alternas, anchamente lanceoladas o elíptico-lanceoladas, de 10 a 40 cm de largo, enteras, y pecioladas y las flores son blanco-rosadas.

El fruto es una drupa de 5 a 15 cm. de largo con un mesocarpo grueso, carnoso y de color amarillento que constituye la parte comestible (Dimitri, 1980).

2.6.2. Descripción del fruto

El pericarpo del fruto del mango consta de tres estratos: uno externo, el *exocarpo*, uno intermedio, el *mesocarpo* y el interno, el *endocarpo* (Lámina I) (Roth, 1977).

El *exocarpo* está compuesto de una *epidermis* externa y algunas capas subepidérmicas de células colenquimatosas con paredes relativamente engrosadas que constituyen una hipodermis. Las paredes tangenciales externas de las células epidérmicas son notablemente engrosadas y cutinizadas. La presencia de estomas es poco frecuente (Lámina II: A, B).

Lámina I: A-B, *Mangifera indica* L. (Mango). Fruto: **A**, corte transversal; **B**, corte longitudinal. **Ep**: epicarpio; **M**: mesocarpo; **En**: endocarpo; **S**: semilla.

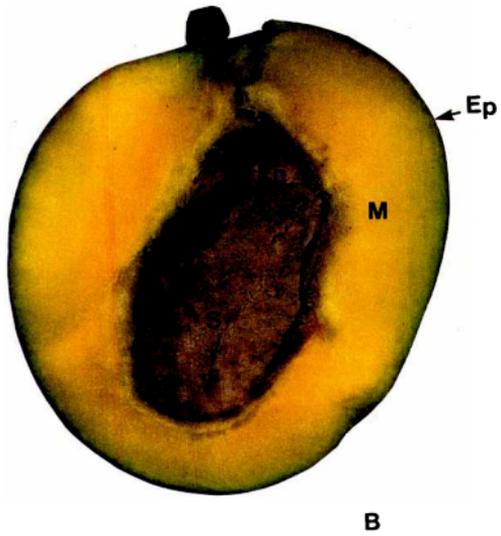
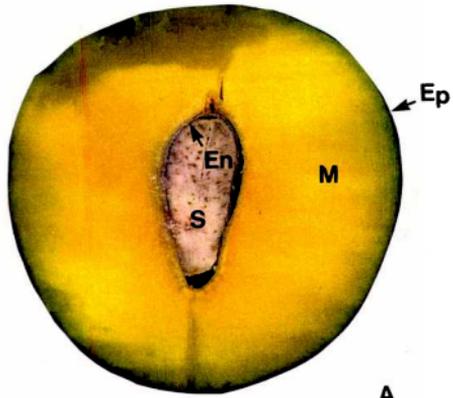
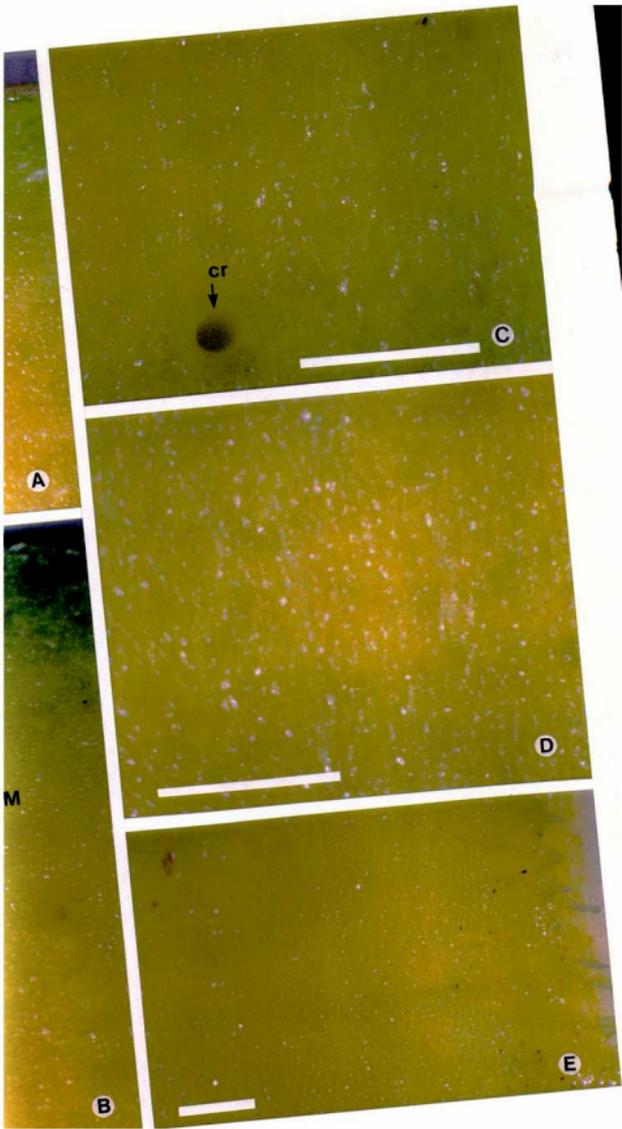


Lámina II: A-E, caracteres generales del mango. Fotomicrografías con lupa. A, epicarpo y mesocarpo en corte longitudinal; B-E, epicarpo y mesocarpo en corte transversal; B, epicarpo y mesocarpo, aspecto general; C-E, mesocarpo, detalles: C, zona externa; D, zona media; E, zona interna. Ep: epicarpio; M: mesocarpo; cr: canales de resina.

Escala: 1 mm.



El *mesocarpo* es un estrato grueso (Lámina II: A-E) compuesto fundamentalmente por tejido parenquimático, de células isodiamétricas en corte transversal que dejan entre sí algunos espacios intercelulares. En la zona más externa del mesocarpo las células en general son pequeñas y pueden o no presentar almidón; hacia el interior las células son más grandes, presentan gránulos de almidón simples y compuestos característicos tales como mucílagos y lípidos.

Haces vasculares, células taníferas y conductos de resinas (flecha) están presentes en el mesocarpo. El origen de los conductos de resina es esquizógeno. Los canales maduros pueden alcanzar un diámetro de 150 μm o más y están rodeados por un epitelio secretor activo que produce una resina que contiene compuestos lipofílicos (fundamentalmente terpenos), fenoles y mucílagos constituidos por proteínas y carbohidratos. La síntesis de terpenos está asociada a secretoplastos y las gotitas osmofílicas se encuentran asociadas a estos plástidos y al retículo endoplasmático.

Joel y Fahn (1980), en su estudio sobre la ultraestructura de los conductos resiníferos en *Mangifera indica* L., analizaron el mecanismo de formación y secreción del mucílago en el fruto. En la **Figura 2-8** se muestra un diagrama que sugiere el mecanismo de formación de mucílago realizado a partir de la observación con microscopía electrónica de transmisión.

Las organelas que participan en la producción de mucílago son el retículo endoplasmático rugoso (RER) y el aparato de Golgi. Estos autores postularon que el RER interviene en la síntesis de proteínas acumuladas en pseudovacúolas. Posteriormente, éstas se transforman en cuerpos de almacenamiento. Los carbohidratos son aportados por las vesículas de Golgi que coalescen con los pseudovacúolas y los cuerpos de almacenamiento.

El *endocarpo* es duro y grueso. Consiste en fibras y esclereidas. Las fibras son largas y están dispuestas en una trama cruzada en varias direcciones constituyendo un intrincado sistema de células.

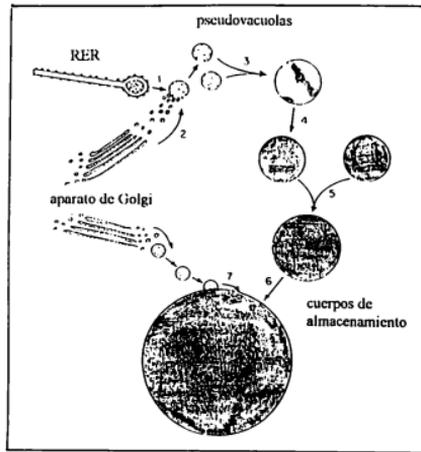


Figura 2-8: Diagrama del mecanismo sugerido de la producción del mucílago.
Fuente: Joel y Fahn, 1980.

2.7. Examen microestructural de los alimentos

La microestructura juega un papel importante en los fenómenos físicos y de transporte de los materiales biológicos (Aguilera y Lillford, 1997). En el procesamiento de alimentos muchas respuestas se explican considerando a la materia prima como un objeto heterogéneo cuyo arreglo es determinante para plantear los modelos físicos con apropiadas ecuaciones de transporte y condiciones de contorno. Es frecuente que la composición química de los órganos en particular o su arreglo arquitectónico sea relevante a los propósitos de la ingeniería para entender sus propiedades e interpretar el comportamiento mecánico, térmico o reológico de los biomateriales complejos.

Por ello, la microscopía está comenzando a ser una de las herramientas más usada por la tecnología de alimentos. El valor de estas técnicas tiene un

carácter auxiliar, y no pretende reemplazar las determinaciones instrumentales y químicas.

Todos aquellos quienes tienen interés en describir, predecir y controlar el comportamiento de los alimentos observan la importancia del conocimiento de la forma en la cual los componentes están organizados. En un principio las células eran consideradas sólo compartimientos que albergaban a las enzimas y a los sustratos necesarios para el metabolismo y los alimentos como una matriz homogénea de nutrientes químicos. Pero los alimentos, ya sea de origen animal o vegetal, son altamente heterogéneos a nivel microestructural o ultraestructural (Aguilera y Stanley, 1990).

La **Figura 2-9** presenta los tamaños promedio de las microestructuras y moléculas típicas y el nivel de resolución de las diferentes técnicas microscópicas.

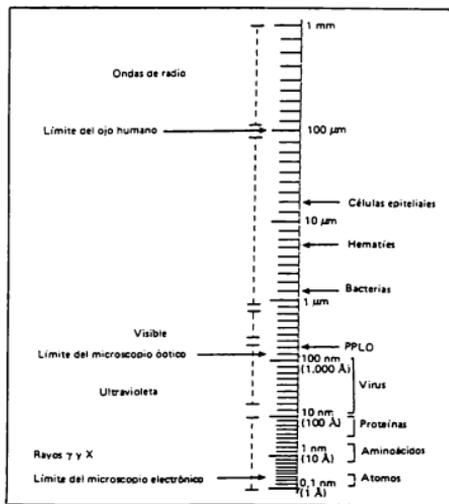


Figura 2-9: Ejemplos de elementos microestructurales, células y moléculas en sistemas alimenticios. Fuente: De Robertis y col., 1977.

Cualquier examen de la estructura de un alimento comienza con el uso inteligente del sentido humano. El cerebro tiene una asombrosa capacidad de integrar estas respuestas y proveer una gran distribución de información (Aguilera y Stanley, 1990). El ojo humano tiene un poder de resolución de $100\ \mu\text{m}$ ($0,1\ \text{mm}$); es decir, dos puntos que se encuentran separados entre sí por una distancia menor a $0,1\ \text{mm}$ se ven como uno solo (D'Ambrogio de Argüeso, 1986).

La obtención de información puede ser ampliada a través de elementos simples como las lupas de mano o los microscopios estereoscópicos (lupa). Con éstas solo se observan superficies; permiten una visión tridimensional de los objetos y la diferenciación de los colores. Su poder de resolución es de $3\ \mu\text{m}$. Es importante remarcar que una mayor magnificación no es garantía de mayor información (Aguilera y Stanley, 1990).

El desarrollo de componentes ópticos alrededor del 1600 permitió obtener imágenes ampliadas utilizando lentes objetivas. En un principio la microscopía óptica (MO) era empleada para la identificación de pequeñas cantidades de material animal, vegetal o mineral presentes en una mezcla y por lo tanto se utilizaba para detectar la adulteración de los alimentos.

Con el advenimiento del siglo XX se produjeron grandes cambios en los procedimientos empleados por los microscopistas y en los objetivos de las investigaciones de los alimentos. Analíticamente, el progreso incluyó entre otros temas nuevos procedimientos de tinción histológica, un mejoramiento de los medios de inclusión y un mejor equipamiento óptico.

Actualmente, la microscopía óptica es una técnica ampliamente utilizada para el estudio de la microestructura de los alimentos y con múltiples aplicaciones en la Ingeniería y Procesamiento de Alimentos en todas sus variantes (campo claro, campo oscuro, contraste de fase, polarización, fluorescencia). El poder de resolución de un buen microscopio óptico es aproximadamente igual a $0,2\ \mu\text{m}$.

La investigación básica con haces de electrones cerca del 1900 condujo a

una revolución en la forma como la microestructura fue examinada.

El microscopio electrónico de transmisión (MET) es el único instrumento que permite conocer directamente la ultraestructura biológica. Posee un poder de resolución de 1,4 Å, mucho mayor que el MO.

Con gran expectativa también fue recibido a mediados de 1960 el microscopio electrónico de barrido (MEB). Con él se obtienen imágenes tridimensionales. No es necesario cortar en secciones finas y pueden examinarse detalles topográficos de superficies internas y externas según el tipo de corte.

En la **Tabla 2-6** se resumen las diferencias de estos tres tipos de microscopía.

Tabla 2-6: Comparación de microscopios

criterio	MO	MET	MEB
Fuente de energía	lámpara de incandescencia (fotones)	filamento de tungsteno (electrones)	filamento de tungsteno (electrones)
Imagen dada por	refracción de rayos luminosos	dispersión de electrones	tungsteno (electrones) reflexión
Lentes	vidrio/cuarzo	electromagnéticas	electromagnéticas
Tubo	aire	vacío	vacío
Preparación de muestra	fácil	difícil	fácil
Resolución (nm)	200-500	0,2-1	3-4
Magnificación (X)	10-1500	200-300000	20-100000
Obtención de imagen	ojo, pantalla, placa fotográfica	pantalla fluorescente, placa fotográfica	film

Fuente: Aguilera y Stanley, 1990.

Cada una de estas técnicas microscópicas posee su metodología propia de preparación de muestra. En casi todos los casos, por distintos métodos y adición de sustancias, se realiza a partir del corte del tejido la fijación química seguida por una deshidratación y la inclusión en alguna sustancia que actúe como soporte. Esto resulta en un bloque que contiene el material a partir del cual se pueden cortar finas secciones. Luego son teñidas y montadas para su

observación.

Es importante enfatizar que los investigadores deberían observar estos instrumentos como complementarios y no como competitivos. La observación de la misma estructura en diferentes microscopios es ampliamente ventajosa para una mejor interpretación de los resultados. La obtención de información estructural resulta de la habilidad del científico para interpretar adecuadamente las imágenes microscópicas.

Dos tipos de datos pueden ser obtenidos a través del microscopio: cualitativos y cuantitativos. Cualitativamente, el objetivo es la identificación de estructuras y la influencia provocada en ellas por la aplicación de algún tratamiento. Los artefactos, ya sean originados por las técnicas de preparación de muestras o el instrumental (por ej.: a partir de la exposición del material biológico a altas condiciones de vacío y a los haces de electrones), dificultan la tarea de interpretación. Según Lewis (1986), la interpretación de las imágenes que se obtienen por métodos microscópicos deben estar basadas en las siguientes características para evitar conclusiones erróneas:

- * todas las interpretaciones deben tener en cuenta el proceso de preparación de las muestras
- * la interpretación debe estar basada sobre las diferencias existentes entre una muestra control y otra procesada, cuando esto es posible
- * se debe utilizar un número suficiente de preparaciones obtenidas aleatoriamente a partir de muestras representativas para cada tratamiento y el control.
- * las observaciones por microscopía deben estar relacionadas con observaciones químicas, físicas o tecnológicas.
- * las observaciones fundamentales deben ser chequeadas con más de una técnica microscópica.
- * se debe utilizar análisis estadístico cuando ello es posible.

3

**Materiales
y
Métodos**

3.1. Materia prima

Se utilizaron mangos (*Mangifera indica* Linn, variedad Keitt) adquiridos en el comercio.

Su contenido de humedad en estado fresco fue 82 %p/p, su $a_w \sim 0,99$ y el contenido de azúcares 9 °Brix.

3.2. Pretratamientos

3.2.1. Preparación del material.

Los mangos fueron pelados y cortados en rodajas longitudinales de aproximadamente 0,4 cm de espesor con un torno industrial para ser sometidos a los pretratamientos que se explicarán en el ítem 3.2.2. y/o en el ítem 3.2.3. Luego se cortaron con un molde cuadrado de 4 cm de lado.

3.2.2. Escaldado en vapor

Las placas de mango fueron expuestas a vapor saturado durante un minuto y luego se enfriaron en agua a 5 °C.

3.2.3. Deshidratación - impregnación con glucosa.

Para la impregnación con glucosa a presión atmosférica, las placas de mango se sumergieron en soluciones acuosas de glucosa preparadas a partir de Cerelese (monohidrato de glucosa, grado alimenticio, Refinerías de Maíz S.A., Argentina) de concentración 22,1 %p/p ($a_w = 0,97$) ó 39,5 %p/p ($a_w = 0,93$). El cálculo de la a_w se realizó a través de la ecuación de Norrish (1966):

$$a_w = x_1 \exp \left(- k x_2^2 \right) \quad (3.1)$$

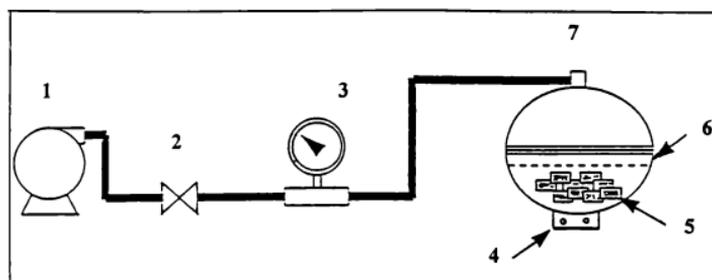
donde: a_w : actividad de agua de la solución
 x_1 : fracción molar de agua

x_2 : fracción molar de soluto
k: constante de Norrish

El valor de k utilizado para glucosa fue 2,25 (Chirife y col., 1980).

Este tratamiento se realizó en un recipiente con agitación forzada a 25 °C hasta que el contenido de sólidos y la humedad fueron aproximadamente constantes (~ 3 horas). Se utilizó una gran relación jarabe/fruta para minimizar el efecto de la dilución de la solución de inmersión por el agua proveniente de la deshidratación de la fruta.

Para la impregnación con glucosa al vacío, se utilizó el equipo que se muestra en la **Figura 3-1**.



1- bomba de vacío
2- válvula de mando
3- vacuómetro
4- agitador

5- piezas de fruta
6- nivel de solución de impregnación
7- desecador

Figura 3-1: Equipo utilizado para la deshidratación-impregnación con glucosa al vacío.

El mismo constaba de un desecador, en el cual se colocaba la solución de impregnación en la que se sumergían las muestras a tratar, una bomba de vacío y un medidor de vacío. La convección forzada se mantenía agitando la solución con un agitador magnético. En este caso se utilizó una solución de impregnación de concentración 59,0 %p/p de glucosa ($a_w = 0,84$). Se aplicó un pulso a 60 mm Hg durante 10 min y luego se restituyó la presión atmosférica durante 10 min. En

este caso la a_w final (medida en la muestra homogeneizada) fue de 0,97.

A los medios de impregnación se les agregó 1500 ppm de sorbato de potasio (grado alimenticio, Saporiti S.A., Argentina) y 200 ppm de bisulfito de sodio (grado alimenticio, Saporiti SA, Argentina) con el propósito de inhibir y/o retardar el desarrollo microbiano y frenar las reacciones fisicoquímicas de deterioro.

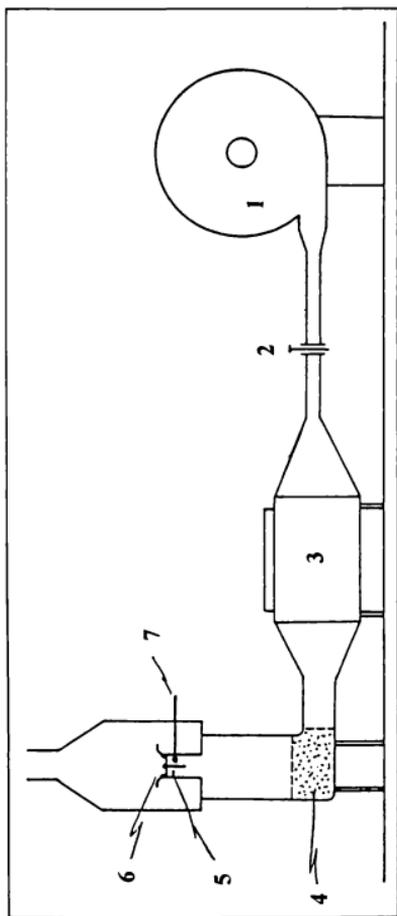
En todos los casos, luego de la impregnación, las placas fueron escurridas a temperatura ambiente durante 15 min.

3.3. Descripción del equipo de secado

El secado de las placas fue realizado en el equipo que se muestra en la **Figura 3-2**. EL mismo constaba de un ventilador centrífugo que impulsaba el aire hacia una cámara de calentamiento con seis resistencias calefactoras blindadas de 2 kw cada una. El flujo de aire fue regulado por medio de un diafragma y la temperatura de entrada a la cámara mediante un termostato que comandaba a una de las resistencias.

La cámara de secado consistía en un conducto vertical de sección circular que estaba provisto de dos termómetros, uno de bulbo seco y otro de bulbo húmedo. Ambas lecturas permitían determinar la humedad relativa del aire utilizado en cada ensayo, a partir de una carta psicrométrica. La velocidad del aire se medía con un termoanemómetro de hilo caliente Wallac modelo GGA23S (Finlandia).

La muestra a tratar, sostenida por medio de un marco metálico, se suspendía en el conducto, fluyendo el aire paralelamente a sus caras. El peso de la misma se determinaba en una balanza analítica Stanton Instrument Unimatic modelo CL41 (USA) con una precisión de $\pm 0,0005$ g.



