

TESIS DOCTORAL



OPTIMIZACIÓN DE LAS CONDICIONES DE
OPERACIÓN DE TRATAMIENTOS OSMÓTICOS
DESTINADOS AL PROCESADO MÍNIMO DE
MANGO (*Mangifera indica* L.)



PRESENTADA POR
JUAN DIEGO TORRES OQUENDO

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA
DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS
INSTITUTO UNIVERSITARIO DE INGENIERÍA DE
ALIMENTOS PARA EL DESARROLLO



OPTIMIZACIÓN DE LAS CONDICIONES DE
OPERACIÓN DE TRATAMIENTOS OSMÓTICOS
DESTINADOS AL PROCESADO MÍNIMO DE MANGO
(Mangifera indica L.)

TESIS DOCTORAL

Presentada por:

JUAN DIEGO TORRES OQUENDO

Dirigida por:

AMPARO CHIRALT BOIX

ISABEL ESCRICHE ROBERTO

VALENCIA 2007



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA
DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS
INSTITUTO UNIVERSITARIO DE INGENIERÍA
DE ALIMENTOS PARA EL DESARROLLO

D^a AMPARO CHIRALT BOIX, CATEDRÁTICA Y D^a ISABEL ESCRICHE ROBERTO PROFESORA TITULAR DE UNIVERSIDAD, DEL DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA

CONSIDERAN: Que la memoria titulada **OPTIMIZACIÓN DE LAS CONDICIONES DE OPERACIÓN DE TRATAMIENTOS OSMÓTICOS DESTINADOS AL PROCESADO MÍNIMO DE MANGO (*Mangifera indica* L.)** que presenta **D. JUAN DIEGO TORRES OQUENDO** para aspirar al grado de Doctor por la Universidad Politécnica de Valencia, y que ha sido realizada bajo su dirección en el Departamento de Tecnología de Alimentos de la Universidad Politécnica de Valencia, reúne las condiciones adecuadas para constituir su tesis doctoral, por lo que **AUTORIZAN** al interesado para su presentación.

Enero de 2007, Valencia

Fdo.: Amparo Chiralt Boix
Directora de Tesis

Fdo.: Isabel Escriche Roberto
Directora de Tesis

*El mejor espíritu de sacrificio es la
perseverancia en el trabajo comenzado:
cuando se hace con ilusión,
y cuando resulta cuesta arriba.*

Anónimo

A eso de caer y volver a levantarte,
de fracasar y volver a comenzar,
de seguir un camino y tener que torcerlo,
de encontrar el dolor y tener que afrontarlo.
A eso no le llames adversidad, llámale
sabiduría.

A eso de sentir la mano de Dios y saberte
impotente,
de fijarte una meta y tener que seguir otra,
de huir de una prueba y tener que encararla,
de planear un vuelo y tener que recortarlo.,
de aspirar y no poder,
de querer y no saber,
de avanzar y no llegar.
A eso no le llames castigo, llámale enseñanza.

A eso de pasar juntos días radiantes,
días felices y días tristes,
días de soledad y días de compañía.
A eso no le llames rutina, llámale experiencia.

A eso de que tus ojos miren y tus oídos oigan,
tu cerebro funcione y tus manos trabajen,
tu alma irradie, tu sensibilidad sienta, y tu
corazón ame.
A eso, no le llames poder humano, llámale
milagro divino...

Anónimo

AGRADECIMIENTOS

Es un largo recorrido en mundos desconocidos, donde descubrí seres preciosos. Nunca podría dar valor al cariño y comprensión de todas estas personas, que guardaré en mi corazón y en mis recuerdos.

Deseo dar gracias a todas aquellas personas que posiblemente no mencione por ser un gran número de nombres, pero que tienen un lugar en mis recuerdos y en mis agradecimientos.

A mis compañeros del departamento de Tecnología de Alimentos, Eva, Gisela, Mario, Lorena A., Asela, M^a José M., M^a José F., Gemma, Marta I., Lucía, Ana H., Creuxi, Laura O., María M., Amparo, Clara, Dafna, Juan B., Ruth, Ana F., Rebeca, Alberto, Nieves, Rosario, Hernán y Sigrid.

A Marisa C., María V., Carolina C., Lorena G., Germán C. y Cristina Barrera, a quienes he tenido un especial afecto. Y aquellos que partieron a su casa primero y me heredaron bonitos momentos, Luis F., Soraya, Arturo, M^a José L., Germán G., Alfredo, Beth, Laura L., Cristina B., Sneider y Lucas.

Gracias a los profesores e investigadores del Instituto y del Dpto. de Tecnología de Alimentos, quienes han ofrecido sus conocimientos sin medida y me han ayudado en todas mis inquietudes. En especial a Nuria Martínez y Pau Talens.

Al personal administrativo y de mantenimiento del Departamento y del Instituto, quienes muy comedidamente me han colaborado, en especial a Rosa, a Loles, a Juan y a Merche.

A mis "Hijos" Mafalda, Laura, Mónica y Ester, quienes tuvieron toda la paciencia del mundo para soportar estoicamente todo cuando yo les pedía.

A mi amigo y hermano Misael Cortés, una fuente de inspiración para el trabajo, una mano amiga y sincera, y un mar de sonrisas.

A mi compañera de luchas, gozos, risas, tristezas y triunfos. Tu amistad (casi tomados de la mano) me ha impulsado a llegar a la cima de este ambicioso sueño. Adriana Arroyave.

A mis tutoras quienes me han brindado sus conocimientos y ayuda sin reparo, además de su cariño y comprensión. Isabel y Amparo.

Mis amigos y compañeros del Colegio Mayor "La Coma", quienes me apoyaron y creyeron en mí y de quienes obtuve una gran experiencia

de Vida. Ana, Rubén, Rosa, Pepi, Félix (M. Ferchild), mi Nina, Bego, y Mariceli (confidente y consejera).....

A una gran compañera, que no solo ha sido una compañía en los últimos años de tesis, también ha sido una gran consejera y amiga. Gracias a ti tengo una nueva familia en Perú, gracias MILA!

A Rubén Martínez, mi amigo y compañero en este camino de numerosas vidas. Gracias por tu cariño sabiduría y entrega.

A mis amigos Santi y Alejandro, y a la persona más cariñosa que haya conocido, Virginio Jiménez (Vir), no hay palabras para agradecer todo tu apoyo y generosidad.

A mis padres adoptivos Jose (Corretxería) y la Familia Lorites. En ausencia de mis padres, ellos tomaron su lugar y siempre estuvo el afecto y cariño desbordado hacia mí. Los quiero y los recordaré siempre.

Al pastelito de canne, que me has llenado de alegrías y de tranquilidad en el momento que más lo necesitaba, Gracias Alfonso.

A mi colega, amiga y confidente, quien ha sido mi brazo derecho en este camino de la tecnología de alimentos, y en muchas cosas más de la vida. Carolina Arboleda.

A mi mejor amigo, hermano y alma gemela. Juan Felipe Prisco. Nunca me abandonaste desde la distancia, siempre estuviste aquí conmigo, en mi corazón.

A mis hermanitos, Camilo, Alejandro y Julian; y a mi madre quien confió en mí y dio gran parte de sus esfuerzos para que yo viniese a cumplir mi sueño. Durante todo este tiempo ha creado un vínculo especial de amor y fe. Desde la distancia recibí tu fuerza madre, y se que has sido paciente en mi llegada.

A Dios, el principio y el fin de todos mis propósitos... Gracias por hacerme ver las maravillas de la vida.

MIL GRACIAS POR SU ENTREGA DESINTERESADA Y DESMEDIDA!

CREE

Mira siempre de frente al horizonte
y si vuelves la vista a tus espaldas,
que sea para hundir el mal del hombre
que quebró tu cariño y tu esperanza.

Sigue siempre adelante, que el camino
se abre más amplio cada vez que
pasas.

La luz es para todos, y el destino
nos prueba a veces, y otras nos
encauza.

No esperes vanas ilusiones muertas,
no creas más en lo que tú batallas,
que cuando tu morada esté desierta,
muy pocos buscarán recuperarla.

Pero cree en la vida porque es bella
y en la gente que de tí no se separa.
Cree en la flor, el niño, las estrellas
y cree en Dios porque jamás te falla.

Anónimo

RESUMEN

Se ha analizado el efecto de los tratamientos osmóticos llevados a cabo en mango bajo diferentes condiciones (concentración de las disoluciones osmóticas, presión atmosférica o aplicación de pulso de vacío, adición o no de lactato de calcio y diferentes niveles de deshidratación de la fruta) en distintas propiedades relacionadas con la calidad de la fruta mínimamente procesada: perfil de volátiles, color, propiedades mecánicas y aceptación sensorial. Además, se ha estudiado la evolución durante el almacenamiento del mango mínimamente procesado (hasta 20 °Brix) y refrigerado a 10 °C, a través de la respiración, la calidad microbiológica, las propiedades físicas (color y mecánicas) y el perfil de volátiles.

Los tratamientos osmóticos a tiempos cortos y con disoluciones diluidas potenciaron la formación de volátiles; por el contrario, tiempos largos de tratamiento y disoluciones de alta concentración/viscosidad ocasionaron una disminución de los mismos. La pérdida de turgencia celular (asociada a la pérdida de agua) durante los tratamientos y los cambios estructurales ocasionados, dieron lugar a una disminución de la firmeza de las muestras. Esta disminución se mitigó con la incorporación de calcio cuando se aplicó pulso de vacío en el tratamiento. Desde el punto de vista sensorial, los atributos de claridad, aroma y color juegan un papel importante en la aceptación del producto. Los tratamientos llevados a cabo sin calcio y a presión atmosférica fueron los preferidos por los jueces.

La vida útil del mango mínimamente procesado (hasta 20 °Brix) puede establecerse en diferentes términos dependiendo del parámetro de calidad considerado y el tipo de tratamiento aplicado. Desde el punto de vista microbiológico, las muestras más estables fueron las tratadas con calcio, tanto a presión atmosférica como con pulso de vacío. Los tratamientos osmóticos redujeron la tasa respiratoria en términos de O_2 y CO_2 del mango almacenado, especialmente cuando se incorporó calcio. Las características

mecánicas se conservaron en las muestras tratadas con calcio y pulso de vacío, pero en estos casos, se produjo un descenso en el tono y una aceleración del pardeamiento. El almacenamiento ocasionó una variación del perfil de compuestos volátiles, destacando el incremento en la concentración de etanol y acetato de etilo, especialmente en los tratamientos con pulso de vacío y calcio.

ABSTRACT

The effect of osmotic treatments, carried out under different conditions (osmotic solution concentration, at atmospheric pressure or by applying vacuum pulse, addition or not of calcium lactate, different dehydration levels of the fruit), on properties related with fruit quality, was studied. Volatile profiles, colour and mechanical properties and sensory acceptance of processed samples were considered, as compared with fresh-cut product. Development of minimally processed mango (20 °Brix) throughout storage at 10 °C was analysed through respiration rates, microbial growth, physical properties (colour and mechanical) and volatile profiles.

Short osmotic treatments applied with diluted solutions promoted formation of volatile compounds, whereas long treatments applied with concentrated/viscous solutions gave rise to a reduction in volatile concentrations. The loss of cellular turgor (associated to water loss) and the occurred structural changes produced a decrease in the sample consistency. This decrease was mitigated when calcium was applied in treatments with vacuum pulse. From the sensory point of view, clarity, aroma and colour play an important role in the sensory acceptance of the minimally processed mango. Treatments carried out at atmospheric pressure without calcium give rise to the preferred samples by panellists.

Shelf life of minimally processed mango (till 20 °Brix) could be established in different terms, depending on the considered quality parameter and the kind of treatment. From the microbiological point of view, the most stable samples were those processed with calcium, at atmospheric pressure or by applying vacuum pulse. The osmotic treatments reduced respiration rates in terms of O₂ and CO₂ of stored mango samples, especially when processed with calcium. Mechanical response was better preserved during storage when samples were treated with calcium by applying vacuum pulse. Nevertheless, in these cases, a decrease of hue, associated with sample browning was

detected. Storage produced changes in volatile profile of mango samples, the increase in ethanol and ethyl acetate being remarkable, especially in treatments carried out with calcium and vacuum pulse.

RESUM

S'ha analitzat l'efecte dels tractaments osmòtics portats a terme en mango davall diferents condicions (concentració de les dissolucions osmòtiques, pressió atmosfèrica o aplicació de pols de buit, addició o no de lactat de calci i diferents nivells de deshidratació de la fruita) en distintes propietats relacionades amb la qualitat de la fruita mínimament processada: perfil de volàtils, color, propietats mecàniques i acceptació sensorial.

A més, s'ha estudiat l'evolució durant l'emmagatzemament del mango mínimament processat (fins a 20 °Brix) i refrigerat a 10 °C, a través de la respiració, la qualitat microbiològica, les propietats físiques (color i mecàniques) i el perfil de volàtils.

Els tractaments osmòtics a temps curts i amb dissolucions diluïdes van potenciar la formació de volàtils; pel contrari, temps llargs de tractament i dissolucions d'alta concentració/viscositat van ocasionar una disminució dels mateixos.

La pèrdua de turgència cel·lular (associada a la pèrdua d'aigua) durant els tractaments i els canvis estructurals ocasionats, van donar lloc a una disminució de la fermesa de les mostres. Esta disminució es va mitigar amb la incorporació de calci quan es va aplicar pols de buit en el tractament.

Des del punt de vista sensorial, els atributs de claredat, aroma i color compleix un paper important en l'acceptació del producte. Els tractaments portats a terme sense calci i a pressió atmosfèrica van ser els preferits pels jutges.

La vida útil del mango mínimament processat (fins a 20 °Brix) pot establir-se en diferents termes depenent del paràmetre de qualitat considerat i el tipus de tractament aplicat. Des del punt de vista microbiològic, les mostres més estables van ser les tractades amb calci, tant a pressió atmosfèrica com amb pols de buit.

Els tractaments osmòtics van reduir la taxa respiratòria en termes d'O₂ i CO₂ del mango emmagatzemat, especialment quan es

va incorporar calci. Les característiques mecàniques es van conservar en les mostres tractades amb calci i pols de buit, però en estos casos, es va produir un descens en el to i una acceleració del enfosquiment.

L'emmagatzemament va ocasionar una variació del perfil de compostos volàtils, destacant l'augment en la concentració d'etanol i acetat d'etil, especialment als tractaments amb pols de buit i calci.

ÍNDICE

JUSTIFICACIÓN E INTERÉS DEL ESTUDIO

I. INTRODUCCIÓN	5
1. EL MANGO	7
1.1. Historia	7
1.2. Descripción botánica	7
1.3. Propiedades nutricionales y composición	9
1.4. Utilización de la planta de mango	13
1.5. Conservación de la fruta	14
1.6. Producción de mango	15
1.6.1. Mercado mundial del mango fresco	15
1.6.2. Productos derivados del mango	19
2. FRUTAS MÍNIMAMENTE PROCESADAS	21
2.1. Factores que influyen en la calidad de las frutas mínimamente procesadas	23
2.2. Principales operaciones unitarias iniciales de las frutas y hortalizas mínimamente procesadas	24
2.2.1. Operaciones de manipulación de la materia prima	25
2.2.2. Operaciones de preparación	27
2.3. Influencia del procesado en la calidad de frutas mínimamente procesadas	30
2.4. Distribución y utilización de frutas y hortalizas mínimamente procesadas	32
2.5. Envasado	33
2.6. Métodos de conservación	33
3. DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA	35
3.1. Generalidades de la deshidratación osmótica	35
3.2. Factores que afectan el proceso de deshidratación osmótica	39
3.2.1. Estructura y composición del fruto, y tamaño de las	40

ÍNDICE DE CONTENIDOS

piezas	
3.2.2. Naturaleza y concentración del agente osmótico	41
3.2.3. Temperatura de tratamiento	43
3.2.4. Presión de trabajo	44
3.3. Mecanismos de transporte durante la deshidratación osmótica	45
3.4. Aplicaciones de la deshidratación osmótica	49
4. IMPREGNACIÓN A VACÍO (IV)	51
4.1. Mecanismos de acción: modelo hidrodinámico	51
4.2. Aplicaciones de la impregnación a vacío	55
4.3. Deshidratación osmótica con pulso de vacío (PVOD)	56
5. PAPEL DEL CALCIO EN LA ELABORACIÓN DE PRODUCTOS HORTOFRUTÍCOLAS MÍNIMAMENTE PROCESADOS	58
5.1. Importancia del calcio en la salud humana	59
5.2. El lactato cálcico	60
5.3. Efecto del calcio en la estructura del tejido vegetal	61
II. OBJETIVOS Y PLAN DE TRABAJO	67
1. OBJETIVOS	69
2. PLAN DE TRABAJO	71
III. MATERIALES Y MÉTODOS	75
1. MATERIA PRIMA	77
1.1. Elección de la materia prima	77
1.2. Obtención de las muestras	77
2. DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA Y APLICACIÓN DE PULSO DE VACÍO	79
2.1. Disoluciones de trabajo	79

2.2.	Deshidratación osmótica (OD)	80
2.3.	Aplicación de pulso de vacío	80
3.	ANÁLISIS FISCOQUÍMICOS	81
3.1.	Determinación de la actividad de agua (a_w)	81
3.2.	Determinación de humedad	82
3.3.	Determinación del contenido en sólidos solubles	83
3.4.	Variación de masa	84
3.5.	Variación de agua y sólidos solubles	84
IV.	INFLUENCIA DE LOS TRATAMIENTO OSMÓTICOS EN EL PERFIL DE VOLÁTILES, LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y LA ACEPTACIÓN SENSORIAL DEL MANGO MÍNIMAMENTE PROCESADO	87
1.	EFFECTO DE LOS TRATAMIENTOS OSMÓTICOS EN EL PERFIL DE VOLÁTILES.	89
1.1.	Introducción	89
1.1.1.	Determinación de la fracción aromática de los alimentos	91
1.1.2.	El aroma de las frutas y del mango	92
1.2.	Interés y objetivos del estudio	94
1.3.	Materiales y métodos	95
1.3.1.	Materia prima y agente osmótico	95
1.3.2.	Diseño experimental y aplicación de los tratamientos	96
1.3.3.	Determinación de los parámetros fisicoquímicos	97
1.3.4.	Extracción y análisis de la fracción volátil	97
1.3.5.	Análisis de datos	104
1.4.	Resultados y discusión	105
1.4.1.	Cambios fisicoquímicos producidos por los tratamientos.	105
1.4.2.	Cambios en el perfil de volátiles	109
1.4.3.	Análisis estadístico	117
1.5.	Conclusiones	125

2. EFECTOS DE LOS TRATAMIENTOS OSMÓTICOS EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS	127
2.1. Introducción	127
2.2. Interés y objetivos del estudio	131
2.3. Materiales y métodos	133
2.3.1. Materia prima y agente osmótico	133
2.3.2. Diseño experimental y aplicación de los tratamientos	133
2.3.3. Determinación de los parámetros fisicoquímicos	135
2.3.4. Determinación de las propiedades mecánicas	135
2.3.5. Determinación del contenido en calcio	137
2.3.6. Análisis de datos	138
2.4. Resultados y discusión	139
2.3.1. Determinaciones fisicoquímicas y balances de materia	139
2.3.2. Análisis de las propiedades mecánicas	143
2.3.3. Determinación de la concentración de calcio y efectos en las propiedades mecánicas	147
2.5. Conclusiones	152
3. ACEPTACIÓN SENSORIAL DEL MANGO MÍNIMAMENTE PROCESADO	153
3.1. Introducción	153
3.1.1. Definición e importancia del análisis sensorial	153
3.1.2. Calidad sensorial de las frutas mínimamente procesadas	155
3.2. Interés y objetivos del estudio	157
3.3. Materiales y métodos	157
3.3.1. Materia prima y agente osmótico	157
3.3.2. Diseño experimental y aplicación de los tratamientos	158
3.3.3. Prueba sensorial	159
3.4. Resultados y discusión	162
3.5. Conclusiones	172

V. ESTUDIO DE VIDA ÚTIL DEL MANGO MÍNIMAMENTE PROCESADO	175
1. INTRODUCCIÓN	177
1.1. Evolución de la tasa respiratoria	177
1.2. Estabilidad microbiológica de frutas mínimamente procesadas	181
1.3. Variación de las propiedades ópticas	182
1.4. Variación de las propiedades mecánicas	185
1.5. Variación de los compuestos volátiles	187
2. INTERÉS Y OBJETIVOS DEL ESTUDIO	189
3. MATERIALES Y MÉTODOS	190
3.1. Materia prima y agente osmótico	190
3.2. Diseño experimental del almacenamiento	190
3.3. Determinaciones analíticas e instrumentales	193
3.4. Determinación de la tasa respiratoria	193
3.5. Determinación de la carga microbiana	195
3.6. Determinación de las propiedades ópticas	197
3.7. Determinación de la fracción volátil	198
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	202
4.1. Determinaciones fisicoquímicas, balances de materia, y contenido en calcio	202
4.2. Efectos en la tasa respiratoria	207
4.3. Efectos en la calidad microbiológica	210
4.4. Efectos en las propiedades ópticas	214
4.5. Efectos de las propiedades mecánicas	219
4.6. Cambios en el perfil de volátiles	223
5. CONCLUSIONES	236

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CONCLUSIÓN FINAL	239
BIBLIOGRAFÍA	243
ANEXOS	277

ÍNDICE DE FIGURAS

I. INTRODUCCIÓN

Figura I.1.1. Morfología del mango	8
Figura I.1.2. Distribución mundial del mango	16
Figura I.1.3. Distribución de la producción de mangos en el mundo en 2004 por continentes	16
Figura I.1.4. Comportamiento de las importaciones de mango en el mundo, entre los años 2000 y 2004	17
Figura I.1.5. Primeros países exportadores mundiales de mango, y comportamiento de las exportaciones entre los años 2000 – 2004	18
Figura I.1.6. Comercialización de mango en España (importaciones) entre los años 2000 – 2004	19
Figura I.2.1. Diagrama de flujo de la operaciones más comunes en el procesamiento de FMP	25
Figura I.2.2. Daño a nivel celular originado por la operación de corte	31
Figura I.3.1. Tipos de transporte en el tejido vegetal: Apoplástico (AP), simplástico (SP) y trans-membrana (TM)	46
Figura I.3.2. Esquema de las diferentes rutas y mecanismos de transporte durante la deshidratación osmótica de tejidos vegetales	48
Figura I.4.1. Sistema sólido-líquido. Evolución de la deformación relajación y HDM en un poro ideal	54
Figura I.4.2. Papel del calcio en la estructura de la pared celular (Modelo de la "Caja de Huevos")	64

III. MATERIALES Y MÉTODOS GENERALES

Figura III.1.1. Corte del mango y obtención de cilindros	79
--	----

IV. INFLUENCIA DE LOS TRATAMIENTO OSMÓTICOS EN EL PERFIL DE VOLÁTILES, LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y LA ACEPTACIÓN SENSORIAL DEL MANGO MÍNIMAMENTE PROCESADO

1. EFECTO DE LOS TRATAMIENTOS OSMÓTICOS EN EL PERFIL DE VOLÁTILES

Figura IV.1.1. Esquema del procedimiento experimental	96
Figura IV.1.2. Montaje de Destilación-Extracción Simultánea (SDE)	99
Figura IV.1.3. Balances de materia de la caracterización fisicoquímica de las muestras deshidratadas	106
Figura IV.1.4.(a) Cambios en la concentración ($\Delta C=C-C_0$) de algunos los principales compuestos de la fracción volátil del mango ($\mu\text{g/g}$ materia fresca) debido a los tratamientos osmóticos	115
Figura IV.1.4.(b) Cambios en la concentración ($\Delta C=C-C_0$) de algunos los principales compuestos de la fracción volátil del mango ($\mu\text{g/g}$ materia fresca) debido a los tratamientos osmóticos	116
Figura IV.1.5. Valores promedio e intervalos LSD (95%) para las diferencias de concentración de los compuestos representativos de la fracción volátil del mango	118

Figura IV.1.6. Gráfico bimidimensional para los tratamientos y los compuestos volátiles (PC1 y PC2) obtenido por medio de un análisis PLS2	120
Figura IV.1.7. Gráfico de correlación de cargas (X e Y) para las variables composicionales (Z_s , x_w , x_s , ΔM , ΔM_s y ΔM_w) y los compuestos volátiles de las muestras; obtenido mediante un análisis PLS2	122
2. EFECTOS DE LOS TRATAMIENTOS OSMÓTICOS EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS	
Figura IV.2.1. Esquema del procedimiento experimental	134
Figura IV.2.2. Balances de materia de la caracterización fisicoquímica de las muestras deshidratadas	139
Figura IV.2.3. Curva típica esfuerzo-deformación y representación esquemática de los parámetros cuantificados a partir de la curva (Esfuerzo en el punto de fractura (σ_F), deformación en el punto de fractura (ε_F) y módulo de elasticidad (E_d))	144
Figura IV.2.5. Valores promedio e intervalos LSD (nivel de confianza $\alpha = 95\%$) de la concentración de calcio de las muestras sometidas a los diferentes tratamientos en función del nivel de concentración de lactato de calcio en las disoluciones de trabajo	149
Figura IV.2.6. Relación entre el módulo inicial (E_d [kPa]) de las muestras tratadas y la concentración final de calcio en el tejido (se representan las ecuaciones lineales ajustadas con los respectivos coeficientes de correlación [R^2])	151

3. ACEPTACIÓN SENSORIAL DEL MANGO MÍNIMAMENTE PROCESADO

Figura IV.3.1. Esquema del procedimiento experimental	159
Figura IV.3.2. (a y b) Suma de las puntuaciones (obtenido de las comparación pareada múltiple) de las muestras tratadas. (A), muestras tratadas con disoluciones de 45 y 55 °Brix; y (B), muestras tratadas con disoluciones de 45 °Brix, con y sin lactato de calcio (2%)	163
Figura IV.3.3. Análisis de correspondencias. Representación en el plano factorial, de los atributos elegidos (cuadros claros) y las muestras evaluadas (rombos oscuros)	171

V. ESTUDIO DE VIDA ÚTIL DEL MANGO MÍNIMAMENTE PROCESADO

Figura V.3.1. Esquema del montaje sistema de extracción de compuestos volátiles " Sistema Purga y Trampa"	199
Figura V.4.1. Valores promedio de concentración de calcio (Ca^{+2} mg/g de fruta fresca), para las muestras frescas y tratadas, después de los procesos (barras claras) y después del almacenamiento (barras grises) (10 días a 10 °C)	206
Figura V.4.2. Evolución durante el almacenamiento (6 días) de la tasa respiratoria en términos de O_2 y CO_2 ($\text{mL kg}^{-1} \text{h}^{-1}$), y cociente respiratorio (CR); para muestras frescas y tratadas	208
Figura V.4.3. Recuento durante el almacenamiento (21 días a 10 °C) de microorganismos mesófilos aerobios y, mohos y levaduras ($10 \log \text{cfu g}^{-1}$); para muestras frescas y tratadas	212

Figura V.4.4. (a) Variación durante el almacenamiento (10 días a 10 °C) de los parámetros de color Luminosidad (L*) y Croma (C _{ab}); de muestras frescas y tratadas	215
Figura V.4.4. (b) Variación durante el almacenamiento (10 días a 10 °C) de los parámetros de color Tono (h _{ab}) y diferencias de color (ΔE) con respecto a la muestra fresca inicial; de muestras frescas y tratadas	216
Figura V.4.5. Curvas promedio de compresión de muestras de mango fresco y tratado; realizadas después de los tratamientos y después del almacenamiento (10 días a 10°C)	220
Figura V.4.6. Valores promedio de los parámetros mecánicos y la pendiente en el tramo lineal a bajas deformaciones o modulo de elasticidad, obtenidos en las muestras frescas, y procesadas en los diferentes tratamientos; al inicio y al final del almacenamiento (10 días a 10°C)	222
Figura V.4.7. Valores promedio e intervalos LSD (95%) para las diferencias de concentración, con respecto al mango fresco inicial, ((ΔC=C-Co) [μg/g fruta fresca]) de los compuestos cuantificados	229
Figura V.4.8. (A y B) Gráficos PCA (principal components analysis). Representación de las puntuaciones (scores) (A), tratamientos/tiempos de almacenamiento; y las cargas (loadings) (B), compuestos cuantificados, tanto en muestras no tratadas (frescas), como procesadas.	235

ÍNDICE DE TABLAS

I. INTRODUCCIÓN

Tabla I.1.1. Situación botánica del mango	9
Tabla I.1.2. Tabla resumen de los componentes nutricionales característicos del mango (cantidades dadas para 100 g de pulpa fresca)	12
Tabla I.2.1. Criterios para una definición práctica de los procesos osmóticos en base a su duración	38

IV. INFLUENCIA DE LOS TRATAMIENTO OSMÓTICOS EN EL PERFIL DE VOLÁTILES, LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y LA ACEPTACIÓN SENSORIAL DEL MANGO MÍNIMAMENTE PROCESADO

1. EFECTO DE LOS TRATAMIENTOS OSMÓTICOS EN EL PERFIL DE VOLÁTILES

Tabla IV.1.1. Tiempo de proceso y cambios composicionales de las muestras en los diferentes tratamientos [Fracción másica de agua (x_w) y sólidos solubles (x_s), contenido de sólidos solubles en la fase líquida (z_s); pérdida de peso (ΔM), pérdida de agua (ΔM_w) y ganancia de solutos (ΔM_s)]	108
Tabla IV.1.2. Compuestos identificados en mango fresco y procesado y valores promedio de las áreas relativas al patrón interno para muestras frescas y frescas congeladas	110
Tabla IV.1.3. Compuestos volátiles cuantificados ($\mu\text{g/g}$ materia fresca) en los lotes de mango	113

2. EFECTOS DE LOS TRATAMIENTOS OSMÓTICOS EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS

Tabla IV.2.1. Tiempo de proceso y cambios composicionales de las muestras en los diferentes tratamientos [Fracción másica de agua (x_w) y sólidos solubles (x_s), contenido de sólidos solubles en la fase líquida (z_s); pérdida de peso (ΔM), pérdida de agua (ΔM_w) y ganancia de solutos (ΔM_s)]	141
Tabla IV.2.2. Concentración de calcio y variación del contenido en calcio de las muestras procesadas respecto al mango fresco.	148
Tabla IV.2.3. Coeficientes de correlación de Pearson para las concentraciones de calcio (mg/g materia fresca) y los parámetros mecánicos (ϵ_{HF} : Deformación de Hencky en el punto de fractura; σ_F : Esfuerzo en el punto de fractura; E_d : Módulo elástico; y la relación σ_F/ϵ_{HF})	150

3. ACEPTACIÓN SENSORIAL DEL MANGO MÍNIMAMENTE PROCESADO

Tabla IV.3.1. Valores T de Friedman para los distintos atributos analizados.	165
Tabla IV.3.2. Diferencias entre la suma de las puntuaciones para los atributos significativos (según los valores T de Friedman en los distintos atributos analizados) en los tratamientos 45-55 (OD-45, OD 55, PVOD-45 y PVOD-55) y 45 con/sin Ca^{+2} (OD-45, OD 45 + Ca^{+2} , PVOD-45 y PVOD-45 + Ca^{+2}).	167
Tabla IV.3.3. Factores del análisis de correspondencias	168
Tabla IV.3.4. Contribuciones de los factores a la inercia de los tratamientos	168

Tabla IV.3.5. Contribución de los factores a la inercia de cada atributo	169
--	-----

V. ESTUDIO DE VIDA ÚTIL DEL MANGO MÍNIMAMENTE

PROCESADO

Tabla V.3.1. Diseño experimental para los análisis fisicoquímicos, concentración de calcio y, propiedades ópticas y mecánicas, llevados a cabo durante el almacenamiento del mango fresco y procesado en los diferentes tratamientos.	191
Tabla V.4.1 Cambios composicionales de las muestras [Fracción másica de agua (x_w) y sólidos solubles (x_s), contenido de sólidos solubles en la fase líquida (z_s); pérdida de peso (ΔM), pérdida de agua (ΔM_w) y ganancia de solutos (ΔM_s)], después de los tratamientos, y tras el almacenamiento (10 días a 10°C)	203
Tabla V.4.2. Compuestos identificados en mango fresco y procesado. (Métodos de identificación: Índice de Kovats, librería NIST y análisis de compuestos estándares) y valores promedio de las áreas relativas para las muestras frescas.	224
Tabla V.4.3. Concentración de algunos de los principales compuestos de la fracción volátil del mango ($\mu\text{g/g}$ materia fresca) tanto para muestras frescas como tratadas hasta una concentración de 20 °Brix.	227
Tabla V.4.4. Valores del cociente F (F ratio) obtenidos de la ANOVA multifactor para los factores: t, tiempo y TTO, tratamiento; y sus respectivas interacciones en las 9 variables observadas (compuestos volátiles)	231

NOMENCLATURA

a^* = Coordenada cromática (rojo-verde)

atm = Atmósfera

ATP = Adenosín trifosfato

aw = Actividad de agua

b^* = Coordenada cromática (amarillo azul)

C = Carbono

C_{ab} = Coordenada psicrométrica croma o saturación

Ca^{2+} = Calcio

CIE = Comisión Internationale de l'Eclairage

cm = Centímetros

CO₂ = Dióxido de carbono

CR = Cociente respiratorio

d = Distancia (mm)

OD = Deshidratación Osmótica

PVOD= Deshidratación osmótica por pulso de vacío

ε_o . = Espesor (mm)

ε_d = Módulo de deformabilidad o elasticidad (Pa)

F = Fuerza (N)

FAO = Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación.

g = Gramos

h = Horas

h_{ab} = Coordenada psicrométrica tono

HDM = Mecanismos de transporte hidrodinámicos

IV = Impregnación a vacío

kg = kilogramo

kJ = Kilojulios

kPa = Kilo Pascales

L = Litros
L* = Coordenada cromática. Luminosidad
m = Metros
M = Masa (kg ó g)
mbar = Milibares
mg = Miligramos
min = Minutos
mL = Mililitros
NAD⁺ = Nicotinamide Adenine Dinucleotide
nm = nanómetro
O₂ = Oxígeno
Pa = Pascales
pH = Concentración de hidrogeniones
ppm = Partes por millón (v/v, p/v)
PPO = Polifenoloxidasas
s = Segundos
t = Tiempo
TR = Tasa respiratoria (mL/kg L)
x_S = Fracción másica de sólidos solubles
x_W = Fracción másica de agua
z_S = Contenido de sólidos solubles en la fase líquida
°C = Grados centígrados
Δ = Incremento
ΔE = Diferencia de color
ΔM = Variación de masa
ΔM_S = Ganancia de azúcares
ΔM_W = Variación de contenido en agua
ε_H = Deformación de Hencky
ε_{HF} = Deformación Hencky en la fractura
ρ_a = Densidad aparente

λ = Longitud de onda característica

σ = Esfuerzo (Pa)

σ_F = Esfuerzo de fractura (Pa)

% = Porcentaje

JUSTIFICACIÓN E INTERÉS DEL ESTUDIO

Las frutas desempeñan un papel muy importante en el equilibrio de la dieta humana. Existen pruebas contundentes de que un consumo adecuado de frutas y hortalizas es beneficioso para la salud y previene la aparición de enfermedades. Sin embargo, una parte considerable de la población mundial las consume en cantidades insuficientes. Nuestra sociedad se está viendo influenciada por los cambios en las prioridades del consumidor, que están provocando que los patrones de la "*Dieta Mediterránea*" sean reemplazados progresivamente por una dieta con mayor aporte energético (azúcares y grasas saturadas).

El diseño de productos novedosos a base de frutas, listos para consumir, permitirá contrarrestar el bajo consumo de frutas frescas y por lo tanto, aportar a los consumidores los beneficios que éstas aportan para la salud. En este sentido, está siendo desarrollada, desde hace más de 20 años, una gran gama de productos de frutas y hortalizas mínimamente procesados, que le ofrezcan al consumidor la posibilidad de reducir muchas de las etapas tediosas de preparación asociadas a los alimentos frescos de origen vegetal. En definitiva, el propósito de los alimentos mínimamente procesados es proporcionar al consumidor productos hortofrutícolas, de fácil consumo, parecidos sensorialmente al producto fresco, con una vida útil más prolongada y al mismo tiempo, garantizar un adecuado aporte nutritivo.

El desarrollo de frutas mínimamente procesadas (FMP) se puede lograr mediante la aplicación de diferentes técnicas, las cuales siguen siendo objeto de estudio desde hace años. Entre ellas, cabe destacar la deshidratación osmótica; ya que, su utilización implica en muchos casos una mejora de la calidad del producto con un ahorro energético al eliminarse el agua sin cambios de fase.

El uso de materias primas exóticas, como es el caso de las frutas tropicales, es una excelente opción para obtener un producto con un valor añadido adecuado. Entre este tipo de frutas, el mango es una de las más apreciadas y demandadas por sus extraordinarias propiedades gustativas. Las ventajas que conlleva el obtener un producto mínimamente procesado a partir de mango, son:

- ✧ *El aprovechamiento por parte de los países productores (muchos de ellos en vías de desarrollo), de frutos no adecuados para su comercialización (ej. por su tamaño) y exportación en fresco. Esto permitirá la generación de más divisas y fuentes de empleo para los países productores.*
- ✧ *La utilización del producto como materia prima para la preparación de platos en: Empresas de catering, restaurantes de comidas rápidas, restaurantes vegetarianos, "Cocina de Diseño", etc.*
- ✧ *Brindar al consumidor la oportunidad de disfrutar y disponer fácilmente de una fruta tropical, de extraordinarias características gustativas y nutritivas, lista para comer y en porciones de adecuado tamaño.*

En la presente tesis se analiza el efecto de los tratamientos osmóticos en diferentes condiciones de procesado (concentración de disolución, presión de trabajo y adición o no de lactato de calcio) en diferentes propiedades relacionadas con la calidad y la conservación de mango mínimamente procesado refrigerado. (Este trabajo se enmarca dentro del proyecto AGL2001-3025, financiado por el Ministerio de Ciencia y Tecnología).

I. INTRODUCCIÓN

1. EL MANGO

1.1. HISTORIA

El mango es uno de los frutos tropicales más finos y apreciados por los consumidores, es originario de la India y se cree que comenzó a cultivarse 2.000 años antes de Cristo, aunque se supone que ya era conocido mucho tiempo atrás. Algunos botánicos estiman que esta planta fue domesticada por el hombre desde hace 6000 años.

El árbol que lo produce, la "*Manguifera indica* L.", es descendiente de una de las más de cuarenta especies silvestres que todavía existen en el noroeste de India, Filipinas y Papua Guinea. Casi la mitad de éstas producen frutos comestibles, pero ninguna iguala la finura de la especie "*indica*", a la que algunos autores denominan el rey de los frutos.

Hacia el siglo XVI era ya un símbolo de estatus en India. El cultivo de este fruto era un privilegio de los rajás y nababs. Los colonizadores portugueses fueron los que llevaron este cultivo a África y luego a Brasil, desde donde se extendió a todas las tierras con clima apropiado para su producción.

1.2. DESCRIPCIÓN BOTÁNICA

Los árboles de la especie "*indica*" son vigorosos y pueden alcanzar hasta 20 metros de altura, su forma es piramidal, sus hojas son alargadas y de color verde brillante; los frutos son ovalados como se aprecia en la figura I.1.1.

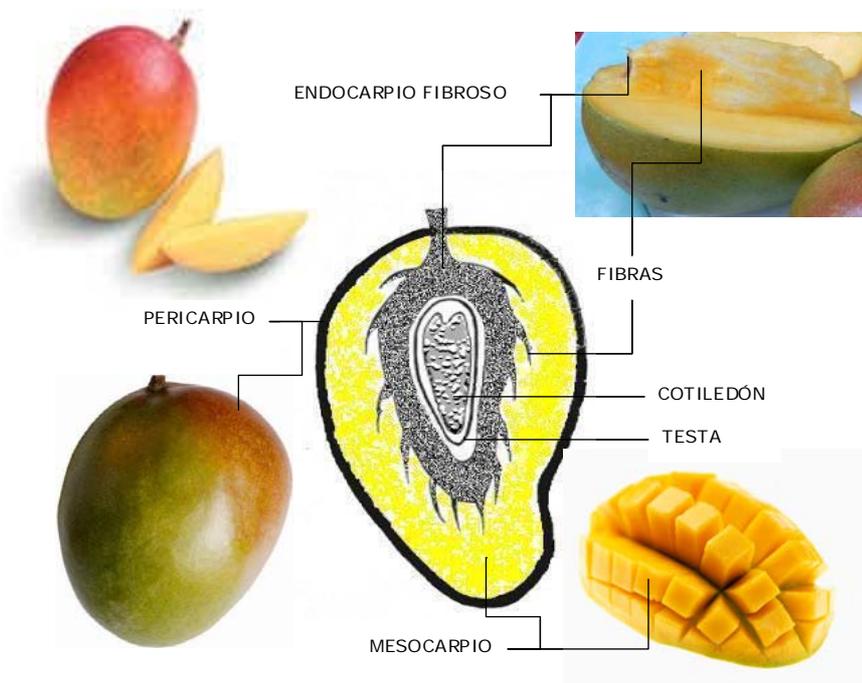


Figura I.1.1. Morfología del mango

La fruta del mango es una drupa que varía en peso, desde 200 g hasta 2000 g aproximadamente, de formas redondas, ovoides, arriñonadas y a veces aplanadas. Presentan color verde o amarillo, con tonalidades de rosa, rojo y violeta. En cuanto a la situación botánica del mango puede verse resumida en la tabla I.1.1.

El género *Mangifera* comprende 69 especies, según revisión efectuada por Kosterman y Bompard (1993). Las variedades cultivadas que más se comercializan, se pueden clasificar en 3 grupos "florida", "indias" y "africanas".

- ✧ *Floridas*: "tommy Atkins", "kent", "keitt", "haden", "erwin red", "parvin", "palmer" y "sensation".
- ✧ *Indias*: la más conocida es la "alfonso".

✧ *Africanas: "amélie", "julie" y "zill".*

Las variedades *Floridas* son las más aceptadas por los consumidores. Las *Indias* y *Africanas* se destinan a grupos étnicos que las conocen. En mercados muy específicos como el de Francia se comercializan las variedades Africanas y en el Reino Unido las Indias.

Tabla I.1.1. Situación botánica del mango

Clase	<i>Dicotiledóneas</i>
Subclase	<i>Rosidae</i>
Orden	<i>Sapindales</i>
Suborden	<i>Anacardiineae</i>
Familia	<i>Anacardiaceae</i>
Género	<i>Mangifera</i>
Especie	<i>Indica</i>

1.3. PROPIEDADES NUTRICIONALES Y COMPOSICIÓN

El valor alimenticio del mango, en general, es muy apreciado (Galán-Saúco, 1999). El mango es una fruta rica en agua, azúcares, fibra, minerales y vitaminas (Martínez, 2006).

Por su riqueza en ácidos (málico, palmítico, p-cumárico y mirístico), vitamina C (un mango de unos 200 g proporcionara unos 56 mg de vitamina C aproximadamente lo que representa casi el 60 % de la dosis diarias recomendada), y especialmente, por su alto contenido en vitamina A; el mango constituye una buena fuente de antioxidantes; lo que otorga un poder defensivo contra la degradación de las células. Los mangos ejercen una función

anticancerígena muy efectiva otorgada tanto por estas vitaminas como por su riqueza en flavonoides, entre los que destaca la quercetina y el camferol. Además, estos componentes guardan una estrecha relación con la reducción de los niveles de colesterol y la disminución de la hipertensión.

Para un adulto, un mango mediano proporciona mucho más de la cantidad necesaria diaria de vitamina A, en forma de carotenos, que son mayormente los que le confieren a la pulpa de esta fruta su particular coloración amarillenta o rojiza. Una pieza de un peso aproximado de 200 g contiene unas 8000 UI de vitamina A, lo que representa un 60% más de la dosis diaria recomendada. Solamente los melones de la variedad "*cantaloup*" poseen mayor cantidad de este componente.

Además de las vitaminas A y C, el mango es rico en vitaminas del grupo B, entre las que se encuentran la niacina (Vitamina B3) necesaria para el buen funcionamiento del sistema nervioso, la salud de la piel y el metabolismo de las grasas, y sobre todo, en piridoxina (vitamina B6) cuya importancia es trascendental para la síntesis de los aminoácidos y el metabolismo de las grasas, así como la salud del cabello, de la piel o el equilibrio de los líquidos en el organismo.

El mango contiene bastante triptófano, un aminoácido con propiedades relajantes. Junto con la vitamina B, posibilitará que tengamos un sueño más tranquilo y, al mismo tiempo nos hará sentirnos más felices, dado que, a partir del triptófano, se produce la hormona serotonina, un neurotransmisor conocido habitualmente como "hormona de la felicidad" la cual suprime los efectos de la depresión.

Comer mango es una buena manera de aumentar el tránsito intestinal por su alto contenido en fibra, lo cual es beneficioso para personas con problemas de estreñimiento.

El mango no contiene colesterol y poquísima grasa. Su contenido en calorías es moderado unas 130 calorías por una pieza mediana y posee muy pocas sales. Por otra parte posee hidratos de carbono y azúcares de muy fácil asimilación. Todo ello lo hace adecuado como tentempié en meriendas o entre comidas, para eliminar la sensación de hambre sin tener que recurrir a alimentos con más calorías, y que no poseen la riqueza vitamínica y mineral que tiene esta fruta. El mango es una muy buena opción que puede incluirse perfectamente dentro de la dieta para adelgazar.

Esta fruta contiene hierro, lo que resulta interesante para prevenir la anemia, especialmente en personas vegetarianas que comen poca carne, o durante ciertos periodos de la vida de las mujeres, tal como ocurre durante el embarazo o la menstruación. Igualmente importante cuando se pierde mucha sangre, como ocurre en las habituales hemorragias nasales. No hay que olvidar que el mango posee una alta cantidad de vitamina C y carotenos, los cuales ayudan en la absorción del hierro.

Contiene también buenos niveles de potasio, lo que resulta adecuado para prevenir la retención de líquidos, para el buen funcionamiento del corazón y de los nervios, así como en la formación de los huesos junto con el calcio. Otros minerales que aparecen en su composición son el cinc, interesante para la salud del cabello y de la vista, así como para el mantenimiento del deseo sexual o libido; también contiene el cobre que es necesario para la formación del colágeno, el mantenimiento del color y la apariencia del cabello, o la formación adecuada del hierro en el organismo; magnesio, que resulta necesario para una buena salud de los nervios, los músculos y la formación de las proteínas.

En la tabla I.1.2. se muestra los principales componentes nutricionales del mango.

(En el Anexo 1. de este trabajo se observa la composición del mango de forma más detallada).

Tabla I.1.2. Tabla resumen de los componentes nutricionales característicos del mango (cantidades dadas para 100 g de pulpa fresca) (USDA, 2006)

Componente	Contenido
Agua	81,7 g
Energía	65 kcal
Grasa	0,45 g
Proteína	0,51 g
Hidratos de carbono	17 g
Fibra	1,8 g
Potasio	156 mg
Fósforo	11 mg
Hierro	0,13 mg
Sodio	0 mg
Magnesio	9 mg
Calcio	10 mg
Cobre	0,11 mg
Cinc	0,04 mg
Selenio	0,6 mcg
Vitamina C	27,7 mg
Vitamina A	3,894 UI
Vitamina B1 (Tiamina)	0,058 mg
Vitamina B2 (Riboflavina)	0,057 mg
Vitamina B3 (Niacina)	0,58 mg
Vitamina B6 (Piridoxina)	0,134 mg
Vitamina E	0,100 mg
Ácido fólico	14 mcg

1.4. UTILIZACIÓN DE LA PLANTA DE MANGO

El fruto del mango es muy aromático y cuando está en su punto óptimo tiene un agradable punto resinoso. Madura bien cuando se recoge antes de que esté completamente desarrollado. Sin embargo,

es un fruto susceptible al ataque de los gusanos si se deja en el árbol. El fruto verde se utiliza en el sudeste de Asia para hacer encurtidos, salsas y mermeladas. Las mujeres filipinas suelen picar, entre comidas, rodajas de mango sin madurar adobadas con salsa de soja. El mango es un excelente antiácido, digestivo y desaloja perfectamente las flemas. Su jugo es muy útil en cuestiones de gastritis ó acidez estomacal.

En su área de origen el árbol del mango es sumamente valorado, ya que además del fruto todas las partes de la planta son aprovechables y de hecho se utilizan.

Hojas: Las hojas jóvenes se consumen cocinadas en Indonesia y Filipinas pero también pueden utilizarse como alimento del ganado. También se les ha señalado como diuréticas y febrífugas. En infusión se ha recomendado como tratamiento contra el asma, la blenorragia y la bronquitis.

Flores: Su infusión con hojas se ha usado como tratamiento del escorbuto y la disentería. A las flores secas también se les atribuye propiedades contra la diarrea, disentería y uretritis crónica.

Corteza: Se usa contra el reumatismo y la disentería. También se utilizan sus taninos para el curtido del cuero.

Raíces: Su infusión se ha usado para combatir la diarrea y la disentería.

No obstante, el fruto del mango es sin duda lo más valioso de esta polifacética planta. Se trata de un componente básico de la dieta en muchos países en vías de desarrollo en los trópicos. Su principal consumo es como fruta fresca pero también se utiliza como jugos, néctar, conserva, purés, frutas desecadas, helados, productos congelados, etc.

1.5. CONSERVACIÓN DE LA FRUTA

El mango es una fruta climatérica con tres periodos bien definidos; el preclimatérico, el climatérico y el postclimatérico (Kalra, *et al.*, 1995), pero también es muy perecedera, debido entre otras causas a la actividad de las enzimas poligalacturonasa y celulasa (El-Zoghbi, 1994; Labib Azza *et al.*, 1995). El mango, después de la cosecha, tiende a alcanzar su plena madurez organoléptica a los 10 días, cuando se almacena a temperatura ambiente y a los 30 días a 10 °C, presentando un típico ascenso en la producción de dióxido de carbono (CO₂) y etileno, (Yahia *et al.*, 1997).

El mango almacenado a temperaturas cercanas a la congelación, sufre un desorden fisiológico denominado daño por frío. Los síntomas se caracterizan por presentar zonas hundidas y grisáceas en la cáscara, una maduración anormal y heterogénea, con poco desarrollo de color y disminución de las características organolépticas (sabor y aroma), así como sensibilidad al ataque por patógenos. Las medidas más adecuadas para evitar el problema del daño por frío son el mantener la fruta a temperaturas entre 10 y 13°C, aunque esto depende de la variedad y su estado de madurez y el tiempo de almacenamiento (Yahia *et al.*, 1997).

1.6. PRODUCCIÓN DE MANGO

1.6.1. Mercado mundial del mango fresco

El mango se ha extendido a más de 100 países de los trópicos y subtrópicos, debido, sin duda, a la conjunción de la excelencia del fruto y a la labor de agricultores e investigadores en la mejora del cultivo (Galán-Saúco, 1999). El mango se cultiva en numerosos países, desde los 36° de latitud Norte en España hasta los 33° de latitud Sur en Sudáfrica. Gracias a esto, el mango es indudablemente la especie de mayor importancia de la familia de las Anacardiáceas.

Es el tercer fruto tropical en términos de producción e importación a escala mundial, inmediatamente situado tras el plátano y la piña tropical y el quinto de todos los frutos. Debido a la amplia distribución y al desarrollo de técnicas de control de floración es posible suministrar mangos a los mercados durante todo el año. La figura I.1.2. nos muestra la distribución mundial del mango.

En la distribución del mango como fruta fresca, los tres grandes focos de comercialización son: El continente americano, los mercados asiáticos y la Unión Europea.

La figura I.1.3. nos muestra las exportaciones expresadas en porcentaje de cada continente. Siendo Asia, y el continente americano los más representativos.

En la figura I.1.4. se representa la variación de las importaciones de mango durante 5 años (2000–2004) de los continentes con mayor consumo de mango, se observa un creciente consumo en los últimos 3 años representados en el gráfico.

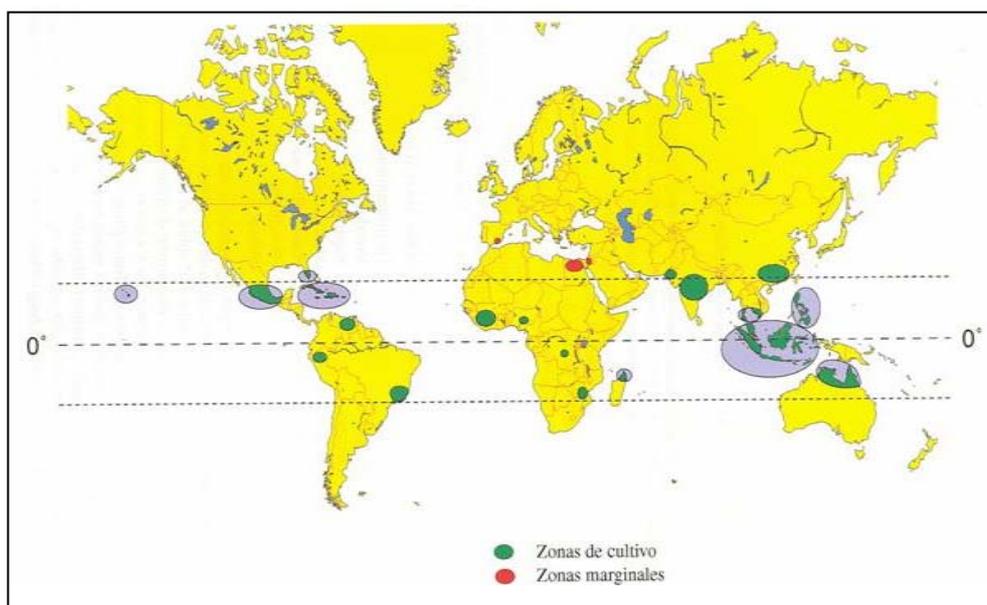


Figura I.1.2. Distribución mundial del mango. (Adaptado de Galán-Sáuco, 1999)

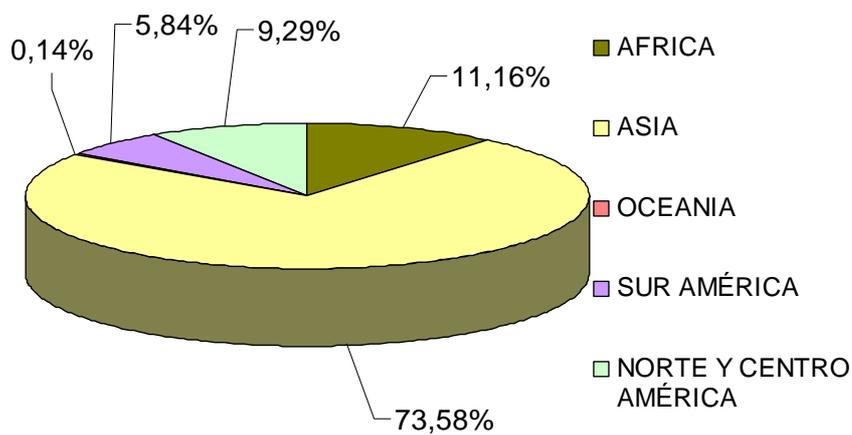


Figura I.1.3. Distribución de la producción de mangos en el mundo en 2004 por continentes. (FAO, 2006)

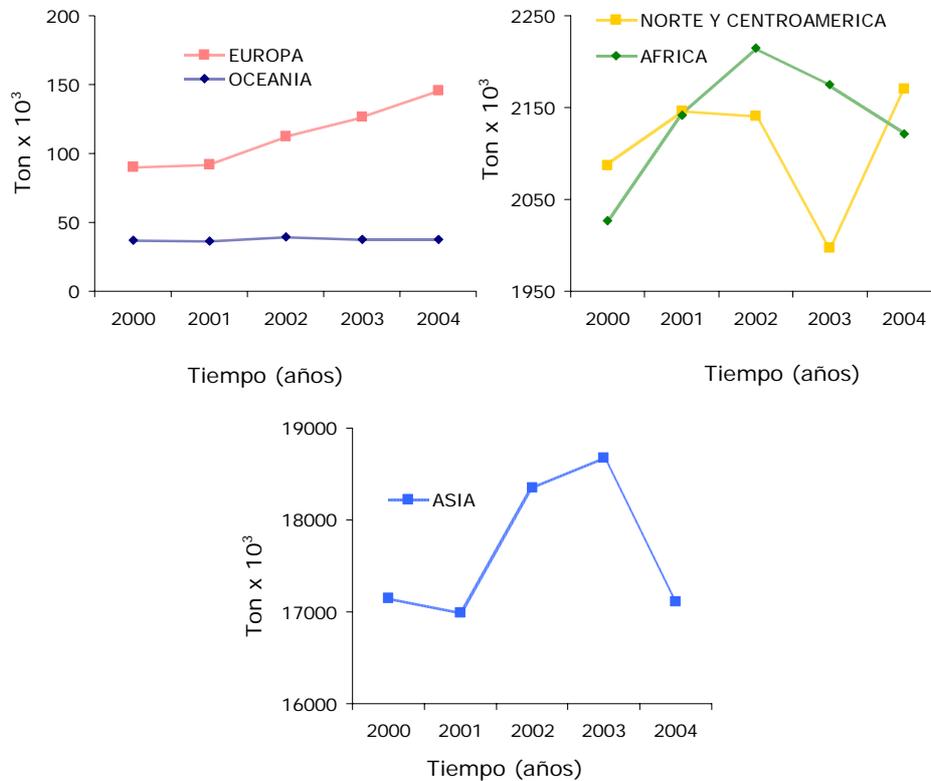


Figura I.1.4. Comportamiento de las importaciones de mango en el mundo, entre los años 2000 y 2004. (FAO, 2006)

El mercado europeo del mango está aun en franca expansión, con un consumo que alcanza casi las 150.000 toneladas anuales. El potencial de crecimiento en el consumo es relevante, si se tiene en cuenta la futura ampliación de la UE a varios países, como : Hungría, Eslovenia, Polonia, República Checa y Estonia. Estas naciones, con el lógico incremento de renta y el fenómeno de libre comercio, pueden convertirse en futuros compradores de esta fruta.