- 1- ventilador centrifugo
- 2- válvula
- 3- cámara de calentamiento del aire
- 4- lecho relleno

- 5- portamuestra
- 6- cámara de secado
- 7- termómetros

Figura 3-2: Equipo de secado. Fuente: Tolaba, 1989.

3.4. Determinación de las curvas de secado

Se seleccionaron para deshidratar aquellas placas en las que el desvío estándar de la media del espesor medido en diez puntos de la misma fuera menor que 0,03 cm y en las que a su vez el desvío estándar de la media entre diferentes placas fuera también menor que 0,03 cm, para disminuir el error del cálculo de los parámetros cinéticos de secado.

Este criterio de selección se aplicó a las placas de fruta fresca y a las que fueron sometidas a los pretratamientos.

El espesor fue aproximadamente igual o menor que la décima parte del lado (condiciones semejantes a placa plana infinita para la transferencia de masa) para que el secado tuviera lugar sólo por las dos caras mayores de la placa. El espesor se determinó con un micrómetro Teclock ($\pm 0,01$ cm) (Japón).

Se utilizó una temperatura de bulbo seco de $60,0 \pm 0,1$ °C, siendo la temperatura de bulbo húmedo de $\approx 30,0 \pm 0,1$ °C. La humedad relativa del aire de secado fue de ≈ 7 %.

Las curvas se determinaron a una alta velocidad de aire constante (~ 16 m/s) en todas las experiencias para eliminar o minimizar la resistencia externa a la pérdida de humedad (Vaccarezza y col., 1974).

El método para obtener las curvas de secado consistió en seguir la evolución del peso de una muestra en el tiempo. Para ello se sacaba de la cámara de secado en el portamuestra, se pesaba rápidamente y se reponía en el conducto. El tiempo transcurrido para esta operación no excedió en ningún caso los 30 s y a su vez era descontado del tiempo de corrida. Se comprobó que este procedimiento no alteraba la conducta de secado de las placas, ya que se obtenían curvas semejantes para placas distintas pesadas a diferentes tiempos en iguales condiciones de secado.

3.5. Determinación del contenido de humedad

El contenido de humedad de las placas de mango fue determinado gravimétricamente en estufa de vacío a 65 °C utilizando perclorato de magnesio (para análisis, Merck Química Argentina S.A.I.C., Argentina) como desecante.

La determinación procedió hasta peso constante (≈ 7 días).

3.6. Determinación de la actividad de agua

Se realizó con un instrumento psicrométrico Aqua Lab modelo CX-2 (USA) ($\pm 0,006$ unidades de a_w) basado en la detección del punto de rocío, a una temperatura de 25 °C.

El equipo fue calibrado con soluciones salinas saturadas de a_w conocida en el rango de medición, de acuerdo al procedimiento seguido por Roa y Tapia de Daza (1991). Para la preparación de las soluciones se utilizaron reactivos de calidad analítica: sulfato de potasio, cloruro de potasio y nitrato de potasio (Merck Química Argentina S.A.I.C., Argentina) y cloruro de bario (Mallinckrodt Chemical Works, USA).

Los valores de las a_w de dichas soluciones tomadas como referencia son los indicados a continuación (Resnik y col., 1984):

Solución salina saturada	a_w (25 °C)
KCl	0,843
BaCl ₂	0,902
KNO ₃	0,926
K ₂ SO ₄	0,974

Las determinaciones se realizaron por triplicado y se informan los valores promedio.

3.7. Determinación de sólidos solubles

Se determinaron en un refractómetro Atago modelo PR 101 (Japón). La concentración de sólidos solubles se expresó como °Brix ($\pm 0,1$).

Las determinaciones se realizaron por triplicado y se informan los valores promedio.

3.8. Análisis de azúcares

Se cuantificó fructosa, glucosa y sacarosa por cromatografía líquida de alta presión (HPLC) en mango fresco, mango escaldado y mango sometido a los distintos tratamientos de impregnación con glucosa. Las muestras se prepararon de acuerdo con el procedimiento descrito en el ítem 3.2.

El análisis se llevó a cabo en una columna amino Alltech (USA) de partículas de 10 μm de diámetro instalada en un cromatógrafo equipado con un dispensador de solventes Alcott modelo 760 (USA) y un inyector Rheodyne modelo 7125 (USA).

Se utilizó un detector de índice de refracción Micromeritics modelo 771 (USA) y los datos fueron adquiridos por un integrador Spectra - Physics modelo SP 4290 (USA). La fase móvil utilizada fue una mezcla de acetonitrilo (grado HPLC, Sintorgan S.A., Argentina) y agua deionizada en la proporción 75:25 v/v y la velocidad de flujo 1,5 ml/min. La columna fue termostatzada a una temperatura de 33 °C.

La extracción de los azúcares de la fruta y del medio de ósmosis se realizó adaptando la técnica propuesta por Bui y Cooper (1987), quienes desarrollaron un método de extracción de ácidos sórbico y benzoico en diferentes alimentos, entre ellos frutas.

Se realizaron dos modificaciones de esta técnica en nuestro trabajo: una se

refiere a la extracción de los azúcares y la otra a la concentración de los mismos, que es mucho mayor que la de los ácidos mencionados anteriormente en las frutas. Se encontró la relación óptima de solventes de extracción así como la cantidad adecuada de los mismos, dada la alta concentración de azúcares presentes en la fruta impregnada. A continuación se describe la técnica aplicada (Nieto y col., 1994).

Se diluyeron cinco gramos de la muestra con cinco gramos de agua destilada. A cinco gramos de esta mezcla se la llevó a veintiún gramos de solución con metanol (Merck Química Argentina S.A.I.C., Argentina). Se centrifugó a 3000 rpm. para decantar la pulpa presente, filtrando luego el sobrenadante a través de papel de filtro. Una alícuota de esta solución se diluyó convenientemente en fase móvil, filtrándose en un equipo de filtración Nucleopore (USA) provisto de una membrana de nylon 66 con poros de 0,45 μm de diámetro (Sartorius AG, Alemania).

Se empleó como método de cuantificación una curva de calibración externa basada en las relaciones área/masa de los azúcares. La concentración de cada uno de los azúcares se calculó interpolando el área obtenida en la curva de calibración.

La calibración se realizó con soluciones de azúcares de concentración conocida expresada como %p/p y fueron preparadas utilizando fase móvil y reactivos de calidad analítica: glucosa (Mallinckrodt Chemical Words, USA), sacarosa y fructosa (Merck Química Argentina S.A.I.C., Argentina).

Luego de preparados los estándares se filtraron e inyectaron en el equipo. Se observó una correlación lineal entre las áreas de los picos y la concentración de azúcar presente en el rango estudiado. Se obtuvieron coeficientes de correlación no menores a 0,999 para cada uno de los azúcares.

Las determinaciones se efectuaron por duplicado y se informa el promedio. Los porcentajes de recuperación obtenidos para fructosa, sacarosa y glucosa fueron 92, 93 y 95 % respectivamente.

3.9. Medición del encogimiento de las placas

Para determinar el encogimiento volumétrico de las placas ocasionado por la aplicación de los pretratamientos, los mangos fueron pelados y cortados en rodajas longitudinales de 0,4 cm de espesor con un torno industrial y con un molde de 4 cm de lado para luego ser sometidos a los pretratamientos según lo descrito en el ítem 3.2.2 y/o en el ítem 3.2.3.

El estudio se realizó en diez placas de mango para cada pretratamiento.

El volumen de cada placa (v_i) fue calculado a partir de las dimensiones geométricas: área (a_i) y espesor (e_i).

Para la determinación del área se marcó el contorno de la placa en hojas de papel milimetrado, por duplicado. Se realizó una curva de calibración por pesada de áreas conocidas. Se calculó el valor medio.

El espesor se tomó con un micrómetro Teclock en diez puntos para cada placa. Se calculó el valor medio.

Las medidas del espesor y del área, fueron tomadas antes e inmediatamente después de cada una de las etapas del proceso (escaldado y deshidratación-impregnación con glucosa). Las placas estaban identificadas.

El porcentaje de encogimiento de cada placa, ($\text{encog}(\%)_i$), se calculó de acuerdo a la siguiente expresión:

$$\text{encog}(\%)_i = \frac{v_{oi} - v_{fi}}{v_{oi}} * 100 \quad (3.2)$$

donde:

v_{oi} : volumen inicial de la placa antes del pretratamiento

v_{fi} : volumen inicial de la placa después del pretratamiento.

i : número de muestra $i = 1, 2, 3, \dots, n$.

El porcentaje de encogimiento correspondiente al pretratamiento aplicado (ENCOG%) se calculó como:

$$\text{ENCOG \%} = \sum_{i=1}^{i=n} \text{encog}(\%)_i / n \quad (3.3)$$

donde n es el número de muestras utilizadas.

3.10. Cálculo de la pérdida de agua, la pérdida de peso y la ganancia de sólidos

Para los distintos tratamientos se cortaron 10 rodajas de mango de 4 x 4 x 0,4 cm, se pesaron y luego se sometieron a los procesos de escaldado y/o deshidratación-impregnación según lo explicado en el ítem 3.2. Se registró el peso de cada lote al finalizar cada pretratamiento. Se determinó el contenido de sólidos solubles y el contenido de humedad.

La pérdida de agua % (Pa), la pérdida de peso % (Ppe) y la ganancia de sólidos % (GS) se expresaron en g / 100 g de fruta fresca.

Los cálculos fueron realizados aplicando las siguientes ecuaciones:

$$\text{Ppe} = \left(\frac{P_o - P_f}{P_o} \right) \times 100 \quad (3.4)$$

$$\text{Pa} = \left(\frac{a_o - a_f}{P_o} \right) \times 100 \quad (3.5)$$

$$\text{GS} = \left(\frac{s_f - s_o}{P_o} \right) \times 100 \quad (3.6)$$

donde:

P_o : peso de la muestra a t=0

P_f : peso de la muestra al finalizar el proceso

a_o : peso de agua de la muestra a t=0

a_f : peso de agua de la muestra al finalizar el proceso

s_o : peso de los sólidos de la muestra a t=0

s_f : peso de los sólidos de la muestra al finalizar el proceso

3.11. Técnicas microscópicas

3.11.1. Materia prima

La observación de material con Lupa es directa y por lo tanto no requiere preparación previa.

Las muestras de mango control y de mango procesado fueron fijadas inmediatamente después de realizado cada tratamiento y preparadas para la observación con Microscopio Optico (MO) y Microscopio Electrónico de Transmisión (MET) de acuerdo con las técnicas convencionales que se describen a continuación (Aguilera y Stanley, 1990; Sorrivas y Morales, 1983).

3.11.2. Microscopía estereoscópica (Lupa binocular)

Se cortaron con cuchilla descartable trozos de fruta fresca de 1 cm de lado. Se colocaron sobre un portaobjetos para su observación. Se utilizó una lupa Leica modelo StereoZoom 6 photo (Suiza).

3.11.3. Microscopía Óptica

Se cortaron secciones de las muestras de 1 mm³ y se fijaron en solución 3 %p/p de glutaraldehído en buffer 0,1 M de fosfato de potasio (pH 7,4) durante dos horas a temperatura ambiente. Posteriormente se lavaron con la solución buffer y se postfijaron en una solución 1,5 %p/p de OsO₄ en buffer durante dos horas a temperatura ambiente. Luego fueron deshidratadas con una serie de soluciones sucesivas de concentración ascendente de acetona y embebidas en resina Spurr de baja viscosidad (Sorrivas y Morales, 1983).

Se cortaron luego secciones ultrafinas de 1 µm de espesor con una cuchilla de vidrio utilizando un micrótomo Sorval MT2B Ultracut (USA) Las secciones fueron coloreadas con una solución acuosa de permanganato de potasio y examinadas en un microscopio Carl Zeiss modelo Axioplan (Alemania).

3.11.4. Microscopía Electrónica de Transmisión

A partir de las muestras embebidas en resina Spurr, se cortaron secciones ultrafinas con una cuchilla de vidrio utilizando un micrótopo Sorval MT2B Ultracut (USA). Se montaron sobre grillas. Fueron luego coloreadas con solución 5 %p/p de acetato de uranilo por 45 minutos y después con citrato de sodio y nitrato de plomo (solución de Reynolds) y examinadas con un microscopio JEOL modelo JEM - 1200 ExII (Japón).

3.11.5. Test microquímicos

Identificación de almidón

Para observar al almidón se utilizó:

a) Reactivo de Lugol (I₂-IK). La solución se preparó agregando 0,3 g de yodo sublimado a una solución 1 %p/v de yoduro de potasio. El material fresco se colocó en un portaobjetos. Se agregó el reactivo y se dejó reaccionar unos minutos. En MO el almidón se observa de color azul a azul-violáceo (D'Ambrogio de Argüeso, 1986).

b) Luz polarizada. En MO se observó la característica cruz de extinción.

Identificación de proteínas

Para la observación de proteínas se utilizó reactivo de Millon (ácido nítrico: 9 ml; mercurio: 1g; agua destilada: 10 ml).

Se ubicó el material en un portaobjetos y se secó con papel de filtro todo exceso de agua. Se agregó suficiente reactivo para cubrir el material. Se calentó con llama suave. Las proteínas que contienen tirosina toman un color rojo ladrillo o rosado (D'Ambrogio de Argüeso, 1986).

Identificación de grasas y aceites

Se empleó Sudán IV en solución alcohólica saturada (alcohol etílico 80 °).

Se ubicó el material en un portaobjeto, se le agregó el colorante previamente filtrado y se dejó actuar 10 min. Se lavó rápidamente con alcohol 70°. Las grasas y los aceites se tiñen de rojo-anaranjado (D'Ambrogio de Argüeso, 1986).

Identificación de taninos

Para detectar taninos se utilizó una solución de sulfato férrico en formalina-agua, preparada a partir de 2 g de sulfato férrico, 10 ml de formaldehído y 30 ml de agua destilada. Se ubicó el material fresco en un portaobjeto, se agregaron unas gotas de reactivo y se dejó actuar de 2 a 3 min. Se lavó con agua destilada. Una coloración azul oscura o marrón indica la presencia de taninos (D'Ambrogio de Argüeso, 1986).

Identificación de mucílagos

Los mucílagos incluyen gran cantidad de sustancias químicamente distintas pero son de fácil reconocimiento en cortes de materiales frescos si se los trata con Azul de cresil 1 %. El ensayo es positivo si se observa una coloración azul Francia (D'Ambrogio de Argüeso, 1986).

4

**Resultados
y
Discusión**

4.1. Aspecto general de las curvas de secado

El comportamiento típico del mango durante el secado se muestra en la **Figura 4-1**, en la que se representaron los datos de humedad promedio en base seca, \bar{m} , en función del tiempo de secado a 60 °C para una placa de mango fresco de 0,37 cm de espesor inicial.

En las curvas de secado no se detectó la presencia de un *período inicial de velocidad de secado constante*. Esta ausencia ha sido también reportada en numerosos vegetales y frutas. Así, Rotstein y col. (1968) no encontraron período de velocidad de secado constante en manzanas secadas en corriente aire. Igualmente Chirife y Cachero (1970), Vaccarezza y Chirife (1975) y Alzamora y col. (1979) no identificaron la existencia de esta etapa durante el secado de placas de tapioca, remolacha azucarera y palta respectivamente. Alvarez y col. (1995) no observaron período de velocidad de secado constante en el secado en corriente de aire de frutillas y tampoco Mazza (1983) al estudiar la conducta de secado de zanahorias.

Para estudiar el comportamiento durante el *primer período de velocidad de secado decreciente* de los alimentos es habitual graficar los datos experimentales del contenido de humedad en función del tiempo en coordenadas semilogarítmicas. Este tipo de representación está basado en la solución de la segunda Ley de Fick que se discutirá en el punto siguiente.

En la **Figura 4-2** se representaron los datos de la Figura 4-1 en coordenadas semilogarítmicas. Se observa, para distintos rangos de humedades, una dependencia lineal entre el $\log \bar{m}/m_0$ y t, característica de esta etapa. La curva de secado presenta dos pendientes diferentes durante los primeros estadios del secado, siendo en módulo el valor de la primer pendiente menor que el valor de la segunda pendiente. Este comportamiento podría deberse a la existencia de control mixto para el transporte de humedad al comienzo del secado y/o al

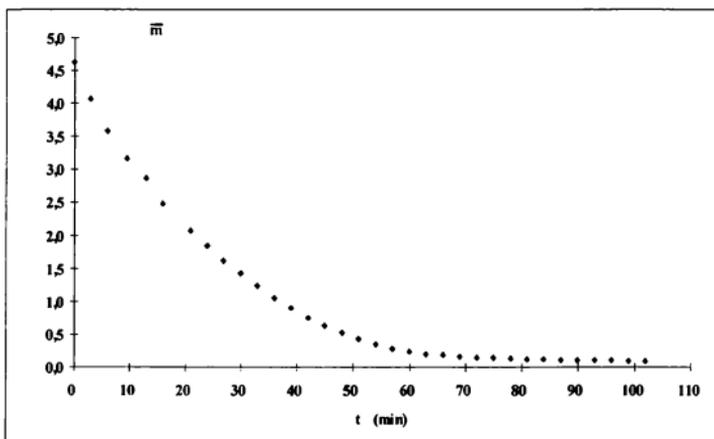


Figura 4-1: Aspecto general de la curva de secado de mango ($T_{bs} = 60^{\circ}\text{C}$, $L_o = 0,37$ cm).

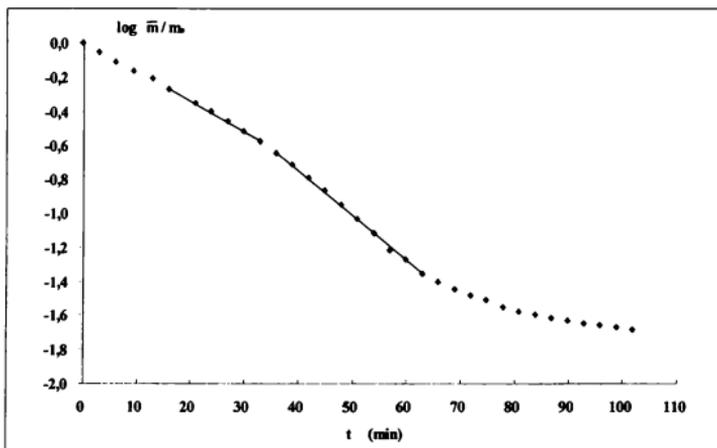


Figura 4-2: Curva de secado de mango en coordenadas semilogarítmicas ($T_{bs} = 60^{\circ}\text{C}$, $L_o = 0,37$ cm).

encogimiento y a efectos térmicos en las placas con alto contenido inicial de humedad (Suárez y Viollaz, 1991; Rovedo y col, 1995). La presencia de dos pendientes de características similares fue también detectada en manzanas por Alzamora (1980) y Nieto y col. (1998).

Las porciones iniciales rectas de la Figura 4-2 son seguidas aproximadamente a los 60 min de secado por una curva cóncava hacia el eje de las abscisas, la cual representa al *segundo período de velocidad de secado decreciente*. Este comportamiento fue observado también en placas de remolacha azucarera por Vaccarezza y col. (1974), en manzanas por Nieto y col. (1998) y en numerosos tejidos de frutas y vegetales.

4.2. Reproducibilidad de las curvas y condiciones de secado

Los ensayos de reproducibilidad se muestran en la Figura 4-3.

Se representaron los datos de humedad promedio sobre humedad inicial en base seca en función del tiempo sobre el espesor inicial al cuadrado (\bar{m}/m_o vs. t/L_o^2) obtenidos durante el secado de placas de 0,37 y 0,39 cm de espesor inicial. El parámetro L_o^2 y el parámetro m_o se introdujeron con el propósito de poder comparar muestras con pequeñas diferencias (máx~6%) entre los espesores iniciales ó en el valor de su humedad inicial (Alzamora, 1980).

Los ensayos fueron realizados en las siguientes condiciones experimentales: T_{bs} : 60 °C, T_{bh} : 25 °C y velocidad del aire: 16 m/s.

Puede observarse una buena concordancia entre ambas curvas experimentales de secado, sobre todo teniendo en cuenta la variabilidad biológica de la fruta en lo que respecta a zona del fruto y madurez.

Es conocido el efecto de la velocidad del aire, la T_{bs} y la T_{bh} en la cinética de secado. A fin de poder observar la sola influencia de los pretratamientos

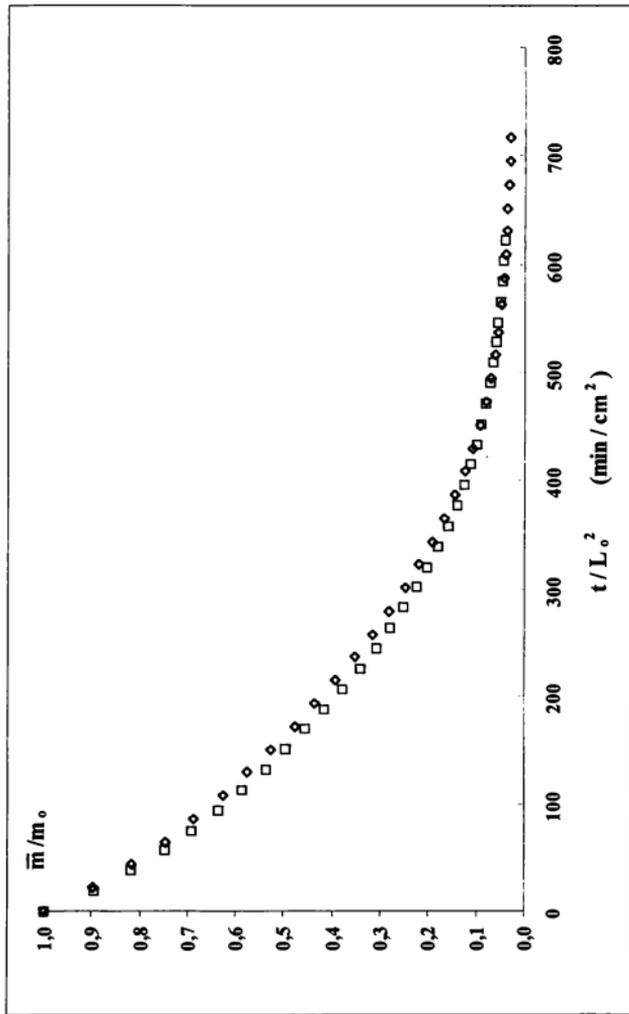


Figura 4-3: Reproducibilidad de las curvas de secado ($T_b = 60 \text{ }^\circ\text{C}$).