En la figura I.1.5. se indican los principales países exportadores mundiales, situándose en los primeros lugares India, China y Tailandia y México (FAO, 2006) los datos son expresado en miles de toneladas métricas.

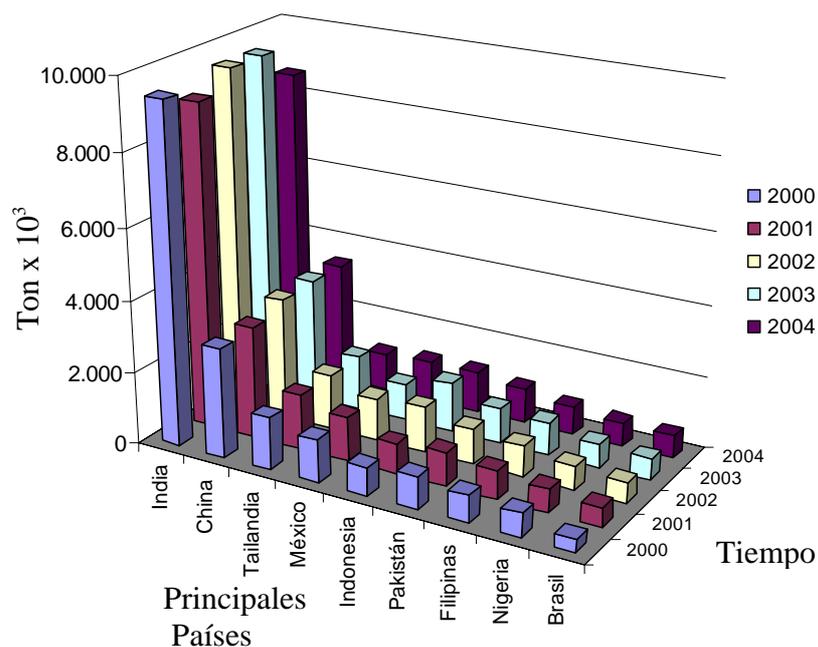


Figura I.1.5. Primeros países exportadores mundiales de mango, y comportamiento de las exportaciones entre los años 2000 - 2004. (FAO, 2006)

España es un país importador de mango. En la figura I.1.6. podemos observar la evolución que ha sufrido las exportaciones e importaciones del mango en España (FAO, 2006). Se puede decir que España está incrementando el número de importaciones respecto a otros años, observándose un crecimiento progresivo en el consumo, especialmente en los últimos 3 años.

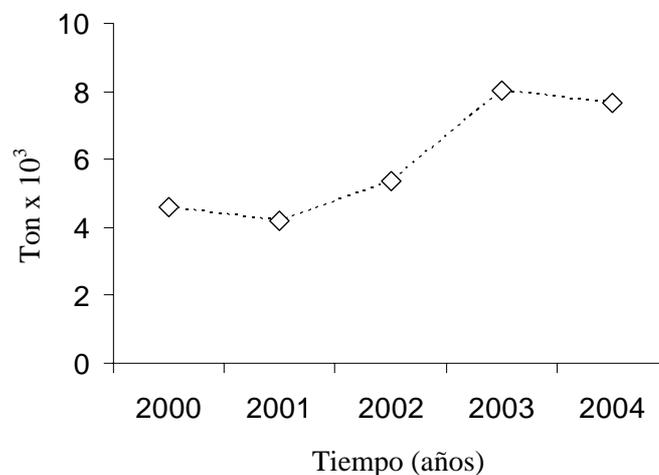


Figura I.1.6. Comercialización de mango en España (importaciones) entre los años 2000 - 2004. (FAO, 2006)

1.6.2. Productos derivados del mango

Según la información recopilada por la FAO (1996) en la reunión de Kuala Lumpur sobre frutas tropicales, aunque no se aportan datos cuantitativos, el mango es el segundo producto más importante (el primero es la piña tropical); destacándose su consumo como producto fresco.

El mango es una fruta que sirve como base para diversos productos entre los cuales se encuentran: Las salsas, chutneys, las compotas, mermeladas, enlatados (de frutas variadas o solo), fruta confitada, polvo, fruta mínimamente procesada, trozos deshidratados. Todos estos productos tienen como base 3 formas comerciales comunes las cuales son: La pulpa, fruta deshidratada, y fruta mínimamente procesada. La pulpa se puede vender sin concentrar (13-18° Brix) o concentrada (28-30° Brix), principalmente congelado y envasado asépticamente, siendo importantes proveedores India, Perú y Ecuador.

El mercado de fruta seca/deshidratada es aún más reducido, señalándose para el total de mango, guayabas, kumquats y otros frutos tropicales (excepto piña y plátano), un volumen de 2.000-3.000 ton en 1994, siendo la Comunidad Europea, Japón y Estados Unidos los principales mercados.

El mango deshidratado es, en general, poco conocido por los consumidores y se vende a doble precio que la piña y papaya, pero si el precio bajara podría aumentar notablemente su consumo. Los principales proveedores son Tailandia, India, Filipinas, Taiwán y Malasia. El producto se importa en cubos, gránulos, pedazos, rodajas láminas y polvo con la particularidad de preferirse que sean de color naranja amarillento (Galán-Saúco, 1999).

En cuanto al producto mínimamente procesado, listo para el consumo, es utilizado en restaurantes, comedores, autoservicios y supermercados de venta al por menor. Los consumidores esperan que un producto fresco-cortado aparezca sin defectos, con una madurez óptima y con las mismas características del producto fresco. Entre estas características destacan: la apariencia en general, la calidad sensorial y la nutritiva (Alley, 1999). Por otro lado, estos productos son vulnerables a la decoloración, debido al daño en el tejido celular y a la pérdida de la piel protectora, lo cual conlleva a una oxidación de los fenoles. Pero el efecto puede ser disminuido con un correcto almacenamiento, lo cual dependerá de la variedad y cultivar elegido. Así pues, los marcadores de la calidad derivan de la apariencia en general, la fuerza con que se haya eliminado la piel y sobre todo el gusto.

2. FRUTAS MÍNIMAMENTE PROCESADAS

La demanda de frutas y vegetales mínimamente procesados es cada vez mayor en el mercado actual. Tan solo en Europa occidental, en el sector de productos vegetales frescos, las FMP cuenta con un crecimiento del 10% al 25% desde 1990 (Ragaert, *et al.*, 2004). En Estados Unidos, se ha reportado un crecimiento del 12% para los vegetales MP y 15% para las frutas MP. La motivación que encuentra el consumidor en éste tipo de productos es la facilidad para el consumo directo, y la rapidez en la preparación de platos cuando las FMP son empleadas como materia prima. (Ragaert *et al.*, 2004).

Las frutas refrigeradas mínimamente procesadas (FMP) son productos que contienen tejidos vivos o que han sido modificados ligeramente de su estado en fresco, siendo en su naturaleza y calidad semejantes a los frescos. Los tejidos de esos productos no exhiben las mismas respuestas fisiológicas que los tejidos vivos intactos de los productos vegetales sin tratar. El propósito de las FMP es proporcionar al consumidor un producto frutícola muy parecido al fresco con una vida útil prolongada y al mismo tiempo, garantizar la seguridad de los mismos, manteniendo una sólida calidad nutritiva y sensorial (Wiley, 1997a).

Las FMP constituyen dentro de los alimentos una clase que se está desarrollando de forma rápida e importante. Estos alimentos de conveniencia se están produciendo con la única aplicación de las ciencias básicas y la ciencia de los alimentos junto con el apoyo de las tecnologías y de la ingeniería.

Este tipo de productos está listo para su consumo en fresco, son estables y contienen características muy similares al producto original, permaneciendo vivos después del procesado. Generalmente

han sufrido exclusivamente tratamientos físicos simples de preparación y para su conservación y distribución se someten únicamente a refrigeración (Rolle y Chism, 1987; Shewfelt, 1987). Wiley (1997a) definió a los productos hortofrutícolas mínimamente procesados como aquellos alimentos a los que se les ha modificado solo ligeramente su apariencia original, mostrando un aspecto fresco tanto en sus características como en su calidad, y que mantienen tejidos vivos, aunque éstos no presentan las mismas respuestas fisiológicas que los vivos sin tratar, debido a las operaciones sufridas (calor, radiación, aplicación de conservadores, entre otros). La preparación de los productos vegetales procesados en fresco se basa en la aplicación de tratamientos simples o combinados que protejan con eficiencia al material vegetal frente a las alteraciones de tipo físico o mecánico (deshidratación, golpes, magulladuras, entre otros), microbiológicas (ocasionadas por hongos, levaduras y bacterias) bioquímicas (pardeamiento enzimático, oxidaciones de lípidos, alteraciones de aroma, sabor y textura) y nutricionales (como la pérdida de vitaminas) (Artés *et al.*, 1999; Artés y Artés, 2000). Este tipo de productos ha recibido numerosas denominaciones, según los países y el modo de preparación. En países francófonos se les llaman productos cuarta gama (4^{ème} Game) y en países anglosajones se les denominan productos mínimamente procesados (minimally processed; slightly processed o partially processed) o listos para su consumo (ready to eat o ready to use) o recién cortados (fresh-cut).

Debido a los diferentes conceptos que engloba el sector de los productos vegetales con mínimos procesos, es importante asumir un concepto de producto hortofrutícola que involucre los parámetros de calidad óptimos para lograr los beneficios esperados por parte del consumidor y del ente industrial, es así como definiremos a las frutas mínimamente procesadas (FMP) como productos listos para comer

parcialmente preparados, que se caracterizan por presentar una fácil e inmediata utilización, estar libres de defectos, poseer un estado de madurez óptimo y unas características muy similares a la materia fresca. Este tipo de productos proporciona a los consumidores, la posibilidad de comprar pequeñas porciones de fruta de alta calidad y, a los productores, una apertura en los canales de comercialización.

2.1. FACTORES QUE INFLUYEN EN LA CALIDAD DE LAS FRUTAS MÍNIMAMENTE PROCESADAS

El objetivo primordial de los alimentos vegetales mínimamente procesados es proporcionar al consumidor un producto fresco, con una vida útil prolongada y al mismo tiempo garantizar la inocuidad de los mismos, manteniendo una alta calidad nutritiva y sensorial. De acuerdo con Bett (2000) la capacidad de desarrollo del sector de las frutas mínimamente procesadas, se puede decir que está limitada por factores intrínsecos y extrínsecos. Los factores intrínsecos son relativamente complejos, ya que engloban los cambios fisiológicos y bioquímicos que acompañan al procesado y almacenamiento de los productos que se elaboran. Dentro de éstos, destacan primeramente la actividad respiratoria, posteriormente se destaca el crecimiento de microorganismos, los cuales encuentran como medio óptimo aquellos en los que el pH se aproxima a la neutralidad, aunque hay algunos que pueden crecer a valores de pH cercanos a 4.5 o superiores (Brackett, 1994). Las frutas en general poseen un pH de 4.0 o inferior (dependiendo de la especie y el grado de madurez) lo cual inhibe la proliferación de la mayoría de bacterias, pero otros microorganismos como los géneros fúngicos y bacterias acidófilas podrían proliferar en estos medios.

Por último, hay que destacar la importancia de la actividad del agua, ya que si es muy elevada (entre 0.95 y 1) facilita el crecimiento de los microorganismos y dificulta la difusión de gases de los tejidos vegetales, con el riesgo de generarse procesos fermentativos y producción de etanol y acetaldehído los cuales alteran el aroma y el sabor (Artés, 2000). Los factores extrínsecos hacen referencia a diferentes controles de procesado como es la aplicación del código alimentario, en cuanto a buenas prácticas de manufactura y/o higiene, con algunas especificaciones. El desafío de las empresas productoras de FMP es considerablemente alto debido a la necesidad de mantener las frutas cortadas con una apariencia, textura, sabor y valor nutritivo semejante al de las frutas que no han sido procesadas. Así, para poder mantener la calidad de los productos y extender su vida útil, la industria y el sector científico están poniendo a punto nuevas técnicas de procesado, la mayoría basada en la aplicación de métodos combinados, junto con el desarrollo de nuevos materiales de envasado y sistemas de control. Todo ello ha permitido llegar a soluciones óptimas desde el punto de vista de la calidad.

2.2. PRINCIPALES OPERACIONES UNITARIAS INICIALES DE LAS FRUTAS Y HORTALIZAS MÍNIMAMENTE PROCESADAS

Según como describe Wiley (1997b) las operaciones que intervienen desde la recolección de la fruta hasta el consumidor final, influyen directamente en la calidad del producto, y más cuando se trata de una fruta mínimamente procesada. Estos son algunas de las operaciones unitarias (Figura I.2.1.) que se tienen en cuenta en la producción de una FMP:

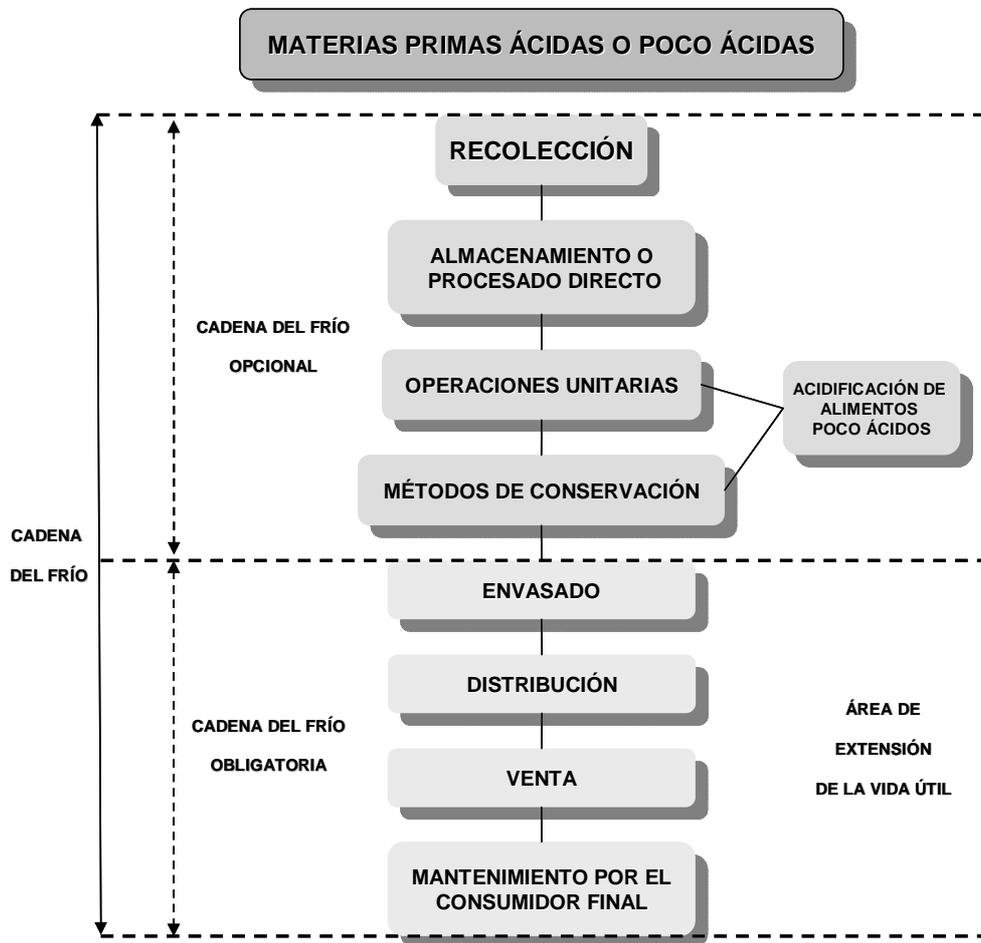


Figura I.2.1. Diagrama de flujo de las operaciones más comunes en el procesamiento de FMP (Wiley, 1997b)

2.2.1. Operaciones de manipulación de la materia prima

En las operaciones de manipulación se incluyen todos los movimientos desde el campo hasta las vitrinas de exposición al por

menor, lo que implica que también deben considerarse el transporte y el almacenamiento de los productos.

✧ *Recolección*

La recogida puede ser manual o mecánica y dependiendo en algunos casos esta última puede mejorar la calidad respecto a la realizada manualmente ya que es más rápida y reduce el tiempo de permanencia en los campos.

✧ *Procesado en el lugar de producción*

El procesado en el lugar de producción incluye la inspección del tamaño, observación de defectos, estado de madurez y preenfriado. Una selección en seco en el propio campo elimina la contaminación grosera y la fruta defectuosa que de otro modo contaminaría las aguas de lavado posterior. El preenfriado tiende a eliminar el calor del producto y el que se genera a consecuencia de la respiración.

✧ *Transporte*

Las frutas y hortalizas MP deben manipularse durante el transporte lo más rápidamente posible y de forma cuidadosa. En el transporte de productos hortofrutícolas debe utilizarse contenedores que eviten cualquier daño mecánico de los productos entre sí o por contactos producto-contenedor, por corrimiento de la carga, golpes, sobrepeso y vibraciones. La elección del transporte en forma envasada o a granel depende del producto y de los requerimientos comerciales y económicos.

✧ *Recepción*

En el momento de la recepción de los productos se interrumpe la cadena del frío; en consecuencia, debe tenerse el máximo cuidado para que no se pierda la calidad que se ha mantenido durante las operaciones de recolección y transporte.

2.2.2. Operaciones de preparación

La preparación de FMP implica operaciones de lavado, cortado, enjuagado, acondicionamiento, envasado y almacenamiento. Además de los métodos generales para llevar a cabo las anteriores operaciones, se requerirá para algunos productos un equipo especializado como cortadoras, desecadoras centrífugas, cortadoras especiales y locales para el rellenado y envasado.

✧ *Operaciones de separación*

La separación puede basarse en virtud de diferencias de densidad, forma, tamaño, color, área superficial, carga electrostática y solubilidad. Las separaciones, en general, incluyen las operaciones siguientes: clasificación, limpieza, lavado, cribado, selección, pelado, eliminación de corazones, escurrido, raspado, agujereado, eliminación de tallos, sedimentación, recortado y centrifugación.

✧ *Selección, calibración y categorización*

La selección es la separación de una mezcla de productos de distintos tamaños en las que el producto de tamaño previamente estandarizado se queda en la superficie del separador y los de menor tamaño pasan a través del mismo. La selección y categorización son las últimas etapas antes del procesado. Si no se eliminan los

productos dañados y alterados probablemente transmitan la alteración al resto de los productos.

✧ *Limpieza, lavado y desinfección*

En la mayoría de frutas y hortalizas, la limpieza y el lavado pueden ser los únicos tratamientos de conservación. La limpieza se refiere a la eliminación de los materiales extraños. Como una operación unitaria en la primera etapa del procesado, la limpieza es una forma de separación relacionada con la eliminación de ramitas, estacas, suciedad, arena, tierra, insectos, pesticidas y residuos de fertilizantes.

En una línea de procesado de frutas y hortalizas MP, la operación de lavado se hace generalmente en una cámara aislada con restricción de entradas, de forma que el contacto humano con los productos esté limitado. En este momento el producto se convierte en listo para consumir y también para ser conservado. Para este fin, el producto se lava mediante cloración quedándose libre de la mayoría de microorganismos. El producto MP se sumerge en un baño donde se mantiene burbujeándole aire a través de una boquilla. Esta turbulencia permite la eliminación de prácticamente todas las trazas de tierra y sustancias extrañas sin producir magulladuras del producto.

El agua constituye un elemento esencial en la calidad de las FMP. La procedencia y la calidad de agua deben ser tenidas en cuenta, de hecho, en el lavado de frutas y hortalizas MP se controlan fundamentalmente tres parámetros. (Cantidad de agua utilizada, Temperatura del agua y concentración de cloro activo).

✧ *Pelado*

La eliminación de la capa más externa de una fruta u hortaliza se denomina pelado, raspado, despellejado, descortezado, descascarillado, etc. El pelado puede hacerse (1) manual, (2) con vapor o agua caliente, (3) con lejía o álcalis, (4) mediante pelado cáustico seco con calentamiento con infrarrojos, (5) con llama, (6) por medios mecánicos, (7) con vapor a presión elevada, (8) por congelación, (9) con ácidos. La operación de pelado industrial de grandes volúmenes de productos puede acabarse mecánicamente, químicamente o en peladoras de vapor a presión elevada.

✧ *Operación de reducción de tamaño*

La reducción de tamaño se refiere a los procedimientos que cortan o trocean las frutas y hortalizas en trozos más pequeños y uniformes dándole un tamaño y forma definida. Esta operación de reducción de tamaño puede ser una etapa esencial para mejorar el sabor, digestibilidad, facilidad de manipulación y transferencia de calor en los productos.

✧ *Cortado*

El corte en los productos acelera la respiración, provoca daños mecánicos y ablanda el tejido vegetal. Los tejidos cortados constituyen barreras menos eficaces de los gases y toleran concentraciones más elevadas de O₂ y niveles inferiores de CO₂ que los productos intactos. De ahí que los productos troceados deban enfriarse a 4° C inmediatamente después del cortado.

✧ *Mezclado y preparación*

El mezclado en el procesado de frutas y hortalizas tiene como objetivo asegurar una mezcla homogénea, al menor coste total

posible. La operación ocurre en un lugar exclusivamente dirigido a la preparación del mismo, con lo que es una zona muy crítica en la cadena de procesado y en donde se utilizan procedimientos asépticos.

2.3. INFLUENCIA DEL PROCESADO EN LA CALIDAD DE FRUTAS MÍNIMAMENTE PROCESADAS

A pesar de que los productos hortofrutícolas mínimamente procesados adquieren un rápido protagonismo en los supermercados y puntos de venta por la comodidad de uso y por su apariencia de fresca y naturalidad, se trata de productos generalmente más perecederos que el material original del que provienen. Es importante considerar que gran parte de las técnicas de conservación de alimentos estabilizan el producto y alargan su vida útil. Sin embargo, en las FMP, aumenta significativamente su carácter perecedero (Watada *et al.*, 1996; Schlimme y Rooney, 1994; Cantwell, 1992). Esto es debido a que las frutas y hortalizas mínimamente procesadas continúan siendo órganos vivos, y por consiguiente, cualquier operación durante su elaboración produce un impacto fisiológico, tanto más grande cuanto mayor es el grado de procesado, aumentando su velocidad de deterioro y reduciendo su periodo de vida útil con respecto al producto del cual proviene. Los daños en el tejido, ocasionadas por las simples operaciones de corte o pelado, estimula la actividad respiratoria, lo que induce la biosíntesis de enzimas asociadas a un incremento en la velocidad de los procesos metabólicos y de otras reacciones bioquímicas responsables del cambio de color, aroma, textura y valor nutritivo que conducen a la senescencia de los tejidos vegetales (Cantwell, 1992). El corte de los tejidos vegetales provoca también la descompartimentación celular, lo cual permite el contacto de las

enzimas de localización citoplasmática con los substratos de localización vacuolar. Igualmente se produce una fuerte pérdida de jugos celulares, incrementando la actividad de agua y el área de superficie por unidad de volumen. Esto puede acelerar la pérdida de agua y, además, el exudado constituye un medio muy favorable para el desarrollo de microorganismos (Figura 1.2.2.) (Carlin *et al.*, 1990; Izumi *et al.*, 1996). Además, las operaciones de preparación de FMP incrementan la contaminación microbiológica por transferir la microflora de la piel y de los utensilios utilizados a los tejidos del fruto, disminuyendo la estabilidad del mismo (Pittia *et al.*, 1999).

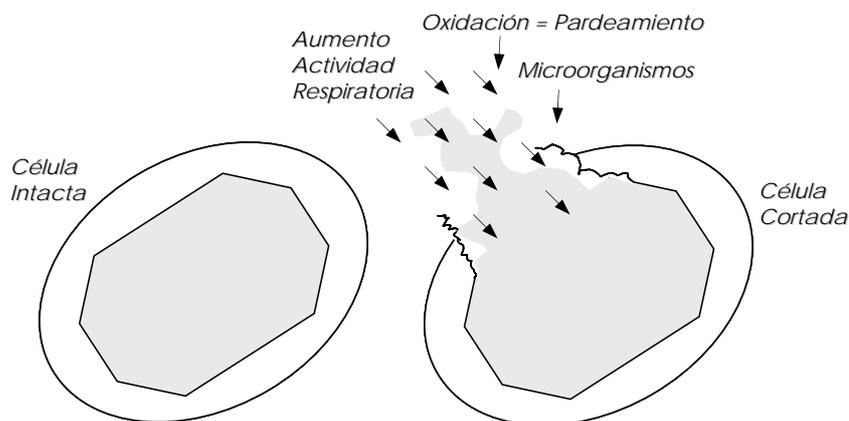


Figura 1.2.2. Daño a nivel celular originado por la operación de corte (Adaptado de Wiley, 1994)

Otro factor que está estrechamente ligado a los mínimos tratamientos, es el deterioro de los productos FMP causado por la liberación de las enzimas endógenas las cuales continúan actuando en los frutos procesados y almacenados (Ashie *et al.*, 1996). Estos cambios fisiológicos generalmente están acompañados por pérdidas de sabor y aroma, decoloración de superficies, pérdidas de color, deterioro en el tejido, incremento en la velocidad de pérdida de

vitaminas, ablandamiento del tejido y pérdidas de la turgencia y volumen, lo cual conduce a una vida útil muy corta.

2.4. DISTRIBUCIÓN Y UTILIZACIÓN DE FRUTAS Y HORTALIZAS MÍNIMAMENTE PROCESADAS

La distribución, en general, puede definirse como el traslado y manipulación rápida y eficaz de las frutas y hortalizas desde el lugar del cultivo hasta el punto de consumo.

La distribución y utilización de las FMP incluyen las operaciones siguientes (Wiley, 1997a):

- ✧ *Operaciones en los centros de producción: almacenamiento y control de fruta y hortaliza fresca y procesada, operaciones de procesado central.*
- ✧ *Distribución física: transporte en la ciudad y entre ciudades*
- ✧ *Operaciones en los centros de consumo: centros de distribución, venta al por mayor, venta al por menor y establecimientos de comida.*
- ✧ *Red de comunicaciones: Las comunicaciones proporcionan intercambio de información entre los usuarios de los canales de distribución. Para cualquier actividad relacionada directa o indirectamente con la producción, procesado y consumo de alimentos MP es esencial disponer de una información precisa y actualizada sobre abastecimiento, demanda y precios.*

Los sistemas de distribución de FMP buscan rentabilizar el tiempo y el espacio o valor económico de los productos, consiguiendo y disponiendo los alimentos en el lugar que son requeridos en el tiempo que se desea y a un coste razonable. Los canales exactos de

comercialización difieren de un producto a otro y además va cambiando a lo largo de los años.

2.5. ENVASADO

Un envase alimentario debe contener y proteger al producto desde el momento y lugar de fabricación hasta el momento de su consumo. Los requerimientos del envasado de las FMP están directamente relacionados con: Las características físicas y químicas de los posibles materiales plásticos utilizados y, la alteración activa y pasiva de las concentraciones de los gases y del vapor de agua dentro del envase. Se debe tener en cuenta la selección de los materiales de envasado, el diseño del envase, la seguridad del mismo en términos de migraciones de los componentes de los materiales de envasado al alimento y finalmente, el transporte de los productos envasados.

2.6. MÉTODOS DE CONSERVACIÓN

El objetivo fundamental de la conservación es proporcionar seguridad, mantener la calidad así como prolongar la vida útil y prevenir la alteración de los productos.

Los principales métodos de conservación en FMP son los siguientes:

- ✧ *Conservación por calor*
- ✧ *Conservación química*
- ✧ *Conservación con atmósferas modificadas*
- ✧ *Conservación por frío*
- ✧ *Conservación por irradiación*
- ✧ *Reducción de la a_w*

Deshidratación

*Aire caliente, Microondas, Liofilización, Osmótica
y combinación de las anteriores*

Éste último ejemplo, la reducción de la actividad de agua (a_w), está directamente relacionado con la eliminación del agua, o la indisponibilidad de la misma mediante agentes que forman complejos con el agua (azúcares y/o sales), propiciando un medio de mayor dificultad para el crecimiento de los microorganismos patógenos o alteradores. Según Jay (1986) la a_w mínima aproximada para el crecimiento de los principales grupos alterantes de microorganismos es de : 0.9 para la mayoría de las bacterias; 0.88 para la mayoría de las levaduras y de 0.80 para la mayoría de los mohos. Muchas de las frutas y hortalizas tienen una a_w de 0.98 o superior y en consecuencia son muy sensibles a la reducción de la a_w como medio de control de los microorganismos y de la actividad enzimática.

La deshidratación es una de las técnicas más antiguas de conservación de los alimentos y, al mismo tiempo, de las más actuales, ya que juega un papel importante en la actividad industrial de transformación y conservación de los mismos (Earle, 1988). El principal objetivo de la deshidratación de alimentos es extender su vida útil mediante una disminución del contenido de humedad, reduciendo así la actividad del agua y en consecuencia ralentizando el crecimiento microbiano y la actividad enzimática, factores que provocan el deterioro de los alimentos (Fellows, 1988). Todo esto se hablará con detalle en los apartados 3 y 4 de éste capítulo.

Una de las técnicas empleadas para prolongar el tiempo de vida útil de los productos hortofrutícolas mínimamente procesados es la incorporación de sustancias químicas que tienen efectos mejoradores de algunas propiedades sensoriales y fisiológicas de frutas y hortalizas. Las sustancias anti-pardeantes, mejoradores de textura, correctores de sabores, sustancias anti-microbianas, etc, son empleadas comúnmente.

Un grupo de agentes mejoradores son las sales de calcio, las cuales son utilizadas dependiendo de la conveniencia de las mismas y algunos aspectos negativos que estas pueden conllevar (sabores indeseados en los productos obtenidos, altos costos, efectos negativos en la salud humana, etc). Una de las sales más empleadas por su conveniencia industrial, comercial, y seguridad es el lactato de calcio del cual se hablará con detalle en el apartado 5 de éste capítulo.

3. DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA

3.1. GENERALIDADES DE LA DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA

Se sabe que esta operación la realizaban civilizaciones antiguas y que, a través de la historia de la humanidad, este método de conservación se ha ido modificando y adecuando para mejorar las características de los productos alimenticios deshidratados (Keey, 1972; Salunkhe *et al.*, 1973). La utilización de éste método en la conservación de alimentos, resulta de mucha importancia en frutas y hortalizas, sobretudo en aquellas que poseen un tiempo de cosecha corto y que son perecederas, permitiendo la reducción de costes en la exportación de dichos productos. Además, en algunos casos, la

deshidratación parcial de un alimento es imprescindible para que este tenga ciertas características que faciliten su procesamiento (Sokhansanj y Jayas, 1987; Fellows, 1988). Con la deshidratación de un producto alimenticio se consigue un incremento de las posibilidades de conservación y una reducción de peso, lo que reduce los costes de almacenamiento y transporte.

La deshidratación osmótica de frutas y hortalizas ha sido ampliamente estudiada desde que Pointing y colaboradores en 1966 acuñó este término. Este proceso consiste en sumergir el alimento sólido entero, o en piezas, en soluciones acuosas de azúcar o sal de alta presión osmótica. Dicha técnica provoca al menos dos flujos principales simultáneos en contra corriente: un importante flujo de agua del alimento hacia la solución, y una simultánea transferencia de solutos desde la solución hacia el alimento, los cuales son debidos a los gradientes de potencial químico del agua y de los solutos a un lado y otro de las membranas de las células que forman el tejido parenquimático del producto (Torreggiani, 1993). En este proceso el agua se difunde a través de la membrana de la solución más diluida a la más concentrada hasta alcanzar el equilibrio. Todo esto se logra gracias a que la membrana celular es selectiva, el agua puede pasar libremente a través de ella, mientras que otros componentes de la disolución lo harán mucho más lentamente. La transferencia de agua por OD es aplicable a alimentos donde su estructura celular actúa de forma similar a una membrana semipermeable. El fenómeno osmótico tiene lugar como consecuencia, como ya se ha mencionado antes, de la diferencia de potencial químico en el sistema (el potencial químico del agua de una disolución azucarada es menor que el potencial químico del agua pura). La magnitud de la presión osmótica establecida al poner en contacto estas dos soluciones con diferente concentración a través de una membrana semipermeable,

es función de la concentración de solutos, a ambos lados de la membrana. El agua fluirá desde el alimento hacia el medio osmótico más concentrado y podrán ocurrir flujos de soluto (agente osmótico) desde la disolución osmótica al producto, y solutos no compartimentados propios del alimento hacia el medio osmótico.

La transferencia de solutos intracelulares está muy impedida al comienzo del proceso por la permeabilidad de las membranas, al igual que la de los solutos de la OS (disolución osmótica) que penetrarán principalmente por capilaridad en los poros (espacios intercelulares del tejido) y en cierta medida por difusión a través de la fase líquida intercelular del tejido. Pero, dado que la mayor parte de la fracción líquida en frutas está compartimentada por membranas de permeabilidad selectiva al agua, la vía predominante para alcanzar el equilibrio composicional será la pérdida de agua intracelular por vía osmótica. Se ha comprobado que la velocidad a la que sale el agua del alimento hacia la solución concentrada, es mayor que la de los sólidos solubles hacia el interior de la pieza (Karel, 1973; Lenart y Lewicki, 1990; Videv *et al.*, 1990), por lo que la presión osmótica de la disolución será, por tanto, la fuerza impulsora predominante hacia el equilibrio al comienzo del proceso.

Dichas transferencias de masa van acompañadas de una salida de sustancias hidrosolubles a través de la membrana, que por lo general, no se toman en cuenta por ser cuantitativamente despreciables, aunque pueden ser esenciales en lo que a la calidad organoléptica se refiere (Barat *et al.*, 1998). Además se considera que después de un cierto tiempo de tratamiento osmótico, que depende mayoritariamente de las condiciones del proceso, la permeabilidad selectiva de la membrana es destruida y el soluto puede entonces penetrar por difusión. En algunos trabajos se ha visto

que en el caso del mango, después de 60 min de tratamiento, el diámetro de los poros del tejido celular se reduce drásticamente, con lo cual, se ve reducida la movilidad de moléculas relativamente grandes como es el caso de la sacarosa (Ayala, 2001).

Debido a que el mecanismo osmótico puede tener actuación en intervalos de temperaturas moderadas en los cuales el tejido vegetal se encuentra vivo, su aplicación puede considerarse como procesado mínimo de frutas (Tabla I.2.1.). El producto, en este caso frutas pierden agua sin ningún cambio de fase, lo que implica, en el caso de los sistemas biológicos, una preservación de las estructuras celulares (Raoult-Wack, 1994). Además, ofrece la posibilidad de introducir la cantidad deseada de un soluto adecuado, por ejemplo, solutos de interés sensorial, como antipardeantes o sales de calcio.

Tabla I.2.1. Criterios para una definición práctica de los procesos osmóticos en base a su duración (Pérez, 2003)

Proceso osmótico	Escala de Tiempo	Operaciones	Usos o aplicación	Mecanismos de control
Procesos de tiempos muy cortos	Minutos	Impregnación a vacío y/o pre-concentración osmótica	Productos mínimamente procesados o pre-tratados	Mecanismo hidrodinámico, pseudodifusional y deformación de la matriz
Procesos de tiempos cortos	Horas			
Procesos de tiempos largos	Horas/días	Deshidratación osmótica	Productos deshidratados osmoticamente estables	Relajación de la matriz celular
Procesos de tiempos muy largos	Días / Semanas		Productos deshidratados osmoticamente muy estables	

3.2. FACTORES QUE AFECTAN EL PROCESO DE DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA

La cinética de la deshidratación osmótica, con frecuencia ha sido analizada en términos de velocidades de pérdida de agua, ganancia de sólidos y de pérdida de peso del alimento (Pointing *et al.*, 1966; Garrote y Bertone, 1989; Lerici *et al.*, 1989). Se ha propuesto un modelo (Fito y Chiralt, 1997; Barat *et al.*, 1997) que contempla la cinética de los cambios de composición del producto a lo largo del proceso desde dos puntos de vista: Por un lado los cambios de composición de la fase líquida del producto (agua más sólidos solubles), que determinan la calidad del producto y su estabilidad; y por otro lado, la cinética de pérdida de peso, asociada con la pérdida de agua y ganancia de solutos, que determina la rentabilidad del proceso.

Usualmente la deshidratación osmótica no es aconsejable para obtener unas reducciones del contenido en agua superiores al 50% a causa de la pequeña velocidad de los fenómenos de transferencia a estos niveles de concentración. Normalmente, las velocidades de flujo de agua son altas durante las primeras 2 horas y la mayor cantidad de sólidos ganados ocurre dentro de los primeros 30 minutos de tratamiento; a partir de ese punto los flujos se hacen muy lentos (Conway *et al.*, 1983; Giangiacomo *et al.*, 1987 y Guennengues, 1986). La velocidad de transferencia de masa de sustancias hidrosolubles nativas (azúcares, ácidos orgánicos, minerales, sales, etc.) que atraviesan la membrana, es muy pequeña y cuantitativamente despreciable (La Font, 1988).

La variación de las condiciones que se dan en el proceso puede causar una modificación en la eficacia del mismo. Los factores más

importantes que se tienen en cuenta al analizar la cinética de la deshidratación osmótica son:

- ✧ *Estructura y composición del producto, y tamaño de piezas.*
- ✧ *Naturaleza y concentración del agente osmótico.*
- ✧ *Temperatura.*
- ✧ *Presión de trabajo.*

3.2.1. Estructura y composición del fruto, y tamaño de las piezas

Durante la transferencia de agua/soluto(s) que ocurre en el proceso de OD, un factor determinante es la naturaleza, la estructura y/o geometría del tejido a deshidratar que está dada por la especie, la variedad y el estado de madurez. La amplia variación de la física natural de la fruta afecta al comportamiento osmótico y al estado final de los productos deshidratados osmóticamente (Pointing, 1973; Islam y Flink, 1982; Lenart y Flink, 1984a). La gran variabilidad observada entre las diferentes frutas está en su mayor parte relacionada con la diferente compactación del tejido (Giangiacomo *et al.*, 1987), el contenido inicial de sólidos solubles e insolubles (Lenart y Flink, 1984a,b), tamaño y distribución de los espacios intercelulares, la presencia de gas, la relación entre las diferentes fracciones pécticas (pectina soluble en agua y protopectina) (Forni *et al.*, 1986), el nivel de gelificación de pectina (Moy *et al.*, 1978) y la actividad enzimática de la fruta (Giangiacomo *et al.*, 1987). Se ha observado que diferencias en la estructura de la materia prima, especialmente porosidad, afectan a los mecanismos de transporte implicados en la deshidratación osmótica (Fito *et al.*, 1994; Lazarides, 1998; Mavroudis *et al.*, 1998; Chiralt *et al.*, 1999), de forma que

cuanto mayor es la porosidad de la fruta mayor es la ganancia de sólidos.

La geometría y tamaño del producto, relacionados con la superficie específica, es otra de las variables importantes a controlar, ya que, grandes superficies específicas favorecen la pérdida de agua y la ganancia de sólidos (Lerici *et al.*, 1989; Torreggiani, 1993). A mayor superficie disponible para la OD, más eficaz será el proceso. Las geometrías que ofrecen una mayor relación superficie/volumen son las más comúnmente utilizadas (cubos, cilindros y esferas).

3.2.2. Naturaleza y concentración del agente osmótico

La naturaleza del agente osmótico es fundamental para definir el comportamiento del producto durante los procesos osmóticos de deshidratación. Se han utilizado, en diferentes trabajos, gran variedad de agentes osmóticos, principalmente azúcares, como sacarosa, maltosa, glucosa, fructosa, lactosa, maltodextrinas, y trealosa entre otros o mezclas de ellos. El impacto de los diferentes solutos en la cinética de deshidratación en función de la concentración utilizada ha sido objeto de estudio de varios autores (Le Maguer, 1988; Cháfer *et al.*, 2000). En función de su naturaleza y propiedades físicas (viscosidad, poder depresor de la a_w , etc), se observará un comportamiento u otro, ya que la interacción de los solutos con el agua y la matriz sólida del alimento será distinta (Cháfer *et al.*, 2001). Por otra parte, el tamaño de la molécula de soluto va a suponer una mayor o menor facilidad para difundir en la estructura compleja de los distintos productos. De los agentes osmóticos anteriormente mencionados, el más utilizado para la deshidratación de frutas es la sacarosa (Biswal y Bozorgmehr, 1992;

Barat *et al.*, 2001a) debido a su fácil accesibilidad y aceptable sabor, y por reducir el pardeamiento enzimático (Conway, *et al* 1983, Giraldo *et al.*, 2003). Un estudio realizado por Bolin *et al.*, (1983) utilizando diferentes disoluciones demostró que, la apreciación sensorial de catadores prefirió la sacarosa como agente osmótico.

Se ha observado a lo largo de los trabajos realizados con productos osmóticamente deshidratados que la concentración de las disoluciones osmóticas utilizadas juegan un papel muy importante en la velocidad del proceso de deshidratación, ya que define la fuerza impulsora para la transferencia de materia. De igual forma, la distinta viscosidad de la disolución, y de la fase líquida del alimento que va aumentando con el tiempo del proceso tiene un efecto importante en la velocidad del transporte (Martínez-Monzó *et al.*, 1998a; Cháfer *et al.*, 2001; Barat *et al.*, 2001b y c; Talens *et al.*, 2000 y 2001).

El uso de disoluciones de diferente concentración da lugar al desarrollo de diferentes perfiles de concentración en el tejido de las frutas (Albors *et al.*, 1998; Salvatori *et al.*, 1999 a y b). Cuando se tienen grandes fuerzas impulsoras, los tiempos de proceso son más cortos (se acelera la pérdida de agua y la ganancia de solutos) y las células superficiales de la muestra se deshidratan en gran proporción con respecto a las demás capas internas de células del tejido permanecen prácticamente sin alteración. Por el contrario, en condiciones más suaves, una parte mayor del tejido queda afectada, pero en menor intensidad. El nivel de afectación de las diferentes capas celulares estará asociado con su muerte o con un estrés más o menos intenso, el cual se verá reflejado en los procesos fisiológicos, pudiéndose desarrollar metabolitos, especialmente durante el almacenamiento, que podrían afectar la calidad del producto.

3.2.3. Temperatura de tratamiento

Varios autores han observado que la velocidad del proceso osmótico se ve significativamente afectada por el aumento de la temperatura (Lenart y Flink, 1984a; Conway *et al.*, 1983). Un incremento en la temperatura del proceso puede provocar un aumento de la velocidad de transferencia de materia, tanto en lo que se refiere a la salida de agua como a la entrada de sólidos solubles (Lazarides *et al.*, 1999; Lazarides, 2001). No obstante, la influencia de la temperatura no es uniforme en cualquier intervalo. Temperaturas comprendidas entre 20 y 40 °C son consideradas como las más óptimas porque no afectan la integridad de los tejidos, preservan la calidad nutricional del producto y son las de mayor interés a nivel económico (Lerici *et al.*, 1977). Por debajo de 40-50 °C las membranas celulares mantienen su funcionalidad limitando el transporte. Por encima de estas temperaturas la desnaturalización y la pérdida de la actividad biológica celular hacen el transporte mucho más rápido, pero tiene un efecto negativo sobre la estructura del tejido de la fruta y por tanto sobre su textura, así como sobre el sabor y el aroma (Lazarides, 2001; Barat *et al.*, 2001a). Youn *et al.*, (1996) afirman que el empleo de bajas temperaturas y elevadas concentraciones osmóticas favorece la retención de ácidos orgánicos y nutrientes. No obstante, en la mayoría de los casos se observa una escasa ganancia de azúcar, debido a la formación de una capa externa de células colapsada, que actúa como barrera impidiendo el flujo de componentes (Lazarides *et al.*, 1995). En este sentido el uso de altas temperaturas solo es indicado cuando se desea obtener productos con un alto contenido en sólidos solubles (Lazarides y Mavroudis, 1996).

3.2.4. Presión de trabajo

Durante el proceso de deshidratación osmótica, la presión de trabajo puede desempeñar un papel muy importante influyendo directamente en la cinética de transporte de materia del mismo. Es importante señalar que la relevancia de esta variable va ligada a la porosidad del producto a deshidratar. En los últimos años, numerosos trabajos se han centrado en analizar y comparar los resultados obtenidos de la deshidratación osmótica en frutas, con el intento de mejorar la calidad de los productos deshidratados, trabajando en condiciones de presión atmosférica (OD) y de vacío (VOD). Cuando se trabaja en condiciones de vacío, se observan cinéticas de transferencia de masa más rápidas debidas a la actuación del mecanismo hidrodinámico (descrito en el apartado 5 de este mismo capítulo), que aumenta la superficie de contacto de la fruta con la fase líquida externa (Hawkes y Flink, 1978; Dalla Rosa *et al.*, 1982; Fito y Pastor, 1994). El problema que presenta el empleo de ésta técnica es el aumento del costo del equipo. Sin embargo, si se tiene en cuenta que el mecanismo hidrodinámico (HDM) es muy rápido y sucede cuando se rompe el vacío del sistema, se puede aplicar la técnica de deshidratación osmótica por pulsos de vacío (PVOD) que permite rentabilizar el uso del tanque de vacío, al utilizarlo solo el primer período corto del proceso (Fito y Chiralt, 1995).

3.3. MECANISMOS DE TRANSPORTE DURANTE LA DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA

Los mecanismos del transporte de masa en el interior del tejido vegetal, sometido a tratamiento osmótico, pueden ser de tres tipos (Le Maguer, 1987):

- ✧ *El transporte apoplástico (AP), se realiza en el exterior de la membrana celular y puede visualizarse como una difusión de moléculas en la pared celular y los espacios intercelulares.*
- ✧ *El transporte simplástico (SP) se realiza en el interior del plasmalema y se caracteriza por el movimiento de moléculas de una célula a otra a través de delgados conductos (Plasmodesmos).*
- ✧ *El transporte transmembrana (TM), tiene lugar a través del mecanismo osmótico, es un intercambio entre el protoplasma y el espacio libre que comprende el espacio intercelular y la pared celular.*

El comportamiento del tejido vegetal es igual al de una sola célula. La velocidad de encogimiento o hinchamiento del tejido durante la OD dependerá tanto de la difusión extracelular como de la permeabilidad de la membrana celular, sin embargo, si se tiene en cuenta la interacción entre células, el cambio en el medio circundante repercutirá en las primeras capas de células, de esta forma, las más cercanas a la interfase estarán completamente plasmolizadas, mientras que aquellas más alejadas permanecerán completamente turgentes (figura 1.3.2.) (Le Maguer, 1997; Spiazzi y Mascheroni, 1997).

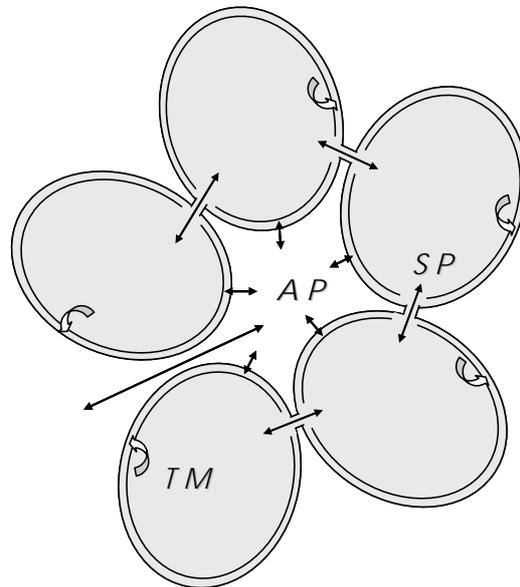


Figura I.3.1. Tipos de transporte en el tejido vegetal: Apoplástico (AP), simplástico (SP) y trans-membrana (TM). (Adaptado de Albers, 2002)

Algunos autores han demostrado que la membrana es parcialmente selectiva y algo del soluto puede atravesar la misma (Chirife, 1982; Lerici, *et al.*, 1988; Vial, *et al.*, 1991). Esto se debe a que la membrana y la pared celular en los productos vegetales, son unidades biológicas vivas que pueden encogerse o estirarse bajo la influencia del crecimiento o de la turgencia generada dentro de la célula (Bolin, *et al.*, 1983).

Vial, *et al.*, (1991) consideran que la acumulación del soluto (sacarosa) está aparentemente limitada a la periferia del alimento. Por su parte Isse & Schubert (1991) encontraron en el mango deshidratado osmóticamente que la sacarosa se localiza entre la pared y la membrana celular. Una elevada concentración en solutos puede provocar la ruptura de la estructura celular y alterar el

comportamiento en lo que respecta a la ganancia de sólidos y pérdidas de agua. En el caso de no producirse cambios en la estructura, se produce una mayor deshidratación y encogimiento de la célula, lo que obstaculiza significativamente los fenómenos de transporte (Lenart & Flink, 1984b) (figura 1.3.2.).

Alzamora, *et al.*, (1997) han descrito que, entre las mayores alteraciones que produce la DO sobre la estructura celular, destacan:

- El colapsamiento de la matriz porosa.
- La modificación de la pared celular.
- La pérdida de la funcionalidad de la membrana plasmática.
- La incapacidad del protoplasma para recuperar su volumen original.
- El encogimiento del tejido, etc.

Los mecanismos que actúan en la DO se pueden dividir en dos grupos (Fito, *et al.*, 1994, Chiralt y Fito, 2003); Recientemente se ha descrito que asociados a los mecanismos dependientes de los gradientes de concentración (denominados de forma genérica pseudodifusionales) y que comprenden el transporte transmembrana y el difusional en los espacios no compartimentados, actúan otros mecanismos de transporte dependientes de la presión, denominados mecanismos hidrodinámicos. Éstos se dan en los poros del tejido e incluyen la capilaridad y los flujos debidos a gradientes de presión en el sistema, generados por los cambios estructurales volumétricos.

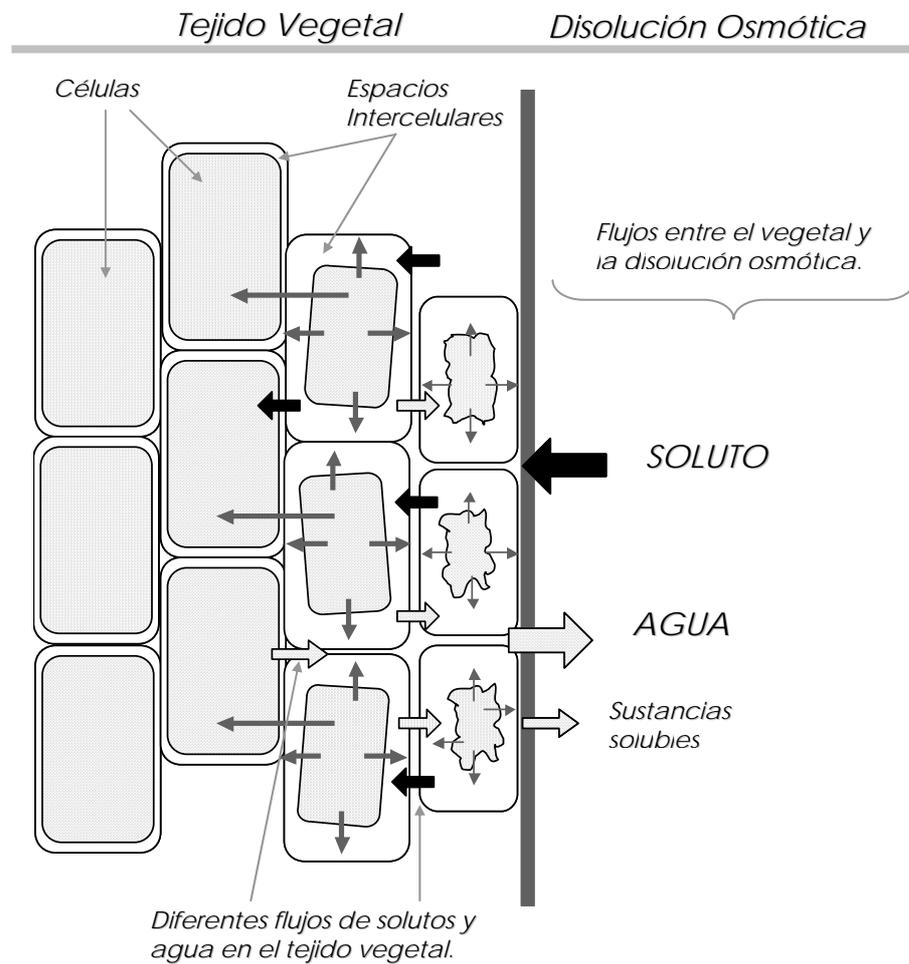


Figura I.3.2. Esquema de las diferentes rutas y mecanismos de transporte durante la deshidratación osmótica de tejidos vegetales (Adaptado de Spiazzi y Mascheroni, 1997)

En condiciones de presión atmosférica se solapan básicamente fenómenos de ósmosis y difusión, mientras que a bajas presiones o con variaciones en la presión se potencian el mecanismo hidrodinámico y la capilaridad. Le Maguer (1997) publicó algunos

resultados de la aplicación termodinámica de los procesos irreversibles para modelizar los flujos de agua y sal en el secado osmótico de cubos de zanahoria. También ha propuesto modelos simulando flujos de agua y soluto en los tejidos vegetales, teniendo en cuenta características de la membrana celular, como características estructurales y biofísicas del tejido y donde las leyes que rigen los fenómenos se apoyan en las leyes de Fick generalizadas. Las interacciones entre las células y su entorno, son descritas por las ecuaciones de transporte derivadas de la termodinámica de los procesos irreversibles.

3.4. APLICACIONES DE LA DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA

Son varias las aplicaciones del proceso de deshidratación osmótica de alimentos. Algunas de ellas se aplican ya de una forma generalizada, aunque se conocen con otro nombre, como es el caso del salado de alimentos. Sin embargo, existen otras posibles aplicaciones del proceso cuya viabilidad y modelización se está investigando actualmente.