(\square) $L_0 = 0,39 \text{ cm}$; (\diamond) $L_0 = 0,37 \text{ cm}$.

aplicados a las muestras en el comportamiento durante el secado, se seleccionaron las condiciones de operación antes mencionadas y se mantuvieron constantes en todas las experiencias realizadas en esta tesis.

4.3. Tratamiento matemático de los datos de secado.

4.3.1. Modelo

Se postula que el primer período de secado decreciente está controlado por la resistencia interna a la transferencia de masa. Aunque la humedad y el sólido son dos fases independientes y no constituyen una sola fase, a los fines de una aproximación ingenieril, los efectos de las propiedades estructurales de los alimentos y las interacciones material-solvente son usualmente agrupados en un coeficiente de difusión efectivo empírico (D_{ef}). Este parámetro se obtiene experimentalmente por aplicación de la segunda Ley de Fick para difusión de especies en una simple capa teniendo en cuenta la porosidad interna, ϵ , y la tortuosidad, τ , de la muestra ($D_{ef} = D_{solución} \epsilon / \tau$) (Achanta y Okos, 1995).

La deshidratación de alimentos en corriente de aire es un proceso de transporte simultáneo de masa y calor y la predicción de los cambios del contenido de humedad involucraría la solución de ecuaciones diferenciales acopladas.

Vaccarezza y col. (1974, 1975) mostraron que la remolacha azucarera deshidratada en corriente de aire a una T_{bs} de 81 °C incrementaba rápidamente su temperatura al comienzo del secado, tendiendo a la temperatura de bulbo seco del aire. Alzamora y col. (1979) observaron el mismo comportamiento en el secado de palta a 58 °C, papa a 68 °C y manzana a 71 °C, concluyendo que los vegetales y las frutas con alto contenido de humedad inicial incrementan rápidamente al comienzo del tratamiento su temperatura tendiendo este valor a la T_{bs} del aire. Además estos autores encontraron que la temperatura interna de los vegetales

durante el secado puede considerarse uniforme debido al bajo número de Biot para transferencia de calor, $Bi = h l / k$ (donde h : coeficiente pelicular de transferencia de calor; l : dimensión característica, para este caso, por ejemplo: semiespesor de la placa; k : conductividad térmica del tejido), usualmente encontrado en el secado convencional por aire de alimentos. Teniendo en cuenta lo precitado y a los fines de establecer un modelo simplificado, fue asumido un proceso isotérmico. Los resultados experimentales durante la fase inicial del período de velocidad decreciente se analizaron través de la solución de la ecuación de Fick para difusión en estado no estacionario, sin tener en cuenta los efectos de la transferencia de calor.

Debe aclararse en este punto que este análisis de los datos no pretende significar que el transporte de agua en el interior del alimento se realice por un mecanismo difusivo en dicho período, sino que simplemente se utiliza la ley de Fick como herramienta matemática para la descripción del proceso.

La ecuación de difusión en estado transiente puede expresarse:

$$\frac{\partial c}{\partial t} = \nabla(D \nabla c) \quad (4.1)$$

siendo c la concentración de la especie que difunde, en nuestro caso agua, y D el coeficiente de difusión.

En un medio isotrópico, con coeficiente de difusión constante y flujo unidireccional, la expresión queda reducida a:

$$\frac{\partial c}{\partial t} = D \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} \quad (4.2)$$

Con las siguientes condiciones inicial y de contorno:

$$0 \leq x \leq L \quad c = c_0 \quad t = 0$$

$$\begin{array}{lll} x = 0 & c = c_L & t > 0 \\ x = L & c = c_L & t > 0 \end{array}$$

siendo: c_o = concentración de agua inicial
 c_L = concentración de agua en la superficie de la placa.
 L = espesor de la placa.

la solución es (Crank, 1956):

$$\frac{c - c_L}{c_o - c_L} = 1 - \frac{4}{\pi} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n}{2n+1} \exp\left(-\frac{D(2n+1)^2 \pi^2 t}{L^2}\right) \cos \frac{(2n+1)\pi x}{L} \quad (4.3)$$

Promediando la ecuación (3) en el espacio se obtiene la concentración media espacial, \bar{c} , en función del tiempo:

$$\frac{\bar{c} - c_L}{c_o - c_L} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp\left(-\frac{D(2n+1)^2 \pi^2 t}{L^2}\right) \quad (4.4)$$

Para espesor L constante, la concentración de agua es proporcional a la humedad en base seca, m , y la ecuación (4.4) puede expresarse como:

$$\frac{\bar{m} - m_L}{m_o - m_L} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp\left(-\frac{D(2n+1)^2 \pi^2 t}{L^2}\right) \quad (4.5)$$

Para valores de $\bar{m} - m_L / m_o - m_L \leq 0,6$, esta ecuación se reduce a la expresión lineal:

$$\log \frac{\bar{m} - m_L}{m_o - m_L} = \log \frac{8}{\pi^2} - \frac{\pi^2 D}{2,3 L^2} t \quad (4.6)$$

Cuando el secado se realiza en condiciones de control interno a la transferencia de masa, puede suponerse que la superficie de la placa está en equilibrio con el ambiente y por lo tanto la humedad en la superficie, m_L , es igual a la humedad de equilibrio con la humedad relativa del aire, m_e .

Los contenidos de humedad de equilibrio, m_e , a las distintas temperaturas de trabajo se despreciaron en los cálculos, ya que sus valores son relativamente bajos comparados con \bar{m} ó m_o en el período considerado.

Hubinger y col. (1992) determinaron las isoterms de sorción a 25 °C y 50 °C para cubos de mango (10 x 10 x 10 mm) con un contenido inicial de azúcares de 71% en base seca (bs). Los autores reportaron que a bajas a_w los productos absorbían pequeñas cantidades de agua y además la dependencia de las isoterms con la temperatura era despreciable. Para una a_w igual a 0,25, el contenido de humedad de equilibrio era 1,4 %(bs).

Mir y Nath (1995), determinaron las isoterms de sorción a 18 °C para barras de mango fortificados con sacarosa cuya a_w resultante fue 0,69, con un contenido de azúcares de 86,9 %(bs), de proteínas de 2,7 %(bs) y de grasa de 0,54 %(bs). Para a_w 0,11, el contenido de humedad era 6,76 %(bs).

4.3.2. Análisis estadístico de los datos

El cálculo del D_{ef} se realizó mediante regresión lineal de los datos $\log \bar{m}/m_o$ en función del tiempo de acuerdo a la ecuación (4.6).

En todos los casos se efectuó un análisis de varianza (ANOVA) y se calculó el coeficiente de determinación (r^2) con el objeto de evaluar la significación de la regresión.

Los errores de los parámetros cinéticos se expresaron en base a la desviación estándar (Sokal y Rolf, 1969).

Para determinar la existencia de diferencias significativas entre los distintos coeficientes de difusión se realizó un análisis de covarianza (ANCOVA)

para la igualdad de pendientes, cuyo resultado se comparó con el parámetro “F” para un nivel de confianza del 95 % (Sokal y Rolf, 1969).

4.4. Efectos de los pretratamientos

4.4.1. Efecto del escaldado

La **Figura 4-4** muestra las curvas de deshidratación para mango fresco (control) y para mango escaldado en vapor. Se representó gráficamente el $\log \bar{m}/m_0$ en función de t/L_0^2 .

La curva de secado de la muestra control presentó, como ya se dijo, dos pendientes diferentes durante los primeros estadios del secado, observándose para valores $\bar{m}/m_0 < 0,6$ la presencia de dos zonas lineales. El escaldado produjo una reducción significativa de la velocidad de secado con respecto a la exhibida por el control en la segunda zona lineal y además no se observó la existencia de las dos zonas lineales.

El coeficiente de difusión efectivo del agua para el primer periodo de velocidad secado decreciente fue calculado a partir de las rectas experimentales que se muestran en la **Figura 4-4**, acorde a la Ley de Fick (ecuación 4.6), por análisis de regresión lineal según lo explicado en el ítem 4.3.2. Los coeficientes de regresión fueron 0,996 y 0,998 para la primera y la segunda pendiente de la curva de secado de mango fresco respectivamente y 0,9998 para la fruta escaldada. Los valores de D_{ef} obtenidos se consignan en la **Tabla 4-1**. Se informa también el contenido de humedad en base seca y el espesor de la placa antes de la deshidratación en corriente de aire.

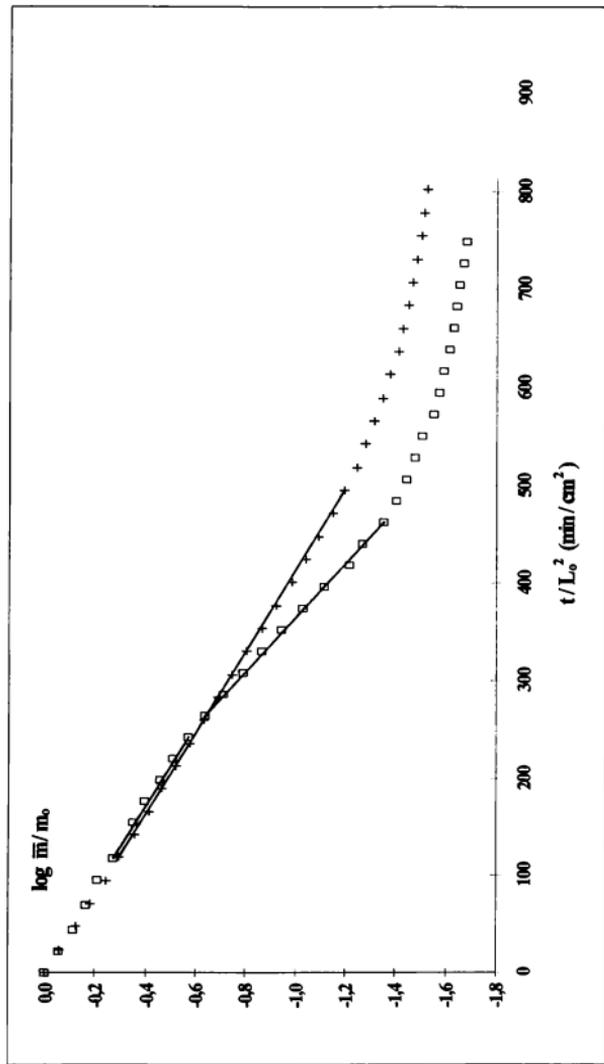


Figura 4-4: Efecto del escaldado en las curvas de secado de mango a 60 °C:
 (\square) control ($L_0 = 0,37$ cm), ($+$) escaldado en vapor saturado durante 1 min ($L_0 = 0,36$ cm)

Tabla 4-1: Contenido de humedad y espesor de las placas de mango antes de la deshidratación en corriente de aire y valores de D_{ef} .

Pretratamiento	$L_0 \pm de$ (cm)	$m_0 \pm de$ (g agua/g ms)	$D_{ef} \pm de$ (cm^2/s)	
control	$0,37 \pm 0,01$	$4,627 \pm 0,001$	$9,4 \times 10^{-6} \pm 0,3 \times 10^{-6} *$ $14,2 \times 10^{-6} \pm 0,2 \times 10^{-6} **$	a b
escaldado	$0,36 \pm 0,01$	$5,148 \pm 0,001$	$9,3 \times 10^{-6} \pm 0,1 \times 10^{-6} *$	a

* primer pendiente ** segunda pendiente
de: desviación estándar

Los datos seguidos de igual letra no presentan diferencias significativas.

4.4.2. Efecto de la impregnación con glucosa

El efecto de la inmersión previa en soluciones acuosas de glucosa en la remoción de humedad de las placas de mango se observa en la **Figura 4-5** y en la **Figura 4-6**.

La **Figura 4-5** muestra las curvas de deshidratación (\bar{m} en función de t/L_0^2) para el mango no tratado (control); para mangos previamente impregnados a presión atmosférica en soluciones acuosas de glucosa 22,1 %p/p ($a_w = 0,97$) y 39,5 %p/p ($a_w = 0,93$) y para mango impregnado con pulso de vacío en solución acuosa 59,0 %p/p de glucosa ($a_w = 0,84$).

Tal como se observa en el gráfico, la DIS a presión atmosférica provocó una disminución del contenido de humedad inicial de las muestras a medida que aumentó la concentración de glucosa en la solución de impregnación. Cuando se incrementó la concentración de glucosa de 22,1 a 39,5 %p/p, el contenido de humedad inicial en base seca de las placas de mango disminuyó de 2,782 a 1,055 g agua/g ms respectivamente. En el caso de la impregnación al vacío se obtuvo una humedad inicial de 2,855 g agua/g ms. Para el mango sin pretratamientos (control), el contenido de humedad fue igual a 4,627 g agua/g ms.

El comportamiento durante el secado de las muestras inmersas en diferentes soluciones de glucosa difirió marcadamente del observado para la

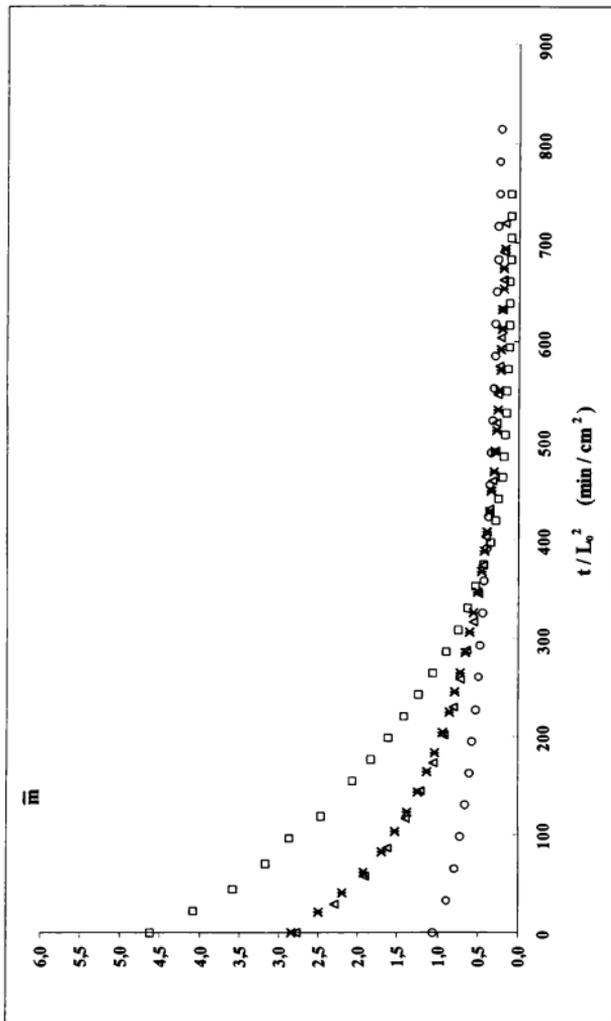


Figura 4-5: Efecto de la inmersión en soluciones de glucosa en las curvas de secado de mango a 60 °C: (□) control; (△) inmerso en solución acuosa 22,1 %p/p de glucosa (presión atmosférica); (*) inmerso en solución acuosa 59,0 %p/p de glucosa (pulso de vacío); (○) inmerso en solución acuosa 59,5 %p/p de glucosa (presión atmosférica).

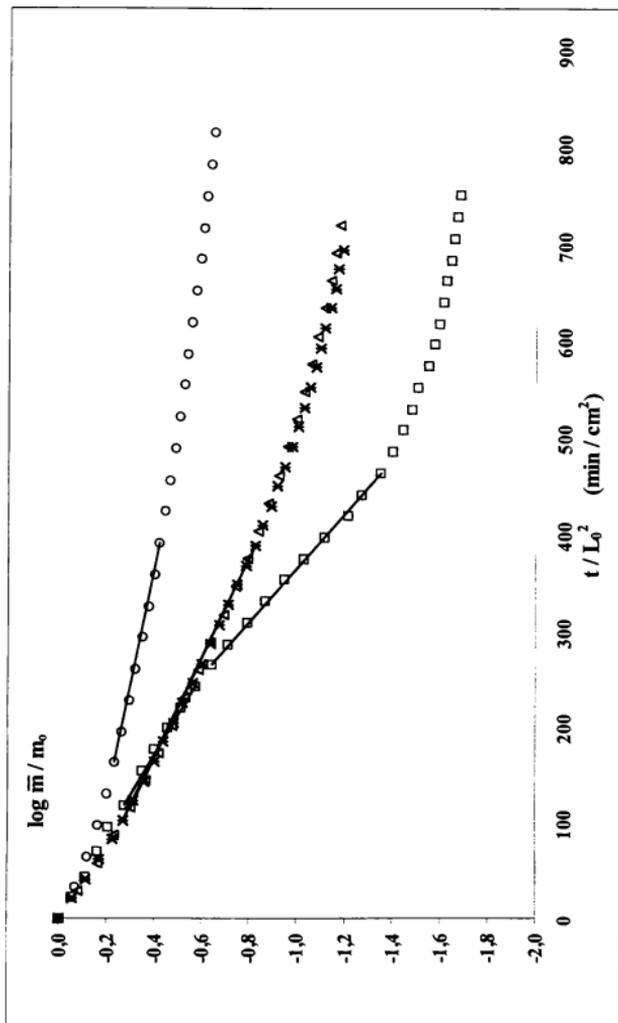


Figura 4-6: Efecto de la inmersión en soluciones de glucosa en las curvas de secado de mango a 60 °C: (\square) control; (Δ) inmerso en solución acuosa 22,1 %p/p de glucosa (presión atmosférica); ($*$) inmerso en solución acuosa 39,5 %p/p de glucosa (pulso de vacío); (\circ) inmerso en solución acuosa 59,0 %p/p de glucosa (presión atmosférica).

muestra control. A medida que se incrementó la concentración de glucosa de la solución de impregnación disminuyó la velocidad de secado. En la **Figura 4-6** se representó el $\log \bar{m}/m_0$ en función de t/L_0^2 . Se observó también en este caso la desaparición de la primera pendiente al comienzo del secado. Hubo coincidencia en las curvas de secado cuando el tratamiento se realizó en la solución de 22,1 %p/p de glucosa a presión atmosférica y en el que se utilizó la solución de 59,0 %p/p de glucosa con aplicación del pulso de vacío.

El coeficiente de difusión efectivo del agua se calculó a partir de las rectas experimentales que se muestran en la **Figura 4-6**, utilizando la ecuación 4.6. Los coeficientes de regresión fueron 0,9992 para la muestra impregnada hasta $a_w=0,97$ a presión atmosférica, 0,997 para la muestra impregnada hasta $a_w=0,93$ a presión atmosférica y 0,9993 para la muestra impregnada hasta $a_w=0,97$ con aplicación de un pulso de vacío.

En la **Tabla 4-2** se consigna el contenido de humedad en base seca y el espesor inicial previos a la deshidratación en corriente de aire y el valor de D_{ef} .

Tabla 4-2: Contenido de humedad y espesor de las placas de mango antes de la deshidratación en corriente de aire y valores de D_{ef} .

Pretratamiento	$L_0 \pm de$ (cm)	$m_0 \pm de$ (g agua/g ms)	$D_{ef} \pm de$ (cm^2/s)
control	$0,37 \pm 0,01$	$4,627 \pm 0,001$	$9,4 \times 10^{-6} \pm 0,3 \times 10^{-6}$ * a $14,2 \times 10^{-6} \pm 0,2 \times 10^{-6}$ ** b
inmersión en solución acuosa de glucosa			
$a_w=0,97$ (presión atmosférica)	$0,37 \pm 0,01$	$2,782 \pm 0,001$	$7,5 \times 10^{-6} \pm 0,1 \times 10^{-6}$ c
$a_w=0,93$ (presión atmosférica)	$0,35 \pm 0,01$	$1,055 \pm 0,001$	$3,2 \times 10^{-6} \pm 0,1 \times 10^{-6}$ d
$a_w=0,84$ (pulso de vacío)	$0,38 \pm 0,01$	$2,855 \pm 0,001$	$7,5 \times 10^{-6} \pm 0,1 \times 10^{-6}$ c

* primera pendiente ** segunda pendiente.

de: desviación estándar.

Los datos seguidos de igual letra no presentan diferencias significativas.

Los valores de D_{ef} en mango disminuyeron cuando se incrementó la

concentración de la solución de impregnación en el caso del tratamiento a presión atmosférica.

Otros resultados fueron encontrados, sin embargo, por Welti y col. (1995), quienes impregnaron con sacarosa placas de mango de 8 cm x 3 cm de lado x 0,5 cm de espesor a presión atmosférica. Obtuvieron para una temperatura de bulbo seco de 60 °C un coeficiente de difusión en la fruta fresca de $9,25 \cdot 10^{-6} \text{ cm}^2/\text{s}$, mientras que en la fruta impregnada a a_w 0,97 ó 0,95 en solución de sacarosa el coeficiente de difusión variaba entre $8,95 \cdot 10^{-6} \text{ cm}^2/\text{s}$ y $8,53 \cdot 10^{-6} \text{ cm}^2/\text{s}$. Para la fruta fresca no encontraron dos pendientes en los primeros estadios del secado y además observaron poca influencia del aumento del contenido de azúcar. Dado que el D_{ef} reportado para el control es similar a nuestro valor de la primera porción recta, es probable que el proceso se llevara a cabo en condiciones de control mixto o externo, pues la velocidad de aire que utilizaron fue de 1,5 m/s.

4.4.3. Efecto combinado del escaldado y la impregnación con glucosa.

El efecto del escaldado seguido por la inmersión en soluciones acuosas de glucosa en la remoción de humedad de las placas de mango a 60 °C se observa en las Figuras 4-7 y 4-8.