En estudios realizados sobre la deshidratación osmótica de alimentos, se citan ventajas de ésta sobre los tratamientos tradicionales de secado por aire caliente, secado solar, etc, entre las cuales, se concretan algunas:

- Debido a que la ósmosis puede realizarse a bajas temperaturas, el daño en color y sabor en los alimentos se ve minimizado (Ponting *et al.*, 1966).
- Productos como las frutas, prolongan su periodo de almacenamiento, manteniendo a la vez el color, el sabor y la textura si se someten a deshidratación osmótica como

pretratamiento en los procesos de conservación por congelación (Lerici *et al.*, 1977; Huxoll, 1982; Andreotti *et al.*, 1985, Talens, 2002), secado por aire caliente (Pointing *et al.*, 1966; Giraldo, 2003), métodos combinados aire caliente y microondas (Contreras *et al.*, 2005), liofilización (Lerici *et al.*, 1977; Flink, 1980), pasteurización (Andreotti *et al.*, 1985; Torreggiani *et al.*, 1987).

- La alta concentración de soluto alrededor de la pieza previene el oscurecimiento, evitando así el uso de aditivos químicos como los sulfitos (Pointing *et al.*, 1966).
- El incremento de la relación azúcar/acidez mejora el sabor, sobretodo en productos como las frutas (Pointing *et al.*, 1966).
- La estructura de los alimentos se conserva mejor debido a que la eliminación del agua se realiza sin cambio de estado (Shipman *et al.*, 1972; Mazza, 1983; Lenart y Flink, 1984a; Mugaruma *et al.*, 1987).
- El proceso de deshidratación osmótica protege de la pérdida de ciertos nutrientes hidrosolubles, como es el caso de la vitamina C en las frutas (Heng *et al.*, 1990; García *et al.*, 1974; Islam y Flink, 1982; Uzuegbu y Ukeka, 1987).
- Cuando el alimento es sometido a una deshidratación osmótica previa al secado, es posible la reducción del tiempo del mismo, lo cual permite una reducción en los costos de producción (Levi *et al.*, 1983).
- La baja actividad de agua, principalmente en las superficies de los productos deshidratados osmóticamente, hace posible, en algunos casos y bajo condiciones de operación específicas, la inhibición del crecimiento microbiano (Fellows, 1988; Navarro y Corzo, 2000).

Además de su utilización como pretratamiento, la deshidratación osmótica tiene otras aplicaciones como la elaboración de alimentos de humedad intermedia, alimentos autoconservables, productos semiconfitados y productos semielaborados, presentando una excelente posibilidad para la exportación y aprovechamiento de frutas tropicales (Barat *et al.*, 1998).

4. IMPREGNACIÓN A VACÍO (IV)

La técnica de impregnación a vacío (IV) permite incorporar cualquier ingrediente en un producto poroso, modificando su composición para proveerle de cualidades que incrementen su calidad y proporcionarle cierta estabilidad. Ésta técnica permite un cambio rápido en la composición del tejido poroso debido a la sustitución de la fracción de gas por una disolución de composición adecuada. Esto implica por una parte, un nivel de desgasificación de la estructura porosa del alimento en función de la presión aplicada, y por otra, una penetración de líquido por capilaridad una vez alcanzado el equilibrio en el sistema, que hace que los espacios intercelulares o poros se llenen parcialmente de líquido (Fito, 1994). La técnica de IV se basa en la acción del mecanismo hidrodinámico.

4.1. MECANISMOS DE ACCIÓN: MODELO HIDRODINÁMICO

Basándose en la estructura porosa de algunos alimentos y en la existencia de gas ocluido en ésta, Fito y Pastor (1994), explicaron lo que se ha denominado "Mecanismo Hidrodinámico", principal mecanismo implicado en la operación de impregnación a vacío. Al someter el producto, inmerso en un líquido, a presiones

subatmosféricas, el gas de los poros sufre en primer lugar una expansión para equilibrarse con la presión impuesta al sistema, lo que implica por una parte, un nivel de desgasificación de la estructura porosa del alimento en función de la presión aplicada, y por otra, una penetración de líquido por capilaridad una vez alcanzado el equilibrio de presiones en el sistema.

En segundo lugar, la restauración de la presión atmosférica provoca un nuevo gradiente de presiones que va a actuar como fuerza impulsora y que hará que los espacios intercelulares se llenen, parcialmente de líquido. La cantidad de líquido que impregne la estructura, dependerá del nivel de desgasificación, y por tanto de la presión de trabajo. Esta penetración de líquido, producida por gradientes de presión, que actúan como fuerzas impulsoras, es reversible y está controlada por la compresión o expansión del gas ocluido en los espacios intercelulares.

Considerando un espacio intercelular como un cilindro de sección constante ocupado por gas, y aplicando la ecuación de Young-Laplace para determinar la presión capilar y la ecuación de Poiseuille para determinar la penetración de líquido debido al gradiente de presiones, puede obtenerse una ecuación que relaciona la relación de compresión real y la fracción volumétrica de líquido transferido a una muestra por actuación del mecanismo hidrodinámico (ecuación I.1.1.):

$$X = \varepsilon_e \left(1 - \frac{P_1}{P_2 + P_c} \right) \quad \text{I.1.1.}$$

Donde:

X:	Fracción volumétrica de líquido incorporada al sólido que se impregna (m^3 líquido/ m^3 sólido)
ϵ_e :	Porosidad eficaz o fracción volumétrica total de la muestra ocupada por gas (m^3 gas/ m^3 sólido)
P_1 :	Presión de vacío
P_2 :	Presión atmosférica
P_c :	Presión capilar

Algunos resultados obtenidos en deshidratación osmótica con impregnación a vacío previa (Fito y Pastor, 1994) ponen de manifiesto que los cambios de presión inducidos en el sistema provocan importantes cambios estructurales en el alimento que se impregna. Los resultados obtenidos indican que el HDM está acoplado a fenómenos de deformación relajación (DRP) en la matriz sólida, con propiedades viscoelásticas, del alimento poroso. La actuación del HDM y DRP, está muy afectada por la microestructura del alimento y sus propiedades mecánicas, lo que simultáneamente puede dar origen a importantes cambios en las propiedades físicas del producto (figura 1.4.1.).

La cantidad de líquido impregnado en el producto dependerá del nivel de desgasificación y, por tanto, de la presión de trabajo. Esta penetración de líquido puede ser reversible y está controlada por la compresión o expansión del gas ocluido en los poros (espacios intercelulares en la fruta).

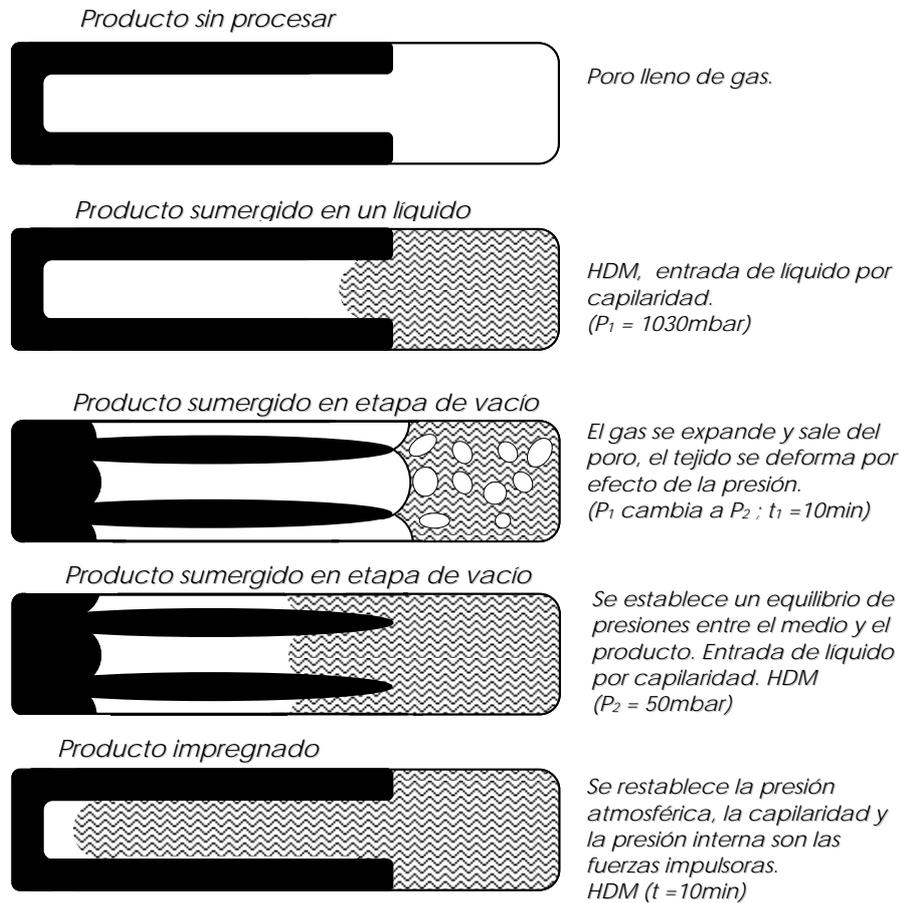


Figura I.4.1. Sistema sólido-líquido. Evolución de la deformación relajación y HDM en un poro ideal (Adaptado de Fito *et al.*, 1996)

También la composición de la disolución es un factor a considerar ya que por ejemplo, cuando el líquido de impregnación tiene una viscosidad elevada, la difusión a través de los espacios intercelulares se hace muy lenta (Martínez-Monzó *et al.*, 1998b). Por otro lado, las características intrínsecas del producto como su porosidad, tamaño

de los poros, características viscoelásticas del material, entre otros también juegan un papel importante.

4.2. APLICACIONES DE LA IMPREGNACIÓN A VACÍO

Las principales ventajas que ofrece la aplicación de vacío durante un corto tiempo al inicio del proceso de deshidratación osmótica, para provocar la impregnación con la disolución de trabajo, son (Chiralt *et al.*, 1999):

- Cinéticas de transferencia de masa más rápidas.
- Mayor ganancia de solutos (sal, azúcar, etc.) en tiempos cortos
- Mejor conservación del color y mejora del mismo en algunos productos.
- Conservación del sabor y aroma del producto fresco, al permitir trabajar a bajas temperaturas sin incrementos importantes del tiempo de proceso.

Entre las distintas aplicaciones de interés que presenta el empleo de la impregnación a vacío destacan:

- El salado de quesos por impregnación (Chiralt y Fito, 1997; González *et al.*, 1999), que requiere tiempos más cortos de procesado y permite la eliminación de las grandes balsas de salmuera de que disponen hoy en día las industrias (esto supone grandes ventajas a nivel de producción industrial por la reducción de vertidos, tiempo y espacio).
- El mejoramiento de la textura o el color de frutas mediante la adición de sales de calcio o antipardeantes. Se ha utilizado para introducir sales de calcio en disolución en el interior de manzanas

peladas, tomates y patatas, como un pre-tratamiento para incrementar la firmeza del tejido parenquimático (Drake y Spayd, 1983).

- En la adición de crioestabilizantes o crioprotectores a frutas en tratamientos previos a la congelación (Ayala, 2001, Talens *et al.*, 2002b).
- En el salado de carnes y pescados (Barat *et al.*, 2001c; Andrés *et al.*, 2001a; Larrazabal, 2005).
- Permitiendo la posibilidad de incorporar en el tejido poroso de las frutas y vegetales productos de interés nutricional (Fito *et al.*, 2001a; Betoret, 2002; Puente, 2003; Cortés, 2004; Arroyave, 2006).
- En la obtención de productos confitados de mango (Giraldo *et al.*, 2003).
- Como pre-tratamiento durante la preparación de productos secos por aire o por secado, combinando aire con microondas (debido a los cambios que induce el tratamiento en el comportamiento dieléctrico y de secado de materiales) (Fito *et al.*, 1999; Fito *et al.*, 2001b; Martín *et al.*, 1999 y 2001; Contreras, 2006).
- En la obtención de frutas mínimamente procesada (Moreno *et al.*, 2000; Ceballos, 2006, Torres *et al.*, 2006, 2007).

4.3. DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA CON PULSO DE VACÍO (PVOD)

Como se ha mencionado en anteriores apartados, la operación de deshidratación osmótica puede llevarse a cabo a presión atmosférica, a vacío o con un pulso de vacío al principio del tratamiento, restaurando posteriormente la presión atmosférica. Esta última operación, que se ha venido desarrollando en los últimos años,

se basa en la restauración de la presión atmosférica una vez expulsado el gas del interior de los poros en condiciones de vacío.

Con la deshidratación osmótica con pulso de vacío (PVOD) el efecto del mecanismo hidrodinámico se consigue en un corto tiempo durante el que se aplica vacío, al restituir la presión atmosférica; cuando ocurre la entrada del líquido externo en los poros del tejido (Fito y Chiralt, 2000; Escriche *et al.*, 2000b, Giraldo *et al.*, 2003). El aplicar este procedimiento permite manejar las ventajas de la deshidratación osmótica a vacío frente a la deshidratación osmótica convencional, pero con un equipamiento más sencillo puesto que el proceso transcurre la mayor parte del tiempo a presión atmosférica y no a vacío. Esto implica un abaratamiento en el proceso industrial al utilizarse un equipo más sencillo y un ahorro de energía al no tener que mantener las condiciones de vacío durante todo el proceso (Chiralt *et al.*, 1999). En muchos casos se obtiene una mejor conservación del color (Moreno *et al.*, 2000; Martínez-Monzó *et al.*, 2001) e incluso la mejora del mismo en algunos productos y se consiguen una mejor preservación de la microestructura y textura en frutas mínimamente procesadas (Martínez-Monzó, *et al.*, 1998b, Moreno *et al.*, 2000; Alzamora *et al.*, 1997 y 2000), así como una buena conservación del sabor y aroma (Escriche *et al.*, 2000a,b; Talens *et al.*, 2003), al permitir trabajar a bajas temperaturas sin incrementos importantes del tiempo de proceso.

5. PAPEL DEL CALCIO EN LA ELABORACIÓN DE PRODUCTOS HORTOFRUTÍCOLAS MÍNIMAMENTE PROCESADOS

Como se ha mencionado en anteriores apartados, las sales de calcio forman parte del gran conjunto de agentes mejoradores y/o conservantes de las características nutricionales y de calidad de las frutas y vegetales mínimamente procesados. Cabe resaltar su gran importancia tanto en el ámbito sensorial (como agente mejorador de textura y antipardeante) como en el nutricional. Por esto, las sales de calcio son señaladas como una alternativa más para los tratamientos post-cosecha y para el diseño de nuevos productos.

Algunas de las características que deben tener estas sales, para ser consideradas como parte de las materias primas, en el diseño de un producto hortofrutícola mínimamente procesado, son:

- ✧ *alta solubilidad: Cuanto más soluble es una sal, tanto más eficaz es en términos de absorción y biodisponibilidad. Es importante la solubilidad de la sal en la zona gastrointestinal (en relación con el pH). Esta solubilidad puede ser muy distinta de la solubilidad de la sal en el agua.*
- ✧ *Sabor: No debe presentar sabores indeseables para el consumidor ("sabor a medicina"), ni alterar los sabores originales del alimento.*
- ✧ *Calificación GRAS: Debe estar dentro de la lista de aditivos evaluados como GRAS. Éste calificativo se atribuye a las sustancias "Generalmente Reconocidas como Seguras".*

5.1. IMPORTANCIA DEL CALCIO EN LA SALUD HUMANA

El calcio (Ca) es un mineral perteneciente al grupo de los macro elementos. Es el mineral que se encuentra en mayor cantidad en el organismo, principalmente en huesos y dientes. Se encuentra mayoritariamente en los productos lácteos, que causan en ocasiones problemas de intolerancia digestiva, en algunas hortalizas y leguminosas, en las espinas de los pescados en conserva, y en los pescados pequeños cuando se consumen enteros. El calcio es un mineral cuya presencia en la dieta es importante en muchas etapas de la vida. Las principales funciones del calcio son las siguientes (Bello, 1995):

- ✧ *Función estructural: más del 90% del calcio que se encuentra en el cuerpo forma parte del tejido óseo, en forma de fosfato y carbonato.*
- ✧ *Coagulación sanguínea: el ión Ca^{2+} interviene en la activación de la protrombina y en la transformación del fibrinógeno soluble en fibrina.*
- ✧ *Contracción muscular: el calcio también mantiene la actividad neuromuscular, así como los procesos de acortamiento y contracción muscular.*
- ✧ *Otras funciones del calcio: En la síntesis de prostaglandinas y de enzimas hormonales, en la regulación de la respuesta frente a diferentes estímulos, etc.*

Un déficit de calcio puede dar lugar a diversas enfermedades, como hipertensión, cáncer de colon, osteomalacia, y osteoporosis, entre otras, siendo la osteoporosis una de las más importantes, ya que afecta a un amplio sector de la población, fundamentalmente

personas de edad avanzada y mujeres que han alcanzado la menopausia. La osteoporosis también puede darse en mujeres embarazadas, durante el período de gestación o en madres lactantes, aunque en menor proporción. Esta enfermedad se debe a la falta de calcio en el hueso, originando en consecuencia la fragilidad del mismo (Steinmetz e Ingelheim 1999). Los niños en edad escolar pueden presentar un déficit de calcio, debido principalmente a las alergias (intolerancia a la lactosa), o por el rechazo de productos que presentan un elevado contenido en calcio, como queso, leche, productos lácteos en general, y algunas hortalizas y leguminosas. Los atletas también pueden presentar un déficit de calcio por la mayor pérdida de minerales ocasionada por la sudoración. La principal razón de los déficit de calcio y magnesio reside en general en el mal hábito alimenticio de los consumidores: consumo excesivo de comidas enlatadas y/o preparadas, y "nueva" moda de las comidas rápidas. Todo esto hace que el consumidor esté muy preocupado e interesado en mejorar su ingesta de calcio y magnesio con alimentos de diseño enriquecidos en estos minerales (Steinmetz e Ingelheim, 1999).

5.2. EL LACTATO CÁLCICO

Por sus adecuadas características sensoriales, solubilidad y biodisponibilidad, se ha optado por el lactato cálcico (L_{Ca}) como sustancia enriquecedora en calcio, para el desarrollo de los productos obtenidos en este trabajo. Según Ranhotra *et al.* (1997) y Assoumani (1998), algunas características del lactato cálcico y de sus usos son las siguientes:

- ✧ *Sus propiedades físico-químicas, fisiológicas, nutricionales, antibacterianas, depresoras de la actividad del agua, antioxidantes, gelificantes, y su buena solubilidad, hacen que sea aplicado a carnes (para su ablandamiento), frutas, hortalizas, en la industria de la panificación (como inhibidor del pardeamiento enzimático), y en la fabricación de medicinas.*
- ✧ *De acuerdo con el "Code of Federal Regulations (CFR), v. 21, Section 184.1207" (49 FR 35367, Sept. 7, 1984), está considerado como una sustancia GRAS (Substances Generally Recognized as Safe) (FDA, 2006).*
- ✧ *Tiene una buena biodisponibilidad. Normalmente, menos del 50% del calcio de la dieta es absorbido por el cuerpo y depositado en los huesos. Estudios realizados con animales han demostrado que el lactato cálcico presenta una buena absorción, y aumenta el porcentaje de calcio en los huesos.*
- ✧ *Otros estudios realizados demuestran que productos prebióticos como la inulina y la oligofructosa estimulan la acción de los enzimas digestivos y favorecen la absorción del calcio en forma de LCa. Además, puede encontrarse con facilidad en el mercado y su precio no es excesivamente elevado.*

5.3. EFECTO DEL CALCIO EN LA ESTRUCTURA DEL TEJIDO VEGETAL

El efecto del calcio sobre el tejido vegetal ha sido objeto de numerosos estudios. El calcio puede actuar en las plantas bajo dos formas: como un puente de unión intermolecular en la estabilización de la pectina-proteína en la lámina media de los

tejidos vegetales (Ginzburg, 1961), y como cofactor de varias enzimas (Barceló *et al.*, 1992).

Tradicionalmente, el calcio ha sido asociado a la estructura de la pared celular, siendo este un componente esencial en el mantenimiento de la estructura y el funcionamiento de las paredes y membranas celulares (Izumi y Watada, 1996). El mantenimiento de la estructura de la pared celular depende particularmente del enlace del calcio con los componentes pécticos de la lámina media (formando el pectato cálcico) (Bangerth, 1979; Poovaiah, 1986a y b). El complejo calcio-pectina actúa como un cemento intracelular que proporciona firmeza al tejido vegetal (Alonso *et al.*, 1995). Los ácidos pécticos de las paredes celulares fijan grandes cantidades de calcio. Se puede encontrar hasta un 70% del contenido en calcio de una planta inmovilizado sobre las paredes (Mazliak, 1976).

El enlace del calcio a las pectinas se produce a través de la unión del grupo carboxílico o de los grupos hidroxílicos a diversos polisacáridos, mediante uniones electrostáticas o coordinadas formando una red que incrementa su fuerza mecánica (Van Buren, 1979). El calcio puede alterar la estructura de la membrana debido a su habilidad para inducir una distribución asimétrica negativa de los fosfolípidos en la bicapa de la membrana (Krebs *et al.*, 1979) y alterar la fluidez de la misma (Paliyath *et al.*, 1984). Asimismo, los iones de calcio también pueden contribuir a la firmeza del tejido mediante un incremento en la integridad de la membrana, consiguiéndose el mantenimiento o aumento de la presión de turgencia en la célula (Mignani *et al.*, 1995).

Según el modelo de "*la caja de huevos*" (Figura I.4.2.) (Grant 1973; Brett y Waldrom 1990), la asociación entre las pectinas de

bajo grado de metilación y los iones de calcio provoca la formación de estructuras poliméricas con alta reticulación. Como consecuencia, los productos vegetales que contienen pectinas con un grado bajo de metilación, después de los tratamientos con calcio, muestran consistencias más altas o, si es fluido, un incremento en la viscosidad aparente (Van Buren, 1979; Guillou *et al.*, 1992). De forma similar, hay que indicar que otros componentes de la pared celular, como la lignina y la celulosa, presentan también una afinidad considerable por los iones calcio.

Micrografías electrónicas de paredes celulares de frutas tratadas con calcio muestran un denso paquete de fibrillas y la lámina media es visible como una región más densa electrónicamente. En las paredes celulares de frutas sin tratar se observó una disolución de la región de la lámina media y, en general, una mayor ruptura de la estructura de la pared celular (Glenn *et al.*, 1988), lo cual confirma la actuación del calcio como un agente ligador intermolecular estabilizando los complejos pectina-proteína de la lámina media (Brinson *et al.*, 1988).

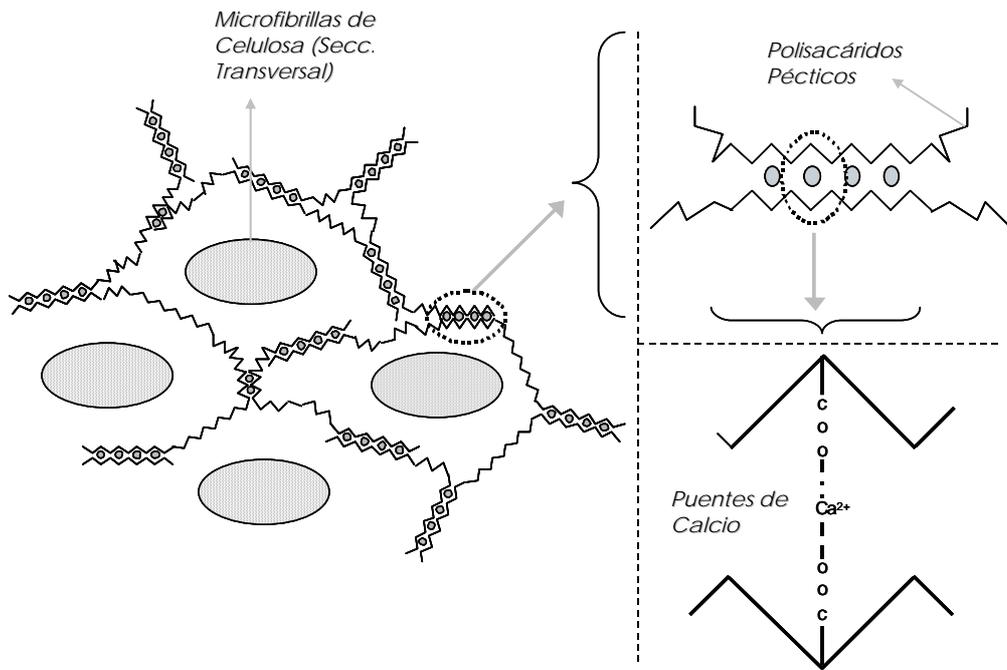


Figura I.4.2. Papel del calcio en la estructura de la pared celular (Modelo de la "Caja de Huevos") (Adaptado de Grant, 1973 ; y de Brett 1990)

II. OBJETIVOS Y PLAN DE TRABAJO

1. OBJETIVOS

1.1. OBJETIVO GENERAL

El objetivo general de este trabajo consiste en analizar el efecto de los tratamientos osmóticos llevados a cabo en diferentes condiciones (Diferente concentración de las disoluciones osmóticas, realizados a presión atmosférica o con aplicación de pulso de vacío al inicio del tratamiento, y la adición o no de lactato de calcio) en diferentes propiedades relacionadas con la calidad y la conservación de mango mínimamente procesado y refrigerado a 10 °C.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✧ *Analizar el efecto de los tratamientos osmóticos en las propiedades mecánicas del mango mínimamente procesado (hasta una concentración de 30 °Brix), en condiciones de proceso: Presión de trabajo (Aplicación o no de pulso de vacío), concentración de la disolución osmótica (45 y 65 °Brix), y concentración de lactato de calcio en la disolución de trabajo (0, 1 y 2%).*

- ✧ *Estudiar el efecto en el perfil de volátiles del mango mínimamente procesado, de los tratamientos osmóticos con diferentes condiciones: Presión de trabajo (aplicación o no de pulso de vacío), concentración de la disolución osmótica (35, 45, 55 y 65 °Brix) y nivel de deshidratación (20 y 30 °Brix en la fase líquida del producto)*

II. OBJETIVOS Y PLAN DE TRABAJO

- ✧ *Evaluar el efecto en la aceptación sensorial del mango mínimamente procesado (hasta una concentración de 20 °Brix), de los tratamientos osmóticos con diferentes condiciones: Presión de trabajo (aplicación o no de pulso de vacío), concentración de la disolución osmótica (45 y 55 °Brix) y adición o no de lactato de calcio.*

- ✧ *Analizar el efecto de los tratamientos osmóticos en las propiedades físicas (Textura y Color), la respiración, la calidad microbiológica y el perfil de volátiles, durante el almacenamiento de mango mínimamente procesado.*

2. PLAN DE TRABAJO

2.1. Efecto de los tratamientos osmóticos y de las variables de proceso en las propiedades mecánicas.

- ✧ *Diseño experimental de los tratamientos osmóticos con las variables de proceso correspondientes (presión de trabajo: aplicación o no de pulso de vacío; concentración de la disolución osmótica: 45 y 65 °Brix; y concentración de lactato de calcio en la disolución de trabajo: 0, 1 y 2%) y realización de los experimentos correspondientes, hasta obtener una concentración de 30 °Brix en la fase líquida del producto final.*
- ✧ *Caracterización de las propiedades fisicoquímicas, mecánicas, y del contenido en calcio en la materia prima.*
- ✧ *Aplicación de los tratamientos seleccionados y estudio de las propiedades fisicoquímicas, mecánicas, y del contenido en calcio en las muestras procesadas.*
- ✧ *Análisis de las variaciones de peso, contenido de agua y de sólidos solubles en las muestras procesadas.*
- ✧ *Análisis de los parámetros mecánicos de las muestras frescas y de las muestras tratadas.*
- ✧ *Tratamiento de datos.*

2.2. Efecto de los tratamientos osmóticos y las variables de proceso en el perfil de volátiles.

- ✧ *Diseño experimental de los tratamientos osmóticos con las variables de proceso correspondientes (presión de trabajo: aplicación o no de pulso de vacío; concentración de la disolución osmótica: concentración de la disolución osmótica:*

35, 45, 55 y 65 °Brix; y nivel de deshidratación: 20 y 30 °Brix en la fase líquida del producto final) y realización de los experimentos correspondientes.

- ✧ *Caracterización de las propiedades fisicoquímicas y del perfil de volátiles en la materia prima.*
- ✧ *Aplicación de los tratamientos seleccionados y estudio de las propiedades fisicoquímicas y del perfil de volátiles en las muestras procesadas.*
- ✧ *Análisis de las variaciones de peso, contenido de agua y de sólidos solubles en las muestras procesadas.*
- ✧ *Análisis de la variación de los compuestos volátiles en las muestras tratadas.*
- ✧ *Tratamiento de datos.*

2.3. Aceptación sensorial del mango mínimamente procesado

- ✧ *Diseño experimental de los tratamientos osmóticos con las variables de proceso correspondientes (presión de trabajo: aplicación o no de pulso de vacío; concentración de la disolución osmótica: 45 y 55 °Brix; y adición o no de lactato de calcio) y realización de los experimentos correspondientes, hasta obtener una concentración de 20 °Brix en la fase líquida del producto final.*
- ✧ *Aplicación de los tratamientos seleccionados.*
- ✧ *Ejecución del análisis sensorial en las muestras procesadas: Comparación pareada múltiple.*
- ✧ *Aplicación del Test de Friedman para el análisis de resultados.*
- ✧ *Tratamiento de datos.*

2.4. Efecto de los tratamientos osmóticos y las variables de proceso en algunos factores de calidad del mango mínimamente procesado durante el almacenamiento.

- ✧ *Diseño experimental de los tratamientos osmóticos con las variables de proceso correspondientes (presión de trabajo: aplicación o no de pulso de vacío; y adición o no de lactato de calcio) y realización de los experimentos correspondientes, hasta obtener una concentración de 20 °Brix en la fase líquida del producto final, y almacenamiento a 10 °C.*
- ✧ *Caracterización de los parámetros físicos (color y propiedades mecánicas), del contenido en calcio, de la tasa respiratoria, de la carga microbiana y del perfil de volátiles, en la materia prima.*
- ✧ *Aplicación de los tratamientos seleccionados, y estudio, en las muestras procesadas, en cuanto a la evolución durante el almacenamiento de: Parámetros físicos (color y propiedades mecánicas), contenido en calcio, tasa respiratoria, estabilidad microbiológica y perfil de volátiles.*
- ✧ *Tratamiento de datos.*

III. MATERIALES Y MÉTODOS GENERALES

En este apartado se describen las operaciones previas, a las que se somete la materia prima, antes de los tratamientos osmóticos, así como todo lo referente a la operación de deshidratación osmótica y las variables de proceso de dicha operación. También se describen los análisis fisicoquímicos a los que se someten las muestras. Estos aspectos son comunes a todos los capítulos de la tesis.

1. MATERIA PRIMA

1.1. ELECCIÓN DE LA MATERIA PRIMA

Las experiencias se realizaron utilizando mangos de la variedad *Kent*, adquiridos en un mercado local de distribución mayorista, constatando que todas las piezas provinieran del mismo lote. Los mangos fueron seleccionados teniendo en cuenta parámetros de madurez aparente (color observado y textura al tacto). Se verificó que las piezas estuviesen libres de defectos como daños por frío, daños por insectos, golpes y fisuras. Los mangos se transportaban rápidamente a los laboratorios de la Universidad Politécnica de Valencia, y se almacenaban en refrigeración a 10 °C hasta el momento del procesamiento (máximo 2 días).

1.2. OBTENCIÓN DE LAS MUESTRAS

Los mangos sin pelar fueron sometidos a un proceso de limpieza y desinfección, el cual se describe a continuación:

- ✧ *Eliminación de la suciedad visible con agua corriente.*

- ✧ *Inmersión de las piezas durante 2 minutos, en disolución de hipoclorito de sodio al 0.5% (p/v). Para la preparación de la disolución de desinfección se empleó agua corriente refrigerada previamente a 5 °C.*
- ✧ *Eliminación de los restos de disolución desinfectante, con agua corriente.*

Todos los instrumentos empleados para la manipulación de las frutas, fueron limpiados con agua corriente y jabón, y desinfectados con la misma disolución.

Los mangos fueron pelados con un pelador de patatas, para eliminar la menor cantidad de mesocarpio (carne) y minimizar el daño por pelado. Se realizaban dos cortes longitudinales, llegando lo más cerca posible al hueso, obteniendo así la mayor cantidad de mesocarpio. De los dos trozos obtenidos de cada pieza se extraían cilindros de 2.0 cm de diámetro por 1.5 cm de altura, empleando para ello un sacabocados metálico (figura III.1.1.). De cada pieza se sacaban de 20-24 cilindros aproximadamente, dependiendo del tamaño del mango. Los cilindros se utilizaban para la caracterización de la fruta fresca, y para la realización de los diferentes tratamientos de deshidratación osmótica.

Para minimizar los efectos de la variabilidad natural del mango, debida factores intrínsecos y extrínsecos del fruto como: Origen, lote, método de conservación, y cultivar, entre otros; se llevaba a cabo un método de muestreo que contemplaba la obtención de al menos 1 cilindro de cada uno de los mangos en una determinada muestra. Cada experiencia de deshidratación osmótica se llevaba a cabo con un número determinado de cilindros, que en conjunto constituía una

muestra; cada muestra estaba formada por cilindros los de diferentes mangos.

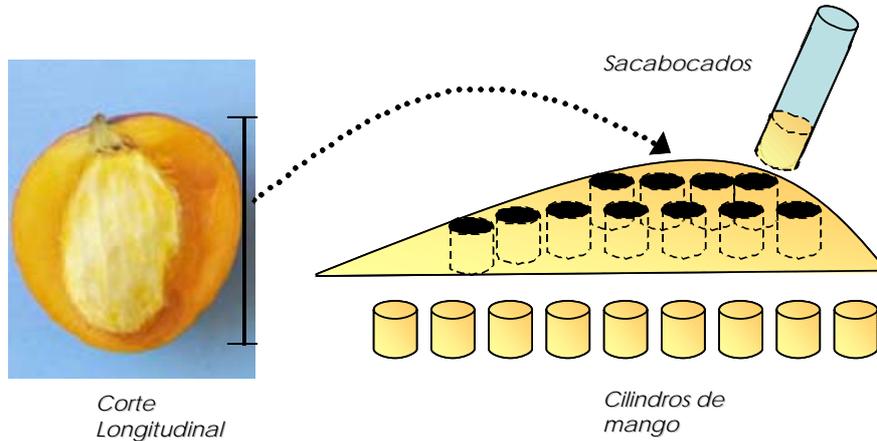


Figura III.1.1. Corte del mango y obtención de cilindros.

2. DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA Y APLICACIÓN DE PULSO DE VACÍO

2.1. DISOLUCIONES DE TRABAJO

Como agente osmótico se emplearon disoluciones de sacarosa (azúcar comercial adquirida en mercados locales), y disoluciones de sacarosa + lactato de calcio 5 hidrato E-327, F.C.C. (PANREAC, Barcelona, España), preparados en agua destilada, empleando para ello recipientes plásticos de 5 L, agitadores (SBS INSTRUMENTS mod. AB-13) y un baño termostático (P-SELECTA mod. PRECISTERM S-141) para facilitar la disolución. La concentración en °Brix de sacarosa y el porcentaje de lactato de calcio en las disoluciones, variaban en función del diseño experimental. Para evitar cambios significativos en la concentración de las disoluciones, debido al intercambio de materia que se produce durante el proceso (flujo de

agua desde el producto a la disolución y entrada de disolución concentrada en el producto), se empleó una relación mínima de fruta:disolución de 1:20.

2.2. DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA (OD)

La deshidratación osmótica se llevó a cabo, por inmersión de las diferentes muestras (conjuntos de cilindros de mango) en las disoluciones, empleando para ello cestas de malla de plástico compartimentadas, de geometría circular, con capacidad de 30 cilindros por cesta. El proceso de deshidratación se realizó en los mismos recipientes donde se prepararon las disoluciones, en condiciones de temperatura y agitación controlada (30 °C y 90 rpm); utilizando los equipos mencionados en la preparación de las disoluciones. El tiempo de proceso (necesario para alcanzar la concentración deseada de °Brix, en la fase líquida del producto final), se estimó teniendo en cuenta los resultados de estudios cinéticos realizados previamente por otros autores (Giraldo *et al.*, 2003) en mangos de la misma variedad.

2.3. APLICACIÓN DE PULSO DE VACÍO

En las experiencias en las que se aplicaba el pulso de vacío, éste se llevaba a cabo antes de iniciar la operación de deshidratación osmótica (PVOD). Las muestras se sumergían en las disoluciones; después, los recipientes con las muestras en su interior, se introdujeron en un equipo de impregnación a vacío a nivel de planta piloto, diseñado en el Departamento de Tecnología de Alimentos de la Universidad Politécnica de Valencia (Fito *et al.*, 1996); conformado

por una cámara de vacío donde las presiones subatmosféricas se consiguen mediante una bomba de anillo líquido para vacío elevado (SIHI LOHE-25007 BN131.010) conectada al sistema, y un panel de control que permite regular la presión de trabajo. La presión de vacío fue de 50 mbar, y ésta se mantuvo durante 10 min. Al reestablecer la presión atmosférica, las muestras fueron sometidas a los tratamientos de OD como se menciona en el anterior apartado.

3. ANÁLISIS FISICOQUÍMICOS

Los análisis fisicoquímicos (actividad de agua (a_w), humedad (x_w), sólidos solubles (x_s)) y las variaciones de masa (ΔM), humedad (ΔM_w) y sólidos solubles (ΔM_s), que se describen en este apartado; son comunes a todos los estudios realizados en esta tesis.

3.1. DETERMINACIÓN DE LA ACTIVIDAD DE AGUA (a_w)

Las determinaciones de a_w se realizaron en un intervalo de temperatura comprendido entre 25 y 35 °C, empleando para ello un higrómetro de punto de rocío marca "Decagon", modelo CX-3, con una sensibilidad de ± 0.001 , el cual se había calibrado previamente con disolución saturada de dicromato de potasio.

Las muestras se homogenizaron previamente con un equipo Ultra-Turrax a 9500 rpm y se colocaron en las cajas porta-muestras que acompañan al equipo. Se realizaron mediciones hasta obtener un valor constante que se repitiera 3 veces consecutivas; y se tomaron 3 muestras para obtener un valor promedio de las muestras frescas y también de cada tratamiento.

3.2. DETERMINACIÓN DE HUMEDAD

Las medidas del contenido en agua fueron efectuadas mediante una modificación del método oficial 20.013 (AOAC, 1980) para frutas ricas en azúcares. Este método consiste en la determinación de la pérdida de peso de la muestra, mediante desecación de la misma en una estufa de vacío ($P = 10 \text{ mm Hg}$), a una temperatura no superior a $63 \text{ }^\circ\text{C}$, dejando secar hasta peso constante. Una vez transcurrido el tiempo de secado de las muestras (4 días), éstas fueron enfriadas (en desecador con una base de sílica gel) y pesadas. La variación de peso fue medida en una balanza analítica METTLER AE 100 de precisión 0.1 mg . Las modificaciones al método oficial fueron:

- ✧ *Una cantidad de muestra previamente homogenizada en Ultra-Turrax de 0.5 g aprox. y colocada en un pesa sustancias.*
- ✧ *Tiempo de permanencia en la estufa de vacío de 4 días, en vez de 24 horas como señala el método oficial. Esto se realiza para asegurar un peso constante debido a la pequeña cantidad de muestra que se ha tomado y la facilidad de esta para captar humedad.*
- ✧ *la composición en agua se expresó en términos de fracción másica según:*

$$x_w = \frac{m_1 - m_2}{m_1 - m_0} \left[\frac{\text{g agua}}{\text{g muestra}} \right] \quad (\text{III.1.})$$

Donde:

- m_0 : Masa recipiente (g)
- m_1 : Masa del recipiente con muestra húmeda (g)
- m_2 : Masa del recipiente con muestra seca (g)

3.3. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO EN SÓLIDOS SOLUBLES

La determinación de sólidos solubles se realizó por refractometría (°Brix) en las muestras homogenizadas previamente con Ultra-Turrax. Para la determinación se empleó un refractómetro ABBE ATAGO 89553 de Zeiss, con una sensibilidad de 0.01 °Brix; termostatado a 20 °C. La lectura de Brix (Bx) corresponde al contenido en sólidos solubles en la fracción líquida de la muestra, expresada en tanto por cien (Z_s).

$$Bx = Z_s 100 \left[\frac{\text{g sólidos solubles}}{\text{g fracción líquida}} \% \right] \quad (\text{III.2.})$$

Donde:

- Bx : Brix
- Z_s : Fracción líquida de la muestra

La composición de sólidos solubles puede ahora referirse, en términos de fracciones másicas, respecto a la composición global (fracción líquida + matriz sólida) mediante la expresión:

$$x_s = \frac{Z_s x_w}{(1 - Z_s)} \left[\frac{\text{g sólidos sol.}}{\text{g totales}} \right] \quad (\text{III.3.})$$

Donde:

X_S :	Fracción másica de sólidos solubles (g/g)
Z_S :	Porcentaje de sólidos solubles en la fase líquida
X_W :	Fracción másica de agua (g/g)

3.4. VARIACIÓN DE MASA

Se determinó la variación de masa de cada muestra, realizando una medición del peso antes y después de cada tratamiento, para ello se empleó una balanza de precisión 0.01 g la ecuación que se empleó para calcular la variación de masa es la siguiente:

$$\Delta M = \frac{M_f - M_o}{M_o} \left[\frac{g \text{ producto}}{g \text{ mat. fresca}} \right] \quad (\text{III.4.})$$

Donde:

ΔM :	Variación de masa
M_o :	Peso inicial (g de materia fresca)
M_f :	Peso final (g de producto)

3.5. VARIACIÓN DE AGUA Y SÓLIDOS SOLUBLES

Para calcular las ganancias netas de agua (ΔM_w) y de solutos (ΔM_s), se tuvo en cuenta las siguientes expresiones:

$$\Delta M_w = \frac{(M^f x_w^f) - (M^o x_w^o)}{M^o} \left[\frac{g \text{ agua}}{g \text{ mat. fresca}} \right] \quad (\text{III.5.})$$

$$\Delta M_s = \frac{(M^f x_s^f) - (M^o x_s^o)}{M^o} \left[\frac{\text{g sólidos sol.}}{\text{g mat. fresca}} \right] \quad (\text{III.6.})$$

Donde:

- M^o : Masa inicial (muestra) (g)
- M^f : Masa final (producto) (g)
- x_w^o : Fracción másica inicial de agua (g/g)
- x_w^f : Fracción másica final de agua (g/g)
- x_s^o : Fracción másica inicial de sólidos solubles (g/g)
- x_s^f : Fracción másica final de sólidos solubles (g/g)

Para todas las experiencias se comprobaron los balances de materia mediante la siguiente expresión:

$$\Delta M = \Delta M_w + \Delta M_s \quad \text{III.7.}$$

**IV. INFLUENCIA DE LOS TRATAMIENTO
OSMÓTICOS EN EL PERFIL DE VOLÁTILES,
LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y LA
ACEPTACIÓN SENSORIAL DEL MANGO
MÍNIMAMENTE PROCESADO**

1. EFECTO DE LOS TRATAMIENTOS OSMÓTICOS EN EL PERFIL DE VOLÁTILES

1.1. INTRODUCCIÓN

El aroma, del latín "aröma" y del griego "aröma", es un término muy utilizado, especialmente en su acepción sensorial. Se trata de la propiedad organoléptica percibida por el epitelio olfatorio, zona restringida a unos pocos centímetros cuadrados, que contiene unos cinco millones de neuronas olfatorias. El concepto aroma no es únicamente aplicable a una sensación placentera en nuestro organismo, sino a todas aquellas que estimulan dichas neuronas. Cuando se habla de la percepción por el ser humano, el concepto del aroma, percibido por los receptores de la nariz, se tiene que combinar con el concepto del gusto, cuyos receptores se encuentran en la boca. La combinación de ambas percepciones constituye el flavor. Los consumidores consideran el flavor como una de las propiedades sensoriales decisivas para la selección, aceptación e ingestión de un alimento. Una propiedad característica del sentido del olfato es la valoración automática de la sensación producida. Ésta valoración, quizá relacionada con la asociación del olor a aspectos emotivos, como experiencias pasadas o recuerdos, puede cambiar con las circunstancias propias de cada persona, pero existen olores que el cerebro procesa automáticamente como "malos" o como "buenos", lo que puede, en el caso de los alimentos, ser la base para su aceptación o rechazo. El estudio del aroma de los alimentos se encuentra con diversos problemas, entre los que podemos incluir el hecho de tratar con conceptos difícilmente medibles como calidad e intensidad, los problemas de comunicar la sensación percibida, la

dificultad o imposibilidad de ciertas personas para percibir determinados aromas, el elevado número de olores que puede registrar la nariz humana y la complejidad de su clasificación. Para tener en cuenta estas sensaciones de forma objetiva, en los últimos años se ha venido estudiando la caracterización olfatoria a través de perfiles descriptivos que permiten, por un lado, la descripción sensorial de los aromas y, por otro, su evolución cualitativa.

Es así como el estudio de los aromas puede también abordarse buscando conocer los compuestos químicos que contribuyen a él. Teniendo esto en cuenta; los compuestos aromáticos tienen una serie de características, que son responsables de la capacidad de percepción por el ser humano. En primer lugar, deben poderse liberar fácilmente del alimento para alcanzar los sensores olfativos, bien de manera directa, o bien, por vía retronasal; por este motivo, deben ser al menos algo volátiles, para que muy pequeñas cantidades de los compuestos se evaporen constantemente del alimento. Un alimento frío presenta menos olor que en caliente, al reducirse la emisión de compuestos volátiles; con el tiempo, un alimento pierde parte de sus compuestos aromáticos por evaporación, dependiendo de la volatilidad de los mismos o de la temperatura del producto.

El peso molecular limita la volatilidad de los compuestos aromáticos. Siempre deben ser inferiores a 300; lo cual no quiere decir que sustancias de menor peso molecular puedan ser volátiles (como en el caso de la sacarosa y la glucosa). Por otra parte, una vez que llegan a las fosas nasales, los compuestos aromáticos deben ser capaces de disolverse, al menos parcialmente, tanto en medios acuosos como apolares y, por tanto, presentar una polaridad intermedia. Estas condiciones se encuentran en la mucosa nasal, ya

que esta bañada por una secreción acuosa, y los cilios de las neuronas olfativas se encuentran rodeados por sustancias lipídicas.

1.1.1. Determinación de la fracción aromática de los alimentos

El análisis de compuestos volátiles es usado en muchos campos, incluidos la industria de alimentos, perfumes y cosméticos, química, medicina y farmacología e incluso en estudios medioambientales.

Es reconocido que el mejor procedimiento para evaluar la fracción aromática es la aplicación de técnicas sensoriales, basadas en la utilización de paneles de catadores entrenados. Estos procedimientos son inviables como técnicas de rutina, por lo que se hace necesario la utilización de técnicas instrumentales, para aproximarnos a la percepción del ser humano.

La técnica instrumental más utilizada para la separación-identificación de los constituyentes de la fracción volátil de un alimento, está basada en la cromatografía de gases acoplada a la espectrometría de masa (GC-MS). Sin embargo, es necesario llevar a cabo una etapa previa para la extracción de los compuestos volátiles, constituyentes del alimento. Es en esta etapa donde existe una gran variedad de procedimientos, aplicados en los últimos años. Entre éstos cabe destacar la extracción-destilación simultánea (SDE) , la microextracción en fase sólida (SPME), el espacio de cabeza, purga y trampa y la desorción térmica (Wilkes *et al.*, 2000) Para la identificación de los componentes volátiles, siempre será necesario ayudarse de las bases de datos de los espectrómetros de masas; y siempre que sea posible, la co-inyección de sustancias de referencia. Además, se podrán utilizar los índices de retención relativa calculados a partir de compuestos alcanos, inyectados bajo las mismas condiciones que las muestras a analizar (Fernández-Segovia *et al.*,

2006; Torres *et al.*, 2007). Estos valores se compararán con los establecidos en las tablas de Kovats (1958).

1.1.2. El aroma de las frutas y del mango

Los sabores a fruta son una mezcla del dulzor debido a los azúcares (glucosa, fructosa, sacarosa) y la acidez de los ácidos orgánicos (cítrico y málico). Sin embargo, son los aromas relacionados con los diferentes componentes volátiles de las frutas los que permiten distinguirlas entre sí. Una fruta contiene más de 100 compuestos volátiles diferentes, pero en conjunto estos compuestos constituyen solamente unas pocas partes por millón de la fruta en cuestión (Fisher y Scott, 2000).

Los aromas de las frutas varían ampliamente. Los cítricos (pomelos, naranjas, limones) son ricos en terpenoides, en tanto que los frutos no cítricos (manzanas, frambuesa, arándanos y plátanos) se caracterizan por sus ésteres y aldehídos.

Los constituyentes volátiles responsables del aroma de las frutas tropicales son muy específicos dependiendo de la variedad de que se trate e incluso del cultivar del que procedan.

Algunos autores consideran a los terpenos como el grupo de compuestos volátiles característico de los mangos de la familia Florida, (en especial el 3-careno), debido a su alto porcentaje en la fracción volátil (50 – 60%) (Andrade, Maia y Zoghbi, 2000). En ésta familia, se encuentra la variedad Kent, la cual es objeto de estudio del presente trabajo, no obstante, existen muy pocas referencias que hagan alusión a la composición volátil del mango.

En estudios realizados en la universidad de Pará (Brasil), se analizaron los componentes volátiles procedentes de 15 variedades

distintas de mango (Andrade *et al.*, 1999). En este caso, la técnica utilizada para la extracción de la fracción volátil fue la destilación-extracción simultánea; posteriormente los compuestos fueron analizados por GC/MS. Atendiendo a los componentes mayoritarios, éstas variedades se clasificaron en 3 grupos. El α -terpinoleno era el componente mayoritario de las variedades: Cheiro (66,1%), Chana (64,2%), Bacuri (57,0%), Cametá (56,3%), Gojoba (54,8%), Carlota (55,2,0%), Coquinho (51,4%), y Comum (45,0%); el 3-careno fue el componente mayoritario de las variedades Haden (71,4%), Tommy (64,5%), y Keith (57,7); mientras que, el β -mirceno fue mayoritario para las variedades Cavalo (57,1%), Rosa (52,4%), Espada (37,2%) y Paulista (30,3%).

En otras variedades procedentes de Venezuela, también se observó que el 3-careno era el compuesto que aparecía en mayor proporción. Variedades procedentes de India y Sri Lanka como Alphonso y Jaffna mostraron un mayor contenido en el β -mirceno y β -ocimeno (Andrade *et al.*, 2000).

En estudios realizados durante el almacenamiento de las variedades Kent, Keith y Kersington (Lalel *et al.*, 2003), se observó un incremento en el contenido de ácidos, así como en la producción de etileno y la respiración a partir del cuarto día. En lo que respecta a la fracción volátil, el grupo más abundante fue el de los hidrocarburos (especialmente el α -terpinoleno), seguido del de los ésteres. En éste último grupo, después del séptimo día, el acetato de etilo se convirtió en el componente mayoritario. En éste artículo se concluyó que la producción de terpenos era paralela a la producción de etileno, mientras que la de ésteres se asoció a la de los ácidos grasos.

1.2. INTERÉS Y OBJETIVOS DEL ESTUDIO

Como se ha mencionado anteriormente, el procesamiento mínimo de las frutas trae consigo una modificación de las características organolépticas de los productos, comparados con el mismo en estado fresco sin procesar. El aroma de los productos mínimamente procesados, no está exento de sufrir modificaciones, lo cual lo convierte en una característica de especial interés. El conocimiento, tanto de los compuestos volátiles de una materia prima determinada, como de la concentración de los mismos, se convierte en una herramienta de gran utilidad, a la hora de controlar los procesos y de observar el efecto de los mismos en la cualidad aromática del producto final.

En anteriores trabajos se ha estudiado el efecto de la deshidratación osmótica de distintas frutas en el perfil de volátiles de las mismas (fresa: Zabetakis *et al.*, 2000 y Escriche *et al.*, 2000a; Talens *et al.*, 2002a; kiwi: Talens *et al.*, 2003), observándose cambios notables en la concentración de compuestos típicos del perfil aromático. Se ha detectado que los tratamientos osmóticos potencian la formación de volátiles, con participación del sistema enzimático de la fruta ejerciendo un efecto similar a la sobre-maduración. En base a esto, se ha considerado interesante estudiar los efectos de la deshidratación osmótica en la composición volátil del mango mínimamente procesado.

El objetivo general de éste trabajo es analizar el efecto de los tratamientos osmóticos en diferentes condiciones de proceso (aplicación o no de pulso de vacío; concentración de la disolución osmótica: 35, 45, 55 y 65 °Brix; y concentración de la fase líquida

final de la fruta: 20 y 30 °Brix) en el perfil de volátiles del mango mínimamente procesado.

Para lograr este objetivo general, se establecieron los siguientes objetivos específicos.

- ✧ *Caracterizar las propiedades fisicoquímicas y el perfil de volátiles en la materia prima.*

- ✧ *Aplicar los tratamientos seleccionados y estudiar en las muestras procesadas, tanto en el perfil de volátiles, como los producidos en las propiedades fisicoquímicas: variaciones de peso, de contenido de agua y de sólidos solubles*

Analizar el efecto de las variables de proceso en el perfil de volátiles.

1.3. MATERIALES Y MÉTODOS

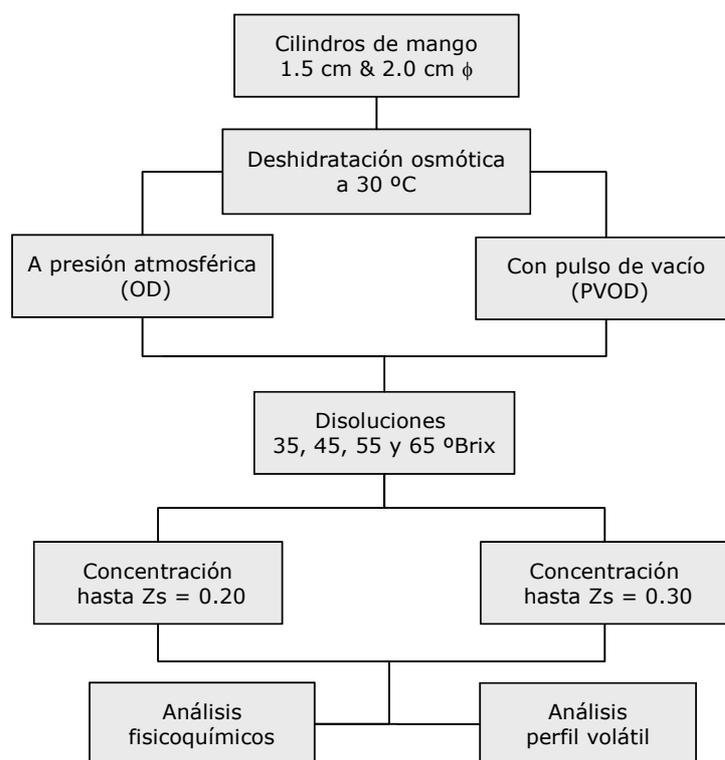
1.3.1. Materia prima y agente osmótico

Para la elección y preparación de las muestras, se siguió el procedimiento que se indica en el capítulo III, apartados 1.1. y 1.2. Como agente osmótico se emplearon disoluciones de sacarosa de 35, 45, 55 y 65 °Brix. Para la preparación de las disoluciones de trabajo se siguió el procedimiento que se menciona en el capítulo III, apartado 1.4.

1.3.2. Diseño experimental y aplicación de los tratamientos

El estudio experimental se llevó a cabo en 2 series, cada una con 1 lote de fruta (lote 1: tratamientos llevados a cabo con las disoluciones de 45 y 65° Brix; Lote 2: tratamientos llevados a cabo con las disoluciones de 35 y 55° Brix). En cada serie se emplearon 10 mangos; de cada mango se extrajeron 20 cilindros. Cada una de las muestras estuvo constituida por 10 cilindros (1 cilindro de cada mango) y fue sometida a un determinado tratamiento osmótico o caracterizada en fresco. Con cada lote se realizaron 8 tratamientos, cada uno de ellos por duplicado y se caracterizaron, por duplicado, las muestras de mango no tratado.

Figura IV.1.1. Esquema del procedimiento experimental



La aplicación de los tratamientos se llevó a cabo, como se describe en el capítulo 3, apartados 2.1. y 2.2. Los tiempos de proceso fueron obtenidos mediante las ecuaciones cinéticas obtenidas en estudios previos (Giraldo, 2003). Como la cantidad de muestras, con sus duplicados, no permitía realizar todos los análisis en el mismo día, se decidió llevar éstas, una vez deshidratadas, a congelación (-18 °C), hasta su posterior análisis (tiempo máximo de almacenamiento de 48 horas).

1.3.3. Determinación de los parámetros fisicoquímicos

Para la determinación de los parámetros fisicoquímicos: fracción másica de agua (x_w), fracción másica de sólidos solubles (x_s) y porcentaje de sólidos solubles en la fase líquida (Z_s); y las variaciones de masa (ΔM), sólidos solubles (ΔM_s) y contenido en agua (ΔM_w), se siguieron los procedimientos que se indican en el capítulo III, apartado 3.

1.3.4. Extracción y análisis de la fracción volátil

Para la extracción de los compuestos volátiles del mango fresco y de las muestras procesadas, el primer paso fue poner a punto una metodología basada en la técnica de destilación-extracción simultánea, utilizando pentano como solvente (Godefroot *et al.*, 1981). En la figura IV.1.2. se muestra un esquema del montaje utilizado (JyW Steam Distillation-Extraction Equipment, de la casa Fisher Scientific UKTM Ltd Loughborough, Leics, Inglaterra). Ésta técnica ha sido utilizada por distintos autores para el estudio de la fracción volátil de frutas como: fresa (Escriche *et al.*, 2000a y Zabetakis, *et al.*, 2000), kiwi (Talens *et al.*, 2003), papaya (Almora *et al.*, 2004) y mango (Andrade *et al.*, 2000). Para minimizar los

problemas relacionados con la formación de artefactos (Werkhoff *et al.*, 1998), se redujo el tiempo de tratamiento térmico, y se emplearon cantidades pequeñas de muestra y de disolvente.

En cada análisis, se introducían en un balón de vidrio de 500 mL: 70 mL de agua bi-destilada; 35 g de muestra previamente homogenizada, utilizando para ello un homogenizador Ultra-Turrax; y 100 μ L de alcanfor (patrón interno) con una concentración de 200 μ g/L para las muestras frescas y 75 μ L del mismo patrón para las muestras procesadas.

El balón de 500 mL fue llevado a un baño de ultrasonidos durante 2 minutos para disgregar totalmente la muestra. Posteriormente fue acoplado al montaje de extracción donde se sumergió en un baño de aceite (glicerina), y fue calentado hasta una temperatura de ebullición del agua 100 °C. En el momento en que comenzaba a hervir el contenido del matraz de 500 mL, se acoplaba al sistema un balón de 50 mL que contenía 3 mL de pentano; este era sumergido en un baño de agua con una temperatura de 40 °C. El vapor de ambos recipientes se condensó en un tubo en "U" común. Después de un proceso de destilación de 30 min, se recogió el contenido del tubo en U en un tubo de ensayo que se sumergía en un baño de hielo para evitar la volatilización de su contenido. Éste era sellado con parafilm y llevado a una temperatura de -18 °C con el fin de facilitar la separación de la fracción orgánica (la cual posee una menor densidad, a -18 °C, que el hielo), donde los compuestos aromáticos recolectados se habían disuelto durante el proceso de destilación. La fase orgánica (pentano y compuestos volátiles) se recogió en viales de 1.5 mL, y posteriormente, se concentró hasta aproximadamente 50 μ L, utilizando una corriente de nitrógeno. Luego fueron pinchados 5 μ L al equipo cromatográfico.

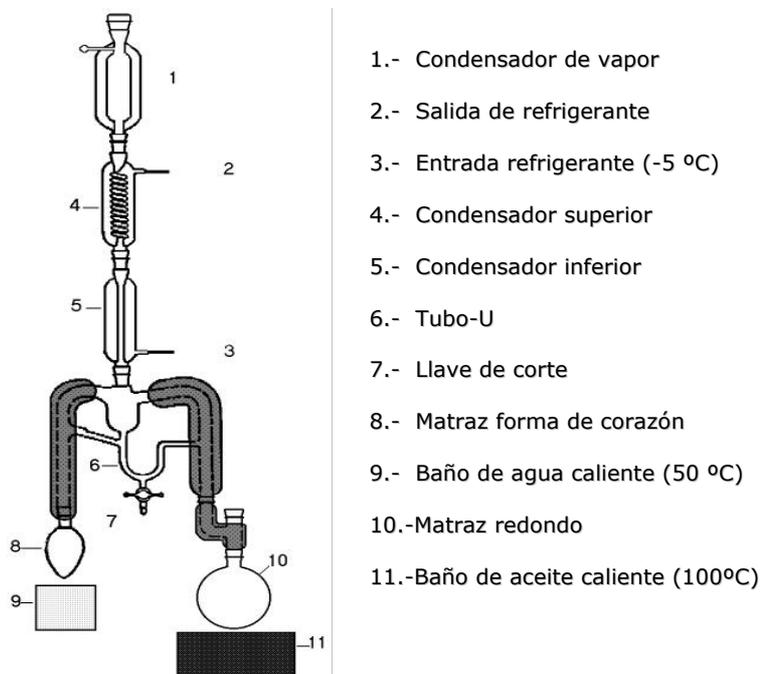


Figura IV.1.2. Montaje de Destilación-Extracción Simultánea (SDE)

La separación e identificación de los compuestos fue llevada a cabo en un equipo de cromatografía de gases (Norwalk, Conn., USA) de columna capilar con un empaquetamiento de silica gel de 30 m DB-5, 0.32 mm de diámetro, (JY W Scientific, Cromolab, España); acoplado a un espectrómetro de masas (GC-MS) Finnigan TRACETM MS (Termost, Austin, USA).

Para establecer el método cromatográfico, se realizaron sucesivas pruebas encaminadas a determinar las condiciones ideales para la separación de los picos de aquellos compuestos de mayor interés (MacLeod, y Gonzalez, 1982; Engel y Tressl, 1983; MacLeod y Pieris, 1984; Malundo *et al.*, 1997; Andrade *et al.*, 2000; Beaulieu y Lea, 2003). Así las condiciones cromatográficas fueron:

- Columna DB-5 (30 x 0.32 mm x 0.25 μ m)

IV.1. INFLUENCIA DE LOS TRATAMIENTOS OSMÓTICOS – PERFIL VOLÁTIL

- Volumen de inyección 5 μ L
- Gas portador, Helio 1.2 mL/min
- Temperatura inyector 220°C
- Temperatura detector (Cuadripolo) 300°C
- Temperatura del horno:
 - T₁^o = 40°C t₁ = 0 minutos R₁ = 2°C/min.
 - T₂^o = 60°C t₂ = 0 minutos R₂ = 4°C/min.
 - T₃^o = 260°C t₃ = 2 minutos

Donde:

T _{1,2,3} ^o :	Temperaturas de inicio de cada rampa (°C)
t _{1,2,3} :	Tiempo de permanencia para las T ^o .
R _{1,2} :	Incremento de temperatura entre las temperaturas de inicio. (°C/min.) (Rampas)

Se empleó Helio como gas transportador, a una corriente de flujo de 2 mL/min. Tan pronto el sistema estaba puesto a punto en las condiciones iniciales de análisis, se inyectó una fracción de 5 μ L del extracto concentrado, con un split de fraccionamiento de 1:16. La fragmentación de los compuestos en el MS, fue realizada por impacto electrónico EI⁺ a 70eV; y el modo de registro fue entre 35 y 450 unidades de masa, la velocidad de registro fue de 2.5 exploraciones/s.

Los componentes volátiles fueron identificados a tres niveles:

- ✧ *Utilizando la base de datos de la Librería NIST del software que proporciona el GC-MS.*

- ✧ *Calculando los Índices de Kovats (ecuación IV.1.1.) y comparándolos con tablas bibliográficas (Kondjoyan y Berdagué, 1996). Esta ecuación permite el cálculo de los índices relativos de retención, llamado, Índice de Kovats (KI). Este índice se obtiene a partir de los tiempos de retención de un conjunto de alcanos específicos.*
- ✧ *Comparando los tiempos de retención de los picos obtenidos en los cromatogramas de gases de las muestras, con los de las sustancias patrones más representativas de este tipo de fruta (MacLeod y González, 1982; MacLeod y Pieris, 1984; Idstein y Schreier, 1985; Ibáñez et al., 1998; Andrade et al., 2000; Lalel, 2003), inyectadas con las mismas condiciones cromatográficas que las muestras.*

$$RI = 100 \frac{t_{R(i)} - t_{R(z)}}{t_{R(z+1)} - t_{R(z)}} + 100z \quad (\text{VI.1.1.})$$

Donde:

$RI(i)$:	Índice relativo de retención de la sustancia i.
$R(i)$:	Tiempo de retención del alcano z
Z :	Número de átomos de carbono en el alcano z.
$R(z)$:	Tiempo de retención del alcano z
$R(z+1)$:	Es el tiempo de retención del alcano z+1.

Las cuantificaciones fueron realizadas teniendo en cuenta el patrón interno utilizado (alcanfor), con el fin de corregir cualquier

variación o pérdida que pudiese ocurrir durante las determinaciones. Para hallar la concentración de cada compuesto en las muestras analizadas; es necesario determinar el factor de respuesta del equipo para cada compuesto (ecuación IV.1.2.), ya que las áreas obtenidas en el equipo GC-MS no ilustran de manera cualitativa, la concentración de los analitos, la sensibilidad del equipo puede ser diferente entre ellos. La determinación del factor de respuesta es un método simple que ayuda a resolver este problema. Al inyectar cantidades de compuesto y patrón interno de concentraciones conocidas, se puede determinar el factor de respuesta del equipo.

$$FR = \frac{A_{Pi} \cdot C_X}{A_X \cdot C_{Pi}} \quad (VI.1.2.)$$

$$C_X = \frac{FR \cdot A_X \cdot C_{Pi}}{A_{Pi}} 10 \quad [\mu\text{g/g muestra}] \quad (VI.1.3.)$$

Donde:

<i>FR</i> :	Factor de respuesta
<i>A_{pi}</i> :	Área del pico del patrón interno
<i>A_x</i> :	Área del pico del compuesto
<i>C_{pi}</i> :	Cantidad de patrón interno adicionado a la muestra (μg)
<i>C_x</i> :	Cantidad del compuesto (μg)

El valor 10 se

toma en cuenta debido a la relación entre el volumen de inyección (5 μL) y el volumen de extracto (50 μL) obtenido de la muestra.

Para poder comparar las concentraciones de cada compuesto en las muestras frescas y procesadas, los valores se refirieron siempre por unidad de masa de materia fresca para lo cual se tuvo en cuenta la variación de masa debida al proceso.

La precisión del método de destilación-extracción y los posteriores análisis fue determinada mediante el cálculo de los coeficiente de variación. La exactitud del método fue valorada mediante la adición de patrones a la muestra, en cantidad y concentración conocidas. Se obtuvieron 2 extractos de cada muestra, tanto para mangos frescos como procesados, y cada extracto fue analizado por triplicado. Todos los reactivos fueron de grado analítico. Los patrones cromatográficos y los alcanos utilizados para la determinación del índice de Kóvats fueron de Sigma-Aldrich S.A. (Madrid, España).

1.3.5. Análisis de datos

Para el tratamiento de los datos se aplicaron diferentes análisis estadísticos:

- ✧ *Análisis de la varianza (ANOVA) nivel de confianza del 95%, e intervalo de confianza LSD, Least Significant Difference) para evaluar la significación estadística de las diferencias encontradas entre los tratamientos. Se utilizó el programa estadístico Statgraphics® Plus en su versión 5.1. para Windows.*
- ✧ *Regresión parcial de mínimos cuadrados "Partial Least Square Regresión", PLSR2, (Martens y Næs, 1989) para describir la relación entre los compuestos volátiles y las variables composicionales. A partir de este análisis se obtiene un gráfico doble de PCA "Análisis de Componentes Principales", (PCA-biplot). Este procedimiento es útil para la comparación entre los perfiles de volátiles evaluados en cada tratamiento y las semejanzas y diferencias entre los procesos. Los datos obtenidos*

IV.1. INFLUENCIA DE LOS TRATAMIENTOS OSMÓTICOS – PERFIL VOLÁTIL

fueron correlacionados con las variables composicionales, mediante un gráfico de correlación de cargas (X e Y). Para realizar estos análisis, se utilizó el paquete informático Unscrambler® versión 9.2 (CAMO Process AS, Oslo, Noruega, 2005). Las variables fueron transformadas empleando la inversa de la desviación estándar de todos los sujetos con el fin de compensar las diferentes escalas de las variables (Martens y Martens, 2001).

1.4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1.4.1. Cambios fisicoquímicos producidos por los tratamientos

Inicialmente se caracterizaron los cambios fisicoquímicos (x_w , x_s , y Z_s) y de masa, ocasionados por los tratamientos. La Figura IV.1.3. muestra la representación de los balances de materia (variación en la masa de agua y de sólidos solubles frente a la variación de masa total) para todos los tratamientos realizados, obtenidos de esta caracterización. En ella se observa que para todos los casos, los puntos se distribuyen muy bien sobre la diagonal, lo que indica una buena precisión experimental y fiabilidad de los resultados.

En la tabla IV.1.1. se dan las fracciones másicas de agua (x_w) y de sólidos solubles (x_s) y la actividad de agua (a_w), de mango procesado, alcanzadas en cada tratamiento. Las muestras frescas mostraron valores de $a_w = 0,983$ (0,003) $x_w = 0,824$ (0,003) y $x_s = 0,156$ (0,003). Los valores de actividad de agua para las distintas muestras deshidratadas oscilaron en un rango de valores entre 0,970 y 0,945, en función del nivel de deshidratación. Estos valores se encuentran por encima del límite de actividad de agua determinada para productos hortofrutícolas mínimamente procesados (0,850) (Wiley, 1997a; Soliva-Fortuny y Martín-Belloso, 2003). Los valores promedio de las fracciones másicas de sólidos solubles en la fase líquida de la fruta (agua más solutos), para los límites fijados de deshidratación, en los diferentes tratamientos fueron 0,200 (0,003) y 0,300 (0,004), respectivamente para cada grupo, de acuerdo al diseño experimental. En la tabla IV.1.1. se puede observar que estas concentraciones son alcanzadas con diferentes niveles de pérdida de agua (ΔM_w) y

ganancia de sólidos (ΔM_s) (Definido según Fito y Chiralt (1997), por kg de fruta fresca), dependiendo de las condiciones de proceso.

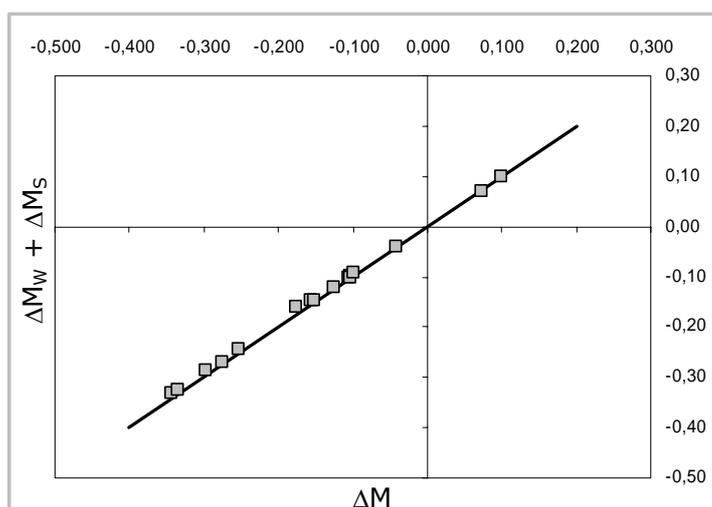


Figura IV.1.3. Balances de materia de la caracterización fisicoquímica de las muestras deshidratadas

En la tabla IV.1.1. se dan las fracciones másicas de agua (x_w) y de sólidos solubles (x_s) de mango procesado, alcanzadas en cada tratamiento. Las muestras frescas mostraron valores de $x_w = 0,824$ (0,003) y $x_s = 0,156$ (0,003). Los valores promedio de las fracciones másicas de sólidos solubles en la fase líquida de la fruta (agua más solutos), para los límites fijados de deshidratación, en los diferentes tratamientos fueron 0,200 (0,003) y 0,300 (0,004), respectivamente para cada grupo, de acuerdo al diseño experimental. En la tabla IV.1.1. se puede observar que estas concentraciones son alcanzadas con diferentes niveles de pérdida de agua (ΔM_w) y ganancia de sólidos (ΔM_s) (Definido según Fito y Chiralt (1997), por kg de fruta fresca), dependiendo de las condiciones de proceso.

Como se esperaba, las pérdidas de masa de las muestras (como resultado de los balances de pérdida de agua y ganancia de solutos) fue mayor cuanto mayor fue la concentración de azúcares en la fase líquida; pero, para un nivel dado de concentración, los valores variaron ampliamente dependiendo de la concentración de la disolución osmótica y de la aplicación del pulso de vacío al inicio del proceso.

Para ambos procesos, OD y PVOD, la pérdida de masa de las muestras fue mayor cuando la concentración de la disolución osmótica (OS) aumentó. Este hecho es menos acusado cuando se aplica pulso de vacío. Cuanto más diluida fue la concentración de la OS, menor fue la pérdida de masa; notándose incluso una ganancia de masa en aquellas muestras tratadas con disoluciones de 35 y 45 °Brix, que alcanzaron 20 °Brix de sólidos solubles en la fase líquida. Este hecho se atribuye a la acción conjunta de diferentes mecanismos de transporte (osmo-difusionales e hidrodinámicos), que tienen lugar en diferente medida en cada tratamiento.

La baja viscosidad de las disoluciones osmóticas menos concentradas y la acción del pulso de vacío favorecen la ganancia hidrodinámica de la disolución a través de los poros. Esto permite alcanzar una determinada concentración de sólidos solubles en la fase líquida de las muestras, con menor pérdida de agua (y peso) (Lazarides *et al.*, 1999; Fito *et al.*, 2002).

Cuando la viscosidad de la OS es alta, el pulso de vacío favorece más la deformación de la muestra a la compresión, al restituir la presión atmosférica, que la entrada de OS en los poros, ya que ésta presenta una elevada pérdida de carga (Chiralt, *et al.*, 1999). Esto hace que los mecanismos hidrodinámicos sean menos eficaces en la concentración de las muestras, predominando en estos casos los fenómenos difusionales de pérdida de agua.

108 Tabla IV.1.1. Tiempo de proceso y cambios composicionales de las muestras en los diferentes tratamientos [Fracción másica de agua (x_w) y sólidos solubles (x_s), contenido de sólidos solubles en la fase líquida (z_s); pérdida de peso (ΔM), pérdida de agua (ΔM_w) y ganancia de solutos (ΔM_s)]

Treatment	Process time (min)	a_w	x_w	x_s	z_s	ΔM	ΔM_w	ΔM_s
OD 35-20	129	0,967 (0,001)	0,783 (0,001)	0,200 (0,001)	0,204 (0,001)	-0,042 (0,001)	-0,076 (0,001)	0,035 (0,001)
OD 45-20	29	0,967 (0,003)	0,774 (0,007)	0,209 (0,005)	0,204 (0,004)	-0,104 (0,004)	-0,129 (0,003)	0,030 (0,005)
OD 55-20	17	0,969 (0,002)	0,780 (0,002)	0,204 (0,005)	0,207 (0,004)	-0,106 (0,001)	-0,128 (0,001)	0,025 (0,005)
OD 65-20	1	0,964 (0,001)	0,766 (0,003)	0,214 (0,002)	0,208 (0,002)	-0,151 (0,002)	-0,172 (0,001)	0,024 (0,002)
PVOD 35-20	39	0,965 (0,002)	0,775 (0,008)	0,204 (0,004)	0,209 (0,005)	0,073 (0,019)	0,007 (0,023)	0,062 (0,001)
PVOD 45-20	3	0,970 (0,001)	0,787 (0,002)	0,195 (0,001)	0,190 (0,001)	0,100 (0,001)	0,042 (0,002)	0,056 (0,002)
PVOD 55-20	2	0,966 (0,001)	0,781 (0,004)	0,201 (0,003)	0,205 (0,004)	-0,102 (0,001)	-0,124 (0,002)	0,024 (0,003)
PVOD 65-20	2	0,972 (0,001)	0,792 (0,003)	0,193 (0,001)	0,189 (0,001)	-0,099 (0,022)	-0,110 (0,015)	0,018 (0,005)
OD 35-30	901	0,956 (0,003)	0,696 (0,007)	0,293 (0,009)	0,296 (0,008)	-0,155 (0,001)	-0,237 (0,006)	0,091 (0,008)
OD 45-30	347	0,955 (0,004)	0,681 (0,001)	0,306 (0,001)	0,300 (0,002)	-0,253 (0,002)	-0,314 (0,001)	0,072 (0,001)
OD 55-30	147	0,953 (0,001)	0,682 (0,003)	0,305 (0,005)	0,309 (0,004)	-0,296 (0,001)	-0,345 (0,001)	0,058 (0,004)
OD 65-30	224	0,950 (0,003)	0,679 (0,009)	0,309 (0,009)	0,303 (0,009)	-0,344 (0,003)	-0,377 (0,009)	0,046 (0,005)
PVOD 35-30	823	0,958 (0,002)	0,701 (0,002)	0,284 (0,002)	0,289 (0,002)	-0,125 (0,002)	-0,212 (0,004)	0,092 (0,001)
PVOD 45-30	300	0,959 (0,001)	0,703 (0,002)	0,290 (0,001)	0,286 (0,001)	-0,175 (0,003)	-0,243 (0,001)	0,084 (0,001)
PVOD 55-30	181	0,955 (0,003)	0,682 (0,005)	0,300 (0,005)	0,306 (0,005)	-0,274 (0,002)	-0,330 (0,003)	0,061 (0,004)
PVOD 65-30	148	0,945 (0,001)	0,671 (0,003)	0,314 (0,001)	0,307 (0,001)	-0,335 (0,001)	-0,377 (0,001)	0,052 (0,001)

Valores entre paréntesis: Desviación Estándar

Por otro lado, una baja concentración de la disolución osmótica implica una menor fuerza impulsora y por consiguiente mayores tiempos de proceso, incrementándose así las posibilidades de llenado de los poros del tejido por capilaridad (Chiralt y Fito, 2003), lo que reduce las pérdidas de peso.

En otro orden de cosas, las muestras procesadas con tratamientos PVOD y con OS diluidas presentarán perfiles de concentración planos que aquellas procesadas por OD con disoluciones concentradas. En el primer caso, el frente de perturbación definido como el plano virtual en la muestra a una distancia d de la interfase, a partir del cual ya no se observan cambios en la concentración (Salvatori *et al.* 1998), estará localizado en una zona más interna debido a la acción promotora de los mecanismos hidrodinámicos y de la impregnación de la muestra (Fito *et al.*, 2002).

Las diferencias en la concentración final de las muestras y en la distribución de los perfiles de concentración en el tejido, resultado de las diferentes condiciones de tratamiento, pueden llevar asociados cambios en el perfil de volátiles dado que en cada caso hay un número diferente de células afectadas por el proceso y con distribuciones diferentes en cuanto al nivel de afectación. Su diferente respuesta fisiológica y enzimática afectará al nivel global de cada uno de los volátiles analizados.

1.4.2. Cambios en el perfil de volátiles

En la fracción volátil del mango, tanto fresco como procesado, se han identificado cincuenta compuestos distintos (Tabla IV.1.2), especialmente terpenos, aldehídos, ésteres y ácidos. Estos

IV.1. INFLUENCIA DE LOS TRATAMIENTOS OSMÓTICOS – PERFIL VOLÁTIL

compuestos fueron identificados utilizando los procedimientos descritos en el apartado 2.2.4 de Materiales y Métodos.

Tras los tratamientos osmóticos, las muestras eran inmediatamente congeladas hasta el momento de realizar el análisis de volátiles, por ello el primer paso fue evaluar las posibles pérdidas de volátiles ocasionadas por el proceso de congelación (máximo 48 h). Se compararon las áreas relativas (calculadas como la relación entre el área de cada compuesto y la de patrón interno) de muestras frescas con muestras frescas-congeladas. En la tabla IV.1.2, se muestran los valores medios obtenidos en este estudio. Se observó un ligero efecto de congelación ya que las pérdidas para la mayoría de compuestos estuvieron en torno al 7%.

Tabla IV.1.2. Compuestos identificados en mango fresco y procesado (métodos de identificación : Índice de Kovats, Software del GC-MS y por co-inyección de compuestos estándares) y valores promedio de las áreas relativas al patrón interno para muestras frescas y frescas congeladas

Tiempo de retención	Nombre del compuesto	Librería NIST	Índice de Kovats	Patrones	Áreas relativas	
					Fresco	Congel.
6,01	Heptanal	X	886,1	X	0,271 (0,003)	0,247 (0,003)
7,22	α -pineno	X	916,5	X	0,140 (0,001)	0,132 (0,001)
7,73	Camfeno	X	928,4	X	0,046 (0,018)	0,042 (0,017)
8,15	Benzaldehído	X	937,5	X	0,088 (0,008)	0,080 (0,007)
9,98	Mirceno	X	973,8	X	0,228 (0,008)	0,212 (0,007)
10,46	α -felandreno	X	983,3	X	0,170 (0,001)	0,160 (0,001)
10,76	3-careno	X	988,9	X	6,809 (0,001)	6,752 (0,001)
11,13	α -terpineno	X	980,6		0,042 (0,014)	0,037 (0,013)
11,64	Limoneno	X	1008,4	X	0,261 (0,003)	0,249 (0,003)
13,1	τ -terpineno	X	1022,5		0,066 (0,009)	0,060 (0,008)
13,78	Octanal	X	1038,0		0,103 (0,009)	0,095 (0,008)

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tiempo de retención	Nombre del compuesto	Librería NIST	Índice de Kovats	Patrones	Áreas relativas	
					Fresco	Congel.
14,4	Ciclohexeno	X	1052,0		0,480 (0,002)	0,470 (0,002)
14,99	α -linalool	X	1090,5		0,070 (0,007)	0,065 (0,006)
15,22	Nonanal	X	1090,5		0,539 (0,004)	0,495 (0,003)
16,61	Alcanfor	X	1113,4	X	X	X
17,14	2.6 nonadienal	X	1119,8		0,130 (0,006)	0,120 (0,005)
17,44	2-nonenal	X	1160,9	X	0,335 (0,004)	0,326 (0,003)
19,37	Decanal	X	1418,3		0,230 (0,008)	0,219 (0,008)
19,65	Benzotiazole	X	1422,9		0,156 (0,014)	0,152 (0,013)
22,66	Fenol-m-ter-butil	X	1426,6		0,093 (0,020)	0,086 (0,017)
23,21	2-metoxi-4-vinilfenol	X	1428,9		0,020 (0,037)	0,016 (0,033)
23,9	Docosano	X	1438,2		0,023 (0,032)	0,018 (0,031)
25,37	Copaeno	X	1459,8		0,100 (0,012)	0,090 (0,011)
25,39	α -cubeno	X	1512,7		0,029 (0,029)	0,025 (0,024)
25,7	α -damascenone	X	1638,3		0,635 (0,002)	0,592 (0,002)
26,84	α -cariofileno	X	1650,0		1,664 (0,005)	1,574 (0,005)
28,26	Ácido cinámico. 3-fenil-etil ester	X	1703,6		0,102 (0,015)	0,091 (0,014)
28,68	D-Germancreno	X	1426,6		0,219 (0,006)	0,200 (0,005)
28,82	Cariofileno	X	1428,9		0,177 (0,009)	0,164 (0,008)
28,93	α -lanona	X	1438,2		0,077 (0,017)	0,067 (0,016)
29	Ledeno	X	1459,8		0,113 (0,002)	0,105 (0,002)
29,28	Fenol.2.4-di-ter-butil	X	1512,7		0,045 (0,018)	0,04 (0,015)
29,93	Laurico anhídrido	X	1638,3		0,228 (0,006)	0,214 (0,005)
31,56	Ácido Benzoico 4-(dimetilamino) etil ester	X	1650,0		0,087 (0,016)	0,079 (0,015)
35,47	Tetradecanal (miristaldehído)	X	1703,6		0,534 (0,003)	0,521 (0,002)
35,78	Ácido tetradecanoico (ácido mirístico)	X	1735,1		0,858 (0,002)	0,823 (0,001)
37,2	Ácido tetradecanoico etil ester	X	1768,5		0,021 (0,034)	0,016 (0,031)
37,99	Isopropil miristato	X			0,227 (0,006)	0,214 (0,006)
38,83	Ácido Hexadecanoico metil ester	X			0,135 (0,009)	0,121 (0,008)
41,33	Ácido 9-hexadecanoico	X			3,000 (0,001)	2,913 (0,001)
41,88	Ácido n-hexadecanoico	X			1,691 (0,003)	1,588 (0,002)
42,64	Ácido hexadecanoico etil ester	X			0,040 (0,021)	0,036 (0,02)
43,03	Isopropil palmitato	X			0,788 (0,013)	0,72 (0,011)
43,8	Ácido oleico metil ester	X			0,209 (0,006)	0,196 (0,005)
45,5	Ácido Hexadecadienoico metil ester	X			3,390 (0,002)	3,312 (0,002)
45,99	Ácido Nonanoico 9-(o-propilfenil) metil ester	X			0,374 (0,003)	0,357 (0,002)
46,81	Ácido Esteárico	X			0,204 (0,010)	0,191 (0,009)

IV.1. INFLUENCIA DE LOS TRATAMIENTOS OSMÓTICOS – PERFIL VOLÁTIL

Tiempo de retención	Nombre del compuesto	Librería NIST	Índice de Kovats	Patrones	Áreas relativas	
					Fresco	Congel.
46,97	Ácido Octadecanoico etil ester	X			0,255 (0,008)	0,244 (0,007)
47,68	Ácido acético octadietil ester	X			0,221 (0,008)	0,207 (0,007)
48	Escualeno	X			0,271 (0,009)	0,247 (0,008)

Valores entre paréntesis: Desviación Estándar

El estudio de los cambios en el perfil de volátiles inducidos por los tratamientos osmóticos, se realizó cuantificando diez de los compuestos más representativos de las variedades de la familia Florida (Engel y Tressl, 1983; Malundo *et al.*, 1997; Andrade *et al.*, 2000). Estos compuestos fueron: Heptanal, benzaldehído, nonanal, α -pineno, camfeno, β -mirceno, α -felandreno, 3-careno, limoneno y α -linalool (Tabla IV.1.3).

Tal como se ha observado en otros estudios de volátiles de mango (MacLeod y Gonzalez, 1982; MacLeod y Pieris, 1984; Idsteim y Schreier, 1985; Andrade *et al.*, 2000), el compuesto más abundante fue el 3-careno con una concentración de 0,40 (0,13) $\mu\text{g/g}$ de fruta fresca, ésta concentración representó el 74,7% del total de volátiles cuantificados.

Las concentraciones del resto de compuestos cuantificados oscilaron entre 0,002 y 0,044 $\mu\text{g/g}$ de fruta fresca, correspondientes respectivamente al camfeno y al nonanal. En la tabla IV.1.3. se muestran las concentraciones de todos los compuestos cuantificados obtenidos en los dos lotes de materia prima utilizados para la realización de las experiencias de deshidratación osmótica. Con la finalidad de evaluar si existían diferencias significativas en la concentración de los distintos compuestos analizados, entre los dos lotes utilizados, se realizó un ANOVA con el factor lote, cuyo resultado se muestra en la tabla IV.1.3. En general, las diferencias encontradas

entre los lotes fueron escasas, mostrándose diferencias significativas en 4 de los 10 compuestos cuantificados.

Tabla IV.1.3. Compuestos volátiles cuantificados ($\mu\text{g/g}$ materia fresca) en los lotes de mango

Compuestos	Concentración $\mu\text{g/g}$ fruta fresca			
	Lote 1	Lote 2	Media	α
Aldehídos				
Heptanal	0,019 (0,001)	0,034 (0,001)	0,027 (0,009)	*
Benzaldehído	0,008 (0,001)	0,007 (0,001)	0,008 (0,001)	n.s.
Nonanal	0,053 (0,002)	0,035 (0,002)	0,044 (0,010)	*
Terpenos				
α -pineno	0,011 (0,001)	0,009 (0,001)	0,010 (0,001)	n.s.
Camfeno	0,002 (0,001)	0,003 (0,001)	0,002 (0,001)	*
β -miraceno	0,013 (0,001)	0,020 (0,003)	0,017 (0,004)	n.s.
α -felandreno	0,006 (0,001)	0,010 (0,002)	0,008 (0,002)	n.s.
3-careno	0,300 (0,060)	0,500 (0,050)	0,401 (0,130)	n.s.
Limoneno	0,011 (0,002)	0,016 (0,003)	0,013 (0,004)	n.s.
Alcohol				
Monoterpénico				
α -linalool	0,009 (0,001)	0,005 (0,001)	0,007 (0,003)	*

n.s.: no significativamente diferente; $\alpha < 0.05$
Valores entre paréntesis: Desviación Estándar

La evaluación del efecto de los tratamientos osmóticos en el perfil de volátiles del mango se llevó a cabo estudiando los cambios ocasionados en la concentración de cada compuesto, inducidos por los tratamientos. De esta manera, al valor promedio de concentración, obtenido en las muestras procesadas (C), se le restó el valor promedio de la concentración obtenida en las muestras

frescas (Co); es decir, para cada compuesto se obtenía (C-Co), expresando el resultado final en $\mu\text{g/g}$ de muestra fresca.

En la figura IV.1.4. (a y b) se observa los cambios en la concentración ($\mu\text{g/g}$ muestra fresca) inducidos por los tratamientos osmóticos para todos los compuestos cuantificados. Los tratamientos osmóticos conllevaron cambios en el perfil de volátiles del mango. Este hecho ha sido observado con anterioridad en trabajos previos realizados en fresa (Escriche *et al.*, 2000a) y kiwi (Talens *et al.*, 2003).

En general, cuando las muestras fueron deshidratadas hasta un nivel de 30 °Brix, se observó una disminución en la concentración de los compuestos volátiles, especialmente en muestras procesadas en condiciones PVOD; los compuestos principalmente afectados fueron 3-careno y nonanal. Sin embargo, se observó que en las muestras deshidratadas hasta 20 °Brix hubo un incremento en algunos volátiles, debido a los tratamientos osmóticos. En este caso, los tratamientos llevados a cabo con disoluciones de 45 °Brix fueron los ocasionaron menos cambios en el perfil de volátiles.

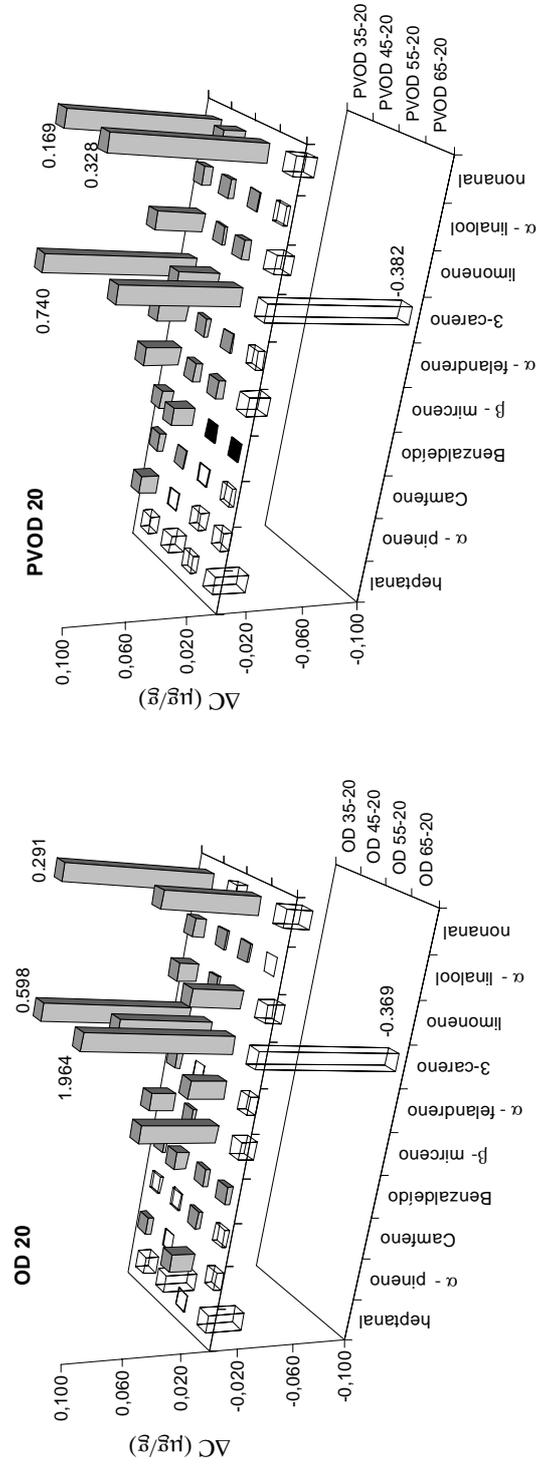


Figura IV.1.4.(a) Cambios en la concentración ($\Delta C=C-Co$) de algunos los principales compuestos de la fracción volátil del mango ($\mu\text{g/g}$ materia fresca) debido a los tratamientos osmóticos. (Co) valor promedio de concentración del compuesto en fruta fresca. (C) valor promedio de concentración del compuesto en muestras procesadas hasta una concentración de 20 °Brix. Las barras blancas representan valores negativos, y las barras oscuras, valores positivos. Se especifica la concentración del 3-careno y nonanal para adaptar la escala del gráfico al resto de los valores

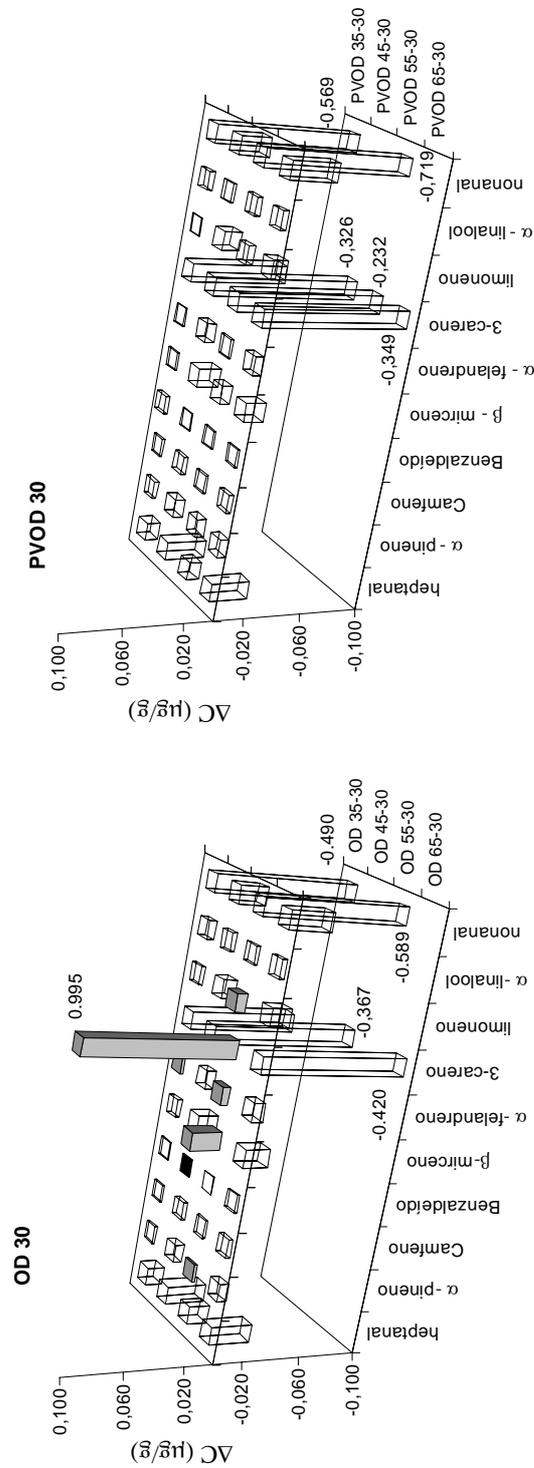


Figura IV.1.4.(b) Cambios en la concentración ($\Delta C=C-Co$) de algunos de los principales compuestos de la fracción volátil del mango ($\mu\text{g/g}$ materia fresca) debido a los tratamientos osmóticos. (Co) valor promedio de concentración del compuesto en fruta fresca. (C) valor promedio de concentración del compuesto en muestras procesadas hasta una concentración de 30 °Brix. Las barras blancas representan valores negativos, y las barras oscuras, valores positivos. Se especifica la concentración del 3-careno y nonanal para adaptar la escala del gráfico al resto de los valores

Los mayores cambios fueron observados en los compuestos analizados en todos los casos que se emplearon disoluciones de sacarosa de 65 °Brix para los tratamientos osmóticos. Los tratamientos PVOD 35-20 y OD 55-20 conllevaron a los mayores aumentos de concentración de volátiles (en 9 de los 10 compuestos cuantificados).

En la figura IV.1.5. se observa la pauta de variación de los compuestos terpénicos en relación al tipo de tratamiento es muy similar, obteniéndose la máxima generación de compuestos terpénicos en las muestras con una concentración de sólidos solubles en la fase líquida de 20 °Brix, tratadas a presión atmosférica con una disolución osmótica de sacarosa de 55 °Brix. No obstante, no se observó una pauta de comportamiento similar para los aldehídos analizados.

El comportamiento del benzaldehído, muestra que los tratamientos llevados a cabo con disoluciones de 45 °Brix promueven la formación de este compuesto cuando las muestras son procesadas hasta un nivel de 20 °Brix.

1.4.3. Análisis estadístico

Después del estudio individual de cada compuesto, se realizó un análisis multivariante (Regresión PLS2) con el propósito de describir el comportamiento de la fracción volátil relacionado tanto con las variables composicionales como con los tratamientos aplicados. En la figura VI.1.6. se observa una representación bidimensional PCA, la cual fue obtenida considerando los valores de concentración de la serie completa de compuestos cuantificados (tanto para muestras frescas como procesadas) y los diferentes tratamientos.

IV.1. INFLUENCIA DE LOS TRATAMIENTOS OSMÓTICOS - PERFIL VOLÁTIL

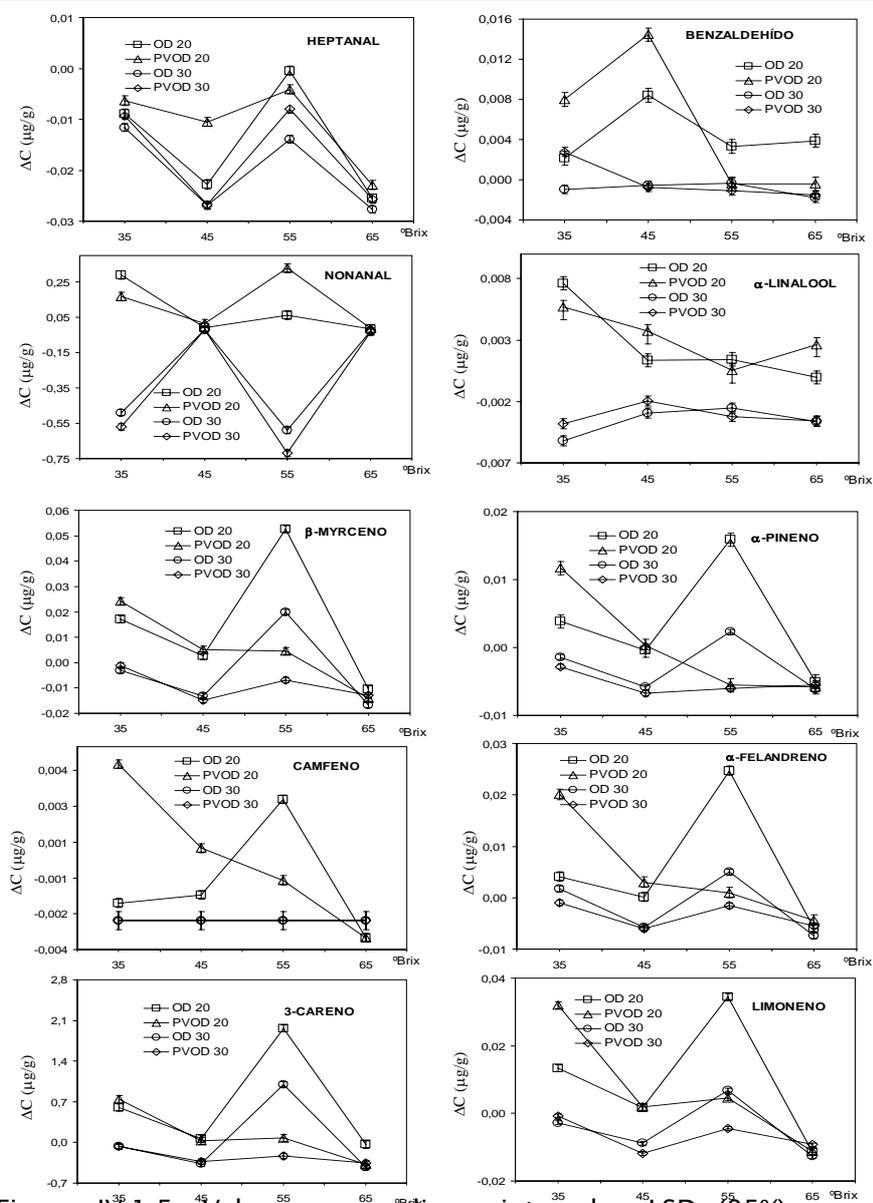


Figura IV.1.5. Valores promedio e intervalos LSD (95%) para las diferencias de concentración de los compuestos representativos de la fracción volátil del mango, obtenidos del ANOVA multifactor (concentración de la disolución osmótica y variación en la concentración debida a los procesos)

Se observó que, dos de los componentes principales (PC) explican el 81% de la variabilidad de los datos. El PC1 explica el 67% de la variabilidad, mientras que el PC2 explica el 14%. En esta representación, la proximidad entre los puntos representativos de los tratamientos indica un comportamiento similar del perfil aromático de las muestras después del proceso y la proximidad entre los compuestos indica un comportamiento de variación similar en los diferentes tratamientos.

Todos los compuestos están situados a la derecha del semi-plano en la representación. La ubicación de los tratamientos en el gráfico refleja la formación de dos grupos claramente diferenciados: aquellos que están ubicados a la derecha del plano los cuales corresponden a las condiciones que promovieron las mayores concentraciones de volátiles, y aquellos que están localizados a la izquierda del plano, que corresponden a aquellos que indujeron las concentraciones más bajas. En este último grupo, se puede observar una gran proximidad entre los tratamientos donde las muestras fueron procesadas hasta obtener una concentración de 30 °Brix (excepto OD 55-30) y aquellas muestras procesadas con una disolución osmótica de 65 °Brix. Esto sugiere un impacto semejante entre estos tratamientos, el cual conlleva una pérdida de compuestos volátiles, teniendo como referencia el perfil de las muestras frescas.

En el primer grupo están incluidos los tratamientos donde se alcanzó un nivel de 20 °Brix, excepto aquellas muestras sometidas a tratamientos con disoluciones de 65 °Brix. Los tratamientos PVOD 45-20 y PVOD 55-20 se encuentran muy cercanos a las muestras frescas en el plano estando esto de acuerdo con el hecho de que un perfil de volátiles similar es obtenido en estos casos. Por el contrario,

los tratamientos OD 55-20 y PVOD 35-20 fueron aquellos que mostraron una mayor producción de compuestos volátiles.

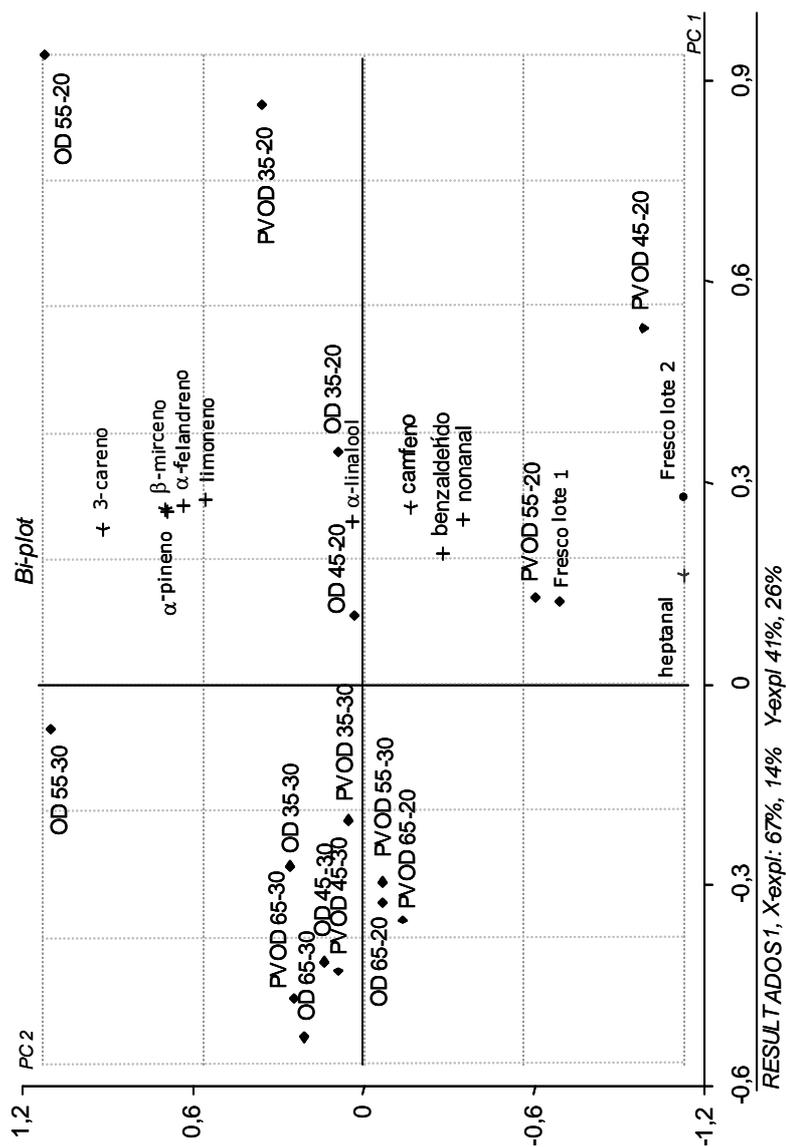


Figura IV.1.6. Gráfico bimimensional para los tratamientos y los compuestos volátiles (PC1 y PC2) obtenido por medio de un análisis PLS2. Los procesos son identificados por rombos negros y los compuestos por cruces negras

De acuerdo a la distribución de los compuestos a lo largo del segundo eje, se aprecia una gran separación entre la mayoría de los compuestos terpénicos (excepto camfeno) y el heptanal. El heptanal es un aldehído de cadena corta, característico de las frutas frescas (Pfannhauser, 1988; Talens, et.al., 2003). Por lo tanto, es lógica su proximidad en el gráfico al punto representativo del mango fresco. La proximidad de los tratamientos PVOD 45-20 y PVOD 55-20, a las muestras frescas, demuestra que estos corresponden a las condiciones de proceso que ocasionan las menores alteraciones en el perfil de volátiles. La proximidad en el plano entre los compuestos terpénicos y los tratamientos OD 55-20 y PVOD 35-20, indican que estos tratamientos promovieron la generación de éstos compuestos volátiles.

En la figura IV.1.7. se puede apreciar un gráfico de correlación de cargas para las variables que representan las concentraciones de volátiles y aquellas relacionadas con los cambios composicionales de las muestras (fracción másica de agua (x_w) y sólidos solubles (x_s), contenido de sólidos solubles en la fase líquida (Z_s), pérdida de masa (ΔM) y pérdida de agua (ΔM_w) y ganancias de azúcares (ΔM_s)).

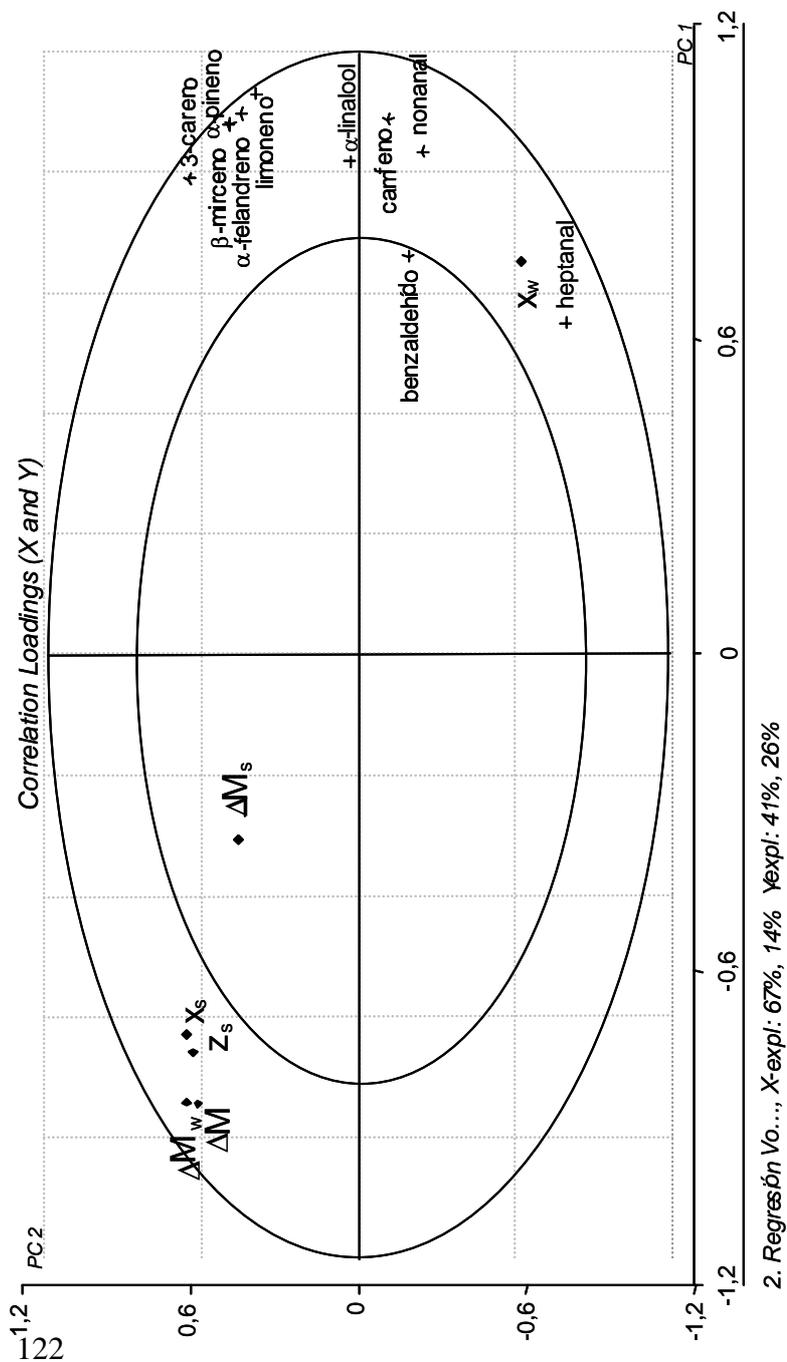


Figura IV.1.7. Gráfico de correlación de cargas (X e Y) para las variables composicionales (Z_s , X_w , X_s , ΔM , ΔM_s y ΔM_w) y los compuestos volátiles de las muestras; obtenido mediante un análisis PLS2. Las variables de proceso son identificados por rombos negros y los compuestos por cruces negros

Todas las variables composicionales, excepto ΔM_s , mostraron una correlación significativa entre los compuestos volátiles, en tanto en cuanto éstos están ubicados entre las dos elipses representadas. Un aumento en los valores de x_s , Z_s , ΔM y ΔM_w , está relacionado con una disminución en la concentración de los compuestos volátiles. Sin embargo, un aumento de x_w está asociado al desarrollo de todos los compuestos, especialmente heptanal. Esto quiere decir que un incremento en el nivel de concentración de azúcar en las muestras implica pérdidas de volátiles, especialmente el heptanal.