La Figura 4-7 muestra las curvas de deshidratación (\bar{m} versus t/L_0^2) para mango escaldado (control escaldado), para mango escaldado e impregnado a presión atmosférica en soluciones acuosas de glucosa 22,1 %p/p ($a_w = 0,97$) ó 39,5 %p/p ($a_w = 0,93$) y para mango impregnado con pulso de vacío en solución acuosa 59,0 %p/p de glucosa ($a_w = 0,84$).

El contenido de humedad inicial para la fruta fresca escaldada era 5,148 g agua/g ms y después de tres horas de ósmosis a presión atmosférica este valor cayó a 2,568 y 1,191 g agua/g ms por inmersión en las soluciones de impregnación de $a_w = 0,97$ ó $a_w = 0,93$, respectivamente. Al realizar la impregnación con pulso de vacío el contenido de humedad disminuyó

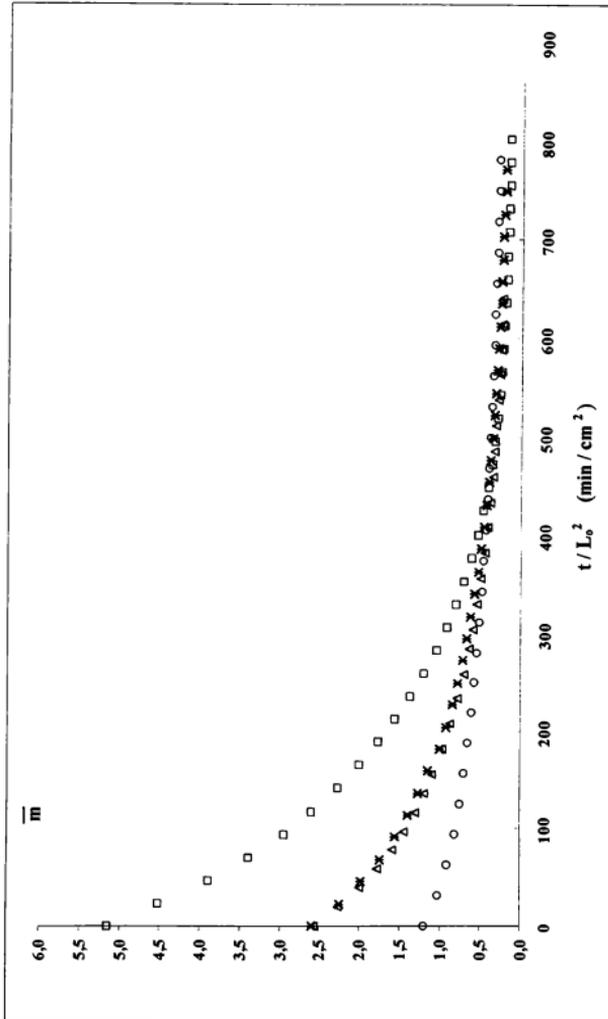


Figura 4-7: Efecto combinado del escaldado y la inmersión en soluciones de glucosa en las curvas de secado de mango a 60 °C: (□) escaldado; (Δ) escaldado e inmerso en solución acuosa 22,1 %p/p de glucosa (presión atmosférica); (*) escaldado e inmerso en solución acuosa 59,0 %p/p de glucosa (pulso de vacío); (○) escaldado e inmerso en solución acuosa 39,5 %p/p de glucosa (presión atmosférica).

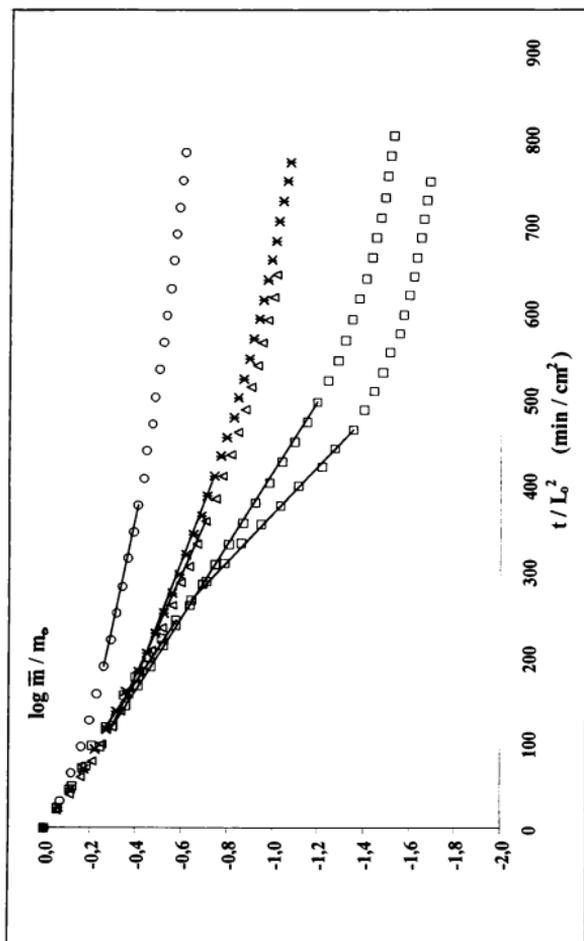


Figura 4-8: Efecto combinado del escaldado y la inmersión en soluciones de glucosa en las curvas de secado de mango a 60 °C (\square) control; (Δ) escaldado e inmerso en solución acuosa 22,1 %p/p de glucosa (presión atmosférica); ($*$) escaldado e inmerso en solución acuosa 59,0 %p/p de glucosa (pulso de vacío); (O) escaldado e inmerso en solución acuosa 39,5 %p/p de glucosa (presión atmosférica).

a 2,597 g agua/g ms. Se observa, entonces que, al igual que con las muestras sin escaldar, la humedad inicial disminuyó a medida que aumentó la concentración de glucosa en la solución de impregnación para las placas tratadas a presión atmosférica. De la misma manera, las muestras tratadas con pulso de vacío presentaron una humedad inicial similar a las impregnadas en la solución acuosa 22,1 %p/p de glucosa a presión atmosférica.

Por otra parte, los contenidos de humedad de las muestras tratadas térmicamente fueron bastante similares a las impregnadas en similares condiciones pero sin tratamiento térmico previo.

En la **Figura 4-8** se representó gráficamente el $\log \bar{m}/m_0$ en función de t/L^2 . A medida que se incrementó la concentración de la solución de impregnación disminuyó la velocidad de secado. Al igual que en las muestras impregnadas sin tratamiento térmico previo, se observó la desaparición de la primera pendiente en las muestras tratadas. En la **Tabla 4-3** se muestran el contenido de humedad inicial en base seca y el espesor inicial de las muestras antes de la deshidratación en corriente de aire y el valor de D_{ef} calculado con la ecuación 4.6. Los coeficientes de regresión fueron 0,997 para la muestra escaldada e impregnada hasta $a_w = 0,97$ a presión atmosférica, 0,997 para la muestra escaldada e impregnada hasta $a_w = 0,93$ a presión atmosférica y 0,998 para la muestra escaldada e impregnada hasta $a_w = 0,97$ con aplicación de un pulso de vacío.

Los valores de D_{ef} disminuyeron cuando la concentración de glucosa de la solución de impregnación se incrementó en el caso de la impregnación a presión atmosférica.

Tabla 4-3: Contenido de humedad y espesor de las muestras previo a la deshidratación y valores de D_{ef} .

Pretratamiento	$L_o \pm de$ (cm)	$m_o \pm de$ (g agua/g ms)	$D_{ef} \pm de$ (cm^2/s)
control	$0,37 \pm 0,01$	$4,627 \pm 0,001$	$9,4 \times 10^{-6} \pm 0,3 \times 10^{-6}$ * a $14,2 \times 10^{-6} \pm 0,2 \times 10^{-6}$ ** b
escaldado	$0,36 \pm 0,01$	$5,148 \pm 0,001$	$9,3 \times 10^{-6} \pm 0,1 \times 10^{-6}$ * a
escaldado e inmersión en solución acuosa de glucosa			
$a_w=0,97$ (presión atmosférica)	$0,39 \pm 0,01$	$2,568 \pm 0,001$	$6,7 \times 10^{-6} \pm 0,1 \times 10^{-6}$ e
$a_w=0,93$ (presión atmosférica)	$0,36 \pm 0,02$	$1,191 \pm 0,001$	$3,1 \times 10^{-6} \pm 0,1 \times 10^{-6}$ d
$a_w=0,84$ (pulso de vacío)	$0,36 \pm 0,01$	$2,597 \pm 0,001$	$5,7 \times 10^{-6} \pm 0,1 \times 10^{-6}$ f

* primer pendiente;

** segunda pendiente.

de: desviación estándar.

Los datos seguidos de igual letra no presentan diferencias significativas.

En la **Figura 4-9** se representó gráficamente $\log \bar{m}/m_o$ en función de t/L_o^2 para las placas de mango con y sin tratamiento previo inmersas en la misma solución de impregnación.

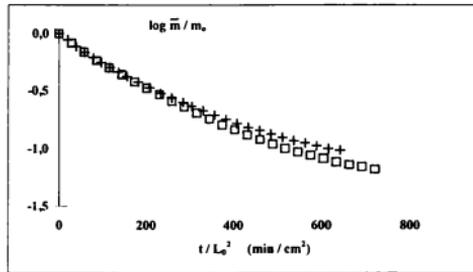
Cuando las placas fueron inmersas en solución acuosa 22,1 %p/p de glucosa a presión atmosférica, se observan diferencias en las curvas de secado, siendo la velocidad de secado menor para las muestras con escaldado previo (**Figura 4-9, a**). Los valores de D_{ef} presentaron diferencias significativas (**Tablas 4-2 y 4-3**).

Sin embargo, al aumentar la concentración de la solución acuosa de glucosa a 39,5 %p/p, las diferencias desaparecen (**Figura 4-9, b**). Los valores de D_{ef} no presentaron diferencias significativas (**Tablas 4-2 y 4-3**).

Las placas impregnadas con un pulso de vacío en solución acuosa 59,0 %p/p de glucosa también presentan diferencias en las curvas de secado, con igual tendencia que las muestras impregnadas en solución acuosa 22,1 %p/p de glucosa a presión atmosférica (**Figura 4-9, c**). Los coeficientes de difusión efectivos

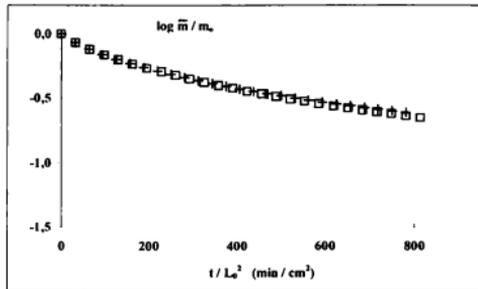
Resultados y Discusión

a)



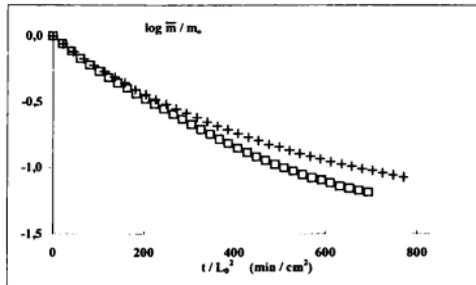
- (□) placa inmersa en solución acuosa 22,1 %p/p de glucosa.
(+) placa escaldada e inmersa en solución acuosa 22,1 %p/p de glucosa .

b)



- (□) placa inmersa en solución acuosa 39,5 %p/p de glucosa
(+) placa escaldada e inmersa en solución acuosa 39,5 %p/p de glucosa .

c)



- (□) placa inmersa en solución acuosa 59,0 %p/p de glucosa.
(+) placa escaldada e inmersa en solución acuosa 59,0 %p/p de glucosa .

Figura 4-9: Comparación de las curvas de secado de muestras impregnadas con y sin tratamiento térmico previo.

presentaron diferencias significativas (Tablas 4-2 y 4-3).

4.5. Caracterización fisicoquímica del mango sometido a diferentes pretratamientos

4.5.1. Análisis de la pérdida de peso, la ganancia de sólidos y la pérdida de agua del mango durante la impregnación con glucosa

En el proceso de deshidratación-impregnación con solutos se produce la remoción de una parte del contenido de agua de las frutas al entrar en contacto con la solución acuosa concentrada del agente de impregnación seleccionado y el soluto de la solución de impregnación es absorbido por las piezas de fruta.

La cantidad y la velocidad de remoción de agua y/o la incorporación de solutos depende de diferentes variables y parámetros de procesamiento (Ponting y col, 1966; Farkas y Lazar, 1969; Hawkes y Flink, 1978; Magee y col., 1983; Rahaman y Lamb, 1990; Biswal y Bozogmehr, 1992; Bolin y Huxsoll, 1993).

El resultado neto del proceso es, en general, la transferencia selectiva de agua hacia el medio, ya que la cantidad de agua removida (Pa) es mucho mayor que la cantidad de azúcares ganados (GS), observándose generalmente una pérdida de peso de la fruta (Ppe).

El transporte de agua y de solutos puede ser caracterizado a través de los parámetros definidos por Hawkes y Flink (1978), tal como fue detallado en el ítem 3.10. Para evaluar la transferencia de masa se analizó la Pa, la GS y la Ppe al final del proceso.

En la **Tabla 4-4** se presentan los valores del contenido de humedad en base húmeda (M), la concentración de sólidos solubles (SS), la pérdida de peso (Ppe), la pérdida de agua (Pa), la ganancia de sólidos (GS) y la a_w determinada experimentalmente de las muestras de mango que fueron escaldadas y/o inmersas en soluciones acuosas de glucosa de concentración 22,1 %p/p ó 39,5 % p/p a

presión atmosférica y de las muestras tratadas en soluciones acuosas de glucosa de concentración 59,0 %p/p con pulso de vacío.

Tanto M como SS están expresados en g por cada 100 g de fruta al final del tratamiento, mientras que Ppe, Pa, y GS están expresados en g por cada 100 g de fruta inicial.

Tabla 4-4 Contenido de humedad en base húmeda, concentración de sólidos solubles, pérdida de peso, pérdida de agua, ganancia de sólidos y a_w de las muestras de mango sometidas a diferentes pretratamientos a presión atmosférica y con pulso de vacío.

Muestra	M †	SS †	GS ††	Pa ††	Ppe ††	a_w
control	82,0 ^a	9,9 ^a	----	----	----	0,99
escaldada	83,7 ^a	9,4 ^a	----	----	----	0,99
inmersa en solución acuosa de glucosa de $a_w=0,97$						
sin escaldar	73,3 ^b	22,1 ^b	12,4	8,1	- 1,2	0,97
escaldada	71,7 ^b	21,3 ^b	12,1	8,2	- 3,0	0,97
inmersa en solución acuosa de glucosa de $a_w=0,93$						
sin escaldar	51,1 ^c	40,8 ^c	21,2	43,2	24,0	0,93
escaldada	54,1 ^c	40,3 ^c	21,0	41,2	24,5	0,92
inmersa en solución acuosa de glucosa de $a_w=0,84$						
sin escaldar	73,9 ^b	18,6 ^d	7,1	15,1	9,1	0,97
escaldada	72,0 ^b	24,3 ^c	10,8	21,0	15,2	0,97

† concentración expresada en g por cada 100 g de fruta impregnada

†† concentración expresada en g por cada 100 g de fruta fresca

Los datos fueron analizados por el Test de Tukey y aquellos seguidos de igual letra no presentan diferencias significativas.

Luego del proceso de impregnación se observó un incremento del contenido de sólidos solubles en las frutas y como fue mencionado anteriormente, una disminución del contenido de agua a medida que la concentración de glucosa aumentaba en la solución de impregnación.

Los mangos inmersos en la solución de 22,1 %p/p de glucosa tuvieron una

ganancia de sólidos del 12,4 %, mientras que los inmersos en la solución de 39,5 %p/p de glucosa tuvieron una ganancia de sólidos todavía mayor (21,2 %). En ambos casos no se observan diferencias en GS entre las muestras que sufrieron tratamiento de escaldado y las que no fueron tratadas térmicamente.

Respecto de la cantidad de agua perdida en el proceso de impregnación, las muestras tratadas con la solución de 39,5 %p/p de glucosa perdieron mayor cantidad de agua que las tratadas en la solución de 22,1 %p/p de glucosa.

En la fruta inmersa en la solución de 39,5 %p/p de glucosa se produjo una mayor disminución de la a_w por una mayor ganancia de sólidos y una mayor pérdida de agua. Se produjo también una pérdida importante de peso de la fruta. Para la fruta inmersa en la solución de 22,1 %p/p glucosa, donde era menor la fuerza impulsora para la pérdida de agua entre la fruta y el medio de inmersión, se obtuvo una ganancia de sólidos mayor que la pérdida de agua y ello se tradujo en una pequeña ganancia de peso de la fruta.

Similares resultados fueron encontrados por Karatanos y col. (1995) al impregnar cilindros de manzana Golden Delicious en soluciones 15, 30 y 45 %p/p de glucosa. Encontraron que para el tratamiento con la solución de menor concentración de glucosa no hubo una ganancia significativa del contenido de glucosa o pérdida de agua a lo largo de 25 horas de inmersión. Dichos autores informaron una humedad inicial de la muestra de 85 %p/p y un contenido de sólidos totales de 15%. Por lo tanto, la fuerza impulsora entre la fruta y el medio para la transferencia de agua y/o sólidos fue muy baja. Al aumentar la concentración de la solución al 45 %p/p de glucosa, la humedad de la muestra disminuyó del 85 al 76 %p/p. La GS fue del 9 %p/p y la Pa del 47 %p/p.

La GS fue menor en el tratamiento con pulso de vacío que a presión atmosférica para lograr la misma a_w final y fue mayor la Pa. A diferencia de lo que se observa en el tratamiento a presión atmosférica, fue mayor la Pa frente a la GS y por lo tanto se produjo una pérdida de peso neta.

En el caso de la impregnación al vacío, se observaron diferencias entre las

muestras que tuvieron tratamiento de escaldado y las que no fueron escaldadas.

Se observa que la velocidad de transferencia de masa fue mayor con el tratamiento en vacío, ya que se logró una a_w final de 0,97 aplicando un pulso de 10 minutos seguidos de 10 minutos adicionales de inmersión a presión atmosférica, frente a las 3 horas necesarias en un sistema de convección forzada para alcanzar dicha a_w en el tratamiento a presión atmosférica. Este comportamiento fue observado por Fito y Chiralt (1995) y Shi y col. (1995) cuando estudiaron las diferencias entre la impregnación a presión atmosférica y la realizada con pulsos de vacío en manzanas, frutillas, ananás y damascos con sacarosa. Ellos atribuyeron este fenómeno a la gran superficie interna actuante en la impregnación realizada con pulsos de vacío ya que los poros de las frutas son llenados con la solución concentrada. También reportaron que, para una fruta específica, la ganancia de sólidos fue muy similar en los tratamientos a presión normal y al vacío.

4.5.2. Contenido de azúcares

El intercambio de azúcares durante el proceso de impregnación resultó en una modificación del perfil de los azúcares en el producto final. La DIS es un proceso de transferencia de masa dinámico entre el jarabe y la fruta, encontrándose que existe además de la remoción de agua y el flujo de azúcares del jarabe hacia la fruta, discutido en los párrafos anteriores, una migración de los azúcares originalmente presentes en la fruta hacia el medio.

La **Tabla 4-5** muestra las concentraciones de glucosa, fructosa y sacarosa determinadas por HPLC para mango fresco (control) y para las placas inmersas en diferentes soluciones acuosas de glucosa, con y sin tratamiento de escaldado. Los datos están referidos a la masa de fruta al final del proceso. La a_w fue determinada experimentalmente o calculada utilizando las ecuaciones de Norrish y de Ross (Ross, 1975; Norrish, 1966), asumiendo que los tres azúcares determinados eran los únicos solutos responsables de la reducción de la a_w .

Tabla 4-5: Contenido de humedad, de azúcares y a_w (calculada y experimental) de placas de mango escaldadas y/o impregnadas con glucosa a presión atmosférica o con pulso de vacío.

Pretratamiento	Fructosa (% p/p)	Glucosa (% p/p)	Sacarosa (% p/p)	M (% p/p)	a_w ⁽¹⁾	a_w ⁽²⁾
control	3,6 ± 0,1	2,3 ± 0,1	4,3 ± 0,1	82,0 ± 0,1	0,990	0,99
inmersión en solución acuosa de glucosa $a_w = 0,97$ (presión atmosférica)	2,3 ± 0,1	17,6 ± 0,3	1,8 ± 0,1	73,3 ± 0,1	0,971	0,97
$a_w = 0,93$ (presión atmosférica)	2,6 ± 0,1	35,7 ± 0,9	1,9 ± 0,2	51,1 ± 0,1	0,919	0,93
escaldado e inmersión en solución acuosa de glucosa $a_w = 0,97$ (presión atmosférica)	<1,3 ± 0,1	23,2 ± 0,3	<0,4 ± 0,1	71,7 ± 0,2	>0,964	0,97
$a_w = 0,93$ (presión atmosférica)	0,8 ± 0,1	34,0 ± 0,1	0,7 ± 0,1	54,1 ± 0,5	0,932	0,92
inmersión en solución acuosa de glucosa $a_w = 0,84$ (pulso de vacío)	2,9 ± 0,1	6,9 ± 0,1	3,8 ± 0,2	73,9 ± 0,1	0,984	0,97
escaldado e inmersión en solución acuosa de glucosa $a_w = 0,84$ (pulso de vacío)	2,6 ± 0,1	9,8 ± 0,3	2,9 ± 0,2	72,0 ± 0,1	0,981	0,97

(1) calculada utilizando las ecuaciones de Norrish y de Ross.

(2) medida experimentalmente ($\pm 0,01$)

Puede observarse que el contenido de glucosa de las placas impregnadas a presión atmosférica aumentó con el incremento de la concentración de azúcar de la solución de impregnación. Se observa también la pérdida de azúcares nativos: fructosa y sacarosa.