No se observa claramente un efecto individual de las condiciones de proceso (pulso de vacío, concentración de la disolución osmótica, y el nivel de concentración final de las muestras) en el perfil de volátiles, pero hay algunas interacciones entre éstas variables. La concentración de sólidos solubles de las muestras afecta al perfil de volátiles; en este sentido, cuando las muestras son procesadas en mayor intensidad, se induce una disminución en la concentración de los compuestos. No obstante, los tratamientos que son realizados con disoluciones altamente concentradas (65 °Brix) también están relacionados con una reducción en la concentración de los compuestos, sin importar el nivel de °Brix alcanzado en las muestras.

El comportamiento descrito para los compuestos volátiles, puede ser el resultado de diferentes fenómenos: la lixiviación (difusión de desde las muestras hacia la disolución osmótica) y las reacciones de formación-degradación de compuestos, que tienen lugar en el tejido, y que están asociadas al estrés celular inducido por los tratamientos.

En lo que respecta al fenómeno de lixiviación, el tiempo de tratamiento influye significativamente ya que largos tratamientos conllevan a grandes niveles de difusión. Sin embargo, el grado de alteración celular también es responsable de los cambios fisiológicos que se presentan, dependiendo además de las condiciones de

proceso. En este sentido, pueden esperarse diferentes perfiles de concentración y de alteración celular en función de las variables de proceso (Salvatori, *et al.*, 1998; Albors *et al.*, 1998). El estrés osmótico, además de otros factores, promueve la generación de compuestos volátiles en el tejido vegetal, siendo éste responsable del aroma de la fruta debido a la acción enzimática (Zabetakis y Holden, 1997). Algunos estudios previos han corroborado el papel de las enzimas en el desarrollo de compuestos volátiles cuando las muestras fueron sometidas a procesos osmóticos (Escriche *et al.*, 2000a).

Los tratamientos realizados con disoluciones altamente concentradas ocasionan un perfil muy abrupto en la concentración de sólidos solubles en las muestras, el cual está asociado a un perfil del grado de alteración celular en el producto. Por el contrario, las disoluciones osmóticas diluidas inducen a un perfil de concentraciones más homogéneo donde más células son afectadas, aunque con menos intensidad. La aplicación de un pulso de vacío al inicio de los tratamientos implica una modificación en el perfil de concentraciones de la muestra, ya que las disoluciones osmóticas penetran profundamente en el tejido al mismo tiempo que son eliminados en gran medida tanto los gases como los espacios intercelulares, lo que, a su vez, puede afectar a las rutas metabólicas y bioquímicas en las células estresadas. Por otra parte, cuanto más grande es la concentración total de las muestras, mayor será el número de células implicadas en los cambios del tejido. El número de células afectadas y el grado de alteración tendrán un impacto directo en los cambios bioquímicos registrados a través del análisis de volátiles.

1.5. CONCLUSIONES

- ✧ *En la fracción volátil del mango fresco (*Mangifera indica* L., variedad Kent) se identificaron 50 compuestos por GC-MS, siendo mayoritarios los terpenos (especialmente el 3-careno), que contribuyen en gran medida a las características aromáticas de esta fruta.*

- ✧ *En general, el perfil de volátiles del mango mínimamente procesado se ve claramente afectado por las condiciones de proceso: pulso de vacío, concentración de la disolución osmótica, y grado de deshidratación.*

- ✧ *El uso de disoluciones osmóticas de alta concentración y un nivel de deshidratación de 30 °Brix, llevan a una disminución en la concentración del perfil de volátiles del mango deshidratado, lo que puede atribuirse por un lado al flujo de compuestos durante el proceso de deshidratación y al grado de deterioro celular ocasionado por la operación.*

- ✧ *La aplicación de tratamientos cortos (20 °Brix de concentración en la muestra), propicia un incremento en la concentración de la mayoría de los compuestos volátiles. Este aumento se puede atribuir al estrés celular ocasionado por los procesos osmóticos que aumentan la actividad fisiológica intracelular.*

2. EFECTOS DE LOS TRATAMIENTOS OSMÓTICOS EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS

2.1. INTRODUCCIÓN

La textura, Para algunos autores, es el conjunto de propiedades que se derivan de la especial disposición que tienen entre sí las partículas que integran los alimentos. Para otros, es el conjunto de propiedades de un alimento capaces de ser percibidas por los ojos, el tacto y los músculos de la boca; incluyendo sensaciones como aspereza, suavidad y granulosidad. O también, percepciones que tienden a constituir una valoración de las características físicas del alimento que se perciben a través de la masticación. Con todo esto, el estudio de la textura en los alimentos, es de gran importancia como parámetro de calidad. En frutas y hortalizas, la textura es un sinónimo de frescura y de madurez; atributo que se ve fácilmente modificado dependiendo de la manipulación de estos productos.

Definir lo que hoy se entiende por textura de los alimentos no ha sido una tarea sencilla debido, principalmente, a que este atributo es el resultado de la percepción de estímulos de distinta naturaleza, y a que su evaluación por el hombre no es instantánea, sino que comprende diferentes aspectos de un proceso dinámico (percepción visual de la superficie del producto, comportamiento de éste durante su manipulación previa a la ingestión, e integración de las sensaciones bucales experimentadas durante la masticación y la deglución), que se componen en el cerebro para dar una sensación única. Por ello, desde que en la década de los 60 se empezó a considerar la importancia de la textura en la calidad de los alimentos, se han propuesto numerosas definiciones de la misma; según

Rosenthal (2001) la textura se define como "*Todos los atributos mecánicos, geométricos y superficiales de un producto perceptibles por medio de receptores mecánicos, táctiles y, si es apropiado, visuales y auditivos*". Otra definición que sintetiza y reúne los conceptos de varios autores es la que aparece en la Norma Española UNE 87001 (AENOR, 1997): "Conjunto de propiedades reológicas y de estructura (geométricas y de superficie) de un producto, perceptibles por los mecano-receptores, los receptores táctiles y en ciertos casos, por los visuales y los auditivos".

Los animales han desarrollado mecanismos sensoriales para evaluar la palatabilidad a través del sabor y de la textura como respuesta a la necesidad de evaluar la adecuación de posibles materiales como alimento. Para los hombres, las sensaciones que resultan al percibir las cualidades de textura de un alimento, son de gran importancia, ya que con éstas se puede evaluar la frescura, y satisfacer las sensaciones requeridas por el consumidor.

Existen diferentes factores que contribuyen y condicionan las propiedades mecánicas del tejido vegetal entre las que cabría destacar: La turgencia de las células, la fuerza de unión celular a través de la lámina media, la resistencia de las paredes celulares a las fuerzas de compresión o de tensión, la densidad del contenido celular, el tamaño y la forma de las muestras, la temperatura, y el nivel de deformación (Pitt, 1992; Vincent, 1994; Chiralt *et al.*, 2001).

La composición química y física, de los diferentes elementos estructurales de los alimentos, influye directamente sobre los parámetros mecánicos de los mismos. En lo que respecta a las frutas y hortalizas; éstos están compuestos por diferentes tejidos, células, y sustancias contenidas en los espacios intercelulares. Según Edwards (2001), la funcionalidad mecánica del tejido vegetal está muy relacionada con los componentes estructurales de sus células. La

pared celular está compuesta por fibras de celulosa y hemicelulosa en una matriz de agua y pectinas. Las pectinas (polímeros de ácido galacturónico) también cementan las paredes celulares de las células vecinas a lo largo de las uniones entre ellas (la lámina media). Las paredes cementadas juntas imparten un grado de rigidez, pero el principal significado del mantenimiento de la forma del tejido de la planta es la presión de turgencia dentro de las células individuales. La presión de turgencia es la presión hidrostática producida por el contenido celular. Cuando la presión de turgencia se pierde, la estructura colapsa en mayor o menor grado.

El principal material estructural en las frutas y hortalizas es la celulosa (polímero glucosa), cuyo comportamiento a la fractura está directamente relacionado con el modelo de comportamiento a la fractura del material vegetal. Sin embargo, un factor que influye substancialmente en las características mecánicas de la celulosa es la presencia de agua. La mayoría de los tejidos vegetales utilizados como alimentos contienen del 75 al 95% de agua, cuyo comportamiento es un factor esencial en los efectos del procesado de alimentos sobre la estructura y la textura. Los métodos de procesado que tienen una acción significativa en la integridad de las células (desgaste parcial o destrucción), pueden influir de igual forma en la capacidad de las mismas para mantener su turgencia (Edwards, 2001).

Los cambios físicos y químicos que tienen lugar durante el proceso osmótico, conducen a cambios en las propiedades macroscópicas del producto, tales como las propiedades mecánicas y ópticas, hasta cierto grado, dependiendo de las condiciones de proceso y las características del material. (Torreggiani, 1995). Estos cambios están directamente relacionados con el color, la apariencia y la textura del producto. (Chiralt *et al.*, 2001; Talens *et al.*, 2002a;

Chiralt y Talens, 2005). Se ha comprobado que los pretratamientos osmóticos mejoran las características mecánicas de algunas frutas descongeladas (Torreggiani, 1995; Robbers *et al.*, 1997; Talens *et al.*, 2002b; Chiralt *et al.*, 2001), disminuyen el pardeamiento enzimático (Conway *et al.*, 1983) y reducen el colapso estructural y la lixiviación durante los procesos de descongelación (Forni *et al.*, 1990).

El patrón mecánico de respuesta del tejido vegetal, para frutas frescas, señala una relación lineal entre la deformación y el esfuerzo, llamado también respuesta elástica, éste comportamiento se extiende hasta un nivel crítico de deformación. La pendiente resultante de la línea recta indica el valor del módulo de elasticidad del material exhibido a pequeña deformación (Mohsenin, 1986). Para mayores niveles de deformación, la pendiente esfuerzo-deformación disminuye como consecuencia del flujo interno y finalmente ocurre la fractura de la muestra. Esto ocurre a valores de deformación y de esfuerzo característicos (σ_F y ϵ_{HF}), dependiendo principalmente de la presión de turgencia del tejido y del modo de ruptura celular durante la compresión.

Los fenómenos de pérdida de agua y solutos, la penetración y difusión de solutos externos, y las alteraciones fisiológicas de las células debido a la ocurrencia de reacciones químicas y bioquímicas, originan cambios en las propiedades mecánicas, a diferentes niveles, dependiendo de las condiciones de proceso y de las características del producto (Chiralt *et al.*, 2001; Torreggiani, 1995); estos cambios están directamente relacionados con la textura del producto. Los principales cambios ocasionados por los tratamientos osmóticos que afectan el comportamiento mecánico del tejido vegetal son: Pérdida de la turgencia de la célula, alteración de la lámina media (Alzamora *et al.* 1997), alteración de la resistencia de las paredes celulares,

aparición de perfiles de concentración de agua y solutos, cambios de la fracción volumétrica de líquido y gas en las muestras, y cambios en el tamaño y la forma de las muestras (Chiralt *et al.*, 2001). De esta manera, los cambios esperados en la respuesta mecánica del producto producidos por los tratamientos osmóticos, serán: disminución en la relación esfuerzo-deformación asociados a la potenciación del comportamiento viscoso frente al elástico y a la modificación en el modo de fractura. De esta manera, en vez de la ruptura celular, se favorecerá la desunión celular del tejido vegetal, lo que implicará un notable aumento en los valores de deformación en el punto de fractura y una disminución en los valores del esfuerzo de fractura y del módulo inicial (Chiralt *et al.*, 2001).

El enriquecimiento de frutas y vegetales con calcio, asociado a los tratamientos osmóticos puede mejorar las propiedades mecánicas del tejido, como se menciona en el apartado I.5. Esto es debido al hecho de que el calcio presente en la disolución, una vez ha sido impregnado en la estructura de la fruta (a diferentes niveles, dependiendo de las variables del proceso), puede interactuar con la matriz celular de la misma, formando uniones con las pectinas y otros componentes de las paredes celulares, y modificando su respuesta estructural (Gras *et al.*, 2003).

2.2. INTERÉS Y OBJETIVOS DEL ESTUDIO

La textura es una de las características sensoriales que más influyen en la aceptación del producto y en la actitud del consumidor para volver a adquirirlo.

Como se ha mencionado en apartados anteriores, no solo el efecto de los tratamientos es notable en la textura de un producto,

IV.2. INFLUENCIA DE LOS TRATAMIENTOS OSMÓTICOS – PROPIEDADES MECÁNICAS

sino también el efecto de los procesos biológicos propios del fruto, entre los que cabe destacar, la actividad fisiológica y enzimática.

El *objetivo general* de éste estudio fue analizar el efecto de los tratamientos osmóticos en función de las variables de proceso (Aplicación o no de pulso de vacío; concentración de la disolución osmótica: 45 y 65 °Brix; y concentración de lactato de calcio en dicha disolución: 0, 1 y 2%) en las propiedades mecánicas del mango mínimamente procesado hasta una concentración de 30 °Brix en la fase líquida del producto final.

Las condiciones de tratamiento se seleccionaron, en base a la diferente viscosidad y fuerza impulsora inducida de las disoluciones osmóticas que comportarán tiempos de tratamiento y perfiles de concentración en el tejido diferentes, así como para evaluar el efecto del ión calcio en diferente concentración en la estructura celular. El efecto de la impregnación del tejido puede ser también relevante ya que induce una considerablemente mayor ganancia de sólidos, un intercambio gas-líquido en los espacios intercelulares y unos perfiles de concentración más planos debido a la actuación de otros mecanismos de transporte (Chiralt y Fito, 2003). Todo lo cual puede suponer diferencias relevantes en el comportamiento mecánico de las muestras.

Para lograr el objetivo general, se establecieron los siguientes objetivos específicos.

- ✧ *Caracterización de las propiedades fisicoquímicas, contenido en calcio y propiedades mecánicas de la materia prima.*
- ✧ *Aplicación de los tratamientos seleccionados en el diseño experimental y caracterización de las propiedades fisicoquímicas, contenido en calcio, variaciones de peso, de contenido de agua y*

de sólidos solubles y propiedades mecánicas de las muestras procesadas.

✧ *Análisis de los resultados obtenidos.*

2.3. MATERIALES Y MÉTODOS

2.3.1. Materia prima y agente osmótico

Para la elección y preparación de las muestras, se siguió el procedimiento que se indica en el Capítulo III, apartados 1.1. y 1.2.

Como agente osmótico se emplearon disoluciones de sacarosa de 45 y 65 °Brix, con adición de lactato de calcio en concentraciones de 0, 1 y 2% (p/v). Para la preparación de las disoluciones de trabajo se siguió el procedimiento que se menciona en el capítulo III, apartado 1.4.

2.3.2. Diseño experimental y aplicación de los tratamientos

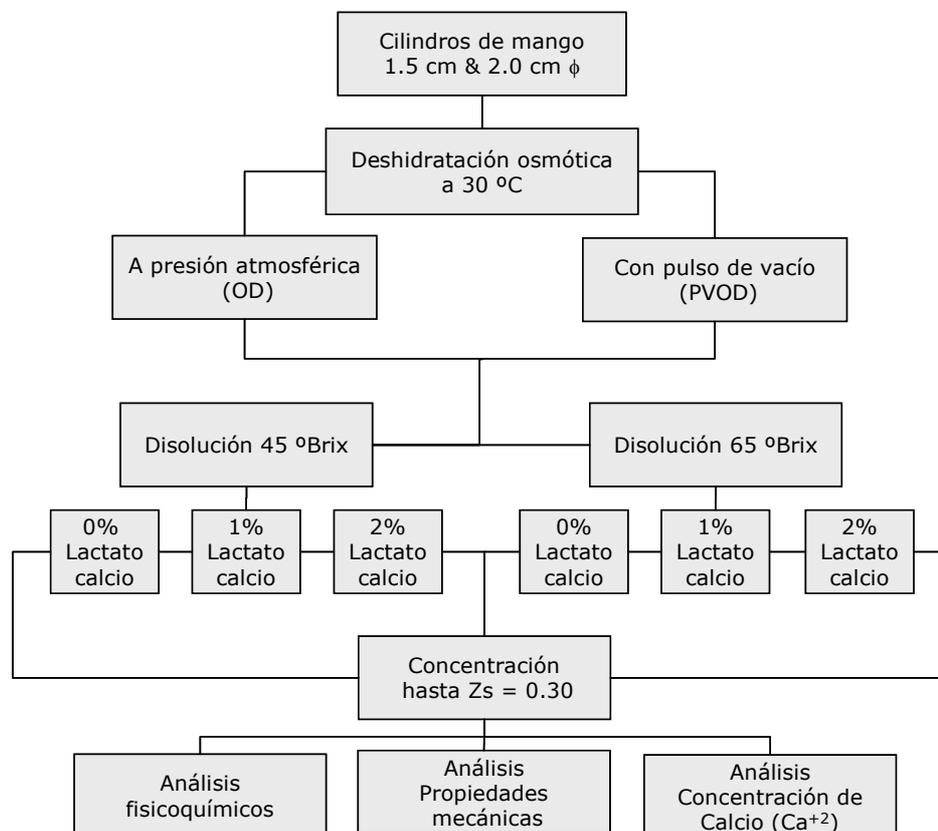
Se realizaron 12 tratamientos, 6 con disoluciones de 45°Brix (3 a presión atmosférica y 3 con pulso de vacío) con, 0, 1 y 2 % de lactato cálcico, respectivamente y 6 tratamientos similares con disoluciones de 65 Brix. El método de conformación de muestras se describe en el Capítulo III, apartado 1.3. La aplicación de los tratamientos se llevó a cabo, como se describe en el capítulo 3, apartados 2.1. y 2.2. Los tiempos de proceso fueron determinados mediante las ecuaciones de predicción, obtenidas en estudios anteriores (Giraldo, 2003).

En la figura IV.2.1. se observa el esquema del procedimiento experimental. Para la caracterización de los cambios físico-químicos inducidos por los tratamientos, se utilizaron 3 mangos para los tratamientos a presión atmosférica y 3 más para los tratamientos con

IV.2. INFLUENCIA DE LOS TRATAMIENTOS OSMÓTICOS – PROPIEDADES MECÁNICAS

pulso de vacío. De cada mango se obtuvieron 21 cilindros, 3 de ellos fueron empleados para la caracterización de la fruta fresca y los otros 6 grupos de 3 cilindros restantes fueron sometidos a los diferentes tratamientos. Posteriormente se determinaron los parámetros fisicoquímicos y la cantidad de calcio en las muestras frescas y procesadas (n=9), (para la muestra fresca, n=18).

Figura IV.2.1. Esquema del procedimiento experimental



Para evaluar las propiedades mecánicas, se utilizaron 3 mangos para los tratamientos sin calcio, 3 más para los tratamientos con 1 %

de calcio y 3 más para los tratamientos con 2%. Se obtuvieron 20 cilindros de cada fruta; 4 de ellos fueron empleados para la caracterización mecánica de la fruta fresca y los otros 4 grupos de 4 cilindros restantes fueron sometidos a los diferentes tratamientos para realizar el análisis mecánico en cada una de las cuatro muestras equivalentes ($n=12$), (para las muestras frescas, $n=24$)

2.3.3. Determinación de los parámetros fisicoquímicos

La determinación de los parámetros fisicoquímicos: fracción másica de agua (x_w), fracción másica de sólidos solubles (x_s) y porcentaje de sólidos solubles en la fase líquida (Z_s); y las variaciones de masa (ΔM), sólidos solubles (ΔM_s) y contenido en agua (ΔM_w), se realizó siguiendo los procedimientos que se indican en el Capítulo III, apartado 3.

2.3.4. Determinación de las propiedades mecánicas

Se realizó un ensayo de compresión uniaxial simple (Dobraszczyk *et al.*, 1999), a temperatura ambiente (22°C) aplicando una deformación máxima del 80% a las muestras (cilindros de: 2 cm de diámetro y 1.5 cm de altura), con una velocidad de deformación de 1 mm s⁻¹. El equipo utilizado fue una prensa universal (Stable Micro Systems Modelo TA-XT2, Inglaterra) con una célula de carga de 250 N y un émbolo plano de 75 mm de diámetro. Las curvas obtenidas fuerza-distancia, se transformaron en curvas de tensión-deformación de Hencky (Peleg, 1979), mediante las ecuaciones VI.2.1 y VI.2.2. respectivamente.

IV.2. INFLUENCIA DE LOS TRATAMIENTOS OSMÓTICOS – PROPIEDADES MECÁNICAS

La tensión de compresión $\sigma_{(t)}$ fue calculada considerando que el volumen de la muestra permanece constante durante el ensayo (Peleg, 1983), según:

$$\sigma_{(t)} = \frac{F(t)}{A(t)} = \frac{F(t)}{(\pi r_o^2 h_o)} (h_o - dh(t)) \quad [\text{Pas}] \quad (\text{VI.2.1.})$$

$$\varepsilon_H = Ln \frac{h_o}{(h_o - dh(t))} \quad (\text{VI.2.2.})$$

Donde:

$\sigma_{(t)}$:	Tensión de compresión (N/m ²)=(Pas)
ε_H :	Deformación de Hencky
$F(t)$:	Fuerza de la compresión a tiempo (t) (N)
$A(t)$:	Superficie de la muestra en contacto con el émbolo de la prensa a tiempo (t) (m ²)
r_o :	Radio inicial de la muestra (m)
h_o :	Altura inicial de la muestra (m)
$dh(t)$:	Variación de la altura de la muestra a cada tiempo (t) (m)

A partir de los valores de esfuerzo σ y deformación ε_H a cada tiempo, y de las representaciones gráficas se obtuvieron los siguientes parámetros mecánicos:

- ✧ *El módulo de deformabilidad o elástico (Ed), indicador de la rigidez de la muestra, corresponde a la pendiente de la zona lineal de la curva,.*

- ✧ *La tensión de fractura (σ_F), relacionada con la dureza de las muestras y con su resistencia a la fractura, se determina a partir del punto de la curva donde la pendiente de la misma disminuye en gran proporción.*
- ✧ *La deformación de fractura (ε_{HF}), relacionada con la capacidad de la muestra para ser deformada antes de la fractura, se determina para el valor de (σ_F).*

2.3.5. Determinación del contenido en calcio

La cuantificación del calcio fue llevada a cabo empleando el método de cuantificación de minerales por espectrofotometría de absorción atómica (método de la AOAC 975.03; AOAC, 1997).

Para la preparación de las muestras, se tomaban 1,5 g de cada cilindro, pesados en crisoles de porcelana. Se llevaban a una placa calefactora (IKA LABORTECHNIK Inc. mod. RH basic) con el fin de eliminar la humedad y carbonizar las muestras. Posteriormente los crisoles se introducían en un horno de mufla eléctrico de 9 L de capacidad (P-SELECTA mod. Select-Horn), donde se calentaban progresivamente desde 250 hasta 550 °C en un intervalo de 2 horas, manteniéndose esta última temperatura constante durante un periodo de 10 horas hasta conseguir cenizas (la operación de calcinación en el horno mufla, se realizaba las veces necesarias para obtener cenizas blancas, lo cual indica la total destrucción de la materia orgánica). Las cenizas se diluían en 1 mL de ácido nítrico extra puro al 65% (SCHARLAU CHEMIE, S.A., Barcelona, España), y luego se disolvían en agua desionizada, mediante sucesivos lavados de los crisoles. Para evitar las interferencias causadas por otros minerales presentes en la muestra, se añadía un volumen de disolución de estroncio al 5%. Esta disolución se preparaba con

cloruro de estroncio hexa-hidratado (MERK, Darmstadt, Alemania) en agua desionizada, teniendo en cuenta la pureza de la sal. La disolución de estroncio se añadía a las cenizas disueltas en un volumen de 1 mL por cada 10 mL del volumen a aforar.

El análisis fue realizado en un espectrofotómetro de absorción atómica de la casa Perkin Elmer bajo las siguientes condiciones: $\lambda = 422.7$ nm y llama de aire-acetileno. El procedimiento de cuantificación se realizó, mediante la elaboración de curvas de calibración, con los valores de absorbancia obtenidos a partir de una serie de patrones de Ca^{+2} de diferentes concentraciones conocidas (hasta una concentración máxima de 10 ppm de Ca^{+2}). La corrección de la posible presencia de trazas de Ca^{+2} en los reactivos, fue realizada mediante la preparación y análisis de blancos.

2.3.6. Análisis de datos

Para el tratamiento de los datos se aplicaron diferentes análisis estadísticos:

- ✧ *Análisis de la varianza ANOVA nivel de confianza del 95%, e intervalo de confianza LSD, Least Significant Difference) para evaluar la significación estadística de las diferencias encontradas entre los tratamientos. El análisis multifactor (concentraciones de calcio y de °Brix, en las disoluciones de trabajo; y presión de trabajo) se realizó para considerar las interacciones entre los factores. Se utilizó el programa estadístico Statgraphics® Plus en su versión 5.1. para Windows.*
- ✧ *Análisis de correlación de Pearson, mediante el programa SPSS para Windows, Versión 12.0 (2003). El análisis estadístico se realizó con el fin de comprobar la correlación existente entre el contenido en calcio de las muestras de mango analizadas y su*

efecto en los parámetros mecánicos de las mismas. El análisis se realizó para los niveles de confianza del 95 y 99%.

2.4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

2.3.1. Determinaciones fisicoquímicas y balances de materia

La Figura IV.2.2. muestra la representación de los balances de materia para todos los tratamientos realizados, como resultado de la caracterización fisicoquímica de las muestras. En ella se observa que para todos los casos, los puntos se distribuyen muy bien sobre la diagonal, lo que indica una buena precisión experimental y fiabilidad de los resultados.

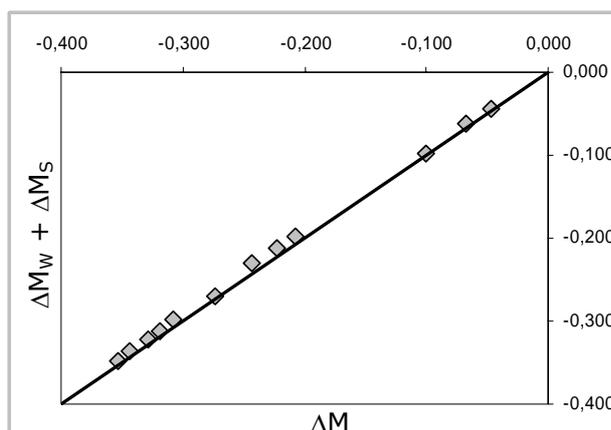


Figura IV.2.2. Balances de materia de la caracterización fisicoquímica de las muestras deshidratadas

De los resultados obtenidos en la caracterización fisicoquímica de las muestras frescas se obtuvo que, éstas mostraron una fracción másica de agua y sólidos solubles de $x_w = 0,083$ (0,01) y $x_s = 0,15$ (0,01), respectivamente. En la tabla IV.2.1. se observa las fracciones

másicas de agua y sólidos solubles alcanzadas en las diferentes muestras para cada tratamiento.

La fracción másica de sólidos solubles en la fase líquida de la fruta (agua mas solutos) alcanzada para los diferentes tratamientos fue de 0,301 (0,005), tal como se prefijó para los tratamientos. En la tabla IV.2.1., se puede observar que esta concentración se logra con diferentes niveles de pérdidas de agua (ΔM_w) y ganancia de solutos (ΔM_s), dependiendo del tratamiento.

Esto se debe a la acción conjunta de los diferentes mecanismos de transferencia de masa (osmo-difusionales e hidrodinámicos), a diferentes niveles dependiendo del tratamiento. La baja viscosidad de las disoluciones osmóticas (menos concentradas) y el pulso de vacío, favorecen la ganancia hidrodinámica de la disolución osmótica en los poros del tejido vegetal; así es como una determinada concentración de solutos en la muestra es alcanzada con menores pérdidas de agua (y peso) (Lazárides *et al.*, 1999; Fito *et al.*, 2001b). De esta forma, las mayores pérdidas de peso fueron observadas en las muestras sometidas a los tratamientos llevados a cabo a presión atmosférica (OD), empleando disoluciones con una concentración de 65 °Brix, mientras que los valores más bajos fueron obtenidos con los tratamientos donde se aplicó un pulso de vacío al inicio del proceso (PVOD) y utilizando disoluciones de 45 °Brix.

En la fortificación de frutas y vegetales con calcio, el ión puede interactuar con la matriz celular, modificando la respuesta a la impregnación (IV) con la disolución osmótica (Gras *et al.*, 2003), y la velocidad con la cual los diferentes mecanismos de transporte ocurren en los tejidos; debido esto a los cambios estructurales.

Tabla IV.2.1. Tiempo de proceso y cambios composicionales de las muestras en los diferentes tratamientos [Fracción másica de agua (x_w) y sólidos solubles (x_s), contenido de sólidos solubles en la fase líquida (z_s); pérdida de peso (ΔM), pérdida de agua (ΔM_w) y ganancia de solutos (ΔM_s)]

Tratamientos	Tiempo Proceso (min)	x_w	x_s	z_s	ΔM	ΔM_s	ΔM_w
65 OD	152,5	0,69 (0,01)	0,30 (0,01)	30,07 (0,61)	-0,353 (0,004)	0,038 (0,008)	-0,386 (0,008)
65 OD + Ca ⁺² (1%)	182,5	0,70 (0,01)	0,29 (0,01)	29,60 (0,50)	-0,329 (0,009)	0,043 (0,008)	-0,365 (0,006)
65 OD + Ca ⁺² (2%)	242,5	0,70 (0,01)	0,29 (0,01)	29,50 (0,36)	-0,308 (0,011)	0,049 (0,007)	-0,348 (0,006)
45 OD	421,0	0,68 (0,01)	0,31 (0,01)	30,93 (0,38)	-0,343 (0,003)	0,047 (0,005)	-0,383 (0,004)
45 OD + Ca ⁺² (1%)	421,0	0,69 (0,01)	0,30 (0,01)	30,37 (0,71)	-0,319 (0,006)	0,051 (0,005)	-0,363 (0,009)
45 OD + Ca ⁺² (2%)	421,0	0,69 (0,01)	0,29 (0,01)	29,83 (0,23)	-0,273 (0,006)	0,060 (0,005)	-0,329 (0,007)
65 PVOD	171,5	0,69 (0,01)	0,31 (0,01)	30,93 (0,40)	-0,243 (0,021)	0,076 (0,008)	-0,307 (0,038)
65 PVOD + Ca ⁺² (1%)	201,5	0,69 (0,01)	0,29 (0,01)	29,80 (0,75)	-0,223 (0,031)	0,073 (0,010)	-0,285 (0,047)
65 PVOD + Ca ⁺² (2%)	261,5	0,70 (0,01)	0,29 (0,01)	29,50 (0,30)	-0,207 (0,014)	0,075 (0,007)	-0,272 (0,025)
45 PVOD	308,0	0,68 (0,01)	0,30 (0,01)	31,20 (0,17)	-0,100 (0,038)	0,113 (0,007)	-0,212 (0,048)
45 PVOD + Ca ⁺² (1%)	308,0	0,70 (0,01)	0,29 (0,01)	29,77 (1,25)	-0,067 (0,046)	0,113 (0,005)	-0,175 (0,058)
45 PVOD + Ca ⁺² (2%)	308,0	0,70 (0,01)	0,29 (0,01)	29,57 (0,50)	-0,047 (0,027)	0,116 (0,007)	-0,161 (0,035)

Valores entre paréntesis: Desviación Estándar

En los tratamientos analizados, se observó una relación inversa entre las pérdidas de masa y la concentración de calcio de las muestras, ya que, las pérdidas de masa eran menores si la concentración de calcio, en la disolución de trabajo, era mayor. Esto está asociado con el aumento de la ganancia de sólidos y la limitación a la pérdida de agua para determinadas concentraciones en la muestra. Ésta limitación puede atribuirse a la disminución de la permeabilidad de las paredes celulares, lo cual puede ocurrir debido al refuerzo con puentes de calcio de la estructura polimérica. Este aspecto ocasionó un incremento en el tiempo de proceso cuando la concentración de calcio fue mayor en disoluciones de 65 °Brix, sin embargo este hecho no afectó el tiempo de proceso cuando la concentración de sacarosa de las disoluciones utilizadas fue de 45 °Brix.

A baja concentraciones de la disolución osmótica (caso de 45 °Brix) la fuerza impulsora es menor y, como consecuencia, son mayores los tiempos de tratamiento, lo cual está asociado con el desarrollo de perfiles de concentración más planos en el tejido. Esto conduce a que un mayor número de capas celulares sean afectadas por los tratamientos osmóticos para una determinada concentración global en las muestras (Albors, *et al.*, 1998). En las células afectadas, las membranas pueden desnaturalizarse haciéndose posible la difusión de solutos a zonas más internas de la muestra, lo que promueve una mayor ganancia de solutos, como se observa en la tabla IV.2.2.

2.3.2. Análisis de las propiedades mecánicas

Las diferencias en la actuación de los distintos fenómenos de transporte de masa y los cambios estructurales asociados que ocurren en el tejido vegetal, cuando se aplican diferentes condiciones de proceso, pueden inducir diferentes comportamientos mecánicos en las muestras deshidratadas osmóticamente.

En la figura IV.2.3. se representa la curva de esfuerzo frente a la deformación de Hencky obtenida para una muestra de mango. En ella se pueden observar los parámetros que se han tenido en cuenta en la caracterización de las curvas de compresión: El esfuerzo de fractura (σ_F [kPa]), la deformación de Hencky relativa en la fractura (ϵ_{HF} [adimensional]) y la pendiente del tramo inicial a bajas deformaciones (E_d [kPa]), también denominada módulo de elasticidad.

La pendiente de la curva y la tensión de fractura cuantifican y describen, en bastante extensión, la firmeza del producto. El comportamiento del mango, cuando se somete a un ensayo de compresión, es similar al de los vegetales frescos turgentes, caracterizado por presentar inicialmente un rápido aumento del esfuerzo, hasta que ocurre el momento de fractura a una deformación relativamente baja. Los valores promedio para el mango fresco de los diferentes parámetros mecánicos fueron: $E_d = 250$ (19) kPa; $\sigma_F = 54$ (2) kPa; $\epsilon_{HF} = 0.26$ (0.02) y $\sigma_F/\epsilon_{HF} = 207$ (22) kPa.

En la figura IV.2.4. se observan las curvas promedio de esfuerzo-deformación del mango procesado, tanto en tratamientos OD como en PVDO, en disoluciones de sacarosa sin y con lactato de calcio. Estas curvas son comparadas con la curva promedio del mango fresco.

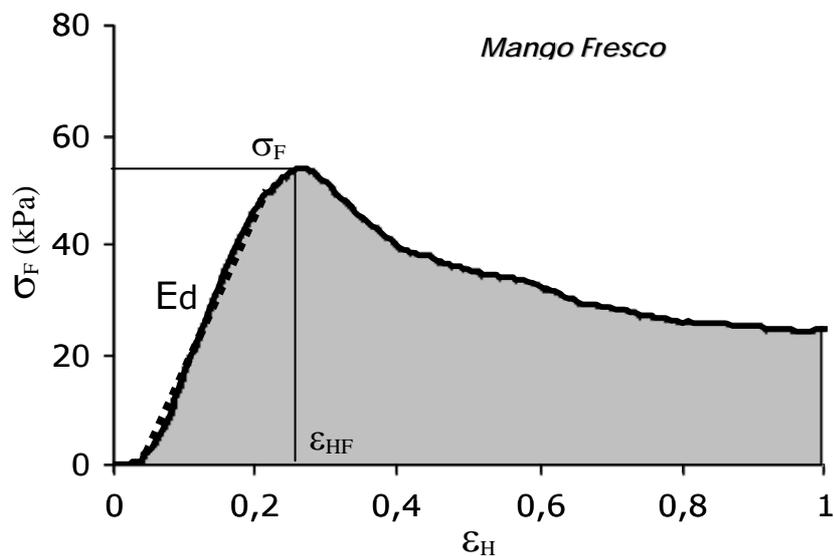


Figura IV.2.3. Curva típica esfuerzo-deformación de muestras cilíndricas de mango fresco sometidas a una compresión uniaxial con una velocidad de 1 mm s^{-1} ; y representación esquemática de los parámetros cuantificados a partir de la curva (Esfuerzo en el punto de fractura (σ_f), deformación en el punto de fractura (ϵ_f) y módulo de elasticidad (E_d))

En la Figura IV.2.4. se observa que los tratamientos osmóticos produjeron un descenso en la relación esfuerzo-deformación, ocasionando a su vez una disminución en la pendiente del tramo lineal, y en el esfuerzo de fractura, pero aumentando los valores de deformación en el punto de fractura. También se observa que éste efecto es más marcado cuando se procesaron las muestras con la disolución osmótica de mayor concentración. Cuando los tratamientos fueron efectuados con presencia de calcio en las disoluciones osmóticas, la disminución en los valores de esfuerzo fue menos marcada; dependiendo del tipo de tratamiento llevado a cabo. Los tratamientos en los que las concentraciones de calcio eran más

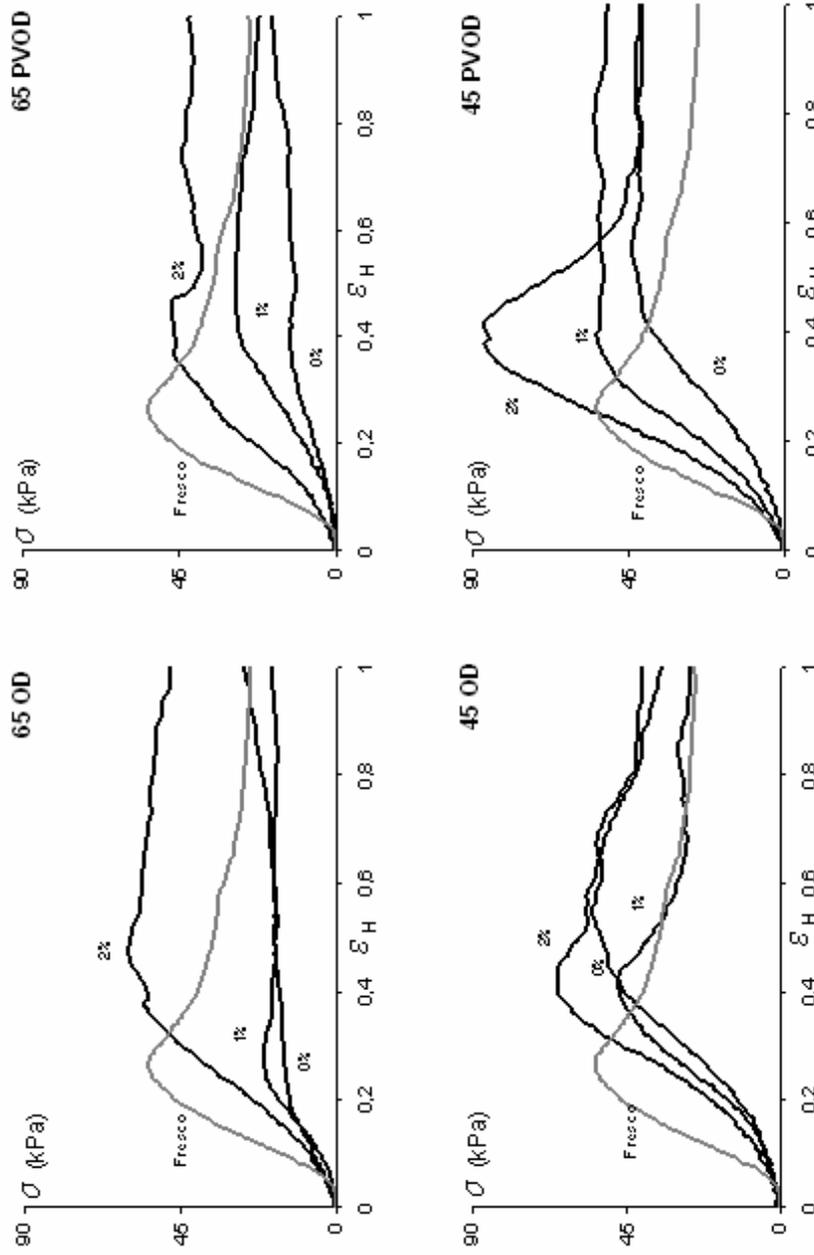


Figura IV.2.4. Curvas promedio de compresión para muestras de mango fresco y tratado (OD y PVOD) con disoluciones osmóticas de 45 °Brix y 65 °Brix, con diferentes concentraciones de lactato de calcio (0, 1 y 2%)

elevadas, mostraron un aumento del valor de esfuerzo en el punto de fractura, así como del valor de deformación de Hencky.

Para observar con detalle los efectos de los tratamientos en los parámetros mecánicos, en la figura IV.2.5. se resumen los valores de los parámetros mecánicos obtenidos para cada uno de los tratamientos, en función del nivel de calcio presente en las disoluciones de trabajo. En ella se observa diferentes respuestas mecánicas inducidas por las condiciones de proceso.

Los valores representados son los valores promedios evaluados a través de un análisis ANOVA, con un nivel de confianza del 95%, las barras representan los intervalos LSD. Del análisis gráfico se puede concluir que la utilización de una concentración de lactato de calcio del 2%, condujo a un incremento en los valores de E_d , σ_F , y σ_F/ϵ_{HF} , (comparado con los valores de estos mismos parámetros para las muestras frescas), en diferente grado, dependiendo del tipo de tratamiento, lo cual puede ser atribuido a diferencias en el calcio ganado. Los efectos más marcados se observaron para los tratamientos PVOD con disoluciones de 45 °Brix.

Para la deformación en el punto de fractura, no se observaron claras tendencias en función de la concentración de calcio y del tipo de tratamiento.

Cuando se emplearon las disoluciones con un nivel de calcio de 0 y 1%, no se observaron diferencias marcadas entre las muestras sometidas a tratamientos OD y PVOD, en términos del módulo inicial o de los parámetros en el punto de fractura. Sin embargo, las muestras tratadas con disoluciones de 45 °Brix mostraron ser más rígidas (mayores valores de E_d) y resistentes a la fractura (mayores valores de σ_F , y σ_F/ϵ_{HF}).

En las muestras tratadas con disoluciones osmóticas de 45 °Brix, se observa un efecto positivo, en cuanto a las propiedades de dureza

y resistencia, cuando el tratamiento se lleva a cabo incorporando lactato cálcico al 2% y se aplica pulso de vacío. Este efecto positivo del calcio no se observa en ninguna de las condiciones osmóticas llevadas a cabo con las disoluciones de 65 °Brix, observándose incluso un efecto negativo más acusado en aquellas muestras procesadas con pulso de vacío.

2.3.3. Determinación de la concentración de calcio y efectos en las propiedades mecánicas

Los fenómenos anteriormente observados pueden ser explicados desde el punto de vista de la concentración de calcio ganado en las muestras, así como de los efectos mecánicos del pulso de vacío. Por ello se analizó la concentración de calcio alcanzado en el tejido con el fin de explicar las diferencias observadas.

En la tabla IV.2.2. se muestran las concentraciones de calcio en las muestras frescas y procesadas, además de los valores de calcio ganados (ambos valores referidos por unidad de masa de las muestras frescas con el propósito de permitir una comparación entre ellos).

Con respecto a las muestras procesadas con disoluciones que contenían lactato de calcio, la ganancia de este ión se incrementó en función del contenido del mismo en las disoluciones; a mayor contenido de calcio en la disolución, mayor contenido del mismo en las muestras. Este efecto fue más notable en las muestras procesadas con tratamientos PVOD; y las mayores ganancias fueron obtenidas con las disoluciones osmóticas de 45 °Brix. El pulso de vacío y la baja viscosidad de la disolución osmótica posibilitaron la ganancia de calcio; como también sucedió con el contenido total de sólidos solubles. En la figura IV.2.5. se representan los valores

IV.2. INFLUENCIA DE LOS TRATAMIENTOS OSMÓTICOS – PROPIEDADES MECÁNICAS

promedios de concentración de calcio (y los intervalos LSD) alcanzados en los diferentes tratamientos en función de la concentración de calcio en la disolución. Se puede observar el comportamiento comentado anteriormente y la similitud entre los tratamientos OD 45 °Brix y PVOD 65 °Brix. El mayor nivel de calcio alcanzado fue de 1.10 mg/g muestra fresca, obtenido en las muestras PVOD, tratadas con disoluciones de 45 °Brix y un contenido de lactato de calcio en la disolución del 2%.

Tabla IV.2.2. Concentración de calcio y variación del contenido en calcio de las muestras procesadas respecto al mango fresco

Proceso	Concentración	
	ΔCa^{+2} mg/g mango fresco	mg Ca^{+2} /g mango fresco
Fresco	-	0,11 (0,01)
65 OD-Ca 0%	-0,03 (0,01)	0,08 (0,01)
65 OD-Ca 1%	0,24 (0,03)	0,35 (0,03)
65 OD-Ca 2%	0,54 (0,06)	0,65 (0,06)
45 OD-Ca 0%	-0,04 (0,01)	0,06 (0,01)
45 OD-Ca 1%	0,39 (0,01)	0,50 (0,01)
45 OD-Ca 2%	0,60 (0,04)	0,70 (0,04)
65 PVOD-Ca 0%	-0,03 (0,02)	0,08 (0,02)
65 PVOD-Ca 1%	0,41 (0,04)	0,52 (0,04)
65 PVOD-Ca 2%	0,67 (0,08)	0,77 (0,08)
45 PVOD-Ca 0%	-0,04 (0,02)	0,07 (0,02)
45 PVOD-Ca 1%	0,56 (0,03)	0,66 (0,03)
45 PVOD-Ca 2%	1,00 (0,06)	1,10 (0,07)

Valores entre paréntesis: Desviación Estándar

De lo anteriormente comentado, parece evidenciarse efecto del calcio en el tejido estructural del mango y la consiguiente influencia del mismo en sus propiedades mecánicas. Para evaluar la relación

entre los parámetros mecánicos de la fruta en estudio y el nivel de concentración del ión calcio en la misma, se ha realizado un análisis de correlación.

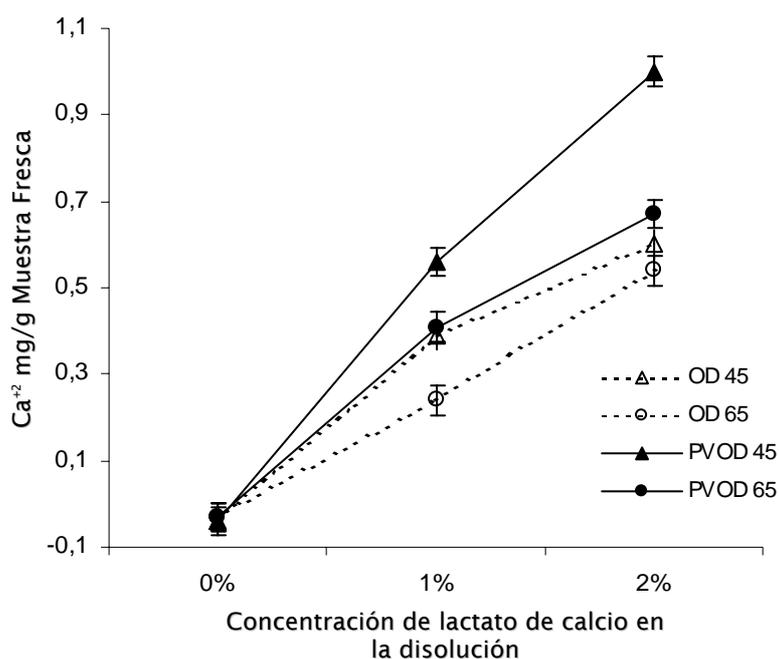


Figura IV.2.5. Valores promedio e intervalos LSD (nivel de confianza $\alpha = 95\%$) de la concentración de calcio de las muestras sometidas a los diferentes tratamientos en función del nivel de concentración de lactato de calcio en las disoluciones de trabajo

La tabla IV.2.3. muestra los coeficientes de correlación de Pearson y su nivel de significación. Se observan correlaciones lineales significativas ($\alpha < 0.01$) entre los parámetros E_d , σ_F , y σ_F/ϵ_{HF} lo cual indica que solo uno de estos parámetros puede ser elegido para caracterizar las muestras. Por otra parte, la concentración de calcio está muy correlacionada con los parámetros E_d y σ_F/ϵ_{HF} , poniendo de

IV.2. INFLUENCIA DE LOS TRATAMIENTOS OSMÓTICOS – PROPIEDADES MECÁNICAS

manifiesto el rol que tiene éste catión en la firmeza y la dureza de las muestras.

Teniendo como base el análisis de Pearson, y observando que 3 de los parámetros mecánicos tienen una correlación significativa, se eligió el módulo elástico como el parámetro para definir de manera objetiva la firmeza del producto.

Tabla IV.2.3. Coeficientes de correlación de Pearson para las concentraciones de calcio (mg/g materia fresca) y los parámetros mecánicos (ϵ_{HF} : Deformación de Hencky en el punto de fractura; σ_F : Esfuerzo en el punto de fractura; E_d : Módulo elástico; y la relación σ_F/ϵ_{HF})

	σ_F	E_d	RATIO σ_F/ϵ_{HF}	Concentración De Ca^{+2}
ϵ_{HF}	0,581*	0,200	0,128	-0,047
σ_F	-	0,904**	0,870**	0,539
E_d	-	-	0,995**	0,752**
σ_F/ϵ_{HF}	-	-	-	0,750**

** Correlación significativa para un nivel del 0.01

* Correlación significativa para un nivel del 0.05

En la figura IV.2.6. se muestra la representación del módulo elástico inicial en función de la concentración de calcio en el tejido de las muestras. En ésta se observa una relación lineal entre los parámetros E_d y el nivel de calcio en el tejido, para cada tratamiento, mostrando los diferentes comportamientos de las muestras obtenidas en cada caso. Esto indica que no solo la concentración global en las muestras sino además las diferentes concentraciones y distribuciones

de calcio resultantes en los tejidos y los cambios estructurales debidos a los tratamientos, pueden dar lugar a diferencias en el comportamiento mecánico y en la textura. La firmeza de las muestras procesadas con los tratamientos PVOD-45 y OD-65 es más sensible al nivel de calcio alcanzado en el tejido que la de las muestras obtenidas con los tratamientos OD-45 Y PVOD 65, de acuerdo a los valores observados de las pendientes de las líneas rectas ajustadas (Figura IV.2.6.).

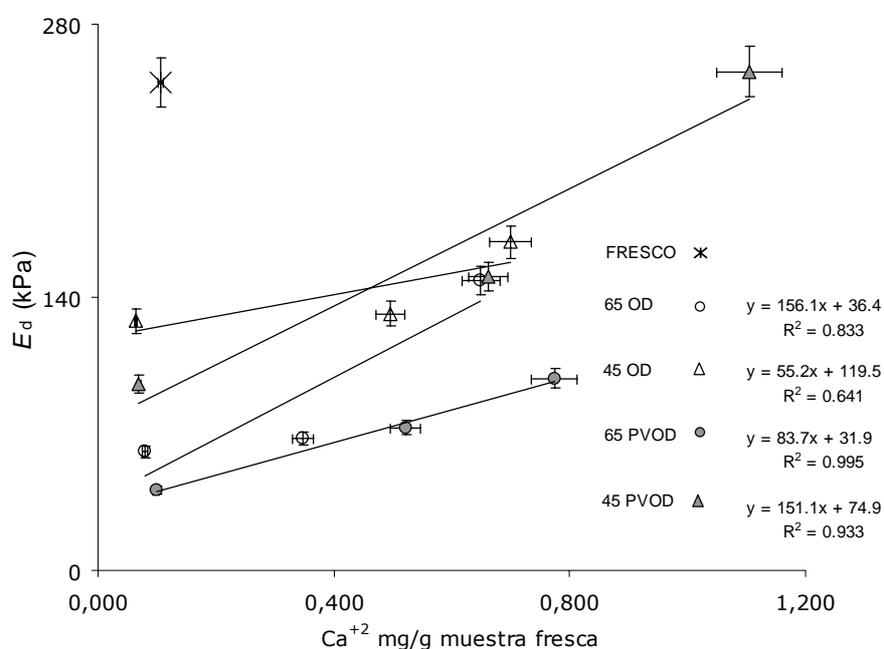


Figura IV.2.6. Relación entre el módulo inicial (E_d [kPa]) de las muestras tratadas y la concentración final de calcio en el tejido (se representan las ecuaciones lineales ajustadas con los respectivos coeficientes de correlación [R^2])

2.5. CONCLUSIONES

- ✧ *Los tratamientos osmóticos generan un descenso en los valores de tensión de fractura y un incremento en el valor de la deformación de fractura; hecho que está asociado a una disminución de la firmeza y de la consistencia de las muestras. Este comportamiento es debido fundamentalmente a la pérdida de agua celular ocasionada por la operación de deshidratación.*
- ✧ *Las condiciones de proceso (concentración de la disolución, aplicación de pulso de vacío y la adición o no de lactato de calcio a la disolución osmótica) afectan a las propiedades mecánicas del mango deshidratado osmóticamente.*
- ✧ *La aplicación de pulso de vacío produce un ablandamiento en las muestras, debido posiblemente al efecto mecánico relacionado con los cambios de presión, y al efecto solubilizador del material de unión celular, ocasionado por la introducción de líquido osmótico. Ambos efectos se ven más pronunciado en los tratamientos con disoluciones de alta viscosidad (65 °Brix).*
- ✧ *Se ha observado una relación directamente proporcional entre la concentración de calcio en las muestras y el módulo inicial, cuando la operación de deshidratación es llevada cabo con disoluciones de baja viscosidad (45 °Brix) y la aplicación de pulso de vacío. Estas condiciones de proceso promueven una mayor incorporación de calcio en la estructura del mango, favoreciendo la unión intermolecular de la pectina-proteína en la lámina media de los tejidos, lo que conlleva a una mayor firmeza y resistencia a la fractura.*

3. ACEPTACIÓN SENSORIAL DEL MANGO MÍNIMAMENTE PROCESADO

3.1. INTRODUCCIÓN

La calidad sensorial, es una percepción compleja de muchos atributos que son evaluados simultáneamente en forma objetiva o subjetiva por el consumidor. El cerebro procesa la información recogida por la vista, olor y tacto e instantáneamente lo compara o asocia con experiencias pasadas y/o con texturas, aromas y sabores almacenados en la memoria. Por ejemplo, con sólo mirar el color, el consumidor sabe que un fruto está inmaduro y que no posee buen sabor, textura o aroma. Si el color no es suficiente para evaluar la madurez, utiliza las manos para medir la firmeza u otras características perceptibles. De la misma forma el aroma es un parámetro asociado, en el caso de frutas y hortalizas, con la madurez y la calidad de las mismas.

La aceptación de los alimentos también puede ser evaluada a través de modernas tecnologías analíticas e instrumentales. Cada vez más, los científicos son conscientes de la necesidad de potenciar los métodos analíticos basados en la apreciación sensorial, ya que según algunos autores (Lyon, 1990; León Crespo y Galán Soldevilla, 1991) es la más adecuada para la valoración final de la calidad de los alimentos.

3.1.1. Definición e importancia del análisis sensorial

La norma UNE 87-001-94 (AENOR, 1997) define el análisis sensorial como: Examen las propiedades organolépticas de un producto realizable por los sentidos. Extendiendo un poco mas la

definición, León-Crespo y Galán-Soldevilla (1991) lo describen como: Disciplina científica usada para evocar, medir, analizar e interpretar las reacciones a aquellas características de los alimentos que se perciben por los sentidos de la vista, el oído, el olfato, el gusto y el tacto. Por lo tanto, la evaluación sensorial no se puede realizar mediante aparatos de medida, el "instrumento" utilizado son las personas, ya sea jueces expertos o consumidores corrientes.

El análisis sensorial es un auxiliar de suma importancia para el control y mejora de la calidad de los alimentos ya que a diferencia del análisis físico-químico o microbiológico, que solo dan una información parcial acerca de alguna de sus propiedades, permite obtener una idea global del producto de forma rápida. La evaluación de la calidad sensorial de los alimentos cada día cobra más importancia en la industria alimentaria, dado las exigencias del mercado competitivo actual y su repercusión en el desarrollo de cualquier empresa o entidad productora.

Algunas de las ventajas que trae consigo el análisis sensorial son:

- ✧ *Control de calidad de materias primas y productos finales.*
- ✧ *Pruebas de mercado, desarrollo y lanzamiento de nuevos productos.*
- ✧ *Comunicación a los consumidores de las características de un producto.*
- ✧ *Evaluación de las preferencias del consumidor.*
- ✧ *Investigación particular de cualquiera de los aspectos sensoriales pertenecientes al alimento.*

Las técnicas de análisis sensorial, pueden llegar a ser tan objetivas como cualquier técnica analítica convencional utilizada en el análisis de alimentos. De ahí que, lejos de abandonar estas técnicas,

se tiende a perfeccionarlas para llegar a conocer las verdaderas motivaciones que inciden en la elección de los alimentos.

Se considera que el ser humano no responde de forma homogénea a las apreciaciones sensoriales (Jellinek, 1985). Por ello, uno de los mayores problemas asociados al análisis sensorial de los alimentos es conseguir que la respuesta humana sea precisa y reproducible. El control de las condiciones, tanto del entorno y de las muestras a analizar como de los sujetos participantes en las pruebas sensoriales, facilitará la obtención de unos resultados objetivos.

3.1.2. Calidad sensorial de las frutas mínimamente procesadas

La calidad sensorial de las FMP es uno de los retos más importantes y exigentes que poseen tanto productores como investigadores, ya que, las FPM son productos que contienen tejidos vivos y activos, los cuales han sufrido modificaciones a causa de las operaciones de procesado, y que dan como resultado un cambio fisiológico (Baldwin *et al.*, 1995), enzimático (Yu y Yang, 1980) y fisicoquímico, trayendo consigo un cambio sensorial (Watada, *et al.*, 1996). Algunas operaciones básicas en el procesado mínimo de vegetales y frutas, como la eliminación de la piel (pelado) y el troceado, inducen a cambios en la calidad debido a las lesiones que se producen en el tejido (Brecht, 1995; Watada *et al.*, 1996). Beaulieu y Lea (2003) reportaron cambios fisiológicos y sensoriales en mango fresco cortado, observándose un evidente reblandecimiento del tejido y cambios en el color en las muestras control, además de una variación del perfil de volátiles durante el almacenamiento.

Durante la deshidratación osmótica se produce una pérdida de ácidos y una ganancia de azúcares, obteniéndose un producto más dulce y suave (Pointing *et al.*, 1966; Lazarides *et al.*, 1998, 1999). Es así como, la deshidratación osmótica podría incrementar la aceptabilidad por parte del consumidor de frutas mínimamente procesadas, al proporcionar al producto por una parte, sabores más agradables al paladar en el caso de frutas ácidas como rodajas de kiwi (Bereiter, 2001), rectángulos de mango (Panadés *et al.*, 2001) y guayaba (Panadés *et al.*, 1993), y por otra, una mejor retención de compuestos volátiles (Scalzo *et al.*, 2001) y de ácidos orgánicos (Mata-Montes de Oca *et al.*, 2000). Sin embargo, se ha detectado un incremento en la velocidad de respiración, y por tanto un incremento en la emisión de CO₂ en el mango MP deshidratado osmóticamente (Tovar *et al.*, 2001); así como una aceleración de la madurez (Mata-Montes de Oca *et al.*, 2000).

Por otra parte, la utilización de la deshidratación osmótica como pre-tratamiento antes de un proceso térmico o de secado, puede llegar a mejorar la calidad sensorial y nutricional del producto final. La preconcentración que tiene lugar durante los procesos osmóticos de deshidratación, limita el daño causado por las elevadas temperaturas, mejora la calidad textural, la retención de vitaminas, el mantenimiento del sabor y aroma, y estabiliza el color (Bolin y Huxsoll, 1993; Krokida *et al.*, 2000; Riva *et al.*, 2001).

Por lo anterior, se puede considerar que la aplicación de la deshidratación osmótica en frutas, permite abrir un abanico de posibilidades en el desarrollo tanto de nuevos productos como de frutas mínimamente procesadas, proporcionando una buena calidad sensorial al producto final.

Se han encontrado muchos trabajos referentes a la aplicación de la deshidratación osmótica en FMP. Sin embargo son pocos los

trabajos en los que se ha evaluado los cambios en la calidad sensorial de este tipo de productos (Escriche *et al.*, 2000b).

3.2. INTERÉS Y OBJETIVOS DEL ESTUDIO

Por lo anteriormente comentado se ha considerado de gran importancia realizar un estudio que muestre los efectos de la deshidratación osmótica en la calidad sensorial y en la aceptabilidad del mango procesado mínimamente con tratamientos osmóticos.

Por consiguiente, el objetivo general de éste trabajo ha sido analizar el efecto de los tratamientos osmóticos en diferentes condiciones de procesado (presión de trabajo: Aplicación o no de pulso de vacío; concentración de la disolución osmótica: 45 y 55; y 45 °Brix, con adición de lactato de calcio (2%)) en la aceptación sensorial del mango mínimamente procesado hasta una concentración en la fase líquida final de 20 °Brix.

3.3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.3.1. Materia prima y agente osmótico

Para la elección y preparación de las muestras, se siguió el procedimiento que se indica en el Capítulo III, apartados 1.1. y 1.2.

Como agente osmótico se emplearon disoluciones de sacarosa de 45 y 55 °Brix, y disolución de 45 °Brix con adición de lactato de calcio en concentración de 2% (p/v). Para la preparación de las disoluciones de trabajo se realizó el procedimiento que se menciona en el Capítulo III, apartado 1.4.

3.3.2. Diseño experimental y aplicación de los tratamientos

Para realizar las pruebas sensoriales se seleccionaron aquellos tratamientos más adecuados en lo que respecta a las características texturales y en el perfil de volátiles del mango procesado:

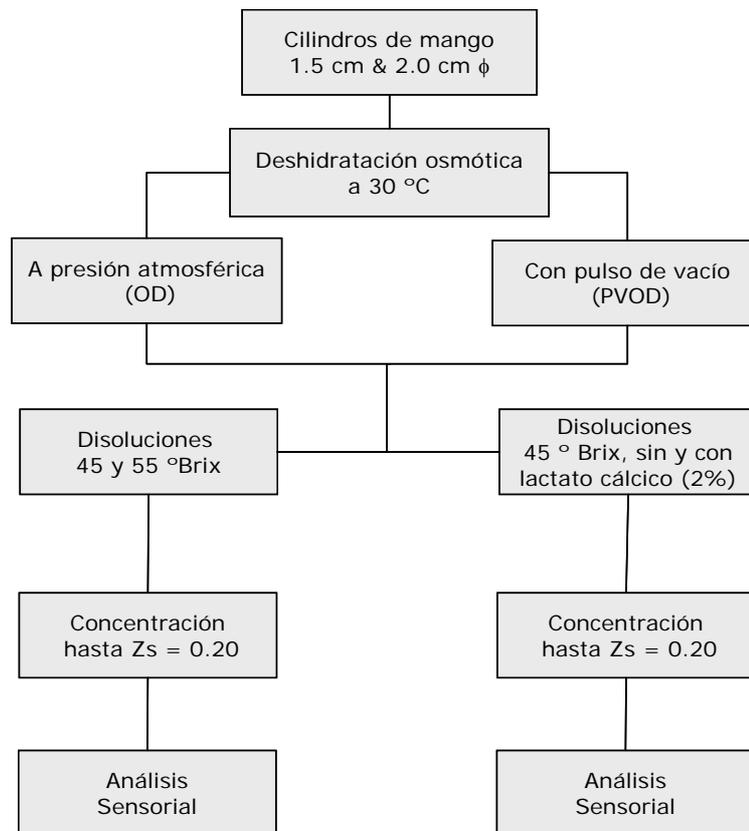
- ✧ *Disoluciones de trabajo de 45 y 55 °Brix sin lactato de calcio, y 45 °Brix con lactato de calcio al 2%.*
- ✧ *20° Brix en la fase líquida del producto final.*

El trabajo fue realizado en dos experiencias: En la primera se evaluaron sensorialmente las muestras procesadas con las disoluciones de 45 y 55° Brix; y en la segunda, las procesadas con disolución de 45 con y sin calcio. Todos los tratamientos se realizaron a presión atmosférica y con pulso de vacío.

La figura IV.3.1. indica el diseño experimental utilizado. Se emplearon 12 mangos por cada experiencia, es decir, 24 piezas para todo el estudio sensorial. De cada mango se obtuvieron un total de 24 cilindros y se utilizaron 6 para cada uno de los 4 tratamientos. En cada tratamiento se procesaba 6 x 12 cilindros identificados en cuanto a la fruta de procedencia. Cada juez evaluó los diferentes parámetros de procesado según se describe en el apartado 3.3.3. de éste capítulo, con todas las muestras de partida procedentes de la misma pieza de fruta, a fin de no introducir un factor de variabilidad asociado a la diferencia natural entre piezas. Los tratamientos se realizaron el día previo a la evaluación sensorial. Para homogenizar las muestras, se tomaron 6 cilindros de cada mango por tratamiento, identificando la pieza de mango, e igualmente, cada grupo de cilindros (12 grupos por tratamiento), luego se prosiguió con la aplicación de los tratamientos.

La aplicación de los tratamientos se llevó a cabo, como se describe en el Capítulo 3, apartados 2.1. y 2.2. Los tiempos de proceso fueron obtenidos mediante la utilización de las ecuaciones de predicción evaluadas previamente por otros autores (Giraldo, 2003).

Figura IV.3.1. Esquema del procedimiento experimental



3.3.3. Prueba sensorial

Un panel de 24 jueces no entrenados, pero habituales consumidores de mango fue constituido para la realización de las pruebas sensoriales (ISO 6564, 1997; ISO 8586-1, 1997). El primer paso fue determinar por consenso los atributos que mejor definen las

características sensoriales del mango mínimamente procesado (Normas AENOR, 1997).

Se realizó una comparación pareada múltiple utilizando la técnica de Análisis de Friedman (Pairwise Ranking Test) (Meilgaard *et al.* 1999). Este análisis es apropiado para comparar distintas muestras por paneles de catadores inexpertos. La prueba permite ordenar las muestras en una escala de intensidad para el atributo escogido y proporciona una indicación numérica de las diferencias entre las muestras, así como de la significación de estas diferencias.

A cada juez se le presentaron 6 parejas de muestras en una sesión, que resultaban de obtener todas las combinaciones posibles entre los siguientes tratamientos:

- ✧ *A: Deshidratación osmótica en disolución de 45 °Brix (OD-45).*
- ✧ *B: Deshidratación osmótica con pulso de vacío en disolución de 45 °Brix (PVOD-45).*
- ✧ *C: Deshidratación osmótica en disolución de 55 °Brix (OD-55).*
- ✧ *D: Deshidratación osmótica con pulso de vacío en disolución de 55 °Brix (PVOD-55).*

Las parejas obtenidas fueron: AB, AC, AD, BC, BD y CD.

Se indicó a cada juez el procedimiento que tenía que seguir para la realización de las pruebas y posteriormente se le entregó el cuestionario de evaluación (Anexo 4). Cada juez evaluó las parejas de muestras de forma aislada; es decir, se presentaba cada pareja después de la evaluación de la anterior.

De la misma forma se realizó la segunda experiencia sensorial con los tratamientos:

- ✧ *A: Deshidratación osmótica con disolución de 45 °Brix, sin calcio, a presión atmosférica.*
- ✧ *B: Deshidratación osmótica con disolución de 45 °Brix, sin calcio, con pulso de vacío.*
- ✧ *C: Deshidratación osmótica con disolución de 45 °Brix, con calcio, a presión atmosférica.*
- ✧ *D: Deshidratación osmótica con disolución de 45 °Brix, con calcio y aplicación de pulso de vacío.*

Para determinar globalmente el efecto de los tratamientos osmóticos en los atributos sensoriales, así como la preferencia por parte de los jueces, se realizó un análisis de correspondencias (Benzecri, 1982). Para ello, se elaboró una tabla resumen con los 6 tratamientos, tabulados en las columnas; y los 6 atributos propuestos, en las filas; y así se valoraba el número de respuestas positivas y negativas para cada atributo (las negativas se obtienen de restar el número de respuestas positivas, de un determinado atributo, al valor de respuestas totales del mismo). Es así como se obtuvieron dos columnas por cada atributo evaluado. De esta forma, todos los atributos tienen la misma importancia en el análisis, y adicionalmente, tanto las respuestas positivas como las negativas son proyectadas en una representación de factores (espacio factorial) (Judez-Asensio, 1989). El análisis de correspondencias se realizó con el programa SPSS v. 12.0. (2003).

3.4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En sesiones previas a la realización de las pruebas sensoriales, los catadores estimaron por consenso que los atributos que mejor definían las características organolépticas del mango deshidratado osmóticamente eran: Claridad, intensidad de color, firmeza, gomosidad e intensidad del aroma.

Con las respuestas proporcionadas por todos los jueces en relación a la comparación pareada múltiple llevada a cabo, se elaboraron las tablas que figuran en el Anexo 5. En ellas se detalla el número de veces (frecuencia) que una determinada muestra fue preferida (filas), cuando se comparaba con todas y cada una del resto de las muestras (columnas). A partir de los datos de estas tablas, se obtuvo la suma de las puntuaciones de cada muestra (sample rank sum) (Anexo 5). Este valor se obtiene adicionando a la suma de las frecuencias de las filas, dos veces la suma de las frecuencias de las columnas.

En la Figura IV.3.2. se han representado los valores de la suma de las puntuaciones, para las dos experiencias. en ella se observa el grado de preferencia que tienen los jueces por las muestras, y la intensidad de cada atributo evaluado en las mismas.

Teniendo en cuenta que un menor valor en las escalas corresponde a una mayor intensidad, los tratamientos realizados a presión atmosférica y en disoluciones de 45 °Brix, han sido los preferidos, cuando se comparan las muestras procesadas con 45 y 55°Brix, con y sin pulso de vacío. Cabe destacar que los atributos que más han contribuido en esta preferencia han sido: Claridad, intensidad de color e intensidad de aroma; ya que este tratamiento fue calificado con los mayores valores de estos atributos.

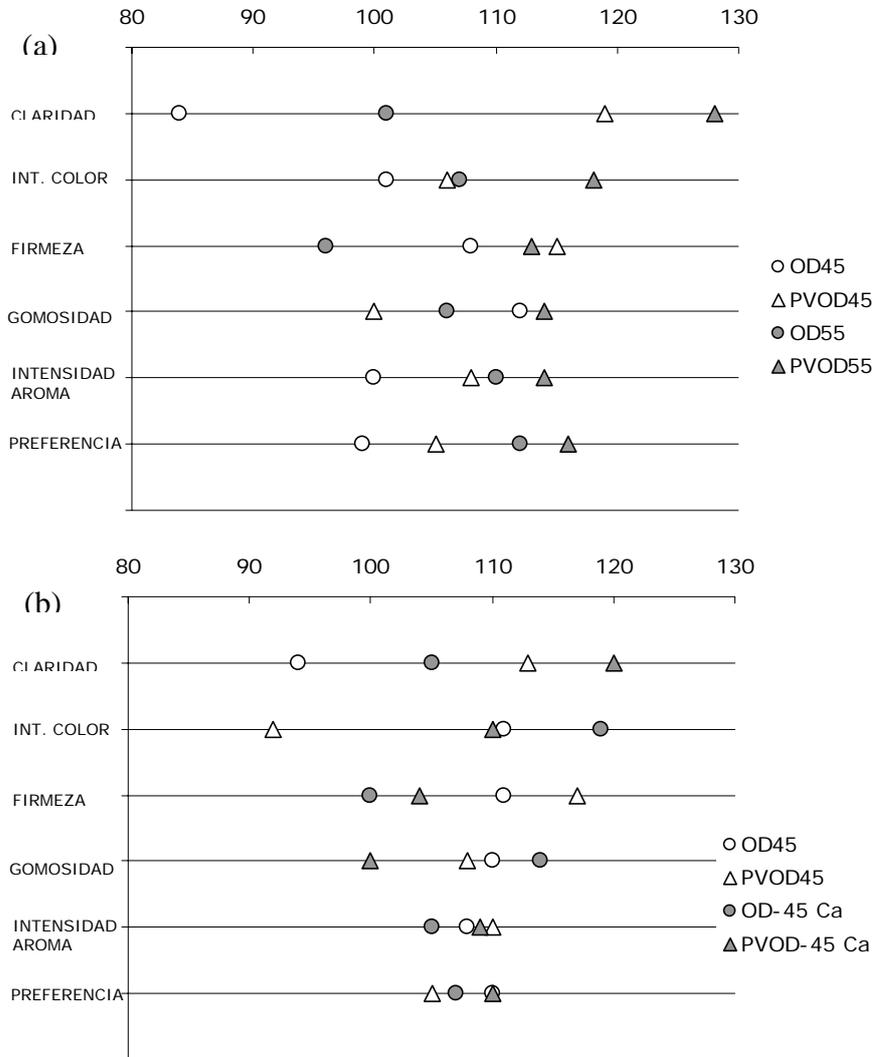


Figura IV.3.2. (a y b) Suma de las puntuaciones (obtenido de las comparación pareada múltiple) de las muestras tratadas. (A), muestras tratadas con disoluciones de 45 y 55 °Brix; y B, muestras tratadas con disoluciones de 45 °Brix, con y sin lactato de calcio (2%). Los valores en el eje X representan la suma de las puntuaciones; y en el eje Y, los atributos evaluados

Por otra parte, las muestras menos preferidas son aquellas procesadas en condiciones de PVOD y disoluciones de 55°Brix. Este

tratamiento fue el peor puntuado para la totalidad de los atributos, con excepción de la firmeza, aunque para este atributo fue el segundo tratamiento peor valorado.

De la misma forma, cuando se comparan los tratamientos realizados en disoluciones de 45 °Brix, con y sin calcio, tanto a presión atmosférica como aplicando un pulso de vacío, prácticamente no se observan diferencias entre los tratamientos, con relación a la preferencia, ni se aprecia una tendencia clara en lo que respecta a la valoración de los atributos.

Para determinar si las diferencias encontradas en la ordenación de las puntuaciones de los atributos y la preferencia, son significativas, se ha calculado la función estadística T de Friedman, según la ecuación:

$$T = \left(\frac{4}{pt} \right) \sum_{i=1}^t R^2 - \left(9 p [t - 1]^2 \right) \quad \text{IV.3.1.}$$

Donde:

<i>p</i> :	Número de veces que el diseño básico es repetido (<i>p</i> = 24)
<i>t</i> :	Número de tratamientos (<i>t</i> = 4)
<i>R</i> :	suma de las puntuaciones para cada tratamiento

En la tabla IV.3.1. se observan los valores T de Friedman obtenidos para los diferentes atributos evaluados, así como para la preferencia. Estos valores fueron comparados con el valor estadístico Chi cuadrado (X^2) (tabulado) con 3 grados de libertad (7,81 para un nivel de significación de $\alpha=0.05$). Para cada atributo, si el valor de la suma de las puntuaciones es superior al valor Chi cuadrado, se apreciarán diferencias significativas entre los tratamientos. Según esto, para la experiencia realizada con las disoluciones osmóticas de

45 y 55 °Brix, solo existen diferencias significativas en los atributos claridad y firmeza. Para la experiencia realizada con una disolución de 45 °Brix con y sin presencia de lactato de calcio (2%), se observaron diferencias significativas únicamente en los atributos de claridad e intensidad de color. Es importante destacar que en ambas experiencias no ha sido significativa la preferencia.

Tabla IV.3.1. Valores T de Friedman para los distintos atributos analizados

ATRIBUTO	Experiencia 45-55	Experiencia 45 con/ sin Ca ⁺²
CLARIDAD	47,75 *	15,58 *
INTENSIDAD DE COLOR	6,42	16,25 *
FIRMEZA	9,08 *	7,08
GOMOSIDAD	5,00	4,33
INTENSIDAD DE AROMA	4,33	0,58
PREFERENCIA	7,08	0,75

(*) Diferencias significativas, para un $\alpha=0.05$.

Para los atributos que han resultado significativos, se ha calculado el valor HSD (Honestly Significance Difference) de Tukey (Meilgard, 1999), con la finalidad de conocer entre que tratamientos los catadores apreciaron realmente diferencias significativas.

$$HSD = q_{\alpha,t,\infty} \sqrt{\frac{pt}{4}} \quad \text{IV.3.2.}$$

Donde:

$q_{\alpha,t,\infty}$:	Valor tabulado
P :	Número de veces que el diseño básico es repetido ($p = 24$)
t :	Número de tratamientos ($t = 4$)

En este caso el valor (q) tabulado (4 grados de libertad y un nivel de confianza de $\alpha=0,05$) es de 3.63. El valor HSD para las dos experiencias fue de 17.78. En la Tabla IV.3.2. se resume, para cada atributo que ha resultado significativo, las diferencias que existen entre los valores de las suma de las puntuaciones de cada muestra. Valores superiores a 17.78 implicarán diferencias significativas. En esta tabla se muestran con asteriscos (*) los casos en los que existen dichas diferencias entre los tratamientos, siempre teniendo en cuenta el correspondiente atributo.

En la tabla IV.3.2. se puede observar como en el atributo "claridad", los tratamientos que muestran diferencias significativas son aquellos donde se comparan los tratamientos OD y PVOD, en cambio para el atributo "intensidad de color", se observan diferencias significativas cuando se comparan algunos tratamientos con y sin calcio. En el atributo "firmeza" solo se observan diferencias entre los tratamientos OD-55 y PVOD-45.

Para determinar la preferencia y las relaciones que existen entre los tratamientos y los atributos, se realizó un análisis de correspondencias en el que se consideraron los tratamientos realizados en ambas experiencias (6 tratamientos). De este análisis, se obtuvieron dos factores que explican un 86,8% de la variabilidad en los datos (tabla IV.3.3.).

Tabla IV.3.2. Diferencias entre la suma de las puntuaciones para los atributos significativos (según los valores T de Friedman en los distintos atributos analizados) en los tratamientos 45-55 (OD-45, OD-55, PVOD-45 y PVOD-55) y 45 con/sin Ca⁺² (OD-45, OD-45 + Ca⁺² + , PVOD-45 y PVOD-45 + Ca⁺²)

ATRIBUTOS	PVOD 45 - OD 45	OD 55 - OD 45	PVOD 55 - OD 45
CLARIDAD	35*	17	44*
FIRMEZA	7	12	5

	OD 55 - PVOD 45	PVOD 55 - PVOD 45	PVOD 55 - OD 55
CLARIDAD	18*	9	27*
FIRMEZA	19*	2	17

	PVOD 45 - OD 45	OD 45 Ca - OD 45	PVOD 45 Ca - OD 45
CLARIDAD	19*	11	26*
INTENSIDA DE COLOR	19*	8	1

	OD 45 Ca - PVOD 45	PVOD 45 Ca - PVOD 45	PVOD 45 Ca - OD 45 Ca
CLARIDAD	8	7	15
INTENSIDA DE COLOR	27*	18*	9

(*) Diferencias significativas, para un $\alpha=0.05$.

Las tablas IV.3.4. y IV.3.5. muestran, respectivamente, las contribuciones de los factores a la inercia de los tratamientos, de los atributos. Los datos obtenidos indican que los tratamientos y los atributos están bien representados a lo largo de los dos primeros factores, ya que se obtuvieron altos valores en la suma de las contribuciones relativas de éstos con relación a cada tratamiento. Por

consiguiente, los resultados más importantes del análisis sensorial pueden ser deducidos del estudio de la proyección en el plano factorial.

Tabla IV.3.3. Factores del análisis de correspondencias

FACTOR	VALOR PROPIO	% DE VARIANZA	% ACUMULATIVO
1	0,093	61,7	61,7
2	0,059	25,1	86,8

Tabla IV.3.4. Contribuciones de los factores a la inercia de los tratamientos

TRATAMIENTO	FACTOR 1	FACTOR2	SUMA DE FACTORES
OD 45	0,943	0,017	0,960
PVOD 45	0,284	0,710	0,994
OD 55	0,250	0,192	0,442
PVOD 55	0,762	0,116	0,878
OD 45 - Ca	0,085	0,796	0,881
PVOD 45 - Ca	0,635	0,016	0,651

La Figura IV.3.3. muestra la proyección de los atributos y tratamientos evaluados, en un plano factorial. Según la distribución de los atributos en el plano, se puede observar como la claridad, el color y el aroma guardan una estrecha relación con la preferencia, ya que se encuentran cercanos tanto en la zona donde son evaluados positivamente como en la zona donde la apreciación de estos atributos es negativa. Esto pone de manifiesto que los atributos mencionados tienen un gran peso en la aceptación del producto por parte de los jueces encuestados. No ocurre así con los atributos gomosidad y firmeza, los cuales se encuentran distribuidos en secciones diferentes a los atributos antes mencionados. Se puede

observar en esta figura que 2 grupos de tratamientos están claramente diferenciados por su distribución en el plano, los cuales poseen un comportamiento semejante dado la cercanía entre sus componentes, y su distribución en el plano.

Tabla IV.3.5. Contribución de los factores a la inercia de cada atributo

ATRIBUTO	FACTOR 1	FACTOR2	SUMA DE FACTORES
CLARIDAD +	0,997	0	0,997
CLARIDAD -	0,997	0	0,997
COLOR +	0,029	0,880	0,909
COLOR -	0,029	0,800	0,829
FIRMEZA +	0,110	0,534	0,644
FIRMEZA -	0,110	0,534	0,644
GOMOSIDAD +	0,080	0,302	0,382
GOMOSIDAD -	0,080	0,302	0,382
AROMA TIP +	0,743	0,008	0,751
AROMA TIP -	0,743	0,008	0,751
PREFERENCIA +	0,344	0,392	0,736
PREFERENCIA -	0,344	0,392	0,736

El grupo correspondiente a los tratamientos OD-55, OD-45 y OD 45-Ca se correlacionan con los atributos calificados en forma positiva, excepto la gomosidad. Se observa que el tratamiento OD-45 es el que más cerca se sitúa a las valoraciones positivas de claridad, aroma y preferencia, esto indica que la mayoría de los encuestados prefirieron las muestras sometidas a éste tratamiento. En cambio, el grupo con los tratamientos PVOD 45, PVOD 45-Ca y PVOD-55 se correlacionan con la mayoría de atributos calificados en forma negativa.

La calificación negativa de la claridad, para las muestras procesadas con pulso de vacío, está relacionada con la mayor translucidez de las mismas, que las hace más oscuras (Chiralt y Talens, 2005).

Algunos autores (Talens, *et al.*, 2002b), evaluando instrumentalmente la luminosidad de rodajas de kiwi procesadas osmóticamente, determinaron que la aplicación de un pulso de vacío al inicio del proceso producía una disminución en ésta propiedad óptica, lo que se traduce en una disminución de la claridad. Este hecho se atribuye a que el pulso de vacío promueve la sustitución del gas ocluido, en la estructura de la muestra, por disolución osmótica, ocasionando una mayor translucidez atribuida a la mayor homogeneidad del índice de refracción tejido y lo que da lugar a que las muestras presenten una menor claridad y oscuridad en la misma (Chiralt y Talens, 2005).

La valoración negativa del aroma se corresponde con las muestras tratadas con pulso de vacío. Se ha demostrado que estas condiciones de proceso fomentan la salida de compuestos desde la matriz de la muestra a la disolución osmótica (Peiró *et al.*, 2006); algunos de los cuales son responsables del aroma. Algunos autores (Escriche *et al.*, 2000a; Talens *et al.*, 2003; Torres *et al.*, 2007) han observado que, en fresa, kiwi y mango deshidratados osmóticamente, desde el punto de vista de la fracción aromática, los tratamientos osmóticos a presión atmosférica promueven la formación de algunos compuestos típicos del aroma de la fruta, en mayor proporción que cuando estos tratamientos se realizan con pulso de vacío.

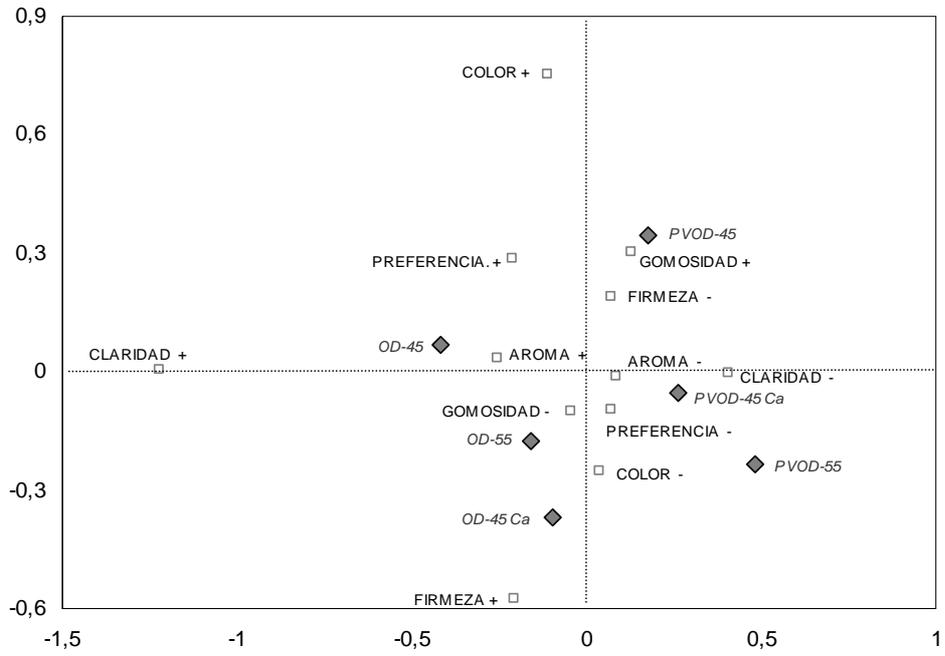


Figura IV.3.3. Análisis de correspondencias. Representación en el plano factorial, de los atributos elegidos (cuadros claros) y las muestras evaluadas (rombos oscuros)

3.5. CONCLUSIONES

- ✧ *Con este estudio se concluye que, los tratamientos osmóticos producen cambios en la calidad sensorial del mango mínimamente procesado. Dependiendo de las condiciones de proceso.*

- ✧ *Desde el punto de vista de los atributos sensoriales y la aceptación del producto por los jueces, se demostró que la claridad, el aroma y el color, tienen un papel importante en la aceptación de las muestras procesadas.*

- ✧ *Se observó que, la aplicación de pulso de vacío ejerce un efecto no favorable en la calidad sensorial del mango deshidratado osmóticamente, en cambio las muestras tratadas a presión atmosférica y con disoluciones 45 °Brix son los más preferidos por los jueces.*

- ✧ *La incorporación de calcio no supuso un efecto significativo en la firmeza de las muestras evaluadas sensorialmente, aunque si implicó un descenso en la intensidad del color.*

**V. ESTUDIO DE VIDA ÚTIL DEL MANGO
MÍNIMAMENTE PROCESADO**

1. INTRODUCCIÓN

Durante la etapa de almacenamiento los productos hortofrutícolas MP muestran evidentes señales de deterioro, fomentadas en parte por las etapas de preparación de las materias primas (selección, pelado, eliminación del corazón, troceado y mezclado). Entre las características del deterioro del producto cabe destacar: Los cambios de color debidos al pardeamiento enzimático, la pérdida de firmeza, el desarrollo de aromas indeseados, y la contaminación microbiológica (Brecht, 1995; Baldwin *et al.*, 1995; Watada *et al.*, 1996; Soliva-Fortuny y Martín-Belloso, 2003).

1.1. EVOLUCIÓN DE LA TASA RESPIRATORIA

Las frutas y verduras son productos muy perecederos como consecuencia de su actividad metabólica, incluso después de ser recolectadas. Su actividad respiratoria limita su vida útil en la etapa de postcosecha y, por ende, el rendimiento en la producción de recursos agrícolas es limitado (Wills *et al.*, 1984). Esta actividad, y por tanto, su vida útil, depende de numerosos factores, tanto biológicos (procesos naturales de respiración, producción de etileno y transpiración) como ambientales (principalmente la temperatura, la humedad y las concentraciones de gases del ambiente), así como mecánicos (golpes y daños que se producen durante el proceso de recolección, almacenamiento y transporte) (Wills *et al.*, 1984).

Una de las respuestas de las frutas al procesamiento mínimo, es la variación en su proceso respiratorio. El proceso de respiración puede describirse como la degradación oxidativa de los productos más complejos presentes en las células, como el almidón, los azúcares y los ácidos orgánicos, a moléculas más simples, como el

dióxido de carbono y el agua con la consiguiente liberación de energía metabólica y otras moléculas que dan características sensoriales propias de cada fruto, y sustancias que son utilizadas para las reacciones de síntesis celulares (Wills *et al.*, 1984).

La glucosa puede ser utilizada como fuente de energía, tanto en condiciones aerobias (con O₂, respiración celular aeróbica) como anaerobias (sin O₂, fermentación). El máximo de energía producida a partir de compuestos orgánicos oxidados se logra, en general, sólo bajo condiciones aerobias. En sistemas con limitación de oxígeno atmosférico, los tejidos vegetales pueden iniciar una respiración anaeróbica en la que la glucosa se convierte en piruvato por la vía EMP (Embden Meyerhof Parnas). El metabolismo fermentativo, que trae como consecuencia la producción de ácido láctico, o acetaldehído y etanol, implica la descarboxilación del piruvato a CO₂ sin el consumo de O₂ (Stern *et al.*, 2001; Fonseca *et al.*, 2002; Azcón-Bieto y Talón, 2000; Lee *et al.*, 1991; Kader *et al.*, 1987; Barceló *et al.*, 1992). La concentración de oxígeno a la que se inicia la fermentación se conoce como punto de extinción, y depende de numerosos factores como la especie, la variedad, el grado de madurez y la temperatura (Stern *et al.*, 2001). La respiración anaeróbica produce mucha menos energía por mol de glucosa que las rutas aeróbicas, pero permite poner a disposición del tejido cierta cantidad de energía en condiciones adversas (Wills, 1989).

Los productos vegetales expuestos a condiciones anaeróbicas presentan pérdidas importantes en su calidad como formación de sabores y de olores indeseables, alteración de la textura, pardeamiento, y puede conducir a la incidencia de desórdenes fisiológicos indeseables (Kays, 1991). Si la exposición es prolongada tendrá lugar la muerte del tejido vegetal.

En los productos vegetales, la tasa respiratoria es un buen indicador de la actividad metabólica y además es un parámetro eficaz para la predicción de la vida útil (Glenn *et al.*, 1988), pudiéndose emplear tanto la emisión de CO₂ como el consumo de O₂ para medir la tasa respiratoria de las plantas (Azcón-Bieto y Talón, 2000). La tasa respiratoria se define como la cantidad de dióxido de carbono producido y de oxígeno consumido por kg de fruta y por hora (Fonseca *et al.*, 2002). Las unidades de tasa respiratoria pueden expresarse también en moles: mol/kg.h ó en unidades de presión: atm/kg.h. En la investigación de la fisiología de los productos de origen vegetal, la determinación de la tasa respiratoria es de importancia crucial (Kader, 1987). Cuando el tejido de una planta ha alcanzado la madurez, su tasa respiratoria permanece prácticamente constante o desciende lentamente con la edad hasta que alcanza la senescencia.

La determinación de la tasa respiratoria puede ser útil para indicar la presencia de respiración anaerobia y el tipo de sustrato utilizado por los tejidos, al permitir calcular el cociente respiratorio, que se define como la relación entre la tasa de CO₂ producido y la de O₂ consumido (Joles *et al.*, 1994). En el caso de oxidación de la glucosa, el volumen de O₂ consumido es igual al volumen de CO₂ producido y el valor de cociente respiratorio (6CO₂/6O₂) es 1.0. En la literatura los valores del cociente respiratorio abarcan un intervalo entre 0.7 y 1.3 (Kader 1987; Kader *et al.*, 1989). El cociente respiratorio es mucho mayor que 1,0 cuando tiene lugar la respiración anaeróbica. Una tasa respiratoria y un cociente respiratorio elevados son generalmente indicativos de reacciones fermentativas.

La fruta cortada, pelada y/o troceada sigue unas pautas en la respiración diferentes a las de la fruta entera durante el almacenamiento debido a la respuesta fisiológica inducida por las

heridas provocadas a causa de estas operaciones (Wiley, 1994), lo que hace que su vida útil disminuya (Brecht, 1995; Rolle y Chism, 1987). Las posibles manifestaciones de estas operaciones en frutas MP incluyen un aumento en la tasa respiratoria asociado a un aumento en el metabolismo y a una mayor producción de etileno, una acelerada senescencia y un incremento del pardeamiento enzimático (Watada y Ling, 1990). Se ha observado que esta operación realizada en peras, ocasiona un aumento en la producción de CO₂, pero no en la producción de C₂H₄ (etileno), que permanece similar a la de la fruta entera intacta (Rosen y Kader, 1989). El cortado también implica una liberación de nutrientes de las células aumentando la permeabilidad al vapor de agua y a los gases (Avena-Bustillos *et al.*, 1997).

Los tratamientos osmóticos son una posibilidad para obtener productos con procesos mínimos, en algunos casos mejorando las características sensoriales y ofreciendo una mayor estabilidad en la calidad del mismo, que la que podría ofrecer un producto fresco cortado (Escriche *et al.* 2000b; Fito y Chiralt, 2000; Moreno *et al.*, 2000). Sin embargo, los tratamientos osmóticos implican un estrés celular como consecuencia de la reducción del agua disponible en las células, estas condiciones ocasionan una alteración en el patrón de comportamiento fisiológico celular del fruto. Varios autores han evaluado la influencia de estos tratamientos en las tasas respiratorias y los desórdenes fisiológicos de frutas mínimamente procesadas con tratamientos osmóticos (Lewicki *et al.*, 2001; Tovar *et al.*, 2001a, b; Castelló *et al.*, 2005).

Castelló *et al.*, (2005) observaron que los tratamientos osmóticos ocasionaron un descenso en el consumo de O₂, sin embargo la producción de CO₂ no fue inhibida, lo que indica un desarrollo de rutas anaeróbicas como respuesta a la alteración celular. Estas rutas

fermentativas implican un desarrollo de compuestos volátiles como el etanol y el acetaldehído, dependiendo de las condiciones de proceso.

1.2. ESTABILIDAD MICROBIOLÓGICA DE FRUTAS MÍNIMAMENTE PROCESADAS

La presencia de células dañadas y la disponibilidad de nutrientes celulares, debido al procesamiento mínimo tanto de frutas como de hortalizas, aporta las condiciones favorables para el desarrollo de numerosos microorganismos. La cantidad de microorganismos presentes en los productos mínimamente procesados así como los géneros y especies a los que pertenecen, serán función de varios factores: el tipo de fruta u hortaliza, la higiene durante las etapas de manipulación y procesado, así como la temperatura de almacenamiento. Sin embargo, hay que tener en cuenta que a temperaturas de refrigeración existen microorganismos que pueden desarrollarse con relativa rapidez, tales como *Pseudomonas*, *Achromobacter*, *Flavobacterium* y *Alcaligenes*, entre otros (Jay, 1992).

Los microorganismos pueden afectar de forma adversa tanto a la calidad sensorial como a la seguridad de estos productos, siendo este último factor una premisa de obligación legal por parte de la administración pública hacia las industrias. En este aspecto, el establecimiento de los límites que deben cumplir las frutas mínimamente preparadas, está condicionado por la norma que rige al grupo de alimentos preparados envasados a base de vegetales crudos. En el Real Decreto 3484-2000 (BOE, 2001), se establece un límite de recuento total de aerobios mesófilos de entre 10^5 y 10^6 ufc/g para el día de fabricación y entre 10^6 y 10^7 para el de caducidad. Para lograr el objetivo de prolongar la vida útil y prevenir

la alteración de los productos hortofrutícolas MP, se requiere una especial manipulación en la aplicación de métodos de conservación. Estos requerimientos están relacionados tanto con el control microbiano como con el enzimático. Scott (1989) retoma el concepto desarrollado por Leistner y Rodel en 1976 sobre la teoría de obstáculos, sugiriendo que, desde el punto de vista de la calidad, no es adecuado someter a los alimentos a las condiciones de tratamiento térmico extremo para inhibir el crecimiento de microbiano; sugiriendo la combinación de factores para limitar el crecimiento microbiano. Este concepto de conservación se podría aplicar en las frutas MP, ya que éstas poseen ciertas condiciones que las hacen más susceptibles al deterioro microbiano:

- ✧ *Actividad de agua superior a 0.85.*
- ✧ *Su pH es superior a 4.6, en algunos casos.*
- ✧ *No reciben tratamientos térmicos suficientes para inactivar los microorganismos patógenos.*
- ✧ *No se incorporan aditivos inhibidores del crecimiento microbiano como nitritos o sales de conservación.*

La deshidratación osmótica parcial de una fruta, realizada a temperaturas moderadas, y la posterior refrigeración del producto, constituye una combinación de factores que contribuyen a prolongar la vida útil del producto.

1.3. VARIACIÓN DE LAS PROPIEDADES ÓPTICAS

La apariencia visual de los productos hortofrutícolas mínimamente procesados es determinante en el establecimiento de su vida comercial. Tanto es así, que el producto puede ser rechazado si la

impresión visual que produce al consumidor no coincide con el estándar al que éste está acostumbrado (Clydesdale, 1993). Para algunos autores (Brennan *et al.*, 2000), el color es el criterio más importante en la elección del producto, por parte del consumidor, y por tanto, actúa como indicador de la vida útil del mismo. En general, se asocia el color marrón de las frutas, a tejidos excesivamente maduros o lesionados o a productos almacenados por tiempo excesivo; lo cual causa rechazo. En cambio, colores amarillos, verdes o rojos claros y brillantes son sinónimo de tejidos frescos (Pérez *et al.*, 2001).

Los alimentos contienen sustancias naturales que son responsables de su color característico. Los pigmentos propios de vegetales pueden estar constituidos por uno o varios de los siguientes grupos de compuestos: carotenos, antocianos, clorofilas y compuestos fenólicos. Las frutas y hortalizas son altamente atractivas debido a la riqueza de pigmentos que éstas contienen. La conservación del color verde de la clorofila en hortalizas, del rojo al púrpura de los antocianos; y del amarillo, naranja y rojo de los carotenoides, es de vital importancia para mantener la calidad de las frutas y las hortalizas. Los cambios de color pueden tener varios orígenes: la disminución de la pigmentación verde hacia colores amarillos, como ocurre en la lechuga, puede ser el resultado de la senescencia, la exposición al calor o a la acidificación; la decoloración a causa de hongos y el pardeamiento puede ser producido por la acción de enzimas como la polifenol oxidasa (PPO). Por otro lado, en hortalizas procesadas, como las zanahorias, es frecuente observar el desarrollo de una capa blanquecina, asociada a la presencia de lignina, cicatrizante natural de los tejidos (Bolin y Huxsoll, 1991), aunque también se ha vinculado a la deshidratación de las células muertas (Avena-Bustillos *et al.*, 1994).

Entre las modificaciones indeseables del color de las FMP, el pardeamiento es una de las más frecuentes. Los cambios que se producen como consecuencia del mismo perjudican la calidad de los frutos, tanto desde el punto de vista organoléptico como nutricional (Mauron, 1990; Friedman, 1996; Ahvenainen, 1996; 2000). El pardeamiento enzimático, depende de varios aspectos: la concentración de los compuestos fenólicos, la actividad de la enzima polifenol oxidasa y la concentración de compuestos antioxidantes en el tejido. Las operaciones de corte y pelado de la fruta propician una liberación tanto de los compuestos fenólicos (presentes principalmente en las vacuolas), como de la polifenol oxidasa (del citoplasma). La liberación de estos compuestos tiene como consecuencia el oscurecimiento del tejido (Kader, 2002).

Desde el punto de vista de los efectos que tiene la operación de deshidratación osmótica en las características ópticas de los productos, varios autores han determinado que los cambios de color se ajustan adecuadamente a modelos cinéticos de primer orden (Krokida *et al.*, 2000; Sa y Sereno, 1999; Cháfer *et al.*, 2001). Estas variaciones son ocasionadas principalmente por los cambios físicos y químicos que ocurren durante el proceso (Chiralt y Talens, 2005) como son:

- ✧ *Degradación o pérdida de pigmentos propios del fruto, además del desarrollo del pardeamiento enzimático, durante el proceso.*
- ✧ *Pérdida de agua, lo que no solo implica un aumento en la concentración efectiva de los pigmentos, incrementando la absorción selectiva de la luz, sino que también ocasiona un incremento en el índice de refracción de la fase líquida del producto, lo que promueve una reflexión superficial. Estos*

efectos simultáneos pueden repercutir significativamente en las propiedades ópticas de las frutas osmóticamente tratadas (especialmente en la claridad y el croma).

- ✧ *Intercambio de gas próximo a la superficie de la muestra por líquido externo, debido a la acción del mecanismo hidrodinámico HDM. Este intercambio contribuye a la obtención de un índice de refracción más homogéneo en el tejido, induciendo una mayor transparencia en el producto y, consecuentemente, una mayor absorción de la luz.*

En los procesos donde se aplica un pulso de vacío al inicio de la operación, el intercambio gas-líquido que se propicia en los poros de los tejidos vegetales, ocurre casi en su totalidad, lo que promueve un aumento en la translucidez, afectando al color y la apariencia de los mismos (Martínez-Monzó *et al.*, 2001; Talens *et al.*, 2002a; Chiralt y Talens, 2005).

La alteración de los pigmentos y el desarrollo de pardeamiento enzimático (que traen como consecuencia una variación en el tono del producto), pueden ser minimizados cuando se realizan los tratamientos osmóticos a temperaturas moderadas. Además se ha observado un efecto protector de los azúcares en algunos pigmentos vegetales como son la clorofila y los antocianos, y una disminución en la actividad enzimática de la PPO (Torreggiani, 1995).

1.4. VARIACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS

Durante el almacenamiento, los atributos que engloban el concepto de textura (firmeza, crujencia y jugosidad, entre otros) cambian, trayendo consigo una disminución en la calidad sensorial de las FMP. El reblandecimiento de los tejidos, la pérdida de líquidos

intracelulares, y el deterioro en la integridad estructural; pueden ser las causas principales de una inviabilidad comercial del producto. Además de los daños mecánicos, que juegan un papel esencial en la calidad textural de las FMP, las enzimas que solubilizan los componentes estructurales contribuyen a este deterioro. En mango, las causas de la pérdida de firmeza están relacionadas con la disminución en la concentración de los residuos galactósidos y deoxihexosidos, éste último indica la degradación de los componentes de la pared celular (Muda *et al.*, 1995). Los azúcares neutros de las paredes celulares, particularmente los residuos arabinosidos, ramnosidos y galactosidos disminuyen, a la vez que disminuye la hemicelulosa y se incrementa la actividad de la poligalacturonasa durante la madurez (Mitcham y McDonald, 1992). La β -galactosidasa juega un papel importante en la pérdida de firmeza del mango. El reblandecimiento de la fruta está más relacionado con los cambios de la actividad enzimática de la β -galactosidasa, que con las actividades de la poligalacturonasa y de la poliestearasa (Ketsa *et al.*, 1999).

En distintos trabajos relacionados con el efecto de tratamientos osmóticos en el comportamiento mecánico del tejido vegetal de frutas, se ha observado que éstos ocasionan: pérdida de la turgencia de la célula, alteración de la lámina media (Alzamora *et al.* 1997), alteración de la resistencia de las paredes celulares, aparición de perfiles de concentración de agua y solutos, cambios de la fracción volumétrica de líquido y gas en las muestras, así como cambios en el tamaño y la forma de las mismas (Chiralt *et al.*, 2001). Sin embargo, son escasos los estudios en los que se evalúan los cambios en las propiedades mecánicas de frutas, mínimamente procesadas (con tratamientos osmóticos) durante el almacenamiento.

1.5. VARIACIÓN DE LOS COMPUESTOS VOLÁTILES

Los compuestos aromáticos se forman mediante numerosas reacciones que ocurren como consecuencia del metabolismo normal de los seres vivos. Muchos compuestos volátiles, especialmente de frutas y hortalizas, son productos secundarios de diversas rutas metabólicas. Los metabolitos secundarios se distinguen funcionalmente de los metabolitos primarios, como proteínas, carbohidratos, lípidos, en que no poseen ninguna función fisiológica directa. Los metabolitos secundarios actúan como una interfase entre el organismo productor y su entorno; pueden ser generados para combatir enfermedades infecciosas, atraer polinizadores y disuadir o atraer herbívoros.

La gran mayoría de sustancias volátiles tienen su origen a partir de compuestos precursores no volátiles, siguiendo dos tipos de reacciones enzimáticas: por rutas metabólicas intracelulares y por reacciones obtenidas como resultado de la pérdida de integridad de la célula. Buttery (1993) señaló que en algunos casos es necesaria la ruptura celular, para permitir la interacción entre las enzimas y los substratos precursores aromáticos. Chassagne y Crouzet (1995) identificaron la formación de compuestos ligados a la ruptura del tejido celular en uvas, fruta de la pasión, albaricoques y mango. Durante la desintegración celular que ocurre de forma natural en la maduración de las frutas y especialmente cuando las células vegetales se rompen mecánicamente (operación de pelado y troceado), la obtención de compuestos aromáticos se centra principalmente en las reacciones de degradación de los lípidos. Kuo *et al.*, (1996) realizaron experiencias donde se trataba ácido linolénico con extracto de algas marinas, obteniendo un concentrado con una

composición aromática similar a manzana fresca, pepino, mango y algas. Esto lo atribuyeron principalmente a la acción de enzimas lipooxigenasas. La oxidación de los ácidos grasos insaturados, (catalizada por la lipooxigenasa) transforma los ácidos grasos poliinsaturados, principalmente linoléico y linolénico, en hidroperóxidos que se degradan dando aldehídos, alcoholes, ésteres y terpenos, entre otros.

La obtención de aromas no sólo está mediada por la actividad enzimática, sino también por la producción de enzimas celulares. Los compuestos volátiles pueden degradarse a lo largo del tiempo, y la célula juega un rol importante en el mantenimiento de la generación de compuestos aromáticos. Beaulieu y Lea (2003) observaron durante el almacenamiento de muestras de mango troceado, que la concentración de algunos compuestos volátiles disminuía, atribuyéndose este efecto a la disminución del sustrato (almidón y azúcares) necesario para la obtención de energía y consecuentemente la continuación de las reacciones catabólicas de producción de aromas.

En los productos hortofrutícolas no sólo hay una producción de compuestos aromáticos propios de ellos, también coexiste una generación de sustancias volátiles no deseadas (off-odors) (Brecht, 1995). El deterioro de las membranas celulares, a causa de los daños mecánicos ocasionados por pelado y/o corte de la estructura, se asocia con la producción de radicales libres en respuesta a este daño (Thompson *et al.*, 1987). La actividad de la lipido-acil-hidrolasa y la fosfolipasa degradan los compuestos lipídicos de las paredes celulares, lo que resulta en una producción de ácidos grasos libres (Galliard, 1979). Se ha observado una producción de etileno como consecuencia del catabolismo de los ácidos grasos libres por la acción de la lipoxigenasa en tomate (Sheng *et al.*, 2000), sugiriendo que la

ruptura del tejido celular podría estar asociada a un aumento en la producción de etileno

2. INTERÉS Y OBJETIVOS DEL ESTUDIO

El tiempo de vida útil de los productos hortofrutícolas de 4^{ta} gama, como es el caso de las ensaladas de frutas, es muy reducido, no suele ser superior a 6 días, 2 de los cuales se emplean en logística. Generalmente, la política de empresa exige la retirada de los productos 2 días antes de su fecha de caducidad, con lo cual, el tiempo de permanencia en los estantes se reduce a tan sólo 2 días. Este corto período de disponibilidad para el consumidor implica un problema para el propio supermercado y para el productor, derivando en grandes pérdidas económicas. Conviene por tanto, no solo una mejora adecuada de la logística para reducir el tiempo de transporte, y que el producto pueda permanecer más días en los lineales, sino también, una mejora en la tecnología de procesamiento para aumentar la vida útil del producto, sin detrimento de la calidad organoléptica, nutricional y sanitaria del mismo.

El objetivo general de éste trabajo es analizar las características de calidad y la vida útil de mango deshidratado (hasta 20 °Brix) y refrigerado durante el almacenamiento, en función de las condiciones de los tratamientos osmóticos aplicados en el procesado mínimo.

Para lograr este objetivo general, se establecieron los siguientes objetivos específicos:

- ✧ *Evaluar la variación de los parámetros fisicoquímicos*
- ✧ *Analizar la variación de las propiedades físicas (textura y color)*
- ✧ *Estudiar la evolución de la tasa respiratoria*
- ✧ *Evaluar la estabilidad microbiana*

✧ *Analizar la variación en el perfil de volátiles.*

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. MATERIA PRIMA Y AGENTE OSMÓTICO

Para la elección y preparación de las muestras, se siguió el procedimiento que se indica en el Capítulo III, apartados 1.1. y 1.2.

Como agente osmótico se emplearon disoluciones de sacarosa de 45 °Brix sin y con adición de lactato de calcio (2% p/v). Para la preparación de las disoluciones de trabajo se siguió el procedimiento que se describe en el Capítulo III, apartado 1.4.

3.2. DISEÑO EXPERIMENTAL DEL ALMACENAMIENTO

La aplicación de los tratamientos se llevó a cabo, como se describe en el Capítulo 3, apartados 2.1. y 2.2. Los tiempos de proceso fueron determinados mediante las ecuaciones de predicción, obtenidas en estudios anteriores (Giraldo, 2003).

La tabla V.3.1. muestra el diseño experimental para los análisis fisicoquímicos, de concentración de calcio y de las propiedades ópticas y mecánicas, llevados a cabo durante el almacenamiento del mango fresco y procesado en los diferentes tratamientos.

En todos los estudios, los análisis fueron realizados tanto en fruta fresca como sometida a los diferentes tratamientos, 4 en total (45-OD: disolución de 45 °Brix, a presión atmosférica, 45-PVOD: disolución de 45 °Brix, con aplicación de pulso de vacío, 45-ODCA: Disolución de 45 °Brix + lactato de calcio (2%), a presión atmosférica, 45-PVCA: Disolución de 45 °Brix + lactato de calcio (2%), con aplicación de pulso de vacío).

Tabla V.3.1. Diseño experimental para los análisis fisicoquímicos, de concentración de calcio y de propiedades ópticas y mecánicas, llevados a cabo durante el almacenamiento a 10 °C del mango fresco y procesado en los diferentes tratamientos.

ANÁLISIS	TRATAMIENTOS			
	OD, PVOD, OD-CA, PVOD-CA y FRESCO CORTADO			
	Días de Almacenamiento	Días de análisis	Nº de Mangos	Nº de repeticiones para cada tiempo y muestra
Fisicoquímicos y de concentración de calcio	10	0, 10	6	9
Propiedades ópticas	10	0, 1, 3, 5, 7, 10	3	9
Propiedades mecánicas	10	0, 10	6	9
Tasa Respiratoria	6	0, 1, 2, 3, 4, 5, 6	20	4
Microbiológicos: Aerobios, mohos y levaduras	22	0, 2, 5, 7, 9, 12, 14, 17, 22	10	2
Perfil de Volátiles	8	0, 1, 4, 8	15	3

Para el análisis de las propiedades ópticas se obtuvieron 15 cilindros de cada mango, 3 de ellos fueron empleados para la caracterización de la fruta fresca y los otros 4 grupos de 3 cilindros fueron sometidos a los diferentes tratamientos. Los ensayos se realizaron en muestras procedentes de 3 mangos.

El análisis de las propiedades mecánicas se realizó con 15 cilindros de cada mango, 3 de ellos fueron empleados para la caracterización de la fruta fresca y los otros 4 grupos de 3 cilindros fueron sometidos a los tratamientos. Los ensayos se realizaron en muestras procedentes de 3 mangos para las mediciones al inicio del almacenamiento y de otros 3 mangos para las mediciones del último día de almacenamiento.

Para los análisis fisicoquímicos y la determinación de la concentración de calcio, se realizó un procedimiento de selección de muestras similar al realizado para la medida de propiedades mecánicas.