Las muestras escaldadas e impregnadas en solución de a_w 0,97 exhibieron mayor incorporación de glucosa y mayor pérdida de azúcares nativos que las muestras impregnadas sin tratamiento térmico previo.

Las muestras escaldadas de a_w 0,93 presentaron la misma tendencia que las muestras que no fueron escaldadas previamente respecto a la incorporación de glucosa, pero respecto a la pérdida de azúcares nativos ésta fue mucho mayor en las muestras con tratamiento térmico.

Estos resultados concuerdan con lo observado por Giangiacomo y col. (1987), quienes estudiaron la influencia del tipo y la concentración de azúcares en la fruta y en el medio de impregnación en el intercambio de azúcares, realizando la cuantificación separada de los azúcares naturalmente presentes en la fruta y en el jarabe. Estos autores realizaron la impregnación de cerezas y duraznos en un jarabe de maltosa:glucosa:sacarosa en relación 1:1,1:1,6. Detectaron una marcada tendencia a la pérdida de glucosa y fructosa en cerezas y de fructosa y sacarosa en duraznos, siempre y cuando la concentración en la fruta fuese mayor que en el jarabe. Cuando impregnaron los damascos con sacarosa, a las 6 horas del proceso, detectaron en el medio de impregnación pequeñas concentraciones de fructosa y glucosa provenientes de la hidrólisis de la sacarosa en el interior de la fruta.

La mayor pérdida de azúcares nativos de las muestras escaldadas puede explicarse en base a la ruptura de las membranas celulares (tonoplasto y plasmalema) del tejido por el tratamiento térmico, fenómeno que disminuye la resistencia a la transferencia de masa de la fructosa y de la sacarosa nativas, presentes mayoritariamente en la vacuola, al medio externo.

Cuando la impregnación se realizó al vacío, la incorporación de glucosa

fue menor que cuando se realizó a presión atmosférica, tanto para las muestras escaldadas como las no escaldadas. Si bien se observa una pérdida de fructosa y sacarosa al medio, no es tan pronunciada como la que se observa a presión atmosférica. La retención de azúcares nativos fue siempre mayor en las muestras tratadas al vacío, con o sin tratamiento térmico, probablemente debido a la corta duración de la DIS.

Existe una buena concordancia entre los valores de a_w medidos y calculados, teniendo en cuenta las limitaciones impuestas por los errores experimentales en la determinación de los azúcares y la existencia de otros solutos no considerados que también contribuirían a la reducción de la a_w .

4.5.3. Encogimiento volumétrico

El cambio de volumen del tejido de mango con respecto al volumen inicial dependió del pretratamiento, como puede observarse en la **Tabla 4-6**.

El encogimiento de las placas de mango debido al escaldado fue aproximadamente del 10%. Similares valores fueron encontrados para las muestras impregnadas con la solución acuosa 22,1 %p/p de glucosa (a_w 0,97) a presión atmosférica, con y sin tratamiento de escaldado. El mayor cambio en el volumen se observó cuando las placas fueron sumergidas en la solución 39,5 %p/p de glucosa (a_w 0,93) a presión atmosférica y en este caso tampoco se observaron diferencias entre las muestras que tuvieron tratamiento de escaldado y las que no fueron térmicamente tratadas.

Las muestras que fueron impregnadas al vacío presentaron encogimientos mayores que las muestras impregnadas a la misma a_w final pero tratadas a presión atmosférica. Similares resultados fueron hallados por Fito y Chiralt (1995) en el estudio llevado a cabo en manzanas. Ellos compararon los resultados obtenidos en la impregnación de las muestras con sacarosa, siendo mayor el encogimiento para las muestras tratadas con pulsos de vacío. Los autores lo atribuyeron a que, si bien hay una deformación del tejido por la pérdida de agua de las células, es

Tabla 4-6: Encogimiento del volumen de las placas de mango sometidas a diferentes pretratamientos

Pretratamiento	% de encogimiento de volumen	
control		
escaldado	10 ± 5	a
inmersión en solución acuosa de glucosa (presión atmosférica)		
$a_w = 0,97$	10 ± 4	a
$a_w = 0,93$	40 ± 4	b
escaldado e inmersión en solución acuosa de glucosa (presión atmosférica)		
$a_w = 0,97$	11 ± 4	a
$a_w = 0,93$	43 ± 5	b
inmersión en solución acuosa de glucosa (pulso de vacío)		
$a_w = 0,84$	19 ± 3	c
escaldado e inmersión en solución acuosa de glucosa (pulso de vacío)		
$a_w = 0,84$	25 ± 3	d

Los datos fueron analizados por el Test de Tukey y aquellos seguidos de igual letra no presentan diferencias significativas.

también importante la pérdida de volumen por la deformación de la matriz, principalmente debido a los efectos de los cambios de presión sobre el tejido.

4.6. Caracterización estructural y ultraestructural del tejido de mango sometido a diferentes pretratamientos

4.6.1. Descripción de la fruta fresca

Las Láminas III y IV muestran las características histológicas (observadas con MO) y la ultraestructura de la pared celular (observadas con MET) de las células parenquimáticas del mango, respectivamente.

Lámina III: A-H, caracteres estructurales del mango en corte transversal. Fotomicrografías con MO. **A**, fruta fresca; **B**, escaldado; **C**, inmerso en solución acuosa 22,1 %p/p de glucosa (presión atmosférica); **D**, escaldado e inmerso en solución acuosa 22,1 %p/p de glucosa (presión atmosférica); **E**, inmerso en solución acuosa 39,5 %p/p de glucosa (presión atmosférica); **F** escaldado e inmerso en solución acuosa 39,5 %p/p de glucosa (presión atmosférica); **G**, inmerso en solución acuosa 59,0 %p/p de glucosa (pulso de vacío); **H**, escaldado e inmerso en solución acuosa 59,0 %p/p de glucosa (pulso de vacío). **a**: almidón; **ei**: espacio intercelular; **hv**: haz vascular; **m**: mucílago; **p**: pared.

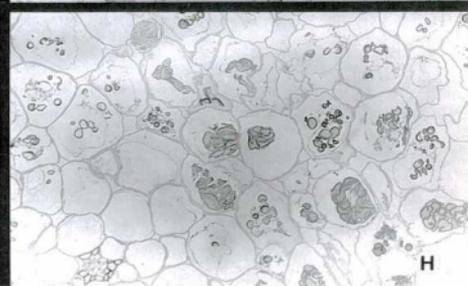
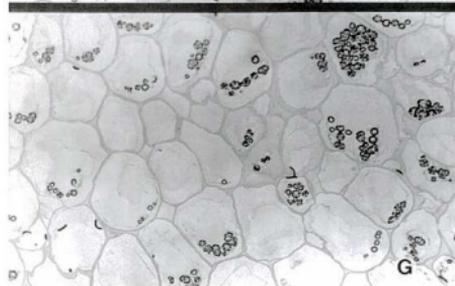
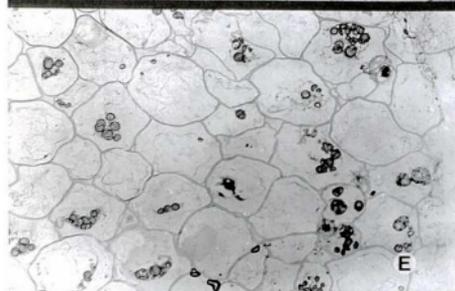
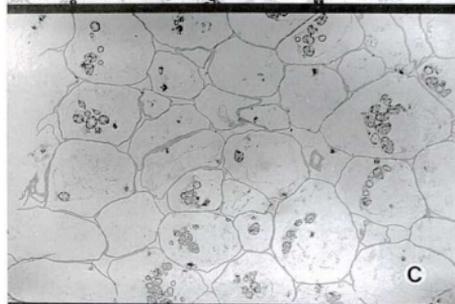
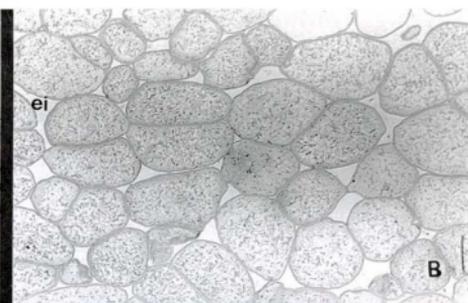
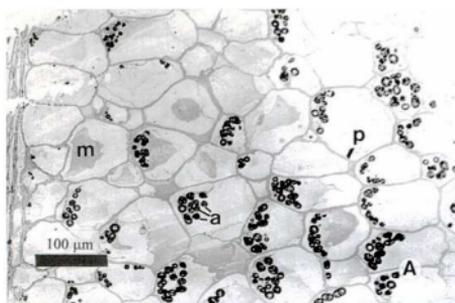
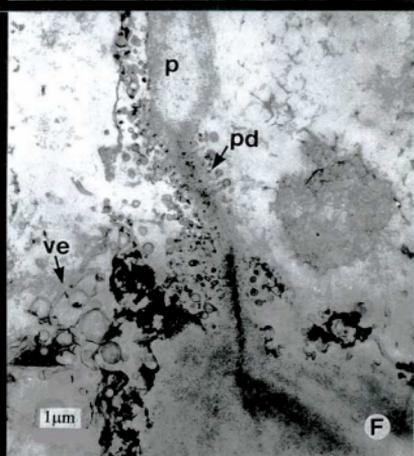
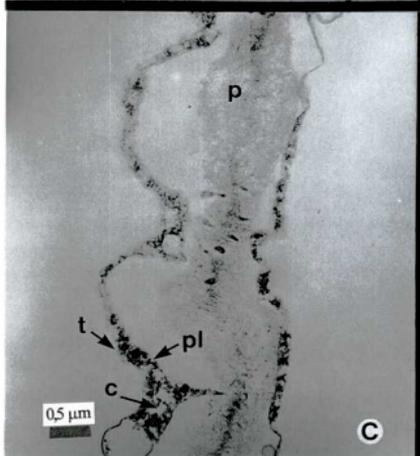
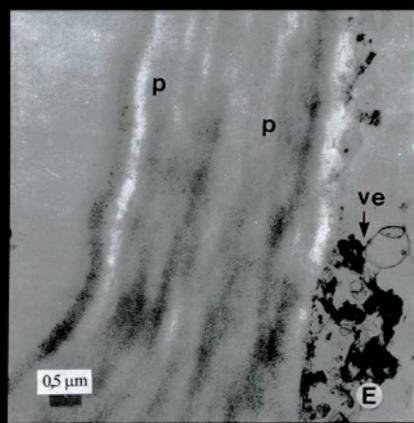
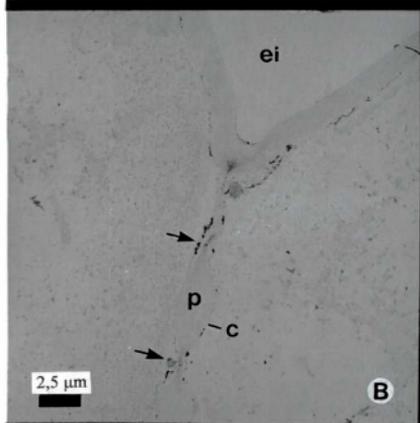
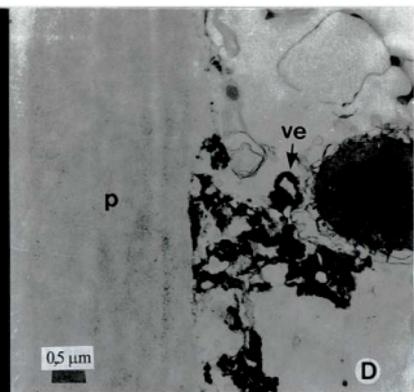
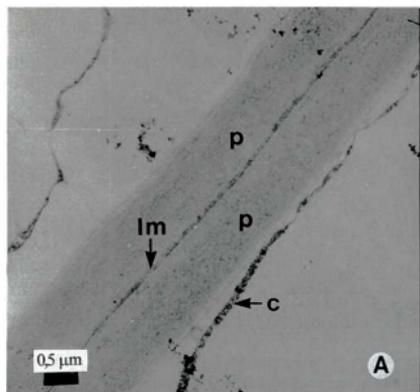


Lámina IV: A-F, caracteres anatómicos ultraestructurales del mango en corte transversal. Fotomicrografías con MET. A-C, fruta fresca: A, paredes celulares de dos células adyacentes electrónicamente densas, laminilla media y citoplasma parietal contenido entre el plasmalema y el tonoplasto; B-C: paredes celulares de dos células en contacto con campos de puntuación primaria; B, los plasmodesmos se observan con alta densidad electrónica; C, detalle. D-F, mango escaldado en vapor saturado: D, pared celular estriada, laminilla media ausente y citoplasma desorganizado; E, detalle; F, plasmodesmos. c: citoplasma; ei: espacio intercelular; lm: laminilla media; p: pared celular; pd: plasmodesmo; pl: plasmalema; t: tonoplasto; ve: vesículas.



En el mango fresco (**Lámina III: A**), el mesocarpo consiste en células parenquimáticas más o menos isodiamétricas y turgentes con grandes áreas de contacto entre sí. Los escasos espacios intercelulares pueden estar ocupados ocasionalmente por mucílagos.

En general las células presentan numerosos gránulos de almidón simples, de dimensión variable y contorno circular, que forman la característica cruz de extinción cuando se observan con luz polarizada. Están agrupados y ubicados en posición parietal.

Los contenidos celulares se observan como manchas grisáceas y los test histoquímicos realizados en muestras de fruta fresca permitieron corroborar la presencia de almidón, proteínas, grasas, taninos y mucílagos de proteínas-carbohidratos.

En MET, las paredes celulares intactas se observan electrónicamente densas con una organización ultraestructural de las microfibrillas compacta. En la región central, la laminilla media con alta densidad electrónica cementa las paredes celulares de dos células adyacentes (**Lámina IV: A**).

Los adelgazamientos de la pared primaria (flechas) corresponden a campos de puntuaciones primarias atravesados por plasmodesmos que ocurren en forma sucesiva a lo largo de la pared de contacto entre células adyacentes (**Lámina IV: B-C**).

En general el citoplasma se halla en posición parietal contenido entre la membrana plasmática y el tonoplasto. Ambas membranas están intactas. La incipiente plasmólisis está posiblemente generada por la deshidratación durante la técnica de inclusión (**Lámina IV: C**).

En general los contenidos celulares están dispersos (**Lámina IV: B**). Estas observaciones se corresponden con las realizadas por Jacobi y Gowanlock (1995) en el tejido de mesocarpo de mango. Según estos autores, los gránulos de almidón estaban ausentes en algunas células y ellos lo atribuyeron a la metabolización en azúcares durante la maduración.

4.6.2. Efecto del escaldado

En las Lámina III: B y IV: D-F (fotomicrografías con MO y MET, respectivamente) se observa la estructura de las células parenquimáticas de mango sometidas al tratamiento de escaldado.

En MO, se detecta una disminución del contacto intercelular y los espacios intercelulares se observan totalmente despejados con forma irregular a triangular (Lámina III: B).

No se observan disrupciones de la pared celular. La mayoría de las células presentan contornos redondeados y contenidos oscuros, esto último debido probablemente a la gelatinización del almidón y a la desnaturalización térmica de los mucílagos.

En MET, las paredes celulares pierden densidad electrónica; presentan una estructura fibrilar laxa, con estrías longitudinales como consecuencia de la alteración de los componentes de la matriz de la pared celular (hemicelulosas y pectinas) por efectos del calor (Lámina IV: D, E).

El escaldado impide visualizar la laminilla media y provoca un aparente hinchamiento de la pared.

Un extremo afinamiento y debilitamiento de la pared a la altura de los campos de puntuaciones primarios es evidente (Lámina IV: F).

La abundante presencia de vesículas translúcidas y cuerpos irregulares electrónicamente densos confirman las frecuentes interrupciones de las membranas (tonoplasto y plasmalema) y la consecuente desorganización de los contenidos citoplasmáticos (Lámina IV: D-F).

4.6.3. Efecto de la impregnación con glucosa

4.6.3.1. Tratamientos a presión atmosférica

Para analizar el efecto de la impregnación con glucosa hasta niveles de a_w eq 0,97 ó 0,93 sin escaldado previo en muestras de mango, se realizaron también observaciones con MO (Lámina III) y con MET (Lámina V y Lámina VI).

Lámina V: A-F, caracteres anatómicos ultraestructurales del mango en corte transversal. Fotomicrografías con MET. A-C, inmerso en solución acuosa 22,1 %p/p de glucosa (presión atmosférica); **A**, paredes celulares electrónicamente densas, laminilla media conspicua, membranas y citoplasma contraído; **B**, detalle; **C**, pared celular con plasmodesmo electrónicamente más denso y citoplasma contenido entre el plasmalema y el tonoplasto. **D-F**, escaldado e inmerso en solución acuosa 22,1 %p/p de glucosa (presión atmosférica): **D**, paredes celulares densamente empaquetadas y citoplasma desorganizado; **E**, detalle, ausencia de laminilla media; **F**, pared celular con plasmodesmo, laminilla media interrumpida, membrana discontinua y citoplasma desorganizado. c: citoplasma; **lm**: laminilla media; **p**: pared celular; **pd**: plasmodesmo; **re**: restos citoplasmáticos; **ve**: vesícula.

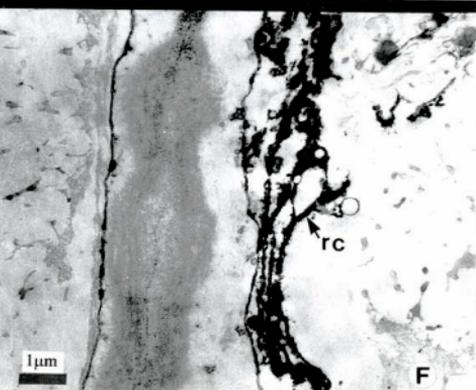
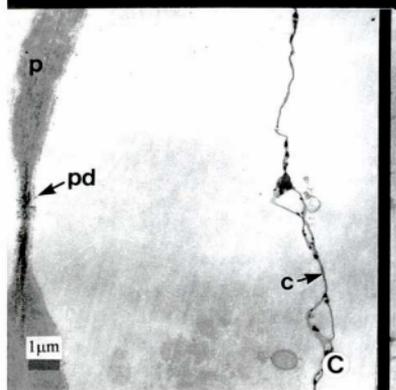
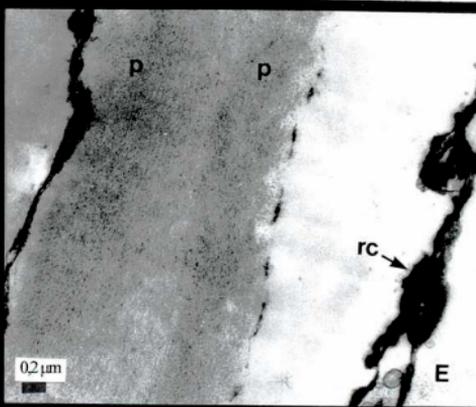
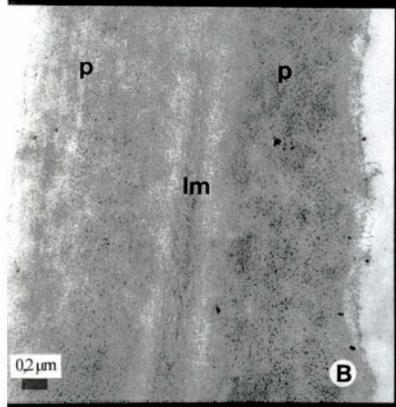
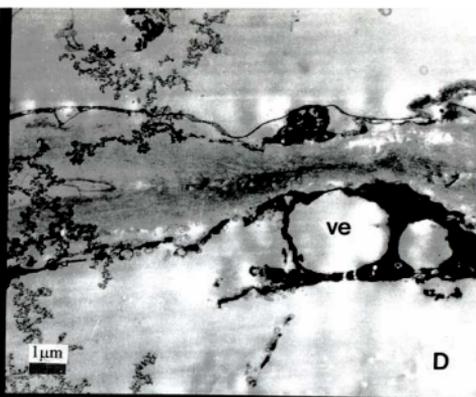
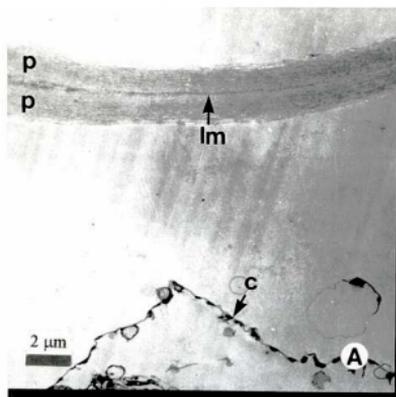
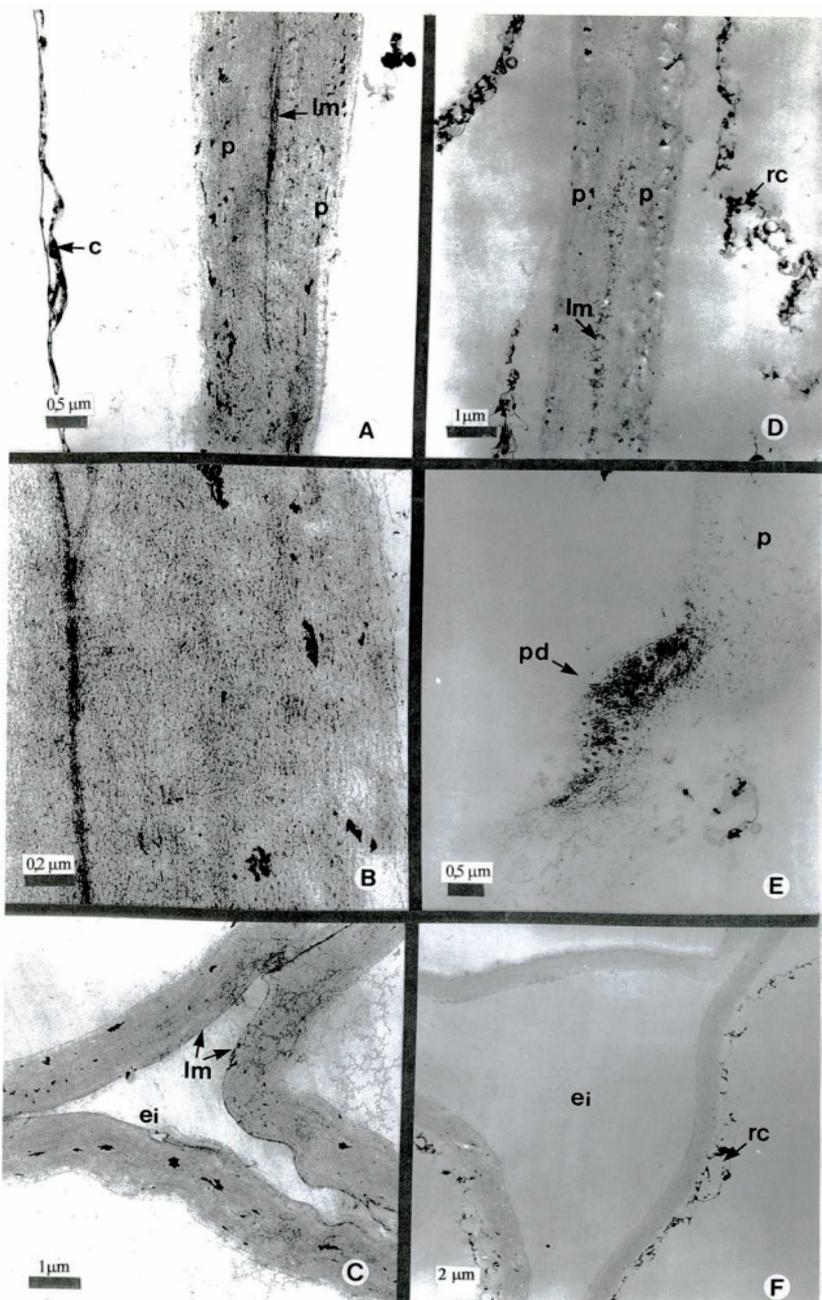


Lámina VI: A-F, caracteres anatómicos ultraestructurales del mango en corte transversal. Fotomicrografías con MET. A-C, inmerso en solución acuosa 39,5 %p/p de glucosa (presión atmosférica); A, paredes celulares electrónicamente densas y laminilla media conspicua; B, detalle; C, espacio intercelular tapizado por la laminilla media. D-F, escaldado e inmerso en solución acuosa 39,5 %p/p de glucosa (presión atmosférica): D, paredes celulares con laminilla media discontinua y membranas celulares rotas; E, plasmodesmos; F, espacio intercelular y restos citoplasmáticos. c: citoplasma; ei: espacio intercelular; **lm**: laminilla media; p: pared celular; **pd**: plasmodesmo; rc: restos citoplasmáticos.