El análisis de la tasa respiratoria, se realizó con muestras de aproximadamente 200 g de mango para cada uno de los tratamientos, incluyendo el fresco cortado. Los 1000 g totales fueron obtenidos a partir de 10 mangos. Las experiencias se realizaron por duplicado, por lo tanto se empleó un total de 20 mangos. Cada muestra contenía cilindros de los diferentes mangos utilizados para promediar los efectos de variabilidad natural propios de cada fruta. Para el estudio de respiración, las muestras fueron almacenadas en recipientes de vidrio con tapa hermética, a 10 °C durante 6 días. Los recipientes se abrían para renovar la atmósfera del espacio de cabeza y evitar la anaerobiosis. Las mediciones se iniciaron siempre en estas condiciones de atmósfera renovada.

Los recuentos de microorganismos se realizaron a partir de 10 g de muestra (2 cilindros aprox.), para cada uno de los tratamientos, incluyendo el fresco cortado, y para cada día de análisis (0, 2, 5, 7, 9, 12, 14, 17 y 22 días). Los 450 g totales se obtuvieron a partir de 5 mangos. Las experiencias se realizaron por duplicado, por lo tanto se empleó un total de 10 mangos.

Para el estudio de la fracción volátil, se emplearon 20 g por cada muestra (5 cilindros aprox.) para cada uno de los tratamientos incluyendo el fresco cortado, y para cada día de análisis (0, 1, 4, 8). En total se requirieron 5 mangos, y puesto que las experiencias se realizaron por triplicado, se empleó un total de 15. Cada muestra contenía cilindros de los diferentes mangos para minimizar los efectos de variabilidad de la fruta.

Para todos los análisis, excepto los de respiración, las muestras fueron almacenadas en tarrinas con tapa, elaboradas con polietileno de alta densidad.

La temperatura de almacenamiento fue siempre de 10 °C (SHELL-LAB, Model 2005 Incubator Sheldon Manufacturing, Inc.). Se eligió esta temperatura relativamente alta de refrigeración para simular unas condiciones de almacenamiento desfavorables, que comúnmente pueden presentarse en algunos puntos de distribución y venta (Saftner *et al.*, 2003).

3.3. DETERMINACIONES ANALÍTICAS E INSTRUMENTALES

La determinación de los parámetros fisicoquímicos (fracción másica de agua (x_w), fracción másica de sólidos solubles (x_s) y porcentaje de sólidos solubles en la fase líquida (Z_s), así como las variaciones de masa total (ΔM), de sólidos solubles (ΔM_s) y de contenido en agua (ΔM_w)) se realizó siguiendo el procedimiento descrito en el capítulo III, apartado 3.

De igual forma, los ensayos mecánicos y las determinaciones del contenido en calcio se realizaron tal y como se han descrito en el Capítulo IV, apartados 2.3.4. y 2.3.5., respectivamente.

3.4. DETERMINACIÓN DE LA TASA RESPIRATORIA

Se eligió un sistema estático para determinar la tasa respiratoria de los cilindros de mango, frescos y tratados. Las muestras (200 g) se colocaron en recipientes de cristal de 0.870 L con tapa, cerrado hermético y con un septum en la superficie de la tapa, el cual permitió tomar con facilidad la muestra de gas del espacio de cabeza a los diferentes tiempos. Se tomaron las muestras de gas cada 30 ó

60 minutos, durante aproximadamente 8 horas, mediante una aguja conectada a un analizador de gases (%O₂, %CO₂ CheckMate 9900 PBI Dansensor, Ringsted, Dinamarca). Las medidas se realizaron cada día durante seis días, aireando cada vez los recipientes para evitar condiciones de anaerobiosis. Se eligieron como puntos experimentales aquellos que presentaron una buena relación lineal entre la concentración del gas y el tiempo, lo que indica que durante ese periodo de tiempo no ocurrieron cambios en la pauta respiratoria de las muestras y que los cambios en la composición del espacio de cabeza no produjeron alteraciones notables en el metabolismo de las frutas.

La tasa respiratoria (TR (mLkg⁻¹h⁻¹)) de las muestras, en términos de CO₂ generado y O₂ consumido, se obtuvo a partir de la pendiente de la ecuación lineal, según la ecuación V.1.1.

$$y_t = y_{t_0} \pm 100 \cdot TR \cdot \frac{M}{V} \cdot t \quad TR \left[mL \cdot kg^{-1} \cdot h^{-1} \right] \quad V.1.1.$$

Donde:

y_t :	Concentración de gas (%O ₂ -y %CO ₂) a tiempo t
M :	Masa de la muestra (kg)
V :	Volumen del espacio de cabeza (mL)
t :	Tiempo (h)

Las unidades de la tasa respiratoria se expresaron por kg de muestra inicial, ya que el número de células antes y después de los tratamientos (deshidratación y/o impregnación) se mantiene constante, independientemente de que haya ganancia o pérdida de masa durante el procesado ya que el flujo de materia sólo afecta a los solutos y al agua.

3.5. DETERMINACIÓN DE LA CARGA MICROBIANA

Para el estudio de la carga microbiana se extremaron las precauciones en la manipulación de las muestras durante el procesado osmótico, para mejorar las condiciones de asepsia de la deshidratación y reducir la carga microbiana debida al procesado. Estas condiciones incluían la pasteurización de las disoluciones (80 °C durante 15 min) y la limpieza y desinfección tanto de los mangos como de los materiales utilizados para la preparación de la fruta según indicaciones mencionadas en el Capítulo III, apartado 1.2. La manipulación de las muestras fue realizada en campana de flujo laminar, con materiales comúnmente usados en la industria de alimentos (guantes, gorro y tapabocas).

La determinación de la carga microbiana de cilindros de mango fresco y tratado, se llevó a cabo según el método de análisis microbiológico de alimentos y aguas (FAO, 1981) para la determinación de microorganismos aerobios mesófilos y, mohos y levaduras.

En primer lugar, se prepararon los medios de cultivo y la disolución madre de agua de peptona, disolviendo la cantidad necesaria de cada uno de los medios en agua destilada de acuerdo al protocolo del envase en cada caso (Plate Count Agar y Sabouraud, Scharlau Microbiology). También se preparó agua de peptona en recipientes de vidrio (90 mL en cada uno) y tubos de ensayo (9 mL en cada uno). A continuación, todo el material, que posteriormente se utilizó en la siembra por vertido en placa, se sometió a un tratamiento de esterilización (121°C, 20 min.) en autoclave (Presocalve 75, J.P. Selecta S.A.). Los medios de cultivo se mantuvieron, una vez finalizada la esterilización, en un baño a 50°C

para evitar que solidificaran. Después de tener el material esterilizado y rotuladas las placas Petri, se limpió la superficie de la campana de flujo laminar con etanol 95% y se sometió a luz ultra violeta durante 30 min. para evitar contaminación por parte del área de trabajo. Los materiales necesarios se ordenaron en la campana de flujo laminar de forma que fuera mínima la manipulación y evitar así posibles contaminaciones. Para llevar a cabo el análisis microbiológico, se pesaron asépticamente 10 g de muestra en un vaso de precipitados esterilizado y se pasaron a una bolsa Stomacher a la que se le agregó 90 mL de agua de peptona, y se homogeneizó todo en el Stomacher.

A continuación se prepararon diluciones seriadas en tubos de ensayo hasta llegar a 10^{-6} . Posteriormente, se procedió a la siembra por vertido en placa, pipeteando un volumen conocido (1 mL) y vertiendo en placas estériles, a las que se añadió el medio estéril (Plate Count Agar y Sabouraud Agar para microorganismos aerobios mesófilos y mohos y levaduras, respectivamente), mezclando y dejando solidificar. Se incubó en una estufa a $31 \pm 1^{\circ}\text{C}$ durante 24-48 horas en el caso de aerobios mesófilos y 3-5 días en el caso de mohos y levaduras. La lectura se realizó contando el número de colonias en las placas que tuvieran entre 30-300, para los primeros y 0-30 para los segundos y multiplicando por el factor de dilución. El número total de colonias se expresó en log Ufc/g.

Las siembras se realizaron cada dos o tres días durante el almacenamiento. Se representaron las curvas de crecimiento de microorganismos (log Ufc/g vs. tiempo de almacenamiento) durante 21 días.

3.6. DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES ÓPTICAS

Para el análisis del color, se utilizó un espectrocolorímetro Minolta modelo (CM-3600D, Tokio, Japón), con el que se obtuvo el espectro de reflexión de las muestras. La calibración del equipo fue realizada con patrones de color negro y blanco, provistos con el equipo. La determinación del color fue realizada en las dos bases del cilindro de muestra.

Se obtuvieron las coordenadas de color CIE-L*a*b* utilizando como referencia el observador 10° e iluminante D65. En concreto, la coordenada a* define la desviación hacia el rojo (cuando a*>0) o hacia el verde (cuando a*<0), mientras que la coordenada b* define la desviación hacia el amarillo (cuando b*>0) o hacia el azul (cuando b*<0). El parámetro L* indica la luminosidad (0, negro; 100, blanco). A partir de los valores a*, b* y L*, se calcularon las coordenadas psicométricas, tono (h_{ab}) y croma (C_{ab}) y al mismo tiempo se calculó la diferencia de color (ΔE_{ab}) respecto al mango fresco correspondiente. Los anteriores parámetros fueron estimados mediante las siguientes ecuaciones:

$$h_{ab} = \tan^{-1} \frac{b^*}{a^*} \quad \text{V.1.2.}$$

$$C_{ab} = \sqrt{(a^{*2} + b^{*2})} \quad \text{V.1.3.}$$

$$\Delta E_{ab} = \sqrt{(\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2 + (\Delta L^*)^2} \quad \text{V.1.4.}$$

De este modo el tono es el atributo de la sensación visual según el cual el estímulo parece similar a uno de los colores percibidos: rojo, amarillo, verde, azul (Hutchings, 1999) o a ciertas proporciones de dos de ellos. Por otra parte, la saturación o el croma indica el colorido del estímulo juzgado en proporción a su luminosidad.

3.7. DETERMINACIÓN DE LA FRACCIÓN VOLÁTIL

Para la extracción de los compuestos volátiles del mango fresco y de las muestras procesadas, el primer paso fue poner a punto la metodología basada en la técnica denominada "purga y trampa" (Overton y Manura, 1994; Wilkes *et al.*, 2000). En la figura V.3.1. se muestra un esquema del montaje utilizado.

Para cada análisis se pesaron 20 g de mango en el tubo de vidrio del montaje de extracción, luego se añadieron 100µL de patrón interno, alcanfor, de una concentración de 300 ppm. Se eligió este compuesto como patrón interno, por su miscibilidad en agua. Para obtener una incorporación total del alcanfor con la muestra, se colocó el tubo en un baño de ultrasonidos (Ultrasons, J.P.-Selecta; Barcelona, España) durante 5 minutos.

Se realizó el montaje del aparato de purga y trampa (Figura V.3.1.), sumergiendo el tubo, en un baño termostatado a 45°C, hasta cubrir la muestra, verificando la temperatura periódicamente. Se acopló al sistema el tubo relleno con el material de adsorción, TenaxTM (Wilkes *et al.*, 2000).

Se empleó nitrógeno como gas de arrastre, que circuló a través de la muestra con un caudal constante de 100mL/min, caudal que se verificó con un flujómetro (ADM 1000, Agilent; Wilmington, USA). La muestra se sometió al burbujeo del gas, y por lo tanto, a la liberación

de los compuestos volátiles, durante 30 minutos. Transcurridos éstos, se extraía el tubo de Tenax y se proseguía con la desorción.

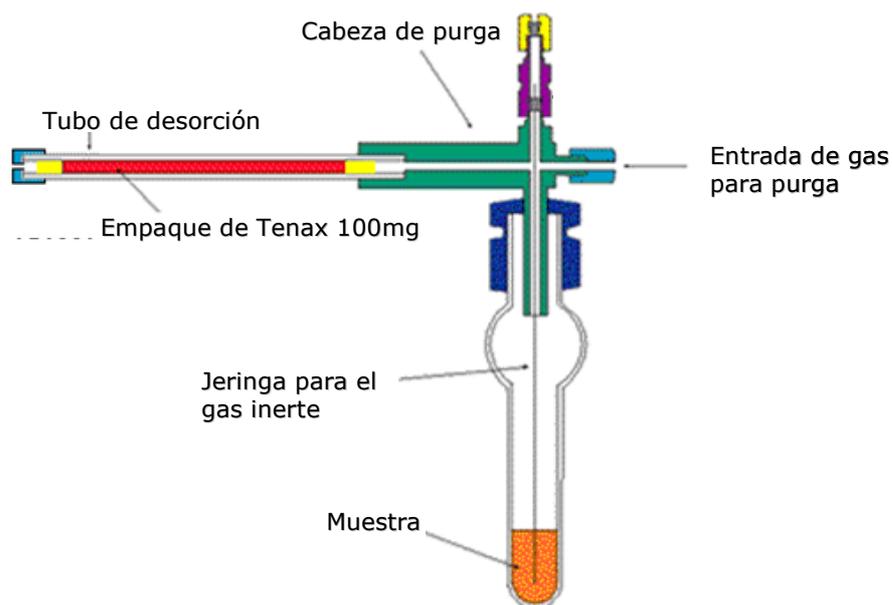


Figura V.3.1. Esquema del montaje del sistema "Purga y Trampa" de extracción de compuestos volátiles (Scientific Instrument Services, inc., 2005).

Para la desorción de los compuestos volátiles de la matriz de TenaxTM, se utilizó un desorbedor térmico Turbomatrix TD (Perkin Elmer, Wellesley, USA). En una primera etapa (primera desorción) los componentes quedaban atrapados en la trampa fría a -30°C , para su inmediata segunda desorción y paso a la columna cromatográfica. Las condiciones del desorbedor fueron las siguientes:

- ✧ Presión de helio $\rightarrow 30 \text{ PSI}$
- ✧ Split de entrada $\rightarrow 5 \text{ mL/min}$

- ✧ *Split de salida* → 12 mL/min

- ✧ *Desorción primaria:*
 - temperatura → 240 °C a -30 °C
 - tiempo → 16 minutos

- ✧ *Desorción secundaria:*
 - temperatura → de -30 °C a 250 °C
 - rampa de temperatura → 99 °C/s

La separación e identificación de los compuestos fue llevada a cabo en un equipo de cromatografía de gases (Norwalk, Conn., USA) de columna capilar con un empaquetamiento de silica gel de 30 m DB-5, 0.32 mm de diámetro, (JY W Scientific, Cromolab, España); acoplado a un espectrómetro de masas (GC-MS) Finnigan TRACETM MS (Termost, Austin, USA).

Para establecer el método cromatográfico, se realizaron sucesivas pruebas encaminadas a determinar las condiciones ideales para la separación de los picos de aquellos compuestos de mayor interés (MacLeod, y Gonzalez, 1982; Engel y Tressl, 1983; MacLeod y Pieris, 1984; Malundo *et al.*, 1997; Andrade *et al.*, 2000; Beaulieu y Lea, 2003). Así las condiciones cromatográficas fueron:

- ✧ *Columna DB-5 (30 x 0.32 mm x 0.25 µm)*
- ✧ *Volumen de inyección: 5µL*
- ✧ *Gas portador: Helio 1.2 mL/min*
- ✧ *Temperatura inyector: 220°C*
- ✧ *Temperatura detector: 300°C*
- ✧ *Temperatura del horno:*

$-T^{\circ}_1 = 40^{\circ}\text{C}$	$t_1 = 10$ minutos	
$-T^{\circ}_2 = 40^{\circ}\text{C} - 60^{\circ}\text{C}$	$t_2 = 0$ minutos	$R_1 = 4^{\circ}\text{C}/\text{min}$
$-T^{\circ}_3 = 60^{\circ}\text{C} - 260^{\circ}\text{C}$	$t_3 = 6$ minutos	$R_2 = 6^{\circ}\text{C}/\text{min}$

Donde:

$T^{\circ}_{1,2,3}$:	Intervalos de temperatura.
$t_{1,2,3}$:	Tiempo de permanencia a la temperatura final.
$R_{1,2}$:	Velocidad de incremento de temperatura.

La fragmentación de los compuestos en el MS, fue realizada por impacto electrónico EI^+ a 70eV; y el modo de registro fue de 35 a 450 unidades de masa; la velocidad de registro fue de 2.5 exploraciones/s.

Los componentes volátiles fueron identificados y cuantificados según lo descrito en el Capítulo IV, apartado 2.2.4. teniendo en cuenta que el extracto obtenido por el método de purga y trampa es desorbido (en vez de inyectado) al equipo.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. DETERMINACIONES FISICOQUÍMICAS, BALANCES DE MATERIA, Y CONTENIDO EN CALCIO

Para entender los cambios ocurridos en mango mínimamente procesado, debido a los procesos osmóticos, se hace necesario el análisis de las variables fisicoquímicas (x_w , x_s , y Z_s) y los cambios de materia producidos por estos tratamientos. En la tabla IV.2.1. se observan las fracciones másicas de agua (x_w) y sólidos solubles (x_s) de mango fresco y procesado, tanto al inicio como al final del almacenamiento. Los valores promedio de fracción másica de agua y de sólidos solubles para muestras frescas fueron $x_w = 0.843 \pm 0.003$ y $x_s = 0.139 \pm 0.001$ y el valor promedio de la fracción másica de sólidos solubles en la fase líquida lograda en los distintos tratamientos fue de 0.209 ± 0.009 . En la tabla V.4.1. se puede observar que esta concentración fue alcanzada con diferentes niveles de pérdida de agua (ΔM_w) y ganancia de azúcar (ΔM_s) (definido según Fito y Chiralt (1997), por kg de fruta fresca), dependiendo de las condiciones de proceso. De igual manera, después de la etapa de almacenamiento se observaron variaciones en los valores de pérdida de agua y ganancia de azúcar. Como se esperaba, las pérdidas de masa de las muestras (como resultado de los balances de pérdida de agua y ganancia de solutos) variaron ampliamente dependiendo de la de la aplicación o no de pulso de vacío. La impregnación de la muestra, como resultado del pulso, implicó una disminución en la pérdida de masa. Este efecto se observó de forma más pronunciada en las muestras tratadas con disoluciones que contenían lactato de calcio (2%).

Tabla V.4.1 Cambios composicionales de las muestras (Fracción másica de agua (x_w) y sólidos solubles (x_s), contenido de sólidos solubles en la fase líquida (z_s); pérdida de peso (ΔM), pérdida de agua (ΔM_w) y ganancia de solutos (ΔM_s), después de los tratamientos, y tras el almacenamiento (10 días a 10°C)

Después de los Tratamientos						
	x_w	z_s	x_s	ΔM	ΔM_w	ΔM_s
Fresco	0,843 ± 0,003	0,142 ± 0,001	0,139 ± 0,001	-	-	-
OD	0,765 ± 0,001	0,219 ± 0,001	0,214 ± 0,001	-0,145 ± 0,005	-0,190 ± 0,001	0,044 ± 0,001
OD-CA	0,775 ± 0,001	0,208 ± 0,001	0,204 ± 0,001	-0,141 ± 0,005	-0,177 ± 0,001	0,035 ± 0,001
PVOD	0,777 ± 0,003	0,211 ± 0,001	0,208 ± 0,001	-0,109 ± 0,013	-0,155 ± 0,003	0,045 ± 0,001
PVOD-CA	0,789 ± 0,001	0,198 ± 0,001	0,195 ± 0,001	-0,105 ± 0,009	-0,140 ± 0,001	0,034 ± 0,001

Después del Almacenamiento						
	x_w	z_s	x_s	ΔM	ΔM_w	ΔM_s
Fresco	0,862 ± 0,004	0,121 ± 0,001	0,118 ± 0,001	-0,119 ± 0,006	-0,084 ± 0,003	-0,035 ± 0,001
OD	0,770 ± 0,003	0,205 ± 0,001	0,198 ± 0,001	-0,142 ± 0,009	-0,106 ± 0,003	-0,042 ± 0,001
OD-CA	0,780 ± 0,005	0,199 ± 0,001	0,194 ± 0,001	-0,134 ± 0,019	-0,100 ± 0,003	-0,034 ± 0,001
PVOD	0,809 ± 0,006	0,171 ± 0,001	0,167 ± 0,002	-0,138 ± 0,020	-0,083 ± 0,004	-0,059 ± 0,002
PVOD-CA	0,803 ± 0,002	0,177 ± 0,001	0,173 ± 0,002	-0,104 ± 0,003	-0,071 ± 0,002	-0,039 ± 0,001

Valores entre paréntesis: Desviación Estándar

Como se menciona en apartados anteriores, el efecto del pulso de vacío en los valores de pérdida de masa durante el proceso, puede ser explicado por la acción conjunta de los diferentes mecanismos de transportes de materia (osmodifusionales e hidrodinámicos) durante el tratamiento. De igual forma, la utilización de disoluciones de trabajo de baja viscosidad facilitan la ganancia hidrodinámica de disolución en los poros del tejido del mango. Esto permite obtener

una concentración determinada en la muestra con una menor pérdida de agua y de peso (Lazarides *et al.*, 1999; Fito *et al.*, 2002).

Los perfiles de concentración en las muestras tratadas con pulso de vacío serán más homogéneos que en las muestras tratadas a presión atmosférica. Esto se debe a que el frente de perturbación en el tejido se encuentra en zonas más internas de la estructura gracias a la acción conjunta del mecanismo hidrodinámico y la impregnación de las muestras (Fito *et al.*, 2002).

En lo que respecta a los tratamientos realizados con disoluciones con calcio; la interacción de este ion con la matriz estructural modifica la respuesta del tejido a la impregnación a vacío (Gras *et al.*, 2003), y a la vez altera la proporción en la que ocurren los diferentes mecanismos de transporte de materia en el tejido, debido a los cambios estructurales. Para las muestras de mango impregnadas con disoluciones que contienen lactato de calcio, la reducción en los valores de pérdida de masa se asocia con el incremento en la ganancia de sólidos y la limitación para la pérdida de agua. Esta limitación se puede atribuir a una disminución en la permeabilidad de las paredes celulares, a causa de un reforzamiento polimérico por medio de puentes de calcio.

En la tabla V.4.1. se pueden apreciar los valores promedio de los parámetros fisicoquímicos para las muestras frescas y procesadas, al final del almacenamiento. Para las muestras no tratadas los valores fueron $x_w = 0.862 \pm 0.004$ and $x_s = 0.118 \pm 0.001$. Se observaron diferencias en las fracciones máxicas de sólidos solubles en la fase líquida de las muestras tratadas y almacenadas, dependiendo de las condiciones del tratamiento. Se puede observar que los valores de x_w y de x_s para las muestras OD son mayores que para las PVOD. Además, se aprecia que para todas las muestras tratadas, los valores de ΔM y ΔM_s revelan una mayor pérdida de masa y una disminución

en los sólidos solubles, cuando se comparan estos valores con los obtenidos con las muestras almacenadas sin tratar. Este hecho podría atribuirse a la liberación enzimática y su acción en los componentes estructurales de la fruta. La liberación enzimática ocurre a causa de la rotura celular, ya sea por la manipulación mecánica de las muestras durante la preparación, como por el proceso natural que conlleva la maduración y senescencia de los tejidos vegetales.

Los fenómenos observados en las variables fisicoquímicas y en los balances de materia, también se pueden atribuir a la pérdida de elasticidad de los tejidos a causa de los cambios de presión (cuando se aplica un pulso de vacío al inicio del proceso). Todos estos factores posibilitan la pérdida de líquidos a causa de una disminución en la capacidad de retención de los mismos por parte de las muestras. La tabla V.4.1. muestra que estos efectos fueron ligeramente menores en las muestras que fueron tratadas con disoluciones con lactato de calcio, lo que pone de manifiesto el efecto protector del ión calcio en los tejidos celulares del mango.

La figura V.4.1. muestra los niveles de contenido en calcio ($\text{mg Ca}^{+2}/\text{g}$ de fruta fresca) alcanzados en las muestras tratadas, en comparación con las muestras frescas; y el efecto del almacenamiento en estos niveles. El valor promedio de contenido en calcio para las muestras frescas fue 0.119 ± 0.004 . Se observa que los tratamientos realizados con disoluciones que no contenían calcio, no indujeron cambios significativos en el contenido del ión en las muestras tratadas. Para las muestras tratadas con disoluciones de lactato de calcio, como era de esperar, se observó un incremento considerable en la concentración de Ca^{+2} . Este incremento no fue afectado por la aplicación de un pulso de vacío al inicio del proceso, ya que no se observaron diferencias significativas entre las muestras impregnadas y las tratadas a presión atmosférica.

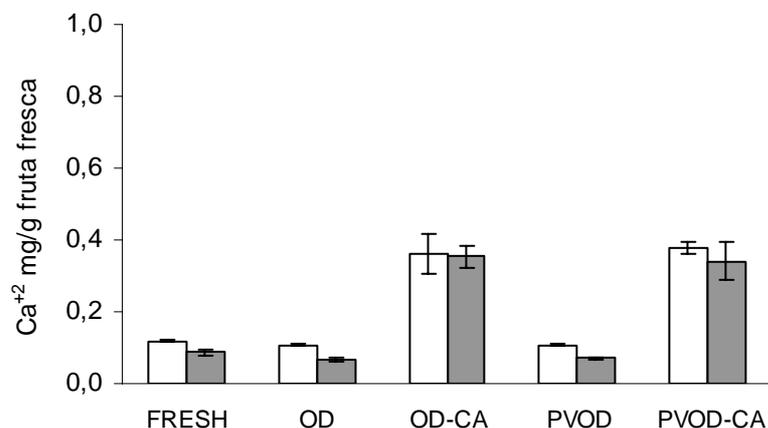


Figura V.4.1. Valores promedio de concentración de calcio (Ca^{+2} mg/g de fruta fresca), para las muestras frescas y tratadas, después de los procesos (barras claras) y después del almacenamiento (barras grises) (10 días a 10 °C). Se incluyen las barras de error para 9 repeticiones. (Barras de error con $\alpha = 95\%$)

Después del período de almacenamiento, el valor promedio de concentración de calcio disminuyó ligeramente, con respecto a las muestras iniciales, tanto para las muestras no tratadas como para las deshidratadas con disoluciones sin calcio. No obstante, éstos efectos no fueron significativos para las muestras tratadas con calcio.

Estos resultados pueden ser explicados desde el punto de vista de las pérdidas de líquido interno, debido al fenómeno de colapso de las muestras. Este colapso ocasiona la eliminación de líquido no compartimentado en el tejido, y la consecuente pérdida de calcio disuelto (entre otros sólidos solubles). Cuando las muestras fueron tratadas con disoluciones osmóticas con calcio, la interacción de los iones en la estructura celular de la fruta, con su consecuente efecto de reforzamiento, podría inhibir el colapso de las muestras,

impidiendo el fenómeno de pérdida de fase líquida citado anteriormente.

4.2. EFECTOS EN LA TASA RESPIRATORIA

En la figura V.4.2. se pueden apreciar las tasas respiratorias en términos de O_2 (TR_{O_2}) y de CO_2 (TR_{CO_2}), así como el cociente respiratorio; de las muestras de mango fresco y procesado, en función del tiempo de almacenamiento. Los valores de TR_{O_2} de las muestras frescas, permanecieron constantes a lo largo del almacenamiento. Además, se observó un ligero descenso progresivo en la TR_{CO_2} durante el mismo período de tiempo. No obstante, los valores del cociente respiratorio para las muestras frescas se mantuvieron cercanos a 1. Para todas las muestras tratadas osmóticamente, al inicio del almacenamiento se observó un descenso pronunciado (en comparación al de las muestras frescas) de la tasa respiratoria en términos de O_2 . No se observaron diferencias significativas en los valores de TR_{O_2} por efecto del calcio aplicado en los tratamientos; sin embargo, en las muestras tratadas con éstas disoluciones, el descenso de la TR_{O_2} durante el almacenamiento fue más pronunciado que en el resto.

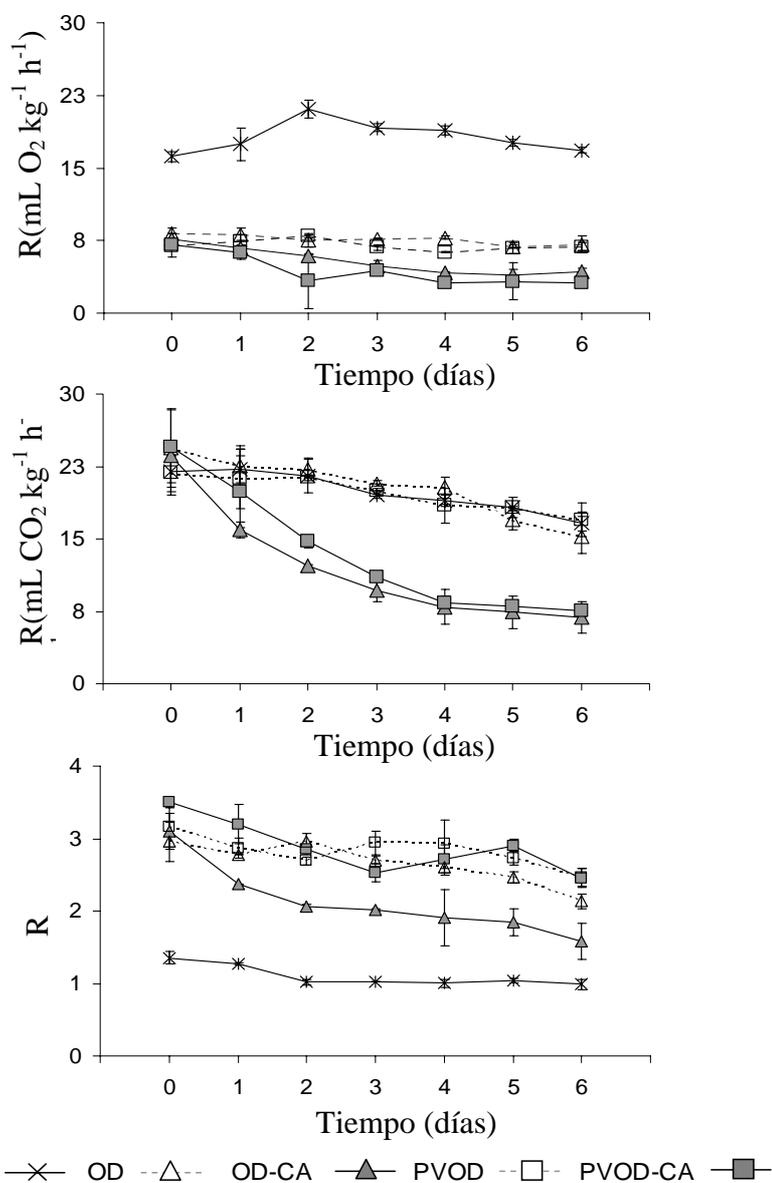


Figura V.4.2. Evolución durante el almacenamiento (6 días) de la tasa respiratoria en términos de O_2 y CO_2 ($\text{mL kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$), y cociente respiratorio (CR); para muestras frescas (cruces) y tratadas (OD: triángulos claros, PVOD: cuadrados claros, PVOD: triángulos oscuros y PVOD-CA: cuadrados oscuros), a 10 °C. (Barras de error con $\alpha = 95\%$)

En lo que respecta a la tasa respiratoria en términos de CO_2 , no se observaron diferencias significativas entre las TR_{CO_2} de las muestras frescas y tratadas, al inicio del almacenamiento. Durante el almacenamiento, las muestras tratadas con disoluciones sin lactato de calcio mostraron una TR_{CO_2} similar a la de las muestras sin tratar. Por el contrario, se observó un descenso marcado en la TR_{CO_2} de las muestras tratadas con disoluciones con calcio.

No se observaron efectos significativos en los valores de TR_{O_2} y TR_{CO_2} , debido a la impregnación a vacío; excepto para las muestras tratadas con disoluciones que contenían calcio, donde el pulso de vacío llevó a una disminución más pronunciada de la producción de CO_2 durante el período de almacenamiento.

El cociente respiratorio (CR) de todas las muestras procesadas fue superior a 1, lo que evidencia un menor consumo de O_2 con respecto al CO_2 producido. Estos resultados evidencian una actividad anaeróbica en las muestras tratadas, como recurso metabólico alternativo. A pesar de que las muestras fueron alteradas a causa de sucesivos tratamientos, éstas continúan consumiendo oxígeno, como lo han observado otros autores (Castelló *et al.*, 2005) en fresas mínimamente procesadas, sometidas a tratamientos osmóticos similares. Este hecho está relacionado con la actividad de algunos sistemas enzimáticos, como prueba del intento de las células por sobrevivir al estrés producido por la deshidratación (Lewicki, *et al.*, 2001).

Con respecto al efecto del lactato de calcio, se observó un efecto atenuador de la actividad respiratoria a causa de este ión. Este hecho puede atribuirse a que el Ca^{+2} forma parte de varios procesos fisiológicos y bioquímicos de las plantas (Kader, 1987; Azcón-Bieto y Talón, 2000), y por lo tanto puede influir en los mecanismos de

regulación del proceso respiratorio (Artés, *et al.*, 1999; Luna-Guzmán *et al.*, 1999; Pérez, 2003; Saftner *et al.*, 2003). En este sentido, la concentración de lactato de calcio empleada en este estudio, podría haber influido en los procesos fisiológicos de las muestras afectadas, acelerando el proceso de senescencia, inducido por una acción bioquímica perjudicial del Ca^{+2} en las células del mango. Lester (1996) observó en muestras de melón tratadas con disoluciones de calcio de distinta concentración que, dependiendo de la concentración de calcio de las disoluciones, el ión afectaba de forma distinta al proceso de senescencia del fruto. A concentraciones moderadas, se podía retardar el proceso de senescencia del fruto, pero, a altas concentraciones se ocasionaba el efecto contrario. Este autor afirmó que por encima de un límite crítico de concentración de calcio en las disoluciones, el ión podría ser altamente tóxico para la fruta. Algunos efectos adversos observados fueron: una baja retención de clorofila, un incremento en la actividad de la H^{+} -ATPasa y una pérdida de ácidos grasos insaturados de la membrana, lo que está correlacionado negativamente con una debilitación de la membrana celular y una pérdida de su llamada microviscosidad.

4.3. EFECTOS EN LA CALIDAD MICROBIOLÓGICA

En la figura V.4.3. se puede apreciar el recuento de microorganismos aerobios mesófilos (AM), y el de mohos y levaduras (ML), a lo largo del período de almacenamiento, tanto para las muestras frescas (control), como para las tratadas en las diferentes condiciones.

En la legislación española no se encuentra una norma que establezca cuales deben ser los límites microbiológicos para productos hortofrutícolas mínimamente procesados; no obstante, en

la industria y para efectos de investigación, algunos autores (López-Rubira *et al.*, 2005) asumen como límite microbiológico, el citado para productos preparados a base de vegetales crudos publicados en los anexos del BOE 12-1-2001 (R.D.3484/200, 29-12-2000). Para los efectos de este estudio, se ha tenido en cuenta un límite más restringido, que el propuesto por la legislación española, sugerido por Pascual y Calderón (2000) en estudios realizados con frutas mínimamente procesadas. Los valores máximos de ufc/g sugeridos fueron, 1×10^4 ufc/g, para el recuento total de aerobios mesófilos; y 1×10^2 para el recuento total de mohos y levaduras. Las muestras de mango fresco cortado, sin tratamientos osmóticos, sobrepasaron el límite microbiológico establecido después de 13 días de almacenamiento, para los aerobios mesófilos, y 15 días, para los mohos y levaduras. Posteriormente, las muestras que excedieron los valores límite fijados fueron las tratadas con disoluciones sin calcio (15 días para AM y 18 días para ML). Las muestras tratadas con disoluciones que contenían lactato de calcio, sobrepasaron el límite establecido a los 20 días para ambos grupos de microorganismos.

No se observaron diferencias significativas, entre los valores de cfu/g de las muestras tratadas con pulso de vacío y las tratadas a presión atmosférica.

En general, los tratamientos osmóticos prolongaron el tiempo de vida útil del mango mínimamente procesado, observándose un efecto positivo del calcio en el retardo de la proliferación microbiana en las muestras tratadas con disoluciones que contienen este ión.

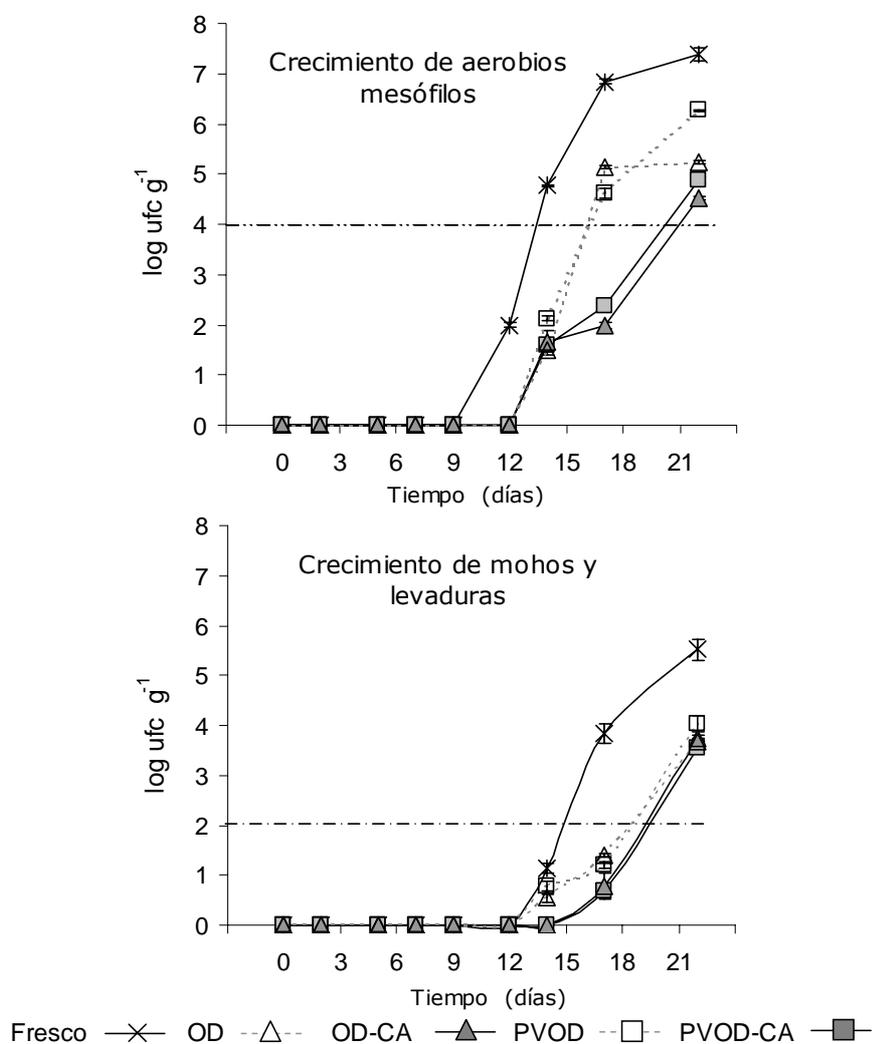


Figura V.4.3. Recuento durante el almacenamiento (21 días a 10 °C) de microorganismos mesófilos aerobios y, mohos y levaduras ($10 \log \text{ ufc g}^{-1}$); para muestras frescas (cruces) y tratadas (OD: triángulos claros, PVOD: cuadrados claros, PVOD: triángulos oscuros y PVOD-CA: cuadrados oscuros),. (Barras de error con $\alpha = 95\%$)

Estos resultados pueden ser atribuidos a varios factores. Aunque el nivel de deshidratación osmótica fue moderado en las muestras de

mango, la actividad de agua de las muestras disminuye a causa de los tratamientos (0.983 para muestras frescas y 0.970 para muestras tratadas), lo que contribuye a la prolongación de la vida útil de las muestras procesadas. Otro factor de conservación es el hecho de que el mango posee un gran contenido en ácidos orgánicos, que contribuyen a que el pH sea inferior al de las frutas de baja acidez (4.5), lo que favorece la estabilidad en el caso de mango fresco cortado durante el almacenamiento (Tovar *et al.*, 2001b).

Adicionalmente, el mango posee un perfil de volátiles constituido principalmente por compuestos monoterpénicos (Torres *et al.*, 2007). Estas sustancias han sido clasificadas por algunos autores como compuestos aromáticos bioactivos (Caccioni y Guizzardi, 1994). Los compuestos monoterpénicos se encuentran entre las moléculas con una alta actividad antimicrobiana. Algunos trabajos describen la destrucción de membranas celulares, tanto en bacterias como en hongos, a causa de la acción de los compuestos monoterpénicos (Cox *et al.*, 2000).

Con relación a los efectos observados en las muestras tratadas con lactato de calcio, algunos autores han encontrado que, desde el punto de vista microbiológico, los tratamientos con calcio han incrementado el tiempo de vida útil de manzanas partidas en rodajas (Abbott *et al.*, 1989) y melón cantaloupe cortado (Luna-Guzmán y Barrett, 2000). Lara *et al.* (2004), observaron en fresas sometidas a tratamientos con calcio, que este ión ralentizaba ligeramente la madurez de las muestras, pero incrementaba la resistencia al ataque fúngico.

Los efectos antimicrobianos del calcio pueden ser atribuidos a la acción de este ión en las células, ya que éste puede generar efectos pronunciados en la fuerza impulsora protónica, en la modificación del contenido de ATP intracelular y en la actividad global de las células

microbianas; incluyendo cambios en el control de la presión de turgencia, en la regulación del transporte de solutos y en la regulación metabólica del microorganismo (Poolman *et al.*, 1987)

4.4. EFECTOS EN LAS PROPIEDADES ÓPTICAS

La figura V.4.4. (a y b) muestra la evolución de los parámetros del color (L^*_{ab} , C_{ab} y h_{ab}) y las diferencias globales de color (ΔE) entre las muestras procesadas y las respectivas muestras frescas, en función del tiempo de almacenamiento. Los parámetros L^*_{ab} y C_{ab} fueron los más afectados por los tratamientos, especialmente en muestras sometidas a tratamientos PVOD. Inicialmente, se produjo una importante disminución en los valores de L^* cuando se aplicó pulso de vacío, en cambio no se encontraron diferencias significativas entre las muestras sometidas a OD y las muestras frescas. Estos cambios se pueden atribuir principalmente al aumento de la translucidez de la muestra como resultado de la pérdida de gas interno, provocada por la aplicación del pulso de vacío y la penetración de la disolución, durante los tratamientos osmóticos. Este hecho ha sido observado por varios autores en otras frutas osmodeshidratadas (Talens *et al.*, 2002a,b; Chiralt y Talens, 2005).

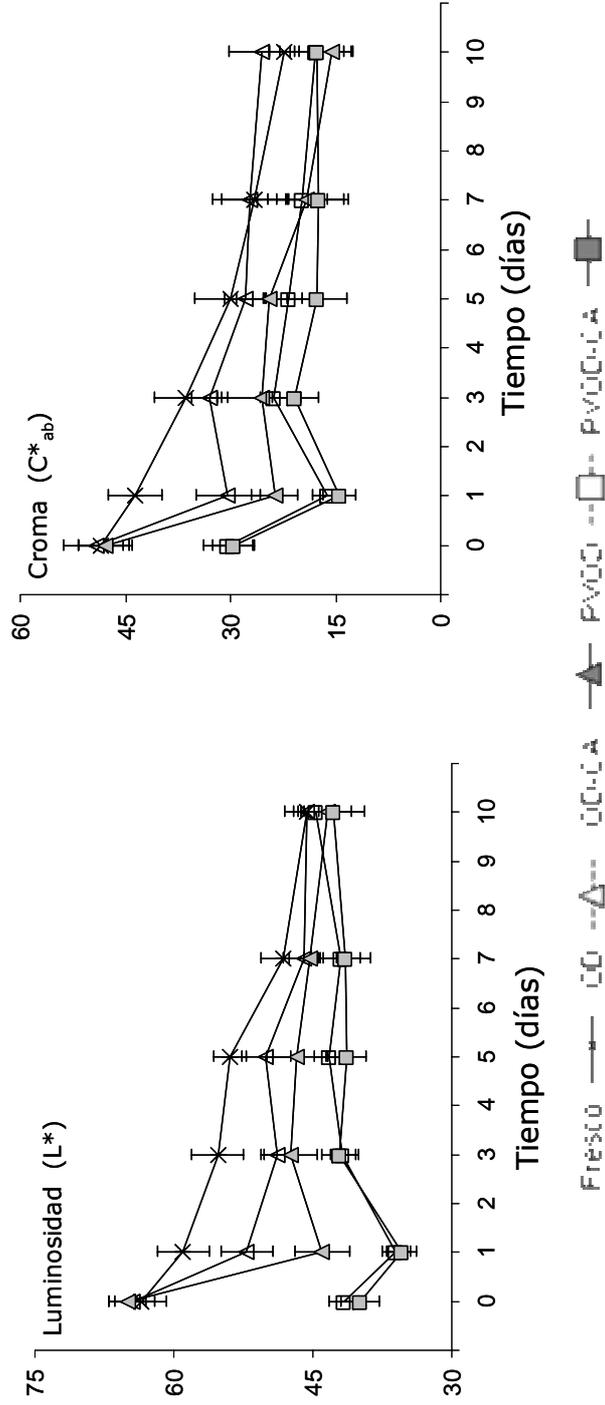


Figura V.4.4. (a) Variación durante el almacenamiento (10 días a 10 °C) de los parámetros de color Luminosidad (L*) y Croma (C_{ab}); de muestras frescas (cruces) y tratadas (OD: triángulos claros, PVOD: cuadrados claros, PVOD: triángulos oscuros y PVOD-CA: cuadrados oscuros). (Barras de error con $\alpha = 95\%$).

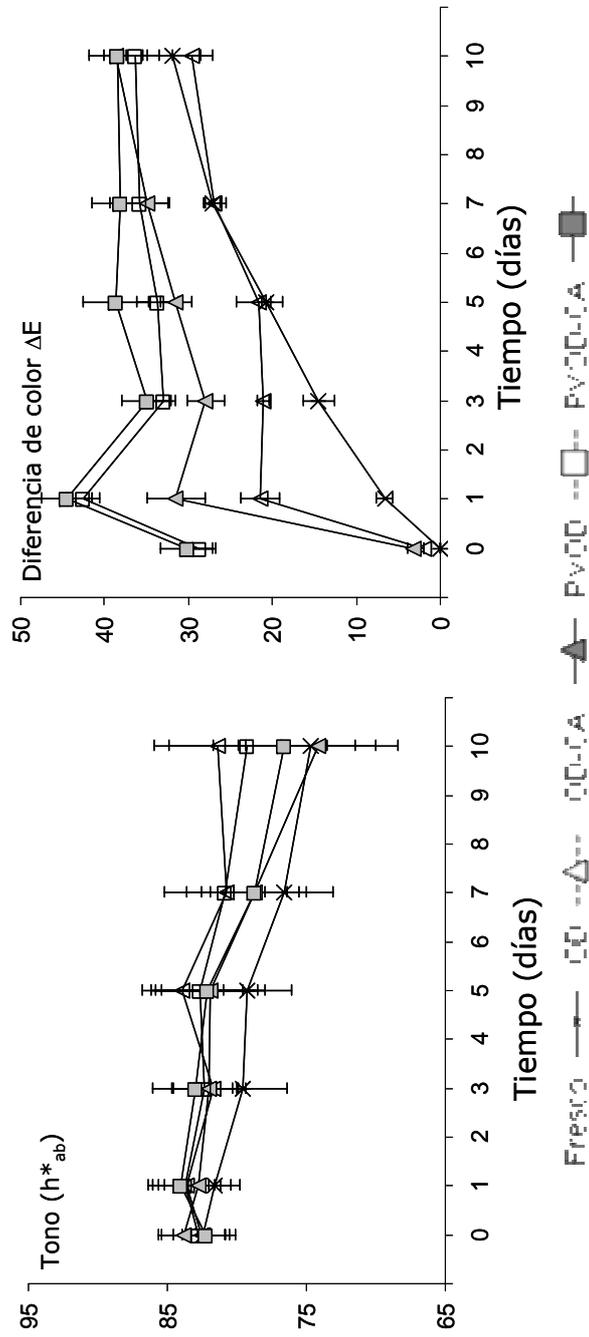


Figura V.4.4. (b) Variación durante el almacenamiento (10 días a 10 °C) de los parámetros de color Tono (h_{ab}) y diferencias de color (ΔE) con respecto a la muestra fresca inicial; de muestras frescas (cruces) y tratadas (OD: triángulos claros, PVOD: cuadrados claros, PVOD: triángulos oscuros y PVOD-CA: cuadrados oscuros). (Barras de error con $\alpha = 95\%$).

El primer día de almacenamiento se observó una clara diferencia entre los valores L_{ab}^* de muestras frescas y deshidratadas, diferencias que fueron desapareciendo a lo largo del almacenamiento, detectándose en todos los casos una tendencia a la reducción de los valores de L_{ab}^* con respecto a los iniciales. Al final del tiempo de almacenamiento (10 días), no se observaron diferencias significativas en los valores de luminosidad de las distintas muestras.

Los valores de croma (C_{ab}) se comportaron de manera semejante a los de luminosidad, lo cual es coherente con lo comentado anteriormente: un incremento en los valores de translucidez, asociado con los tratamientos de pulso de vacío, o con el colapso de la fruta y la expulsión de gas interno durante del almacenamiento.

En lo que respecta al tono, no se observaron diferencias significativas entre los valores de h_{ab} de las muestras frescas y tratadas al inicio del almacenamiento. Algunos autores (Chiralt y Talens, 2005) han demostrado que no hay una variación relevante de los valores de tono asociada a los cambios en la translucidez de frutas procesadas. Durante el período de almacenamiento, se observó una disminución en los valores de h_{ab} , siendo ésta más notable en el mango fresco y en las muestras tratadas con lactato de calcio. Los cambios en el tono están asociados principalmente con la alteración de los pigmentos del producto. Los cambios observados podrían atribuirse a un efecto acelerador de la senescencia, causado por el Ca^{+2} , que juega un papel importante en la pérdida de pigmentos, como la clorofila. Respecto a las muestras no tratadas, éstas mostraron el efecto de deterioro normal de la senescencia, acelerado por las operaciones de preparación de la muestra (pelado y corte), que favorece la degradación oxidativa de los pigmentos con la consiguiente reacción de oscurecimiento del tejido (Guerrero-Beltrán, *et al.*, 2005).

A la vista de los resultados obtenidos, la evolución de las diferencias de color respecto de la muestra fresca las muestras frescas y de las tratadas mediante OD fue muy diferente a la de las muestras tratadas con PVOD, que ya presentaron al inicio del almacenamiento valores muy altos. Sin embargo, a medida que transcurre el tiempo de almacenamiento, las diferencias en los valores de ΔE son menores.

En conclusión, los tratamientos realizados ocasionaron variaciones en el color, atribuidas principalmente a los cambios en la translucidez de los tejidos, especialmente en los tratamientos con pulso de vacío. La translucidez de las muestras no tratadas y las procesadas a presión atmosférica sufrió también un incremento durante el almacenamiento, ocasionando una disminución en la claridad y el croma. No obstante, las variaciones observadas en los valores de tono de las muestras procesadas con los distintos tratamientos, sugieren que las muestras que sufrieron la menor modificación de sus pigmentos fueron las procesadas pero con disoluciones sin lactato cálcico. Esto puede ser consecuencia de una reducción en la actividad enzimática por el tratamiento osmótico, lo cual retarda las reacciones deteriorativas (Moreno *et al.*, 2000), pero que no es beneficiada por efecto del calcio.

4.5. EFECTOS EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS

La figura V.4.5. muestra los valores promedio de las curvas de esfuerzo frente a la deformación de Henky para las muestras sometidas a los distintos tratamientos, antes y después del período de almacenamiento (10 días). Inicialmente, las curvas del mango fresco muestran la forma típica que presenta el material vegetal, mostrando un pico de fractura, aunque en algunos casos no se observó una caída repentina en los valores de fuerza, después de la fractura, lo que refleja la pérdida de turgencia del tejido. Los cilindros de mango deshidratado con disoluciones con calcio mostraron un pico calro de fractura, indicando un incremento en la firmeza del producto. Las muestras tratadas con PVOD y calcio mostraron los mayores valores de esfuerzo en coherencia con la mayor ganancia de calcio inducida por el tratamiento y su efecto positivo en la textura a partir de un determinado nivel, tal como se descrito con anterioridad (Torres *et al.* 2006).

Después del almacenamiento, las curvas esfuerzo-deformación mostraron un notable descenso, en comparación con las iniciales, lo que evidencia la pérdida de consistencia de las muestras, dependiendo del tratamiento aplicado. No se observan diferencias en el comportamiento mecánico de las muestras no procesadas y las tratadas sin calcio después del almacenamiento, mientras que las muestras tratadas con calcio presentan todavía un pico de fractura, especialmente las sometidas al tratamiento PVOD. Esto sugiere que la acción reforzadora de la estructura inducida por el ión persiste durante el almacenamiento de las muestras.

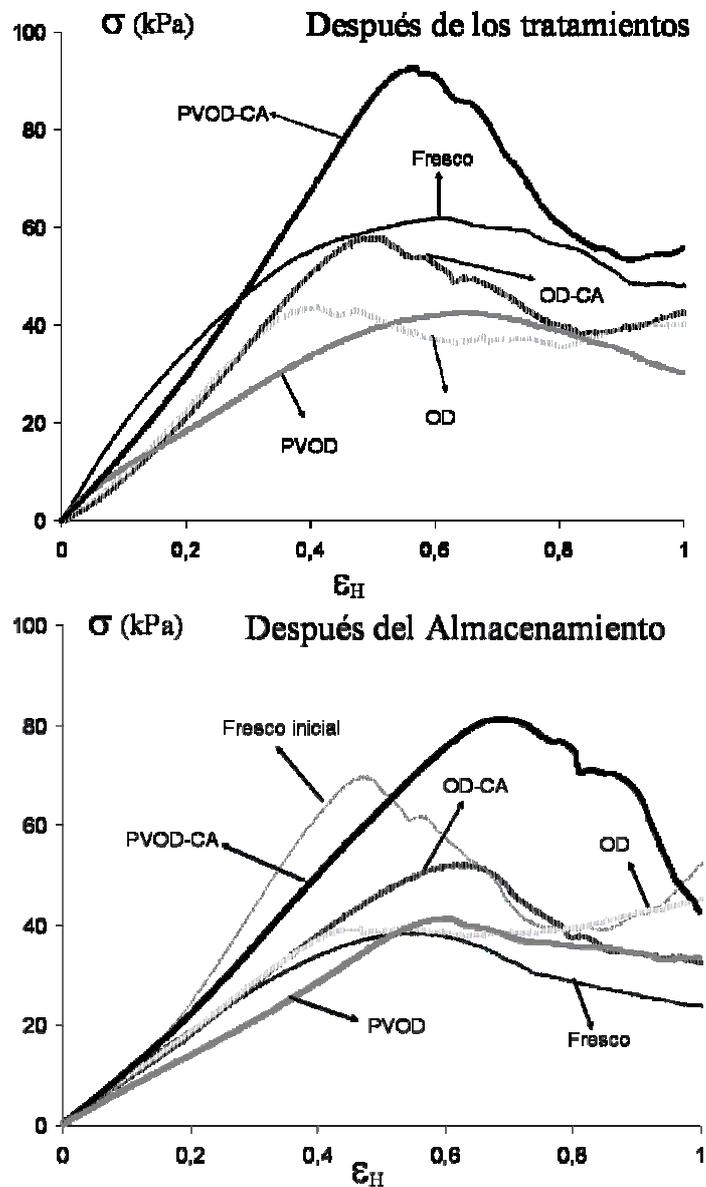


Figura V.4.5. Curvas promedio de compresión de muestras de mango fresco y tratado (OD y PVOD, en disoluciones de 45 °Brix sin y con lactato cálcico [2%]), después de los tratamientos y después del almacenamiento (10 días a 10°C).