En MO, las muestras impregnadas en solución acuosa de glucosa a a_w 0,97 ó a_w 0,93 (**Lámina III: C, E**) mantienen la organización celular de la fruta fresca (**Lámina III: A**). Las paredes celulares están enteras y los espacios intercelulares claramente visibles son irregulares a triangulares. El plasmalema y tonoplasto aparecen intactos. El contenido celular está plasmolizado y debido a esta contracción los gránulos de almidón se observan agrupados y en posición central. La impregnación con solución acuosa de glucosa de a_w 0,93 (**Lámina III: E**) incrementa la plasmólisis.

En MET, las muestras impregnadas en glucosa a a_w 0,97 y a_w 0,93, (**Lámina V: A, B** y **Lámina VI: A, B**) presentan la pared celular con una organización ultraestructural electrónicamente densa bastante similar al control (**Lámina IV: A**). Las microfibrillas se disponen densamente empaquetadas y la laminilla media se observa claramente.

La región de campos de puntuaciones primarias atravesados por plasmodesmos se observa notablemente delgada y con una coloración oscura (**Lámina V: C**).

En ambos casos, la continuidad de las membranas plasmática y tonoplasto confirman que estas se mantienen intactas. La plasmólisis se evidencia por la retracción del citoplasma separado de la pared celular (**Lámina V: A, C** y **Lámina VI: A**).

En la **Lámina VI: C** el espacio intercelular claramente visible se halla tapizado por la laminilla media.

4.6.3.2. Tratamiento con pulso de vacío

Al MO, se mantiene la organización general del tejido (**Lámina III: E**).

La retracción por efecto de la ósmosis es semejante a las muestras impregnadas a a_w 0,97 a presión atmosférica (**Lámina III: C**).

El aspecto ultraestructural de la pared celular es bastante semejante al de la fruta fresca.

La laminilla media se visualiza claramente (**Lámina VII: A-B**) y tapiza en parte los espacios intercelulares (**Lámina VII: C**).

El citoplasma se observa retraído por efecto de la ósmosis (**Lámina VII: A**) y son evidentes las disrupciones de membrana.

4.6.4. Efecto combinado del escaldado y la impregnación con glucosa

4.6.4.1. Tratamientos a presión atmosférica

Las **Láminas III, V y VI** ilustran también el efecto combinado de ambos tratamientos: escaldado e impregnación con glucosa hasta a_w 0,97 ó 0,93.

En MO, las células presentan contornos redondeados (**Lámina III: D, F**) con organización general semejante al material sin escaldar (**Lámina III: C, E**) en cuanto a las zonas de contacto entre ellas y los espacios intercelulares. Por efecto del calor, es evidente la presencia de los contenidos celulares degradados (almidón y mucilagos).

En las muestras procesadas a a_w 0,97 los materiales desnaturalizados ocupan en su totalidad el lumen celular y ocasionalmente experimentan una leve retracción (**Lámina III: D**).

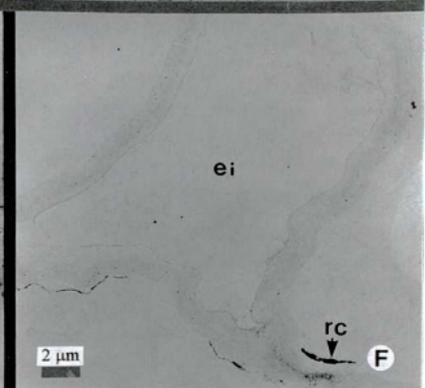
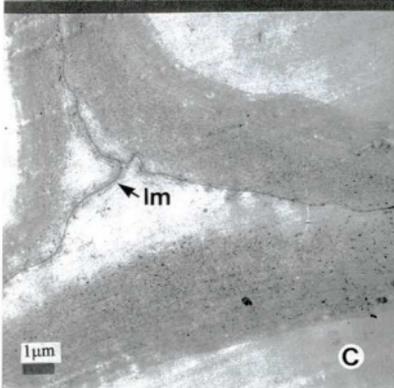
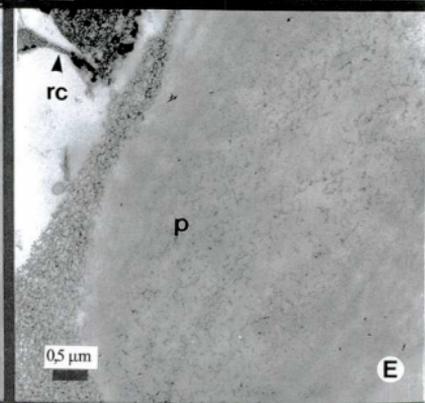
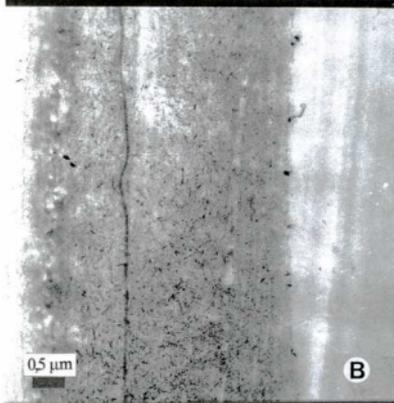
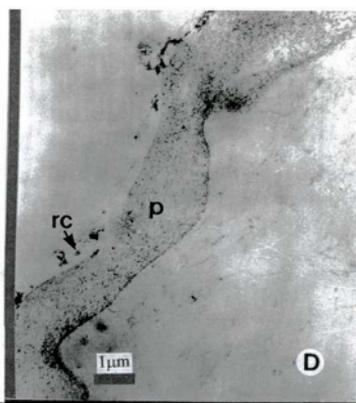
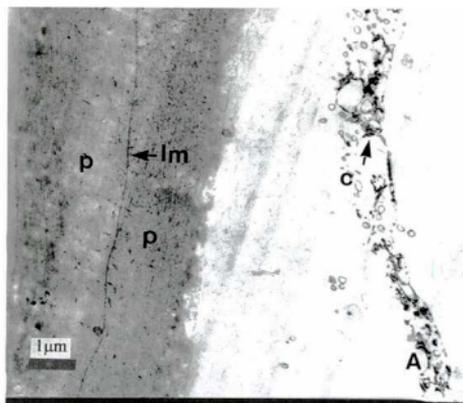
La contracción por efecto de la ósmosis es mayor en las muestras escaldadas e impregnadas a a_w 0,93, donde los contenidos celulares desnaturalizados se encuentran notablemente reducidos y en posición central (**Lámina III: F**).

La laminilla media en general está ausente a poco visible, discontinua (**Lámina V: E, F**), y se observa con muy baja densidad electrónica.

En las muestras escaldadas e impregnadas a a_w 0,97 (**Lámina V: E**), la organización ultraestructural de las microfibrillas presenta un aspecto semejante a las muestras sometidas a impregnación con glucosa sin tratamiento de escaldado (**Lámina V: B**).

Ciertas zonas de la pared con muy poca densidad electrónica se observan

Lámina VII: A-F, caracteres anatómicos ultraestructurales del mango en corte transversal. Fotomicrografías con MET. A-C, inmerso en solución acuosa 59,0 %p/p de glucosa (pulso de vacío); A, pared celular electrónicamente densa, aspecto general; B, detalle; C, espacio intercelular. D-F, escaldado e inmerso en solución acuosa 59,0 %p/p de glucosa (pulso de vacío): D, pared celular, aspecto general; E, detalle; F, espacio intercelular. c: citoplasma; ei: espacio intercelular; lm: laminilla media; p: pared celular; re: restos citoplasmáticos.



en las muestras escaldadas e impregnadas con glucosa a a_w 0,93 (**Lámina VI: D**).

Los espacios intercelulares despejados no se observan tapizados totalmente por la laminilla media (**Lámina VI: F**).

La organización ultraestructural de la pared a nivel de los campos de puntuación primaria se observan electrónicamente densa. Las paredes contiguas experimentan una acentuada pérdida de la densidad electrónica en correspondencia con su alteración ultraestructural (pérdida de componentes solubles de la matriz) (**Lámina VI: E**).

El tratamiento con calor afecta a las membranas lipoproteicas: ocasiona la clara disrupción del tonoplasto y plasmalema y la consecuente desorganización del citoplasma (**Lámina V: D-F** y **Lámina VI: D-F**).

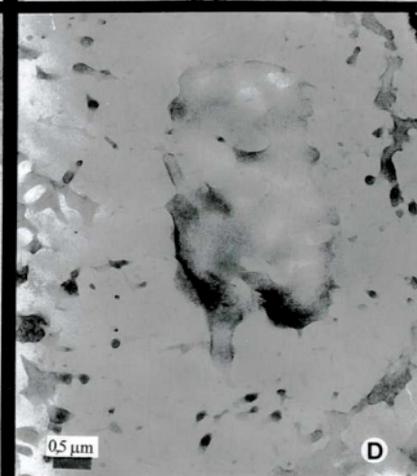
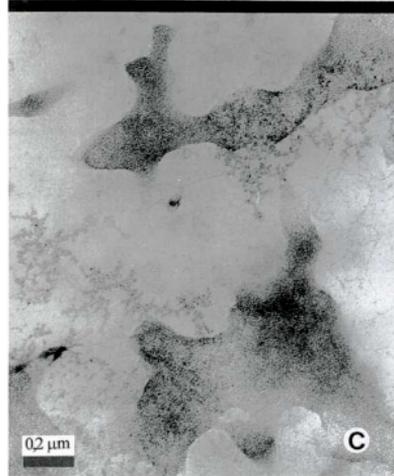
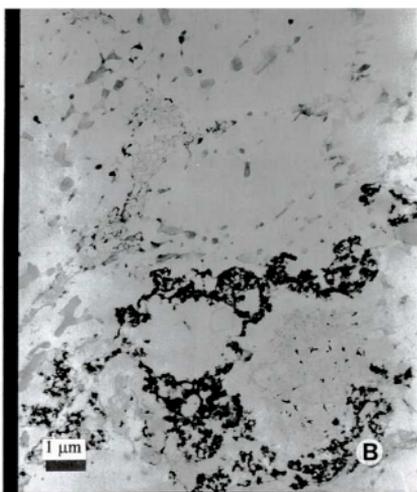
La desnaturalización de los contenidos celulares (almidón, mucílagos y azúcares) por efecto del calor se observan en la **Lámina VIII**.

4.6.4.2. Tratamiento con pulso de vacío

En los lotes escaldados es notable la disrupción de membranas (**Lámina VII: D-F**). Asimismo, es evidente la pérdida de componentes solubles de la pared, su estructura fibrilar laxa y la disolución parcial de la laminilla media en los espacios intercelulares. La pared presenta contornos marcadamente ondulados (**Lámina VII: D, F**).

El efecto del calor desnaturaliza los contenidos celulares (**Lámina III: H**).

Lámina VIII: A-D, contenidos celulares del mango. Fotomicrografías con MET. A, escaldado e inmerso en solución acuosa 22,1 %p/p de glucosa (presión atmosférica); B-D, escaldado e inmerso en solución acuosa 39,5 %p/p de glucosa (presión atmosférica): B, aspecto general, C, detalle; D, detalle.



4.7. Integración de resultados: algunas hipótesis sobre la conducta de secado del mango con pretratamientos

Como consecuencia de la aplicación de pretratamientos en frutas y vegetales, se producen modificaciones en los tejidos tratados, entre ellas, encogimiento, cambios en la estructura y composición química (alteración de macromoléculas, ganancia y/o pérdida de sólidos) y se puede afectar el transporte de masa durante el secado dependiendo de la severidad de las mismas y su grado de participación como resistencias al transporte.

Cuando se considera la influencia de los cambios estructurales internos en el transporte de masa, se debe tener en cuenta las tres posibles vías del movimiento de agua hacia adentro o afuera de las células. Ellas son el transporte transmembrana, el transporte simplástico (a través de plasmodesmos) y el transporte apoplástico (a través de la pared) ya mencionados en el ítem 2.5.2.

Tyree (1970) ha reportado que la vía preferida para el transporte de especies pequeñas no iónicas como el agua es la pared celular y Molz y Ikenberry (1974) han puntualizado que existe una cantidad considerable de evidencia experimental de que las paredes celulares constituyen la vía más importante del movimiento del agua a través del tejido. Rotstein y Cornish (1978) plantearon una expresión para predecir el flujo de agua en el proceso de secado en manzanas considerando que la permeabilidad de la membrana era la etapa controlante. El flujo predicho era significativamente mayor que el obtenido experimentalmente, concluyendo entonces que el fenómeno de secado no era controlado por la permeabilidad a través de la membrana. Estos estudios pondrían de manifiesto la importancia de las modificaciones de la pared celular en los procesos de transporte.

A fin de poder esbozar una explicación parcial del comportamiento del mango durante el secado, resulta conveniente agrupar los datos obtenidos. En la **Tabla 4-7** se resume la información de las propiedades fisicoquímicas evaluadas en las muestras de mango fresco y en las muestras sometidas a los

Tabla 4-7: Resumen de las propiedades fisicoquímicas del mango sometido a diferentes pretratamientos.

Pretratamiento	E	sólidos solubles [†]	azúcares			a_w medida	m_0	GS ^{††}	Pa ^{††}	Ppe ^{††}	D_{ef}
			G	F	S						
control	-----	9,9 ^a	2,3	3,6	4,31	0,99	4,627	-----	-----	-----	9,4 x 10 ⁻⁶ ^a 14,2 x 10 ⁻⁶ ^b
escaldada	10 ^a	9,4 ^a				0,99	5,148	-----	-----	-----	9,4 x 10 ⁻⁶ ^a
inmersa en solución acuosa de glucosa $a_w=0,97$ (presión atmosférica)	10 ^a	22,1 ^b	17,6	2,3	1,8	0,97	2,782	12,4	8,1	-1,2	7,5 x 10 ⁻⁶ ^c
$a_w=0,93$ (presión atmosférica)	40 ^b	40,8 ^c	35,7	2,6	1,9	0,93	1,055	21,2	43,2	24,0	3,2 x 10 ⁻⁶ ^d
escaldada e inmersa en solución acuosa de glucosa $a_w=0,97$ (presión atmosférica)	11 ^a	21,3 ^b	23,2	<1,3	<0,4	0,97	2,568	12,1	8,2	-3,0	6,7 x 10 ⁻⁶ ^e
$a_w=0,93$ (presión atmosférica)	43 ^b	40,3 ^c	34,0	0,8	0,7	0,92	1,191	21,0	41,2	24,5	3,1 x 10 ⁻⁶ ^d
inmersa en solución acuosa de glucosa $a_w=0,84$ (pulso de vacío)	19 ^c	18,6 ^d	6,9	2,9	3,8	0,97	2,855	7,1	15,1	9,1	7,5 x 10 ⁻⁶ ^e
escaldada e inmersa en solución acuosa de glucosa $a_w=0,84$ (pulso de vacío)	25 ^d	24,3 ^e	9,8	2,6	2,9	0,97	2,597	10,8	21,0	15,2	5,7 x 10 ⁻⁶ ^f

E: encogimiento, G: concentración de glucosa (%p/p), F: concentración de fructosa (%p/p), S: concentración de sacarosa (%p/p), m_0 : humedad promedio inicial antes de la deshidratación en corriente de aire (g agua / g ms), [†] concentración expresada en g por cada 100 g de fruta impregnada ($\pm 0,1$), ^{††} concentración expresada en g por cada 100 g de fruta fresca ($\pm 0,1$)

Los valores seguidos de igual letra no presentan diferencias significativas

pretratamientos de escaldado y/o deshidratación-impregnación con glucosa.

A continuación, se analizará el efecto de cada pretratamiento.

Efecto del escaldado

Diferentes autores observaron que el escaldado influye en la velocidad de secado de frutas y vegetales de diferentes maneras: en algunos casos puede aumentar, en otras disminuir o bien no modificar el coeficiente de difusión efectivo del agua.

Alvarez y col. (1995) encontraron que el escaldado en vapor incrementaba el D_{ef} en frutillas. Los estudios de microscopía electrónica revelaron que el tratamiento con vapor producía disrupción de las membranas y degradación de la laminilla media y de los polisacáridos hemicelulósicos presentes en la pared celular, siendo la densidad óptica de las paredes celulares menor que la densidad óptica de las paredes celulares de las frutillas frescas. Los autores explicaron, al menos parcialmente, el comportamiento observado en el secado considerando las alteraciones de la ultraestructura del tejido provocadas por la exposición al calor. El escaldado mejoraría el D_{ef} debido a la eliminación de la resistencia de las membranas celulares y/o a la disminución de la resistencia de la pared celular al flujo de agua.

Mazza (1983) observó que el escaldado en agua tenía una influencia significativa en la velocidad de transporte de humedad en zanahorias. El autor atribuyó el incremento de la velocidad a cambios en las propiedades físicas del tejido, a saber, la destrucción de membranas por calor, y a la pérdida de sólidos solubles. Vaccarezza y Chirife (1975), realizando ensayos con remolacha azucarera, encontraron que el coeficiente de difusión disminuía cuando se incrementaba la concentración inicial de sólidos solubles.

Un comportamiento similar fue reportado por Alzamora y Chirife (1980) en remolacha azucarera, donde el escaldado incrementaba la velocidad de transporte de humedad, siendo el efecto más notorio cuando el escaldado se

realizaba en agua. El comportamiento fue atribuido a la pérdida de sólidos solubles. Sin embargo, observaron que en placas de papa el escaldado, ya sea en vapor o en agua, disminuía la velocidad de secado y atribuyeron este efecto a cambios causados por la gelatinización del almidón.

En el estudio que estos autores llevaron a cabo en palta, el escaldado en vapor tuvo sólo una leve influencia. El contenido de aceite fue el factor más influyente en la velocidad de secado, probablemente debido al carácter hidrofóbico de la grasa que impone una resistencia al flujo de agua.

Estos resultados permiten concluir que para poder explicar la influencia del escaldado en la velocidad de secado, deben tenerse en cuenta varios fenómenos que pueden producirse por la aplicación del calor, ya sea utilizando vapor saturado o agua en ebullición (Alzamora y col., 1997):

a) variación en las propiedades físicas de los tejidos, entre ellas destrucción de la semipermeabilidad de las membranas celulares, y con ello modificación de las propiedades osmóticas de las células y el turgor

b) alteraciones a nivel de microestructura de la pared: desintegración parcial de la laminilla media con la consecuente separación de las paredes celulares de células adyacentes; ruptura de las paredes primarias celulares debido a la degradación de los polisacáridos celulósicos y hemicelulósicos y cambios en la cristalinidad de la celulosa; hinchamiento de las paredes primarias

c) cambios fisicoquímicos de los componentes citoplasmáticos como el almidón y las proteínas

d) pérdida de sólidos solubles

e) desplazamiento del aire ocluido y colapso celular.

También, debe considerarse que el secado a altas temperaturas puede modificar las características físicas del vegetal, enmascarando el efecto del escaldado.

En mango, el D_{ef} disminuyó por efecto del escaldado, siendo significativamente diferente del D_{ef} en mango fresco. La muestra escaldada

presentó un leve encogimiento del tejido (~ 10 %). A partir de la información obtenida en MO y en MET, puede observarse que la aplicación del tratamiento térmico podría modificar ligeramente la resistencia de la pared celular al flujo de agua, destruyó la membrana celular y produjo gelatinización del almidón y degradación de mucilagos.

Entonces, en mango, la disminución del D_{ef} por efecto del escaldado podría ser atribuida a la contracción de los tejidos por expulsión del aire así como a las modificaciones en los contenidos celulares. Ambos fenómenos incrementarían la resistencia al flujo de agua, predominando sobre la potencial disminución de la resistencia al flujo ofrecida por la pared y/o las membranas celulares.

Efecto de la deshidratación-impregnación con glucosa a presión atmosférica

Islam y Flink (1982), al estudiar el secado en corriente de aire de placas de papa de 7 mm de espesor a 65,5 °C, encontraron que el coeficiente de difusión del agua era menor para las muestras impregnadas que para la muestra fresca (por ej.: el valor de D_{ef} era de $8,72 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ para placas de papa fresca y de $4,48 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ para placas de papa impregnadas en una solución de 60 %p/p de sacarosa), debido a la mayor resistencia al flujo ocasionado por la presencia de azúcar. Igual efecto de los azúcares fue encontrado por Karathanos y col. (1995) y Sankat y col. (1996) en manzanas y bananas, respectivamente.

Sin embargo, Alvarez y col., (1995) reportaron que el D_{ef} para frutillas (var. Tioga) inmersas en una solución acuosa 51% p/p de glucosa no presentaba diferencias significativas con el valor correspondiente a la fruta fresca. En este caso era de esperar que un incremento en la concentración de sólidos solubles incrementase también la resistencia al transporte de humedad. Los autores atribuyeron este comportamiento aparentemente anómalo a que, si bien se producía un incremento de la resistencia interna al movimiento de humedad por

la incorporación de azúcares, existiría una reducción de la resistencia de la pared celular debido a la probable degradación de polisacáridos, así como pérdidas al medio de pectinas y otros componentes solubles durante el paso de impregnación.

En mango, el valor de D_{ef} disminuyó para las muestras deshidratadas e impregnadas con glucosa a presión atmosférica a a_w 0,97 y 0,93 respecto del mango fresco (Tabla 4-7).

En la muestra impregnada a a_w 0,93 la concentración de glucosa, el encogimiento, la GS y la Pa fueron mucho mayores que para la muestra de a_w 0,97. En MO y MET, a ambos niveles de a_w , las paredes celulares aparecían enteras, con una organización ultraestructural bastante similar a la de la fruta fresca y con presencia de la laminilla media. Las membranas (plasmalema y tonoplasto) se encontraban bastante intactas y era evidente la plasmólisis del citoplasma, más pronunciada a a_w 0,93.

De acuerdo a este análisis, la disminución del D_{ef} cuando se incrementaba la concentración de la solución de impregnación probablemente podría explicarse por la mayor resistencia adicional ofrecida por los azúcares incorporados y el mayor encogimiento provocado por el pretratamiento, tanto mayores cuanto mayor fue la reducción de a_w .

Por otra parte, si se compara el comportamiento de la muestra sólo escaldada y la muestra impregnada a a_w 0,97, ambas presentaron el mismo encogimiento. Pero la muestra impregnada mostró mayor integridad de la pared celular y de las membranas y mayor incorporación de glucosa, fenómenos todos que disminuirían la velocidad de secado.

Efecto de la deshidratación-impregnación con glucosa mediante aplicación de pulso de vacío

Cuando las placas de mango fueron impregnadas al vacío con una solución 59,0 %p/p de glucosa, los valores de la humedad y la a_w final fueron

iguales que los obtenidos cuando la impregnación se realizó con una solución 22,1 %p/p de glucosa a presión atmosférica.

Los valores de D_{ef} para ambos procesos de impregnación no presentaron diferencias significativas. Si bien la muestra tratada al vacío exhibió mayor encogimiento y mayor pérdida de agua que la impregnada a presión atmosférica, mostró menor GS y menor incorporación de glucosa. A nivel de ultraestructura, no se observaron diferencias apreciables entre ambos tejidos.

La mayor pérdida de agua podría explicarse si se consideran los fenómenos que ocurren cuando se realiza el tratamiento a presiones subatmosféricas. Cuando se aplica un pulso de vacío, la matriz sólida del tejido se deforma (incrementa su volumen debido a la expulsión del aire ocluido), ocurre pérdida de líquido nativo para la mayoría de las frutas analizadas y hay liberación del gas ocluido en los poros. Cuando la presión atmosférica es restaurada, debido a la diferencia de presiones interna y externa se produce una deformación de la matriz sólida al mismo tiempo que la solución concentrada entra en los poros (Fito y Chiralt, 1995). La transferencia de masa se realiza fundamentalmente por el mecanismo de penetración hidrodinámico, habiendo además un gran aumento del área de interfase sólido-líquido.

Efecto combinado del escaldado y la deshidratación-impregnación con glucosa a presión atmosférica

Mazza (1983) estudió el efecto del escaldado en agua y la posterior inmersión en soluciones acuosas de sacarosa como pasos previos al secado en la velocidad de movimiento de humedad durante la deshidratación de cubos de zanahoria. Observó que cuando se incrementaba la concentración de la solución de inmersión de 5 a 60 %p/p de sacarosa, el contenido de humedad de las zanahorias disminuía de 9,0 a 3,6 kg agua/kg ms. Además la velocidad de transporte de humedad disminuía sustancialmente. Este comportamiento lo atribuyó a dos causas: en primer lugar, la cristalización de la sacarosa durante el

proceso disminuía la difusividad del vapor de agua y en segundo lugar, la presión de vapor del agua en el producto disminuía debido al azúcar disuelto. Por lo tanto, la diferencia de presión de vapor entre el aire de secado y el producto decrecía resultando una menor velocidad de secado.

Alvarez y col. (1995), al estudiar el efecto de la aplicación de ambos pretratamientos en frutillas, obtuvieron un resultado no totalmente coincidente con el presentado por Mazza. Cuando estudiaron la influencia del sólo tratamiento térmico, encontraron que éste incrementaba la velocidad de secado. Tanto las muestras escaldadas como las escaldadas con posterior inmersión en soluciones acuosas de glucosa a 35 %p/p ó 51 %p/p tuvieron mayores valores de D_{ef} respecto de la fruta fresca, siendo además estos similares para los tres pretratamientos realizados. Es decir, la impregnación con glucosa después del escaldado no causó un efecto adicional en el D_{ef} . El análisis microscópico reveló que los tejidos escaldados e impregnados presentaron un daño ultraestructural de las paredes celulares mucho más severo que el observado cuando las muestras fueron sólo escaldadas (Vidales y col., 1994). Los autores atribuyeron el comportamiento de las muestras durante el secado al balance de dos efectos opuestos a) la incorporación de soluto que incrementaba la resistencia al transporte de agua y b) la significativa reducción de la resistencia de la pared celular debido a la degradación de polisacáridos y/o pérdida de material soluble durante el paso de impregnación.

En el mango, los valores de D_{ef} para las muestras escaldadas e impregnadas con glucosa a a_w 0,97 fueron menores que los correspondientes a las muestras impregnadas a a_w 0,97 pero sin tratamiento térmico. Si bien no existieron diferencias entre la GS, la Pa, la Ppe, la m, la a_w y el encogimiento, se observa que la concentración de glucosa en las muestras escaldadas fue ligeramente mayor y, por el contrario, hubo pérdida de azúcares nativos (fructosa y sacarosa) contenidos en vacuolas por la ruptura de membranas.

Respecto de la pared celular, no se observó un deterioro adicional muy significativo por la inmersión en la solución concentrada, sino que por el contrario, la densidad electrónica de la pared fue más homogénea, no observándose las estrías características del fruto escaldado. Sterling y Chichester (1959), cuando estudiaron la distribución de glucosa radiactiva en duraznos después de una cocción en solución de 30 %p/p de glucosa, concluyeron que la concentración de azúcares en el espacio intercelular era muy cercana a la concentración del azúcar en el jarabe pero había una acumulación de azúcar y un gradiente de concentración en la pared celular. Ellos explicaron este fenómeno en base a la adsorción de azúcares por la celulosa, sustancias pécticas y otros polisacáridos de la pared celular. Posiblemente el escaldado exponga y/o induzca la disponibilidad de grupos reactivos incrementando la adsorción de glucosa en paredes celulares y por lo tanto la resistencia de la pared celular al flujo de agua. También debe notarse que hubo alteración de los contenidos celulares (gelatinización del almidón y desnaturalización de mucílagos) en las muestras escaldadas.

Los valores de D_{ef} para las muestras escaldadas e impregnadas con glucosa a a_w 0,93 no presentaron diferencias significativas con los de las muestras impregnadas a a_w 0,93. En este caso tampoco existieron diferencias significativas entre la GS, la Pa, la Ppe, la m, la a_w y el encogimiento. El contenido de glucosa fue similar para ambos casos, disminuyendo el contenido de azúcares nativos en las muestras escaldadas. Es posible que el alto encogimiento (~ 40 %) y la gran concentración de azúcares en estas muestras enmascararan el efecto del calor.

Efecto combinado del escaldado y la deshidratación-impregnación con glucosa mediante aplicación de pulso de vacío

Al igual que en el caso de las muestras impregnadas a a_w 0,97 a presión atmosférica, las muestras impregnadas aplicando vacío mostraron valores de D_{ef}

significativamente diferentes dependiendo de la ausencia o la presencia del tratamiento térmico previo. El mango previamente escaldado exhibió mayores valores de encogimiento, Pa, GS, y Ppe que la fruta sin tratamiento térmico. El contenido de azúcares nativos no se modificó apreciablemente, como ocurrió en el tratamiento a presión atmosférica. A nivel de pared la densidad óptica de las paredes celulares fue más homogénea que la presentada en las muestras sólo escaldadas, si bien no se observó laminilla media o, cuando estuvo presente, apareció fragmentada. Comparando las paredes celulares con las muestras impregnadas sin tratamiento térmico, el arreglo de microfibrillas lucía más laxo. El balance neto de todos estos efectos se tradujeron en un menor D_{ef} para las muestras escaldadas previamente.

5

CONCLUSIONES

Los pretratamientos de escaldado y/o de deshidratación con glucosa (a presión atmosférica o bajo vacío) modificaron significativamente la velocidad de secado en corriente de aire a 60 °C durante el primer período de velocidad de secado decreciente de placas de mango.

- ◆ El escaldado y los procesos de deshidratación-impregnación con solutos disminuyeron el coeficiente de difusión efectivo del agua (D_{ef}), calculado mediante la aplicación de la segunda Ley de Fick suponiendo placa plana infinita y condiciones isotérmicas.
 - ◆ A presión atmosférica, a medida que se incrementó la concentración de la solución de glucosa, la velocidad de transporte de humedad disminuyó sustancialmente. El escaldado previo disminuyó ligeramente el D_{ef} en las muestras impregnadas en solución de a_w 0,97 pero no tuvo un efecto adicional en las muestras impregnadas en solución de a_w 0,93.
 - ◆ El tratamiento de impregnación a presión subatmosférica se tradujo en un D_{ef} similar al obtenido a presión atmosférica para lograr la misma a_w final (0,97) en las muestras sin tratamiento térmico; en las muestras previamente escaldadas el D_{ef} obtenido después de la infusión al vacío fue ligeramente menor al obtenido después de la infusión a presión atmosférica.
 - ◆ El análisis de los cambios histológicos y ultraestructurales por microscopía óptica y microscopía electrónica de transmisión indicó que los distintos tratamientos no parecieron alterar la densidad electrónica de las paredes celulares en forma severa (excepto en el caso del escaldado). Pero hubieron diferencias según el pretratamiento en la cantidad de glucosa incorporada, la humedad, el encogimiento volumétrico, la ganancia de sólidos, la pérdida de agua y la pérdida de peso.
- ✱ La conducta durante el secado se afectaría por una serie de fenómenos ocurridos durante los pretratamientos, los que modificarían en mayor o menor

grado la resistencia al flujo de agua ya sea aumentándola o disminuyéndola, a saber:

- la ganancia de glucosa y la disminución de humedad
- el colapso de las muestras y la disminución de la porosidad efectiva
- la transformación del almidón y de los mucilagos de proteínas y carbohidratos durante el tratamiento térmico
- la modificación de la permeabilidad de las membranas celulares y de la ultraestructura de pared (contenido de sustancias pécticas y disposición de microfibrillas).

6

ANEXO
Tablas de datos

Tablas de datos correspondientes a las Figura 4-1 a 4-9

Tabla I: Fruta fresca (control)

tratamiento térmico previo:	no
concentración de la solución de impregnación (%p p):	no se impregnó
presión tiempo (mm Hg min):	-----
$a_{w\text{ eq}}$:	$0,99 \pm 0,01$
masa seca (g):	$1,124 \pm 0,001$
humedad inicial (g g ms):	$4,627 \pm 0,001$
espesor inicial (cm):	$0,37 \pm 0,01$

tiempo (min)	masa de muestra ($\pm 0,001$ g)
0	6,327
3	5,707
6	5,153
9,5	4,686
13	4,350
16	3,908
21	3,458
24	3,201
27	2,946
30	2,726
33	2,517
36	2,310
39	2,135
42	1,968
45	1,834
48	1,713
51	1,609
54	1,523
57	1,441
60	1,404
63	1,355
66	1,330
69	1,311
72	1,297
75	1,286
78	1,270
81	1,263
84	1,257
87	1,251
90	1,247
93	1,243
96	1,239
99	1,236
102	1,233

Tabla II: *Fruta fresca*

<i>tratamiento térmico previo:</i>	no
<i>concentración de la solución de impregnación (%p/p):</i>	no se impregnó
<i>presión / tiempo (mm Hg / min)</i>	-----
<i>a_{w eq}:</i>	0,99 ± 0,01
<i>masa seca (g):</i>	0,999 ± 0,001
<i>humedad inicial (g/g ms):</i>	5,548 ± 0,001
<i>espesor inicial (cm):</i>	0,39 ± 0,01

tiempo (min)	masa de muestra (± 0,001 g)
0	6,542
3	5,978
6	5,527
9	5,131
12	4,806
15	4,464
18	4,185
21	3,915
24	3,645
27	3,412
30	3,171
33	2,951
36	2,756
39	2,562
42	2,371
45	2,215
48	2,056
51	1,923
54	1,802
57	1,687
60	1,596
63	1,513
66	1,444
69	1,385
72	1,343
75	1,307
78,5	1,267
82	1,241
85	1,223
88	1,209
91	1,197
94	1,182
97	1,174

Tabla III: *Fruta fresca escaldada*

<i>tratamiento térmico previo:</i>	si
<i>concentración de la solución de impregnación (%p.p):</i>	no se impregnó
<i>presión tiempo (mm Hg min):</i>	-----
$\alpha_{w, eq}$:	0,99 \pm 0,01
<i>masa seca (g):</i>	1,053 \pm 0,001
<i>humedad inicial (g g ms):</i>	5,148 \pm 0,001
<i>espesor inicial (cm):</i>	0,36 \pm 0,01

tiempo (min)	masa de muestra (\pm 0,001 g)
0	6,476
3	5,818
6	5,142
9	4,616
12	4,157
15	3,791
18	3,439
21	3,161
24	2,913
27	2,692
30	2,495
33	2,315
36	2,155
39	2,021
42	1,900
45	1,791
48	1,699
51	1,616
54	1,545
57	1,489
60	1,438
63	1,400
66	1,363
69	1,337
72	1,316
75	1,297
78	1,283
81	1,265
84	1,255
87	1,246
90	1,238
93	1,231
96	1,225
99	1,220
102	1,216

Tabla IV: Mango impregnado en solución acuosa 22,1 %p/p de glucosa

<i>tratamiento térmico previo:</i>	no
<i>concentración de la solución de impregnación (%p p):</i>	22,1 ± 0,1
<i>presión tiempo (mm Hg min):</i>	760 / 180
<i>$\alpha_{w\text{ eq}}$:</i>	0,97 ± 0,01
<i>masa seca (g):</i>	1,774 ± 0,001
<i>humedad inicial (g g ms):</i>	2,782 ± 0,001
<i>espesor inicial (cm):</i>	0,37 ± 0,01

tiempo (min) masa de muestra (± 0,001 g)

0	6,710
4	5,851
8	5,186
12	4,671
16	4,264
20	3,938
24	3,659
28	3,430
32	3,229
36	3,057
40	2,912
44	2,785
48	2,667
52	2,570
56	2,495
60	2,426
64	2,365
68	2,318
72	2,271
76	2,237
80	2,207
84	2,181
88	2,154
92	2,134
96	2,118
100	2,102

**Tabla V: Mango escaldado e impregnado en solución acuosa
22,1 %p/p de glucosa**

<i>tratamiento térmico previo:</i>	si
<i>concentración de la solución de impregnación (%p p):</i>	22,1 ± 0,1
<i>presión tiempo (mm Hg min):</i>	760 / 180
<i>$a_{w,eq}$:</i>	0,97 ± 0,01
<i>masa seca (g):</i>	2,116 ± 0,001
<i>humedad inicial (g g ms):</i>	2,568 ± 0,001
<i>espesor inicial (cm):</i>	0,39 ± 0,01

tiempo (min)	masa de muestra (± 0,001 g)
0	7,549
3	6,920
6	6,333
9	5,875
12	5,492
15	5,168
18	4,888
21	4,643
24	4,437
28	4,192
32	3,967
36	3,777
40	3,625
44	3,493
47	3,393
51	3,285
55	3,185
59	3,097
63	3,021
67	2,952
71	2,897
75	2,843
79	2,801
83	2,758
87	2,726
91	2,696
95	2,664
99	2,645

Tabla VI: Mango impregnado en solución acuosa 39,5 %p/p de glucosa

<i>tratamiento térmico previo:</i>	no
<i>concentración de la solución de impregnación (%p p):</i>	39,5 ± 0,1
<i>presión tiempo (mm Hg min):</i>	760 / 180
$\alpha_{w\text{-eq}}$:	0,93 ± 0,01
<i>masa seca (g):</i>	3,517 ± 0,001
<i>humedad inicial (g g ms):</i>	1,055 ± 0,001
<i>espesor inicial (cm):</i>	0,35 ± 0,01

tiempo (min)	masa de muestra (± 0,001 g)
0	7,227
4	6,686
8	6,333
12	6,069
16	5,863
20	5,687
24	5,537
28	5,408
32	5,291
36	5,182
40	5,089
44	5,007
48	4,930
52	4,854
56	4,796
60	4,735
64	4,678
68	4,634
72	4,592
76	4,547
80	4,512
84	4,472
88	4,442
92	4,413
96	4,379
100	4,354

**Tabla VII: Mango escaldado e impregnado en solución acuosa
39,5 %p/p de glucosa**

<i>tratamiento térmico previo:</i>	si
<i>concentración de la solución de impregnación (%p/p):</i>	39,5 ± 0,1
<i>presión tiempo (mm Hg min):</i>	760 / 180
<i>$\alpha_{v, eq}$:</i>	0,92 ± 0,01
<i>masa seca (g):</i>	3,366 ± 0,001
<i>humedad inicial (g g ms):</i>	1,191 ± 0,001
<i>espesor inicial (cm):</i>	0,36 ± 0,01

tiempo (min)	masa de muestra (± 0,001 g)
0	7,375
4	6,800
8	6,418
12	6,131
16	5,919
20	5,735
24	5,583
28	5,441
32	5,322
36	5,212
40	5,114
44	5,024
48	4,944
52	4,871
56	4,810
60	4,747
64	4,697
68	4,643
72	4,600
76	4,555
80	4,518
84	4,483
88	4,446
92	4,416
96	4,389
100	4,357

Tabla VIII: Mango impregnado en solución acuosa 59,0 %p/p de glucosa

tratamiento térmico previo:	no
concentración de la solución de impregnación (%p p):	59,0 ± 0,1
presión tiempo (mm Hg min):	60 /10
$\alpha_{w\ eq}$:	0,97 ± 0,01
masa seca (g):	1,887 ± 0,001
humedad inicial (g g ms):	2,855 ± 0,001
espesor inicial (cm):	0,38 ± 0,01

tiempo (min)	masa de muestra (± 0,001 g)
0	7,274
3	6,623
6	6,033
9	5,535
12	5,120
15	4,794
18	4,500
21	4,256
24	4,046
27	3,849
30	3,671
33	3,525
36	3,377
39	3,251
42	3,137
45	3,030
48	2,935
51	2,850
54	2,768
57	2,703
60	2,640
63	2,583
66	2,537
69	2,496
72	2,455
75	2,422
78	2,393
81	2,361
84	2,339
87	2,318
90	2,300
93	2,278
96	2,263
99	2,249
102	2,236

Tabla IX: Mango escaldado e impregnado en solución acuosa

59,0 %p/p de glucosa

<i>tratamiento térmico previo:</i>	si
<i>concentración de la solución de impregnación (%p p):</i>	59,0 ± 0,1
<i>presión tiempo (mm Hg min):</i>	60 /10
<i>a_{v eq}:</i>	0,97 ± 0,01
<i>masa seca (g):</i>	1,924 ± 0,001
<i>humedad inicial (g g ms):</i>	2,597 ± 0,001
<i>espesor inicial (cm):</i>	0,36 ± 0,01

tiempo (min) masa de muestra (± 0,001 g)

0	6,922
3	6,268
6	5,729
9	5,292
12	4,919
15	4,630
18	4,369
21	4,138
24	3,873
27	3,719
30	3,567
33	3,440
36	3,321
39	3,220
42	3,123
45	3,040
48	2,961
51	2,896
54	2,834
57	2,774
60	2,726
63	2,676
66	2,636
69	2,601
72	2,564
75	2,534
78	2,507
81	2,478
84	2,455
87	2,434
90	2,415
93	2,399
96	2,377
99	2,363
102	2,349

Datos experimentales para el cálculo del encogimiento volumétrico

Tabla X: *Mango impregnado en solución acuosa de glucosa 22,1 %/p*

Muestra	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
espesor ($\pm 0,01$ cm)	0,45	0,45	0,41	0,41	0,44	0,41	0,43	0,41	0,40	0,44
a i área ($\pm 0,1$ cm ²)	17,1	17,4	16,7	17,1	16,9	16,8	17,1	17	16,9	16,5
volumen ($\pm 0,1$ cm ³)	7,7	7,8	6,9	7,0	7,5	6,8	7,4	7,0	6,8	7,2
espesor ($\pm 0,01$ cm)	0,42	0,42	0,38	0,38	0,42	0,40	0,41	0,39	0,37	0,41
d i área ($\pm 0,1$ cm ²)	15,4	15,5	16,3	16,3	16,2	16,8	16,3	15,9	16,5	16,6
volumen ($\pm 0,1$ cm ³)	6,5	6,5	6,2	6,2	6,8	6,6	6,7	6,3	6,1	6,8
encog(%)(volumen)	15	16	9	11	9	3	9	11	10	6
ENCOG % (\pm de)(volumen)	10 \pm 4									

a i: antes de impregnar

d i: después de impregnar

Tabla XI: Mango escalado e impregnado en solución acuosa 22,1 %p/p de glucosa

Muestra	1	2	3	4	5	6	7	8
espesor ($\pm 0,01$ cm)	0,47	0,43	0,44	0,46	0,44	0,43	0,41	0,40
a i área ($\pm 0,1$ cm ²)	17,5	17,2	17,5	17,8	17,4	17,2	17,5	17
volumen ($\pm 0,1$ cm ³)	8,2	7,4	7,6	8,1	7,6	7,5	7,2	6,8
<hr/>								
espesor ($\pm 0,01$ cm)	0,44	0,41	0,41	0,45	0,42	0,41	0,39	0,37
d e área ($\pm 0,1$ cm ²)	16,6	16,4	16,7	16,6	16,4	16,1	16,4	16,3
volumen ($\pm 0,1$ cm ³)	7,4	6,7	6,8	7,4	7,0	6,5	6,4	6,0
<hr/>								
espesor ($\pm 0,01$ cm)	0,44	0,40	0,38	0,43	0,41	0,39	0,38	0,37
d i área ($\pm 0,1$ cm ²)	17	16,5	16,2	17,2	16,8	16,5	17	16,9
volumen ($\pm 0,1$ cm ³)	7,4	6,6	6,2	7,5	6,9	6,5	6,4	6,2
encog(%) [a i - d e]	10	10	11	9	9	12	12	11
encog(%) [a i - d i]	10	12	19	8	9	13	11	9
ENCOG % ($\pm de$) [a i - d e] (volumen)	10 \pm 5	ENCOG % ($\pm de$) [a i - d i] (volumen)		11 \pm 4				
ai: antes de impregnar	d e: después de escaldar			di: después de impregnar				

Tabla XII: Mango impregnado en solución acuosa 39,5 %/p de glucosa

Muestra	1	2	3	4	5	6	7	8	9
espesor ($\pm 0,01$ cm)	0,41	0,45	0,43	0,47	0,44	0,43	0,40	0,42	0,42
a i área ($\pm 0,1$ cm ²)	17,4	17,2	17,1	17,1	17,5	17,4	17,3	16,6	17
volumen ($\pm 0,1$ cm ³)	7,1	7,7	7,4	8,1	7,6	7,5	6,9	6,9	7,2
espesor ($\pm 0,01$ cm)	0,33	0,32	0,35	0,38	0,34	0,36	0,36	0,37	0,30
d i área ($\pm 0,1$ cm ²)	12,7	14,8	11,3	11,5	14,3	12,3	12,8	11,8	14,2
volumen ($\pm 0,1$ cm ³)	4,2	4,8	4,0	4,3	4,8	4,4	4,6	4,3	4,2
encog(% (volumen)	41	38	46	47	37	41	33	38	41
ENCOG % (\pm de) (volumen)	40 \pm 4								

a i: antes de impregnar

d i: después de impregnar

Tabla XIII: Mango escaldado e impregnado en solución acuosa 39,5 %p/p de glucosa

Muestra	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
espesor ($\pm 0,01$ cm)	0,44	0,43	0,46	0,44	0,48	0,43	0,46	0,47	0,43	0,40
área ($\pm 0,1$ cm ²)	17,7	17,3	17	16,1	17	16,4	16,8	16,9	17,5	16,5
volumen ($\pm 0,1$ cm ³)	7,7	7,5	7,7	7,0	8,1	7,1	7,7	7,9	7,5	6,5
espesor ($\pm 0,01$ cm)	0,43	0,41	0,44	0,43	0,47	0,42	0,43	0,45	0,41	0,38
área ($\pm 0,1$ cm ²)	16,4	16,2	16,9	16,1	16,6	16,4	16,4	16,6	16,7	16,4
volumen ($\pm 0,1$ cm ³)	7,0	6,7	7,4	6,9	7,7	6,9	7,1	7,4	6,9	6,2
espesor ($\pm 0,01$ cm)	0,32	0,32	0,37	0,35	0,37	0,38	0,34	0,34	0,37	0,29
área ($\pm 0,1$ cm ²)	12,3	13	12,1	11,2	11,3	11,6	11,9	12,8	13,4	14,2
volumen ($\pm 0,1$ cm ³)	4,0	4,1	4,5	3,9	4,2	4,4	4,1	4,4	5,0	4,1
encog(%) [a i - d e]	9	11	4	2	4	2	8	6	8	5
encog(%) [a i - d i]	49	45	42	44	48	38	47	44	33	38
ENCOG % ($\pm de$) [a i - d e] (volumen)	6 \pm 3	ENCOG % ($\pm de$) [a i - d i] (volumen)		4,3 \pm 5						

ai: antes de impregnar

d e: después de escaldar

di: después de impregnar

Tabla XIV: Mango impregnado en solución acuosa 59,0 %ppp de glucosa

Muestra	1	2	3	4	5	6	7	8	9
espesor ($\pm 0,01$ cm)	0,43	0,46	0,41	0,44	0,44	0,45	0,41	0,40	0,42
a i área ($\pm 0,1$ cm ²)	16,9	16,3	16,7	16,8	16,1	16,9	16,3	17	17
volumen ($\pm 0,1$ cm ³)	7,3	7,4	6,8	7,5	7,1	7,6	6,7	6,9	7,1
espesor ($\pm 0,01$ cm)	0,39	0,41	0,35	0,41	0,42	0,40	0,36	0,35	0,37
d i área ($\pm 0,1$ cm ²)	15,5	15,1	14,7	15,1	14,1	15,5	15,3	15,2	15,8
volumen ($\pm 0,1$ cm ³)	6,0	6,2	5,2	6,2	5,9	6,3	5,6	5,3	5,9
encog(% (volumen)	17	17	23	17	17	18	16	22	18
ENCOG % ($\pm de$) (volumen)	19 \pm 3								

a i: antes de impregnar

d i: después de impregnar

7

Bibliografía

Achanta S. & Okos M.R. (1995). Impact of drying on biological product quality. En *Food Preservation by Moisture Control: Fundamentals and Applications - ISOPOW Practicum II*. Eds.: Barbosa-Cánovas G.V. & Welte-Chanes J. Technomic Publishing Co., Inc., Lancaster, USA.

Aguilera J.M. & Lillford P.J. (1997). Microstructural and imaging analyses as related to food engineering. En *Food Engineering 2000*. Eds.: Fito Maupoey P., Ortega-Rodríguez E. y Barbosa-Cánovas G.V. Chapman & Hall, New York, USA.

Aguilera J.M. & Stanley D.W. (1990). *Microstructural Principles of Food Processing and Engineering*. Elsevier Applied Science, Essex, England.

Alvarez C.A., Aguerre R., Gómez R., Vidales S., Alzamora S.M. & Gerschenson L.N. (1995). Air dehydration of strawberries: effects of blanching and osmotic pretreatments on the kinetics of moisture transport. *J. Food Eng.* 25, 167-178.

Alzamora S.M. (1980). Transferencia de masa y calor durante la deshidratación de palta en corriente de aire. Tesis doctoral. Universidad de Buenos Aires, Argentina.

Alzamora S.M., Cerrutti P., Guerrero S. & López-Malo A. (1995). Minimally processed fruits by combined methods. En *Food Preservation by Moisture Control: Fundamentals and Applications - ISOPOW Practicum II*. Eds.: Barbosa-Cánovas G.V. & Welte-Chanes J. Technomic Publishing Co., Inc., Lancaster, USA.

Alzamora S.M. & Chirife J. (1980). Some factors controlling the kinetics of moisture movement during avocado dehydration. *J. Food Sci.* 45, 1649-1651 & 1657.

Alzamora S.M., Chirife J. & Viollaz P.E. (1979). A simplified model for predicting the temperatures of foods during air dehydration. *J. Food Technol.* 14, 369-380.

Alzamora S.M., Gerschenson L.N., Vidales S.L. & Nieto A.B. (1997). Structural changes in minimal processing of fruits: some effects of blanching and sugar impregnation. En *Food Engineering 2000*. Eds.: Fito Maupoey P., Ortega Rodriguez E. y Barbosa-Cánovas G.V. Chapman & Hall, New York, USA.

Biswal R.N. & Bozorgemehr R. (1992). Mass transfer in mixed solute osmotic dehydration of apple rings. *Trans. ASAE*. 35, 257-262.

Biswal R.N. & Le Maguer M. (1989). Mass transfer in plant materials in aqueous solutions of ethanol and sodium chloride: Equilibrium data. *J. Food Process. Eng.* 1, 159-176.

Bolin H.R. & Huxsoll C.C. (1993). Partial drying of cut pears to improve freeze/thaw texture. *J. Food Sci.* 58, 357-360.

Bonazzi C., Dumoulin E., Raoult-Wack A.L., Berk Z., Bimbenet J.J., Courtois F., Trystram G. & Vasseur J. (1996). Food drying and dewatering. *Drying Technol.* 14, 2135-2170.

Bui & Cooper. (1987). Reverse phase liquid chromatography determination of benzoic and sorbic acids in food. *J. Assoc. Off Anal. Chem.* 70, 892-896.

Carpita N.C. & Gibeaut D.M. (1993). Structural models of primary cell walls in flowering plants: consistency of molecular structure with the physical properties of the walls during growth. *The Plant J.* 3, 1-30

Crank J. (1956). *The Mathematics of Diffusion*. Oxford University Press, London, Great Britain.

Curtis H. (1985). *Biología*. Editorial Médica Panamericana SAIC. Buenos Aires, Argentina.

Chirife J. & Cachero R.A. (1970). Through-circulation drying of tapioca root. *J. Food Sci.* 35, 364-367.

Chirife J., Ferro Fontán C., & Benmergui E.A. (1980). The prediction of water activity in aqueous solutions in connection with intermediate moisture foods. IV: a_w prediction in aqueous non-electrolite solutions. *J. Food. Technol.* 15, 50-70.

D'Ambrogio de Argüeso A. (1986). *Manual de Técnicas en Histología Vegetal*. Editorial Hemisferio Sur S.A., Buenos Aires, Argentina.

De Robertis E.D., Saez F.A. & De Robertis E.M. (1977). *Biología Celular*. El Ateneo Pedro García SALEeL, Buenos Aires, Argentina.

Dimitri M.J. (1980). *Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería. Descripción de Plantas Cultivadas*. Editorial ACME SACI, Buenos Aires, Argentina.

Esau K. (1982). *Anatomía de las Plantas con Semilla*. Editorial Hemisferio Sur SA, Buenos Aires, Argentina

Fahn A. (1985). *Anatomía Vegetal*. Ediciones Pirámide S.A., Madrid, España.

Farkas F. & Lazar M.E. (1969). Osmotic dehydration of apple pieces: effect of temperature and syrup concentration. *Food Technol.* 23, 688-690.

Fito P. & Chiralt A. (1995). An update on vacuum osmotic dehydration. En *Food Preservation by Moisture Control: Fundamentals and Applications* - ISOPOW

Practicum II. Eds.: Barbosa-Cánovas G.V. & Welti-Chanes J. Technomic Publishing Co., Inc., Lancaster, USA.

Flink J.M. (1980). Dehydrated carrot slices: influence of osmotic concentration on drying behavior and product quality. En: *Food Process Engineering*. Ed. Linko P. Academic Press, London, UK.

Giangiaco R., Torregiani D. & Abbo E. (1987). Osmotic dehydration of fruit. Part 1. Sugar exchange between fruit and extractin syrups. *J. Food Process. Preserv.* 11, 183-195.

Gould G.W. (1995). Overview. En: *New Methods of Food Preservation*. Ed.: Gould G.W. Blackie Academic & Professional, London, UK.

Hawkes J. & Flink J.M. (1978). Osmotic concentration of fruit slices prior to freeze dehydration. *J. Food Process. Preserv.* 2, 265-284.

Holland B., Unwin I.D. & Buss D.H. (1992). *Fruits and Nuts*. First supplement to the fifth edition of Mc Cance and Windonson's. The composition of foods. The Royal Society of Chemistry, Cambridge, UK.

Hubinger M., Menegalli F.C., Aguerre R.J. & Suarez C. (1992). Water vapor adsorption isotherms of guava, mango and pineapple. *J. Food Sci.* 57, 1405-1407.

Islam M.N. & Flink J.N. (1982). Dehydration of potato. II. Osmotic concentration and its effect on air drying behavior. *J. Food Technol.* 17, 387-403.

Jackman R.L. & Stanley D.W. (1995). Perspectives in the textural evaluation of plants foods. *Trends Food Sci. Technol.* 6, 187-194.

Jacobi, K.K. & Gowanlock D. (1995). Ultrastructural studies of "Kensington" mango (*Mangifera indica* Linn.) heat injuries. *HortSci.* 30, 102-103.

Jayaraman K.S. (1995). Critical review on intermediate moisture fruits and vegetables. En *Food Preservation by Moisture Control: Fundamentals and Applications - ISOPOW Practicum II*. Eds.: Barbosa-Cánovas G.V. & Welti-Chanes J. Technomics Publishing Co., Inc., Lancaster, USA.

Joel D.M. & Fahn F. (1980). Ultrastructure of the resin ducts of *Mangifera indica* L. (Anacardiaceae). 3. Secretion of protein-polysaccharide mucilage in the fruit. *Ann. Bot.* 46, 785-790.

Karathanos V.T., Kostaropoulos A.E. & Saravacos G.D. (1995). Air-drying kinetics of osmotically dehydrated fruits. *Drying Technol.* 13, 1503-1521.

Karel M. (1975). Dehydration of foods. En *Principles of Food Science, Part II Physical Principles of Food Preservation*. Eds.: Karel M., Fennema O.R. & Lund D.B. Marcel Dekker, New York, USA.

Lehninger A. (1988). *Bioquímica*. Ediciones Omega S.A., Barcelona, España.

Lenart A. & Flink J.M. (1984). Osmotic concentration of potato II, spacial distribution of the osmotic effect. *J. Food Technol.* 19, 65-89.

Lerici C.R., Pinnavaia G., Dalla Rosa M & Bartolucci L. (1985). Osmotic dehydration of fruit: influence of osmotic agents on drying behavior and product quality. *J. Food Sci.* 50, 1217-1219 & 1226.

Lewis D.F. (1986). Features of food microscopy. *Food Microstr.* 5, 1-18.

Lizada C. (1993). Mango. En: *Biochemistry of Fruit Ripening*. Eds.: Seymour G.B., Taylor J.E. & Tucker G.A. Chapman & Hall, London, UK.

Magee T.R.A., Hassaballah A.A. & Murphy W.R. (1983). Internal mass transfer during osmotic dehydration of apple slices in sugar solutions. *Int. J. Food Sci. Technol.* 7, 147-155.

Mazza G. (1983). Dehydration of carrots. Effects of pre-drying treatments on moisture transport and product quality. *J. Food Technol.* 18, 113-123.

Mir M.A. & Nath N. (1995). Sorption isotherms of fortified mango bars. *J. Food Eng.* 25, 141-150.

Molz F.J. & Ikenberry E. (1974). Water transport through plant cells and cell walls: theoretical development. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 38, 699-704.

Monsalve-González A., Barbosa-Cánovas G.V. & Cavalieri R.P. (1993). Mass transfer and textural changes during processing of apples by combined methods. *J. Food Sci.* 58:5, 1118-1124.

Nieto A.B., Mauri L.M. & Alzamora S.M. (1994). Cuantificación de azúcares en frutas osmotizadas. En: Libro de Actas del VI Congreso Argentino de Ciencia y Tecnología de Alimentos y 1^{er} Encuentro de Técnicos de Alimentos del Cono Sur. pp. 440-442.

Nieto A.B., Salvatori D.M., Castro M.A. & Alzamora S.M. (1998). Air drying behaviour of apples as affected by blanching and glucose impregnation. *J. Food Eng.* 36, 63-79.

- Norrish R.S. (1966). An equation for the activity coefficient and relative humidities of water in confectionary syrup. *J. Food Technol.* 1, 25-28.
- Ponting J.D., Watters G.G., Forrey R.R., Jackson R. & Stanley W.L. (1966). Osmotic dehydration of fruits. *Food Technol.* 20, 1365-1368.
- Rahaman M.D.S. & Lamb J. (1990). Osmotic dehydration of pineapple. *J. Food Sci. Technol.* 27, 150-152.
- Rahaman M.D.S. & Lamb J. (1991). Air drying behavior of fresh and osmotically dehydrated pineapple. *J. Food Proc. Eng.* 14, 163-171.
- Resnik S.L., Favetto G., Chirife J. & Ferro Fontán C. (1984). A world survey of water activity values of certain saturated solutions at 25 °C. *J. Food Sci.* 49, 510-516.
- Roa V. & Tapia de Daza M.S. (1991). Evaluation of water activity measurements with a dew point electronic humidity meter. *Lebens. Wiss. u. Technol.* 24, 208-213.
- Robards P.W. (1971). The ultrastructure of plasmodesmata. *Protoplasma.* 72, 315-323.
- Roos K. (1975). Estimation of water activity in intermediate moisture foods. *Food Technol.* 29, 26-30.
- Roth I. (1977). Fruits of angiosperms. *Encyclopaedia of Plant Anatomy, vol x.* Gebrüder Bornträger, Berlin-Stuttgart.
- Rotstein E. & Cornish A.R.H. (1978). Influence of cellular membrane permeability on drying behavior. *J. Food Sci.* 43, 926-934 & 939.

Rotstein E., Namor M.S.S., Sica A.M. & Elustondo M.P. (1968). Tecnología de la deshidratación de manzanas. *Industria y Química*. 26, 284-291.

Rovedo C.O., Suárez C. & Viollaz P.E. (1995). Drying of foods: evaluation of a drying model. *J. Food Eng.* 26, 1-12.

Sachs J. (1875). *Textbook of Botany*. Clarendon Press. Oxford.

Sankat C.K., Castaigne F. & Maharaj R. (1996). The air drying behaviour of fresh and osmotically dehydrated banana slices. *Int. J. Food Sci. Technol.* 51, 123-125.

Saravacos G.D. & Charm S.E. (1962). A study of the mechanism of fruit and vegetable dehydration. *Food Technol.* 16, 78-81.

Shi X.Q., Fito P. & Chiralt A. (1995). Influence of vacuum treatment on mass transfer during osmotic dehydration of fruits. *Food Res. Int.* 28, 445-454.

Singer S.J. & Nicolson G.L. (1972). The fluid mosaic model of cell membranes. *Science*. 175, 720-731.

Sokal R.R. & Rohlf F.J. (1969). *The Principles and Practice of Statistics in Biological Research*. W.H. Freeman & Co., San Francisco, USA.

Sorrivas V. & Morales A. (1983). *Introducción a la microscopía electrónica*. Ed: CRIBABB y Banco del Sud. Bahía Blanca. Argentina.

Sterling C. & Chichester C.O. (1959). Sugar distribution in plant tissues cooked in syrup. Nineteenth Annual Meeting of the Institute of Food Technologists. Philadelphia, USA.

Suárez C. & Viollaz P.E. (1991). Shrinkage effect on drying behavior of potato slabs. *J. Food Eng.* 13, 103-114.

Tolaba M. (1989). Deshidratación de maíz en corriente de aire. Tesis doctoral. Universidad de Buenos Aires, Argentina.

Torreggiani D. (1995). Technological aspects of osmotic dehydration in foods. En *Food Preservation by Moisture Control: Fundamentals and Applications - ISOPOW Practicum II*. Eds.: Barbosa-Cánovas G.V. & Welti-Chanes J. Technomic Publishing Co., Inc., Lancaster, USA.

Torreggiani D., Forni E., & Rizzolo A. (1987). Osmotic dehydration of fruit. *J. Food Process. Preserv.* 12, 27-44.

Tyree M.T. (1970). The symplast concept: a general theory of symplastic transport according to the thermodynamics of irreversible processes. *J. Theor. Biol.* 26, 181-214.

Uddin M.S. & Hawlader N.A. (1990). Evaluation of drying characteristics of pineapple in the production of pineapple powder. *J. Food Process. Preserv.* 14, 375-391.

Vaccarezza L.M. & Chirife J. (1975). On the mechanism of moisture transport during air drying of sugar beet root. *J. Food Sci.* 40, 1286-1289.

Vaccarezza L.M., Lombardi J.L. & Chirife J. (1974). Kinetics of moisture movement during air drying of sugar beet root. *J. Food Technol.* 9, 317-327.

Vidales S.L., Castro M.A. & Alzamora S.M. (1994). Pared celular y textura:

conservación de frutillas. VI Congreso Latinoamericano de Botánica. Mar del Plata, Buenos Aires., Argentina.

Walti J., Palou E., López-Malo A. & Balseira A. (1995). Osmotic concentration - Drying of mango slices. *Drying Technol.* 13, 405-416.

A handwritten signature consisting of a large, stylized 'W' followed by a horizontal line and a vertical line ending in a small hook.A handwritten signature consisting of a large, stylized 'P' followed by a horizontal line and a vertical line ending in a small hook.A handwritten signature consisting of the letters 'A', 'L', 'M', and 'A' in a stylized, cursive font, enclosed within an oval shape.