En la figura V.4.6. se pueden observar los valores promedio de deformación de Hencky (ε_{HF}), y de esfuerzo (σ_F), en el punto de fractura; el cociente ($\sigma_F / \varepsilon_{HF}$) y la pendiente de la zona lineal de la curva a baja deformación (módulo de deformabilidad o elasticidad: E_d), para las muestras frescas y procesadas, antes y después del almacenamiento. En esta figura se pueden apreciar los efectos anteriormente mencionados, en términos de los parámetros mecánicos. Después de los tratamientos, se observa una disminución en los valores de esfuerzo en el punto de fractura σ_f , del cociente σ_f/ε_f y del módulo inicial E_d , para todas las muestras, excepto para aquellas tratadas con lactato calcio y pulso de vacío; debido a los efectos de refuerzo estructural de las células que conlleva la aplicación de Ca^{+2} . Este efecto no se aprecia en las muestras procesadas a presión atmosférica, probablemente porque la cantidad de ión ganado en la muestra debido a los procesos, no llega a las zonas más internas del tejido, como ocurre en los procesos de impregnación ocasionados por el pulso de vacío.

Los valores de deformación en el punto de fractura de las muestras, no mostraron un patrón determinado, en función del tipo de tratamiento o del enriquecimiento con calcio.

Los tratamientos osmóticos modifican la resistencia de las paredes celulares además de provocar un posible daño estructural en la organización celular (desunión de células) (Chiralt y Talens, 2005), lo cual puede estar potenciado por la deformación de las muestras cuando se aplica pulso de vacío (Salvatori, *et al.*, 1998).

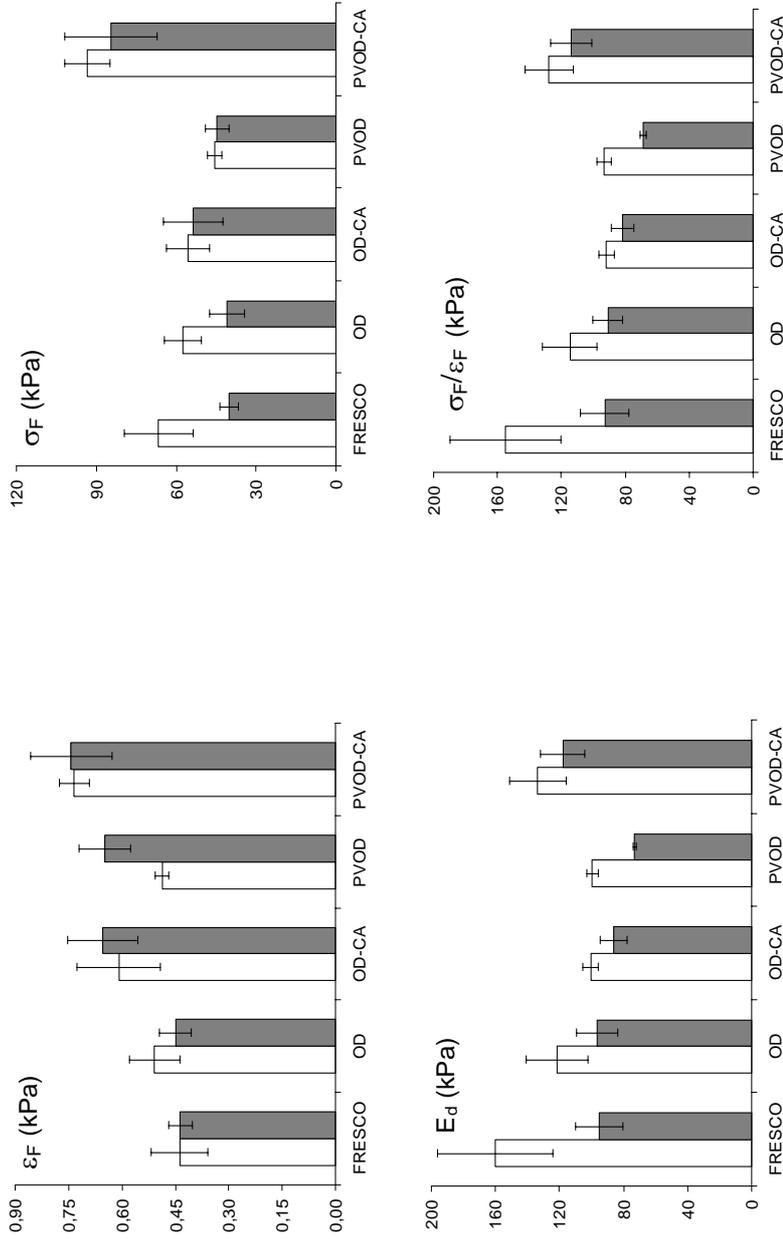


Figura V.4.6. Valores promedio de los parámetros mecánicos [Deformación de Henky (ϵ_{HF}) y esfuerzo (σ_F), en el punto de fractura; la relación esfuerzo deformación (σ_F/ϵ_{HF}), y la pendiente en el tramo lineal a bajas deformaciones o modulo de elasticidad (E_d], obtenidos en las muestras frescas, y procesadas en los diferentes tratamientos), al inicio (rectángulos claros) y al final (rectángulos grises) del almacenamiento (10 días a 10°C). (Barras de error con un $\alpha = 95\%$)

El descenso en los valores de los parámetros mecánicos (excepto en la deformación de Henky) después de 10 días de almacenamiento, es atribuible al proceso deteriorativo normal de las frutas, que incluye la acción enzimática de separación celular. No obstante, los valores de los parámetros mecánicos de las muestras procesadas con calcio y pulso de vacío fueron comparables a los obtenidos para las muestras frescas. Esto pone de manifiesto que la fortificación del mango con Ca^{+2} , permite mejorar la textura de la fruta durante el almacenamiento. La impregnación de material vegetal con disoluciones que contienen calcio, permiten la interacción de este ión con la matriz celular, formando uniones entre las pectinas y otros componentes de la pared celular; modificando así la respuesta mecánica y estructural del producto (Gras *et al.*, 2003).

4.6. CAMBIOS EN EL PERFIL DE VOLÁTILES

En la fracción volátil del mango, tanto fresco como procesado, extraída según el procedimiento descrito en el apartado 3.4. de este Capítulo, se han identificado treinta y nueve compuestos distintos, pertenecientes fundamentalmente a las familias de los terpenos, alcoholes, aldehídos, cetonas, ésteres, ácidos orgánicos e hidrocarburos (Tabla V.4.2.). Las tres primeras son las mayoritarias porque a ellas pertenecen 27 de los compuestos identificados. El contenido en terpenos (expresado en áreas relativas) representa más de la mitad de la suma total de las áreas relativas de todos los compuestos.

El estudio de los cambios en la fracción volátil, ocasionados por el almacenamiento, de mango tratado osmóticamente; se ha realizado cuantificando 9 de los compuestos más representativos de la variedad

Florida. Estos compuestos han sido seleccionados teniendo en cuenta distintos trabajos realizados tanto en mango entero (Malundo *et al.* 1997, Andrade *et al.*, 2000) y cortado (Beaulieu y Lea, 2003), como procesado con tratamientos osmóticos (Tovar *et al.*, 2001a, b; Torres *et al.*, 2007). Los compuestos seleccionados han sido: etanol, acetato de etilo, 1-butanol, heptanal, α -pineno, β -mirceno, α -felandreno, 3-careno y limoneno. En la tabla V.4.3. se representan los valores promedio de los compuestos volátiles cuantificados (expresados en $\mu\text{g/g}$ de materia fresca) tanto para mango fresco, como procesado con los diferentes tratamientos. El compuesto más abundante en mango fresco fue el 3-careno, que con una concentración media de $2.7 \pm 0.4 \mu\text{g/g}$, representa el 75.2% de la concentración total de compuestos analizados.

Tabla V.4.2. Compuestos identificados en mango fresco y procesado. (Métodos de identificación: Índice de Kovats, librería NIST y análisis de compuestos estándares) y valores promedio de las áreas relativas para las muestras frescas.

Tiempo de retención	Nombre del compuesto	Librería NIST	Patrones	Índice de Kovats	Área Relativa en mango fresco
0.65	Etanol	X	X	516,7	0,3575 (0,0411)
0.73	Propanol	X	X	525,6	0,0655 (0,0130)
0.82	Acetato de Etilo	X	X	535,6	-
0.96	1-butanol	X	X	551,1	0,0015 (9,4530)
1.16	Ácido Propanóico	X	-	573,3	0,0008 (0,0002)
1.3	3-metil-2-hexanol	X	-	588,9	0,0033 (0,0002)
1.86	Ácido butírico. etil ester	X	-	659,7	0,0795 (0,0219)
2.02	Ácido crotónico	X	-	680,5	0,0114 (0,0020)
2.45	Ácido 2-butenóico. etil ester	X	-	717,5	-

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tiempo de retención	Nombre del compuesto	Librería NIST	Patrones	Índice de Kovats	Área Relativa en mango fresco
2.55	2-hexenal	X	-	723,8	0,0040 (0,0005)
2.67	3-hexen-1-ol	X	-	731,3	0,0244 (0,0024)
2.97	1-hexanol	X	-	2192,8	0,0085 (0,0014)
3.65	Heptanal	X	X	2195,2	0,0383 (0,0076)
4.53	α -pineno	X	X	2293,0	0,0201 (0,0014)
7.65	β -mircenol	X	X	2393,0	0,1049 (0,0079)
8	α -felandreno	X	X	2394,3	0,0222 (0,0045)
8.44	3-careno	X	X	2395,8	2,2174 (0,1912)
8.88	α -terpineno	X	-	2492,3	0,0165 (0,0013)
9.78	Limoneno	X	X	2495,1	0,1378 (0,0158)
13.91	p-meta-1.4(8)-dieno	X	-	2507,6	0,1656 (0,0096)
15.22	Nonanal	X	-	2511,6	0,0853 (0,0109)
16.43	Alcanfor (Patrón interno)	X	-	2594,3	-
17.29	2.6-nonadienal	X	-	2597,1	0,0166 (0,0019)
17.54	3.6-nonadien 1 ol	X	-	2597,9	0,0959 (0,0190)
17.57	2-nonenal	X	-	2598,0	0,1382 (0,0245)
19.22	Decanal	X	-	2603,5	0,1018 (0,0274)
21.85	Timol	X	-	2698,7	0,0097 (0,0005)
22.1	Undecanal	X	-	2699,5	0,0054 (0,0015)
24.57	Cariofileno	X	-	2707,4	0,3286 (0,0529)
25.35	α -cariofileno	X	-	1586,4	0,1409 (0,0153)
25.53	Geranil acetona	X	-	1587,1	0,0282 (0,0070)
26.17	α -ionona	X	-	1589,5	0,0092 (0,0008)
26.62	Docosano	X	-	1591,2	0,0044 (0,0009)
28.86	1-hexadecanol. 2-metil	X	-	1599,8	0,0148 (0,0025)
30.42	13-ocatadecanal	X	-	1680,7	0,0065 (0,0012)
30.83	Tetradecanal	X	-	1702,8	0,0065 (0,0013)
32.92	Isopropil miristato	X	-	-	0,0058 (0,0013)
33.04	Farnesol	X	-	-	0,0014 (0,0001)
35.81	Ácido palmítico. etil ester	X	-	-	0,0027 (0,0006)
40.56	Ácido sebácico. dibutil ester	X	-	-	0,3575 (0,0411)

Independientemente del método utilizado en la extracción de la fracción volátil, la importancia cuantitativa de los terpenos en la fracción volátil mango, es un hecho que ha quedado patente en diferentes estudios (Engel *et al.*, 1983; Malundo *et al.*, 1997;

Andrade *et al.*, 2000). Algunos autores han observado que en algunas variedades, el 3-careno ha sido el más importante (MacLeod y Gonzalez, 1982; MacLeod y Pieris, 1984; Idsteim y Schreier, 1985; Andrade *et al.*, 2000).

En la tabla V.4.3. se observa que el proceso osmótico ocasiona cambios en la concentración de la mayoría de los compuestos volátiles. Este hecho ha sido descrito en estudios anteriores realizados en mango (Torres *et al.*, 2007) y en otras frutas como fresa (Escriche *et al.*, 2000a; Talens *et al.*, 2002a) y kiwi (Talens *et al.*, 2003). Estos cambios siempre dependen del tipo de proceso aplicado y del compuesto analizado. Se aprecia (tabla V.4.3.) una disminución importante de los compuestos terpénicos, mucho más marcada en los tratamientos realizados con pulso de vacío, especialmente cuando se incorpora calcio en la disolución osmótica. La única excepción fue el α -pineno cuya concentración fue prácticamente constante en todos los tratamientos excepto en los PVOD con calcio, donde fue menor. Las diferencias encontradas en el comportamiento de los terpenos, con respecto al estudio de la variación de la fracción volátil debida a los tratamientos, analizado en el Capítulo IV, se puede atribuir, a que tanto el procedimiento de extracción de dicha fracción, como el tiempo transcurrido entre el tratamiento osmótico y las determinaciones analíticas, fueron distintos en ambos estudios. En este estudio, los análisis fueron realizados inmediatamente después de los tratamientos osmóticos, mientras que en el anterior, transcurrieron varias horas antes del análisis; lo que pudo favorecer el desarrollo de terpenos como consecuencia de la actividad enzimática.

En lo que respecta a los demás compuestos, cabe destacar que el acetato de etilo y el 1-butanol se generan con los tratamientos osmóticos, especialmente en las muestras procesadas con pulso de

vacío, y de manera más acusada cuando éstos se llevan a cabo con calcio. Por el contrario, el etanol sufre una disminución en todos los tratamientos, excepto en aquellos con pulso de vacío y calcio. Este hecho puede atribuirse a que el propio tratamiento osmótico comienza a afectar a los sistemas fisiológicos relacionados con la maduración y la senescencia de los tejidos (Rizzolo *et al.*, 2007). Lester (1996), observó que el calcio puede acentuar estos efectos, cuando se incorpora este ión, en concentraciones superiores a las que la fruta puede tolerar.

Tabla V.4.3. Concentración de algunos de los principales compuestos de la fracción volátil del mango ($\mu\text{g/g}$ materia fresca) tanto para muestras frescas como tratadas hasta una concentración de 20 °Brix.

COMPUESTOS	FRESCO	OD	PVOD	ODCA	PVOD-CA
Etanol	0,356 (0,021)	0,059 (0,014)	0,198 (0,029)	0,088 (0,009)	0,352 (0,022)
Acetato de etilo	-	0,017 (0,002)	0,073 (0,007)	0,108 (0,011)	0,163 (0,022)
1-butanol	-	0,048 (0,008)	0,221 (0,017)	0,087 (0,011)	0,429 (0,029)
Heptanal	0,065 (0,006)	0,072 (0,006)	0,071 (0,005)	0,086 (0,007)	0,042 (0,003)
α-pineno	0,023 (0,001)	0,022 (0,005)	0,009 (0,001)	0,023 (0,005)	0,013 (0,004)
β-mirceno	0,265 (0,025)	0,165 (0,057)	0,057 (0,009)	0,074 (0,022)	0,037 (0,011)
α-felandreno	0,019 (0,005)	0,005 (0,001)	0,016 (0,002)	0,029 (0,004)	0,003 (0,001)
3-careno	2,745 (0,360)	1,232 (0,176)	0,586 (0,083)	0,626 (0,035)	0,297 (0,067)
Limoneno	0,177 (0,030)	0,110 (0,038)	0,073 (0,010)	0,095 (0,004)	0,044 (0,004)

Valores entre paréntesis: Desviación Estándar

La disminución en la concentración de compuestos volátiles observada, como consecuencia de los tratamientos osmóticos,

también puede estar influenciada por la migración de éstos, desde la matriz estructural a la disolución osmótica, tal y como sucede para otros componentes embebidos en la fase líquida de la fruta (Peiró *et al.*, 2006).

La evaluación del efecto del tiempo de almacenamiento en el perfil de volátiles, tanto de las muestras tratadas osmóticamente (OD, PVOD, OD-CA, PVOD-CA) como no tratadas (frescas), se llevó a cabo estudiando los cambios ocasionados en la concentración de cada compuesto (ΔC), con respecto a la fruta fresca inicial ($t=0$). Para ello, tal y como se describió en el Capítulo IV apartado 1.2.4., a cada tiempo de almacenamiento, al valor promedio de concentración de cada muestra procesada (C) se le restó el valor promedio de la concentración obtenida para la muestra fresca inicial (C_0).

Con todos los ΔC calculados se realizó un ANOVA multifactor, considerando como factores el tratamiento (incluyendo la muestra sin procesar) y el tiempo de almacenamiento. En la figura V.4.7. se representan los valores promedio e intervalos LSD (95%) de los cambios en la concentración de los compuestos volátiles, inducidos por el almacenamiento tanto en las muestras procesadas como frescas (no procesadas). Se puede observar que, en la mayoría de los casos, el almacenamiento tuvo un efecto significativo en la evolución de la concentración de volátiles, en diferente medida dependiendo de las condiciones de proceso y del compuesto analizado. Se observó un patrón de comportamiento similar en la familia de compuestos terpénicos, describiendo un aumento significativo en la concentración en el primer día de almacenamiento, especialmente para las muestras no tratadas y para las tratadas con disoluciones con cálcico a presión atmosférica.

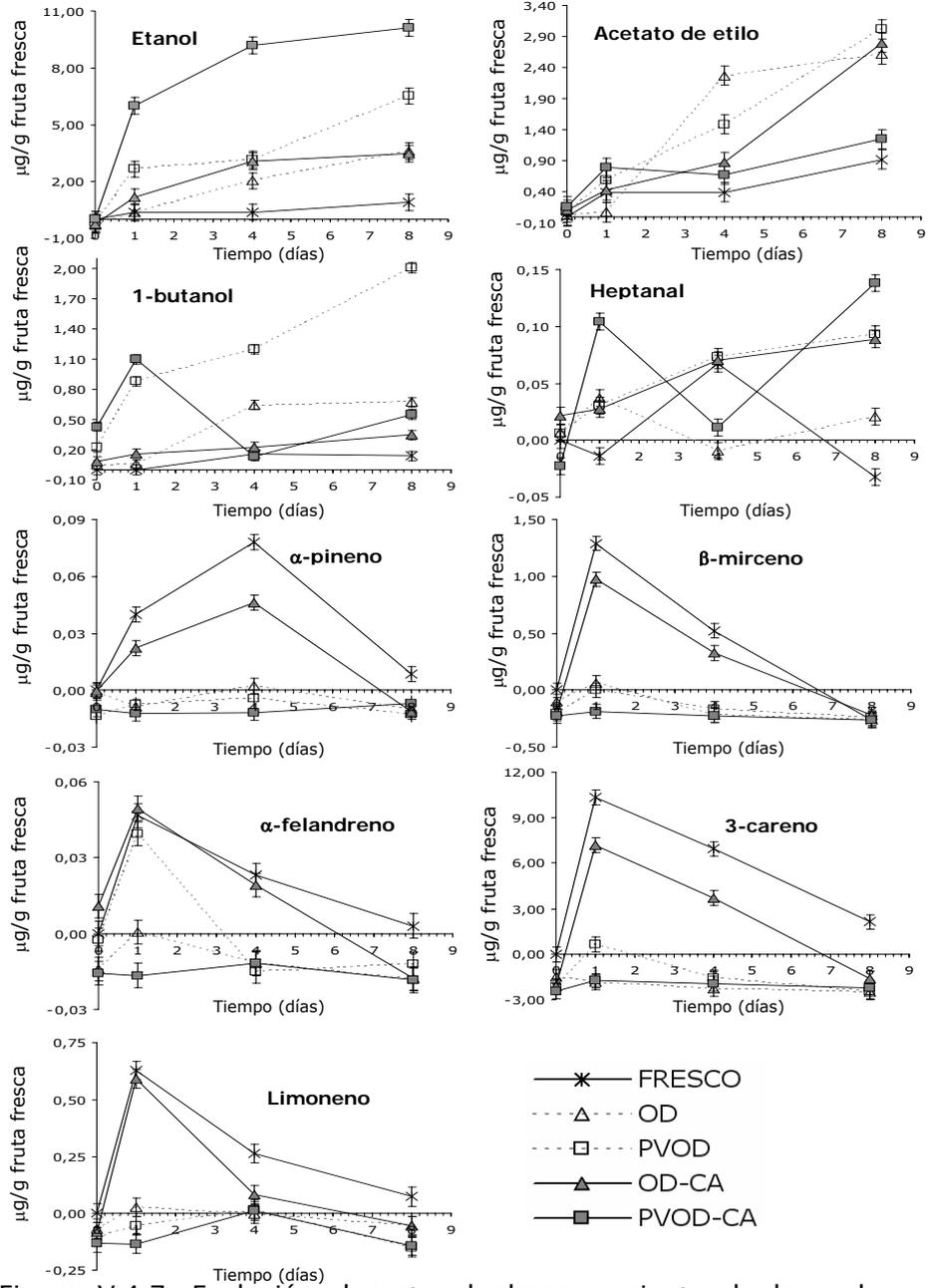


Figura V.4.7. Evolución durante el almacenamiento de los valores promedio e intervalos LSD (95%) de las diferencias de concentración, con respecto al mango fresco inicial, ($\Delta C=C-C_0$) [$\mu\text{g/g}$ fruta fresca] para los compuestos volátiles cuantificados.

Posteriormente, se observa una disminución de todos estos compuestos, con el tiempo, hasta llegar a valores de concentración similares a los del fruto fresco inicial ($t=0$).

Este descenso se registra para todos los terpenos, a partir del día 1, excepto para el α -pineno cuya concentración desciende a partir del día 4. Para el tratamiento PVOD-CA, las concentraciones de terpenos fueron prácticamente constantes durante todo el almacenamiento.

Para el etanol y el acetato de etilo, compuestos volátiles muy relacionados con la actividad respiratoria de la fruta, se observa en la figura V.4.7. que ambos experimentan un aumento de la concentración durante el almacenamiento, en todas las muestras, y especialmente en las tratadas osmóticamente. En el caso concreto del etanol, el mayor aumento tiene lugar en las muestras procesadas con PVOD, acentuándose aún más en las que se incorpora calcio a la disolución osmótica (PVOD-CA). Este comportamiento es lógico ya que con la aplicación de pulso de vacío, se favorecen las condiciones de anaerobiosis (Castelló *et al.*, 2005). Los efectos anaeróbicos parecen acrecentados con la presencia de calcio.

Ke *et al.* observaron que, en fresas almacenadas en condiciones de anaerobiosis, la acumulación de etanol inducía un aumento en la concentración del acetato de etilo. En lo que respecta a las muestras procesadas a presión atmosférica, se observa en la figura V.4.7. que el incremento que se experimenta en la concentración de ambos compuestos, es ligeramente inferior al experimentado en las muestras procesadas a vacío, y sin diferencia entre la incorporación o no de calcio. En las muestras sin procesar el desarrollo de etanol es prácticamente despreciable y el de acetato de etilo es menor que en las muestras procesadas.

La significación estadística de las diferencias encontradas entre los distintos tratamientos a través del tiempo de almacenamiento, fue

estudiada mediante la observación de los F-ratio (cociente F) obtenidos del ANOVA multifactor, considerando los factores tratamiento y tiempo de almacenamiento, así como sus interacciones. La tabla V.4.4. muestra el F-ratio obteniendo en éste análisis para los 9 compuestos cuantificados. El F-ratio representa el cociente entre la variabilidad debida al efecto considerado y la varianza residual. Los valores F-ratio son también comparables en cada columna, porque el número de observaciones fue el mismo en todos los casos. Un valor mayor de F significa un efecto más marcado de ese factor sobre la variable. Teniendo en cuenta esto, las variables (compuestos) estuvieron más afectadas por el tiempo de almacenamiento ya que 5 de los 9 compuestos cuantificados presentaron los valores más altos para el factor tiempo.

Tabla V.4.4. Valores del cociente F (F ratio) obtenidos del ANOVA multifactor para los factores: t, tiempo y TTO, tratamiento; y sus respectivas interacciones en las 9 variables observadas (compuestos volátiles).

COMPUESTO	Cociente F					
	t		TTO		t x TTO	
Etanol	124,1	***	88,15	***	10,42	***
Acetato de etilo	96,36	***	6,08	**	7,33	***
1-Butanol	90,38	***	161,58	***	48,57	***
Heptanal	32,96	***	11,5	***	9,86	***
α -pineno	33,75	***	70,81	***	20,71	***
β -mirceno	32,59	***	32,18	***	12,18	***
α -felandreno	26,29	***	24,06	***	6,34	***
3-careno	5,19	***	5,75	***	1,17	***
Limoneno	22,77	***	24,36	***	12,9	***

* $P < 0.05$
 ** $P < 0.01$
 *** $P < 0.001$

Concretamente, el etanol y el acetato de etilo, fueron los compuestos más afectados por el tiempo, ya que presentaron los valores mayores de F-ratio para este factor (124.1 y 96.36). Las interacciones entre los 2 factores fueron significativas en todos los casos, lo que indica que la evolución de los componentes volátiles a través del tiempo, fue diferente, dependiendo del tratamiento aplicado.

Debido a la dificultad en la evaluación del comportamiento de la fracción volátil, considerando cada compuesto individualmente, el efecto global del tipo de tratamiento y tiempo de almacenamiento fue analizado por medio de un análisis multivariante de componentes principales (PCA) (Esbensen 2006). Los resultados son visualizados por medio de un gráfico de puntuaciones (scores plot) y un gráfico de cargas (loadings plot).

En la figura V.4.8. (a y b) se observa, respectivamente, las puntuaciones (tratamientos/tiempos de almacenamiento) y las cargas (compuestos cuantificados, tanto en muestras no tratadas, como procesadas). Se observa que, dos de los componentes principales (PC1 y PC2) explican el 74% de la variabilidad de los datos (PC1, el 54%; PC2 el 20%). En esta representación, la cercanía entre los tratamientos/tiempos indica un comportamiento similar del perfil aromático de las muestras, y la proximidad entre los compuestos indica un grado de correlación entre ellos (un comportamiento de variación similar).

En la figura V.4.8. (b) se observa que los compuestos se sitúan en el plano en dos grupos claramente diferenciados. La familia de los terpenos (α -pineno, β -mirceno, α -felandreno, 3-careno y limoneno) se localiza a la derecha del semiplano derecho, mientras que los demás compuestos (etanol, acetato de etilo, 1-butanol y heptanal) se ubican al extremo izquierdo del semiplano izquierdo. Con relación a la

situación de los tratamientos en la gráfica, se observa tres grupos claramente diferenciados. En el centro de ambos semiplanos se ubica la muestra fresca inicial (Fresco 0) y, en las proximidades de ésta, aquellos tratamientos cuyo perfil aromático más se asemejan a ella: todos los tratamientos a tiempo 0 (OD 0, OD-CA 0, PVOD 0 y PVOD-CA 0) y el tratamiento OD 1. Los situados más a la derecha del plano son los que presentaron mayores valores de compuestos terpénicos, y por lo tanto, en los se promovió la mayor formación de éstos. Aquellos tratamientos que están localizados a la izquierda del plano, se corresponden con las menores concentraciones de terpenos, y con las mayores del resto de compuestos. Según esto, las mayores concentraciones en términos de compuestos terpénicos son observadas entre el día 1 de almacenamiento (Fresco 1 y OD-CA 1) y el día 4 (Fresco 4 Y OD-CA 4). Para los demás compuestos (1-butanol, acetato de etilo, etanol y heptanal) los valores más altos, se observan en todas las muestras almacenadas durante 8 días y también en todas las procesadas con pulso de vacío, con y sin calcio. Cabe destacar que éste efecto es más acusado en las muestras PVOD 8 y PVOD-CA 8.

El comportamiento observado en la variabilidad de los compuestos volátiles, puede ser el resultado de diferentes fenómenos, que comienzan en las etapas de preparación de la fruta (pelado y corte), continúan con los tratamientos osmóticos, y se prolongan durante el almacenamiento:

- Durante el proceso de pelado se promueven la reacciones enzimáticas, por la rotura celular y la disponibilidad de oxígeno, que estimulan la generación de compuestos terpénicos (Beaulieu y Lea, 2003).
- Durante los tratamientos osmóticos existe actividad enzimática que favorece las reacciones de formación-degradación de

compuestos volátiles en el tejido, y están asociadas al estrés osmótico (Zabetakis y Holden, 1997). Además, en los procesos osmóticos puede existir un flujo de compuestos (entre ellos sustancias volátiles) desde las muestras hacia la disolución (García-Martínez *et al.*, 2002; Córdoba *et al.*, 2003; Peiró *et al.*, 2006). El tratamiento osmótico ocasiona un efecto de pérdida de elasticidad en los tejidos (Chiralt y Talens, 2005), ocasionando la eliminación de líquido interno (y compuestos inmersos en él), no solo durante el proceso, sino también durante el posterior almacenamiento. En el caso de los compuestos terpénicos, este hecho podría ocasionar una pérdida de aroma típico del mango.

- Durante el almacenamiento de mango procesado osmóticamente se observan fenómenos directamente relacionados con los procesos respiratorios anaerobios, con la consiguiente generación de compuestos como etanol y acetato de etilo. Estos procesos respiratorios anaerobios que comienzan durante los tratamientos osmóticos (Rizzolo *et al.* 2007), en diferente medida dependiendo de las variables de proceso (Castelló *et al.*, 2005), se acrecientan con el tiempo, especialmente cuando se aplica pulso de vacío y se incorpora calcio a la disolución osmótica.

Es importante destacar que la presencia de etanol y acetato de etilo, no implica necesariamente un efecto negativo en el aroma del producto, ya que si se encuentran en concentraciones bajas, podrían incluso influir de manera positiva en el aroma del mismo (Pesis *et al.*, 1989). Solo pueden causar aromas desagradables (off-flavors) cuando están presentes a altos niveles (Ke *et al.*, 1991).

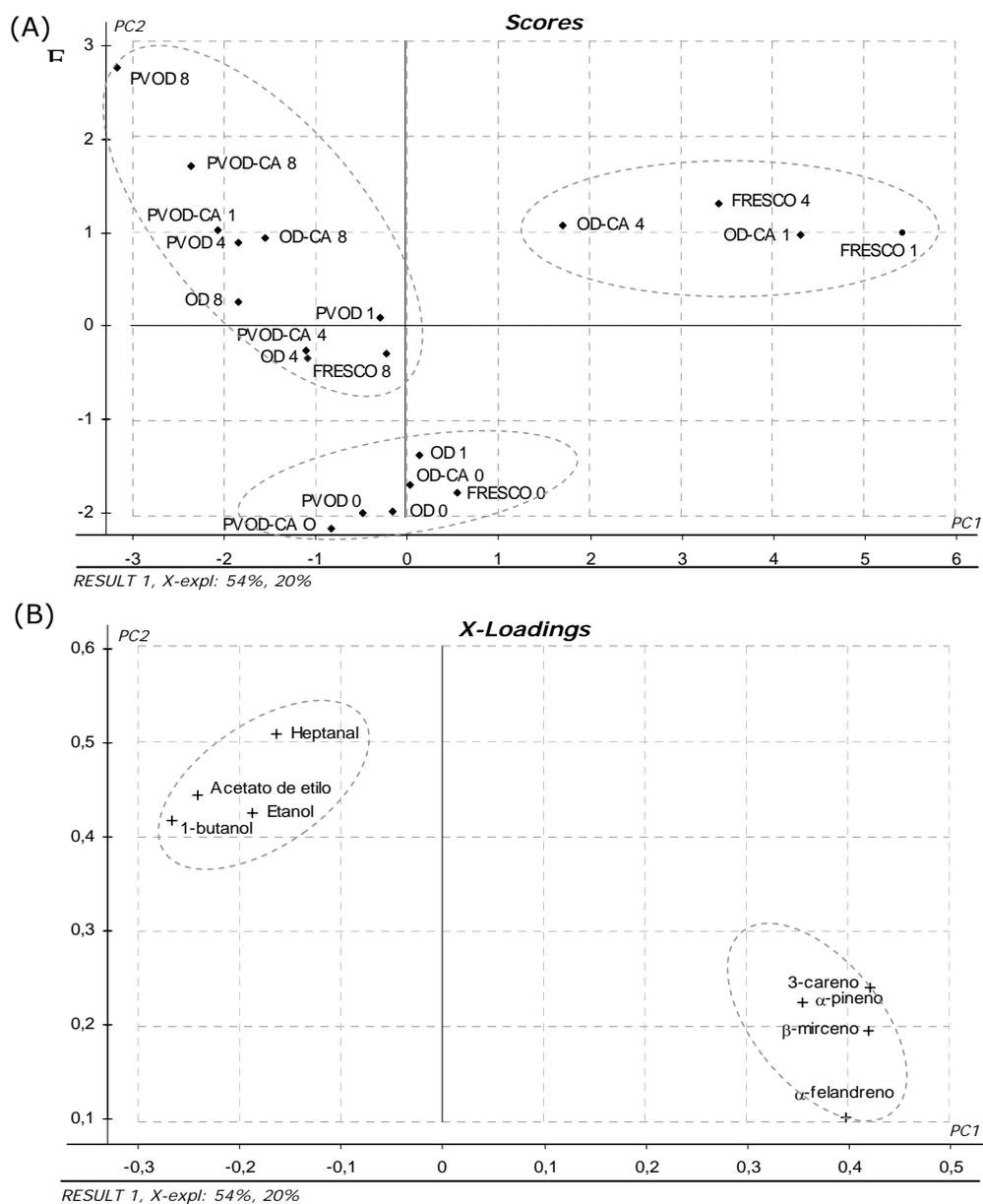


Figura V.4.8.(A y B) Gráficos PCA (principal components analysis). Representación de las puntuaciones (scores) (A), tratamientos/tiempos de almacenamiento; y las cargas (loadings) (B), compuestos cuantificados, tanto en muestras no tratadas (frescas), como procesadas.

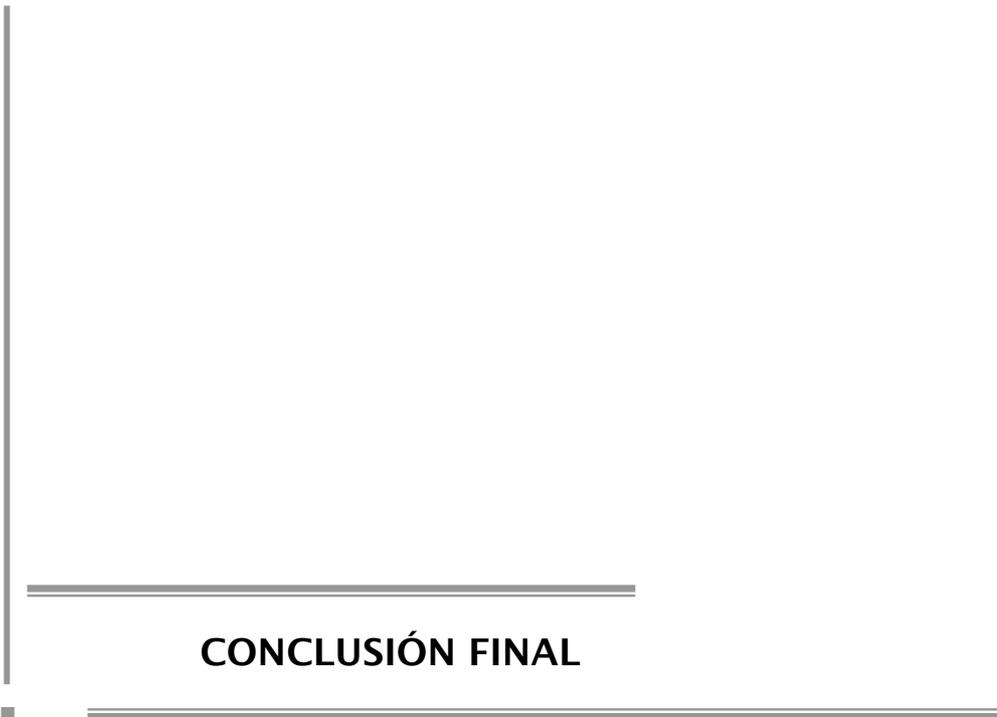
5. CONCLUSIONES

- ✧ *La vida útil del mango mínimamente procesado (hasta una concentración de 20° Brix) con tratamientos osmóticos, puede ser definida en diferentes términos dependiendo del parámetro de calidad considerado y de las condiciones de proceso aplicadas. En este sentido es necesario definir cual es el parámetro más determinante para su aceptación.*
- ✧ *Desde el punto de vista microbiológico, los tratamientos osmóticos otorgan un efecto protector al mango mínimamente procesado, siendo las muestras más estables, aquellas que son tratadas con calcio, tanto a presión atmosférica, como aplicando un pulso de vacío al inicio del proceso; hecho asociado a la depresión de la actividad de agua y al efecto antimicrobiano que posee el calcio.*
- ✧ *Los tratamientos osmóticos ocasionan una reducción de la tasa respiratoria, en términos de consumo de O_2 aunque se mantiene la tasa de producción de CO_2 . Este hecho se atribuye a las condiciones anaeróbicas y de estrés celular a las que se somete el producto. Durante el almacenamiento se reduce la tasa de producción de CO_2 de manera muy notable en los tratamientos con calcio, que parecen acelerar la senescencia del tejido.*
- ✧ *Las propiedades mecánicas se conservan mejor en las muestras cuando son tratadas en disoluciones con calcio con aplicación de un pulso de vacío, manteniéndose la firmeza de las mismas durante el almacenamiento. No obstante, en lo que*

respecta al color, estas muestras son las que presentan la mayor reducción del tono, asociada al pardeamiento y degradación de pigmentos.

- ✧ La concentración de compuestos terpénicos en las muestras de mango no tratadas y deshidratadas a presión atmosférica sin calcio aumenta en los primeros días de almacenamiento para disminuir posteriormente. Este efecto no se da de forma notable en las tratadas con pulso de vacío o con calcio, donde no se observan cambios importantes en los niveles de terpenos. Sin embargo, en las muestras tratadas con pulso de vacío se dan las mayores concentraciones de etanol y de acetato de etilo a lo largo del almacenamiento, potenciándose dicho efecto por la acción del calcio.*

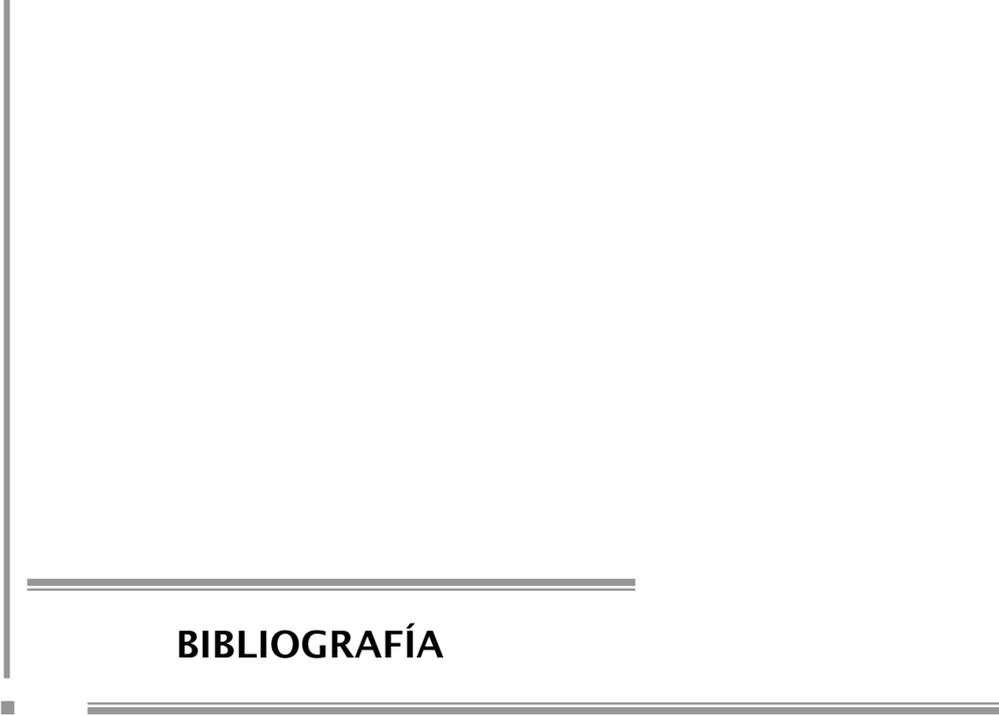
- ✧ Los efectos del calcio observados en la tasa respiratoria, el perfil de volátiles y las propiedades ópticas del mango se asocian con una posible aceleración de la senescencia del producto causada por este ión; aunque se requieren más estudios para clarificar el papel del calcio en la fisiología del tejido.*



CONCLUSIÓN FINAL

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en este estudio, el mango es una fruta adecuada para la obtención de un producto mínimamente procesado a nivel industrial aplicando tratamientos osmóticos suaves. Del estudio realizado, se podría recomendar como más adecuado el tratamiento llevado a cabo a presión atmosférica en disoluciones de sacarosa de 45 °Brix, sin adición de lactato cálcico, llevando al producto a una concentración de 20 °Brix. Con este tratamiento, se preserva en gran medida tanto el perfil aromático como las características ópticas (color), sin una modificación notable de las propiedades mecánicas del producto. Los tratamientos con calcio con aplicación de pulso de vacío conllevan una mejor conservación de las propiedades mecánicas y el calcio supone una mayor protección contra el crecimiento microbiano. No obstante, el pulso de vacío modifica negativamente las propiedades ópticas del producto y la presencia de calcio, en las proporciones utilizadas, parecen conllevar una aceleración de la senescencia de la fruta, fomentando el pardeamiento y la generación de compuestos aromáticos no deseados.

En futuras investigaciones sería interesante profundizar en el efecto del calcio a diferentes concentraciones, a fin de lograr una mejor optimización de la textura del producto. De la misma forma, también sería de interés la realización de pruebas sensoriales durante el almacenamiento en refrigeración, para conocer la evolución de los atributos sensoriales y la aceptación del producto después del almacenamiento.



BIBLIOGRAFÍA

- A.O.A.C. Association of Official Analytical Chemists. (1980). Official Methods of Analysis. W. Horwitz (ed). Washington.
- A.O.A.C. Association of Official Analytical Chemists. (1997). Official Methods of Analysis. W. Horwitz (ed). Washington D.C.
- Abbott, J.A.; Conway, W.S.; Sams, C.E. (1989). Postharvest calcium chloride infiltration affects textural attributes of apples. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 114: 935-936.
- AENOR. 1997. Análisis sensorial. Alimentación. *Recopilación de Normas UNE*. Vol. 1.
- Ahvenainen, R. (1996). New approaches in improving the shelf life of minimally processed fruit and vegetables. *Trends in Food Science and Technology*, 7, 179-187.
- Ahvenainen, R. (2000). Ready to use fruit and vegetables. Flair Flow Europe Technical Manual, F-FE 376A/00, 31.
- Albors, A.; Salvatori, D.; Andrés, A.; Chiralt, A.; Fito, P. (1998). Influence of the osmotic solution concentration on the structural and compositional profiles in dehydrated apple tissue. In: D. Marinos-Louris, G. D. Saravakos & A. S. Mujundar (Eds.), *Proceedings of the 11th International Drying*, A (6) (pp. 877-885). Thessaloniki. Ziti Editions.
- Albors, A. (2002). Estudio de perfiles composicionales y estructurales en tejido de manzana deshidratada. *Tesis Doctoral*, Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, España.
- Almora, K.; Pino, J.A.; Hernández, M.; Duarte, C.; González, J.; Roncal, E. (2004). Evaluation of volatiles from ripening papaya (*Carica papaya* L., var. Maradol roja). *Food Chemistry*, 86, 127-130.
- Alley, E. (1999). Quality of fresh-cut produce. *Postharvest Biology and Technology*, 15, 201-205.
- Alonso, J.; Rodríguez, T.; Canet, W. (1995). Effect of calcium pre-treatments on the texture of frozen cherries. Role of pectinesterase in the changes in the pectic materials. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*. 43(4), 1011-1016.

BIBLIOGRAFÍA

- Alzamora, S.M.; Gerschenson, L.N.; Vidales, S.; Nieto, A. (1997). Structural changes in the minimal processing of fruits: Some effects of blanching and sugar impregnation. En: P. Fito, E. Ortega-Rodríguez y G. V. Barbosa-Cánovas (Ed.). *Food engineering* (2000) Chapman & Hall. New York. pp. 117-140.
- Alzamora, S.M.; Fito, P.; López-Malo, A.; Tapia, S.; Parada-Arias, E. (2000). Minimally processed fruits using vacuum impregnation, natural antimicrobial addition and/or high pressure techniques. En: *Minimally Processed Fruits and Vegetables*. (Ed) Alzamora, S.M.; Tapia, M.S.; López-Malo, A. Aspen Publishers, Inc. Maryland. pp 293-305.
- Andrade, E.; Maia, J.; Zoghbi, M. (2000). Aroma volatile constituents of brazilian varieties of mango fruit. *Journal of Food Composition and Analysis*, 13, 27-33.
- Andreotti, R.; Tomasicchio, M.; De Giorgi, A.; Palamas, D. (1985). Conservazione di pesche parzialmente desidratate per osmosi diretta. *Industria Conserve*, 60: 96-98.
- Andrés, A.; Rodríguez-Barona, S.; Barat, J.M.; Fito, P. (2001a). Application of vacuum impregnation technology to salting and desalting cod (*Gadus morhua*). En: *Osmotic Dehydration and Vacuum Impregnation*, Edited By: Fito, Chiralt, Spiess and Beshnilian. Ed: Food Preservation Technology Series. Capítulo 16, pp. 185-191.
- Anzaldúa-Morales, A. (1994). Las pruebas sensoriales. En: *La Evaluación Sensorial de los Alimentos*. Ed. ACRIBIA. Zaragoza, España. pp 67-117.
- Arroyave, A. (2006). Desarrollo de Alimentos funcionales por incorporación de sustancias con actividad fisiológica a la matriz estructural de zanahoria "Daucus carota L.". *Tesis Doctoral*. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, España.
- Artés, F.; Martínez, J.A.; Marín, J.G. (1999). Quality changes in minimally processed Romaine lettuce as affected by several treatments. En *Agriculture Food Quality II. Quality Management of Fruits and Vegetables*. The Royal Society of Chemistry. Ed: M. Hägg, R. Ahvenainen, A.M. Evers and K. Tiikkala, London U.K. 115-118.
- Artés, F. (2000). Productos vegetales procesados en fresco. En *Aplicación del frío a los alimentos*, Editor, Lamúa, M. Editorial: Mundi Prensa. Cap. 5, 127-14.

- Artés, F. y Artés, F. (2000). Fundamentos y diseño de instalaciones para el procesado en fresco de hortalizas. *Alimentación, equipos y tecnología*, Abril, 135-141.
- Ashie, I.N.A.; Simpson, B.K.; Smith, J.P. (1996). Mechanisms for controlling enzymatic reactions in foods, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 36(1 y 2), 1-30.
- Assoumani, M.B. (1998). Physico-chemical properties of calcium resources. *Agro-Food Industry Hi-tech*. Sep/Oct. 33-35.
- Avena-Bustillos, R.J.; Cisneros-Zevallos, L.A.; Krochta, J.M.; Saltveit, M.E. (1994). Application of casein-lipid edible film emulsions to reduce white blusa on minimally processed carrots. *Postharvest Biology and Technology*, 4(4), 319-329.
- Avena-Bustillos, R.J.; Krochta, J.M.; Saltveit, M.E. (1997). Water vapor resistance of red delicious apples and celery sticks coated with edible caseinate-acetylated monoglyceride films. *Journal of Food Science*, 62(2), 351-354.
- Ayala, A. (2001). Aplicación de la deshidratación osmótica y la impregnación a vacío en la crioprotección de mango. *Tesis Doctoral*. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, España.
- Azcón-Bieto, J.; Talón, M. (2000). Fundamentos de fisiología vegetal. Ed. McGraw-Hill Interamérica y Ed. Universidad de Barcelona, Spain.
- Baldwin, E.A.; Nisperos-Carriedo, M.O.; Beaker, R.A. (1995). Edible coatings for lightly processed fruits and vegetables. *HortScience* 30, 35-38.
- Bangerth, F. (1979). Calcium-related physiological disorders of plants. *Annual Review of Phytopathology*. Palo Alto, Annual Reviews. 17, 97-122.
- Barat, J.M.; Chiralt, A.; Fito, P. (1997). A mass transfer modelling in osmotic dehydration. Ed Jowitt R, Engineering and food at ICEF 7. Sheffield: Sheffield Academic Press: 81-84.

BIBLIOGRAFÍA

- Barat, J.M.; Chiralt, A.; Fito, P. (1998). Equilibrium in cellular food osmotic solution systems as related to structure. *Journal of Food Science*. 63, 836-840.
- Barat, J.M.; Chiralt, A.; Fito, P. (2001a). Effect of osmotic solution concentration, temperature and vacuum impregnation pre-treatment on osmotic dehydration kinetics of apple slices. *Food Science and Technology International*. 7(5), 451-456.
- Barat, J.M.; Fito, P.; Chiralt, A. (2001b). Modelling of simultaneous mass transfer and structural changes in fruit tissues. *Journal of Food Engineering*. 49, 77-85.
- Barat, J.M.; Grau, R.; Montero, A.; Chiralt, A.; Fito, P. (2001c). Salting time reduction of spanish hams by brine immersion. En: *Osmotic Dehydration and Vacuum Impregnation*, Edited By: Fito, Chiralt, Spiess and Beshnilian. Ed: Food Preservation Technology Series. Capítulo 14, pp. 155-167.
- Barceló, J.; Nicolas, G.; Sabater, B.; Sánchez, R. (1992). "Fisiología Vegetal". Ediciones Pirámide, S.A., Madrid.
- Bereiter, M. (2001). Effect of osmodehydrofreezing on quality attributes of kiwi fruit. Trabajo fin de carrera. Universidad Politécnica de Valencia.
- Beaulieu, J. C. & Lea, J. M. (2003). Volatile and quality changes in fresh-cut mangos prepared from firm-ripe and soft-ripe fruit, stored in clamshell containers and passive MAP. *Postharvest Biology and Technology* 30, 15-28.
- Bello, J. (1995). Los alimentos funcionales o nutraceuticos: 2. Funciones saludables de algunos componentes de los alimentos. *Alimentaria*. 49-57.
- Benzecri, J.P. (1982). L'Analyse des Dones. Tomo 2. En : *L'Analyse Des Correspondences*. Editado por Dunod. París: Dunod. pp. 334-343.
- Betoret, N. (2002). Aplicación de algunas técnicas de ingeniería de alimentos en el desarrollo de alimentos naturales enriquecidos. *Tesis Doctoral*. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, España.
- Bett, K.L. (2000). Sensory quality during fresh-cut processing and storage. IFT'S Annual Meeting, Institute of Food Technologists.
- Biswal, R.N.; Bozorgmehr, K. (1992). Mass transfer in mixed solute osmotic dehydration of apples rings. *Trans. ASAE*. 35(1), 257-265.

- Boletín Oficial del Estado, BOE, 2001. Normas de higiene para la elaboración, distribución y comercio de comidas preparadas, Madrid, Spain, Real Decreto 3484/2000, pp. 1435–1441.
- Bolin, H.R.; Huxsoll, C.C.; Jackson, R.; Ng, K.C. (1983). Effect of osmotic agents and concentration on fruit quality. *Journal of Food Science*. 48, 202-205.
- Bolin, H.R.; Huxsoll, C.C. (1991). Control of minimally processed carrot (*Daucus carota*) surface discoloration caused by a abrasion peeling. *Journal of Food Science*, 56(2): 416-418.
- Bolin, H.R.; Huxsoll, C.C. (1993). Partial drying of cut pears to improved freeze/thaw texture. *Journal of Food Science*, 42(5): 1319-1321.
- Brackett, R.E. (1994). Microbiological spoilage and pathogens in minimally processed refrigerated fruits and vegetables. En R. C. Wiley (Ed) *Minimally Processed Refrigerated Fruits and Vegetables*, Chapman and Hall, U.K.
- Brecht, J. K. (1995). Physiology of lightly processed fruits and vegetables. *HortScience* 30, 18-22.
- Brennan, M.; Le Port, G; Gormley, R. (2000). Post-harvest treatment with citric acid or hydrogen peroxide to extend the shelf life of fresh sliced mushrooms. *Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie / FST*, 33(4), 283-289.
- Brett, C.; Waldrom, K. (1990). Physiology and biochemistry of plant cell walls. Ed. Chapman & Hall, Inglaterra.
- Brinson, K.; Dey, P.M.; John, M.A.; Pridham, J.B. (1988). Post-harvest changes in mangifera indica mesocarp cell walls and cytoplasmic polysaccharides. *Phytochemistry*. 27(3), 719-723.
- Buttery, R.G. (1993) quantitative and sensory aspects of flavour of tomato and other vegetables and fruits. En: T.E. Acree and R. Teranishi (Eds.) *Flavor Science: Sensible Principles and Techniques*. American Chemical Society, Washington. D.C., pp. 259-286.

BIBLIOGRAFÍA

- Caccioni, D.R.L.; Guizzardi, M. (1994). Inhibition of germination and growth of fruit and vegetables post-harvest pathogenic fungi by essential oil components. *Journal of Essential Oil Research*, 6, 173–179.
- CAMO, (2005). The unscrambler user guide. CAMO Process AS, Oslo, Norway.
- Cantwell, M. (1992). Postharvest handling systems: Minimally processed fruits and vegetables. Publication 3311. *Postharvest technology of horticultural crops*, Technical editor, Adel A Kader. Oakland, California, University of California, Division of Agriculture and Natural Resources, 277-281.
- Carlin, F.; Nguyen-The, C.; Chambroy, Y.; Reich, M. (1990). Effects of controlled atmospheres on microbial spoilage, electrolyte leakage and sugar content of fresh 'ready-to-use' grated carrots. *International Journal of Food Science and Technology*, 25(1), 110-119.
- Castelló, M.L.; Fito, P.J.; Chiralt, A. (2005). Effect of osmotic dehydration and vacuum impregnation on respiration rate of cut strawberries. *LWT - Food Science and Technology*, 39(10), 1171-1179.
- Ceballos, G. (2006). Estudios en Papaya mínimamente procesada por deshidratación osmótica. *Tesis Doctoral*, Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, España.
- Cháfer, M.T. (2000). Deshidratación osmótica de corteza de naranja (Valencia late) y mandarina (Satsuma). *Tesis Doctoral*, Universidad Politécnica de Valencia. España.
- Cháfer, M.; González-Martínez, C.; Ortolá, M.D.; Chiralt, A.; Fito P. (2000). Osmotic dehydration of mandarin and orange peel by using rectified grape must. En proceedings of the 12th international Drying Symposium. IDS'2000.
- Cháfer, M.; González-Martínez, C.; Ortolá, M.D.; Chiralt, A.; Fito, P. (2001). Kinetics of osmotic dehydration in orange and mandarin peels. *Journal of Food Process Engineering*. 24, 273-289.
- Chassagne, D.; Crouzet, J. (1995) Free and bound volatile components of temperate and tropical fruits. En: R.L. Rouseff y M.M. Leahy (Eds.) Fruit

- Flavors: Biogenesis, Characterization, and Authentication. Washington D.C.: American Chemical Society, pp. 182-189.
- Chiralt, A.; Fito, P. (1997). Salting of Manchego type cheese by vacuum impregnation. En: P. Fito, E. Ortega-Rodríguez y G. V. Barbosa-Cánovas (Ed.). *Food engineering*. (2000) Chapman & Hall. New York. pp. 214.
- Chiralt, A.; Fito, P.; Andrés, A.; Barat, J.M.; Martínez-Monzó, J.; Martínez-Navarrete, N. (1999). Vacuum impregnation: a tool in minimally processing of foods. En Oliveira, F.A.R.; Oliveira, J.C. (Ed), Boca Ratón: CRC Press, 341-356.
- Chiralt, A., Martínez-Navarrete, N., Martínez-Monzó, J., Talens, P., Moraga, G., Ayala, A., Fito, P. (2001). Changes in mechanical properties throughout osmotic processes. Cryoprotectant effect. *Journal of Food Engineering*, 49, 129-135.
- Chiralt, A.; Fito, P. (2003). Transport mechanisms in osmotic dehydration: the role of the structure. *Food Science and Technology International*, 9: 179-186.
- Chiralt, A.; Talens, P. (2005). Physical and chemical changes induced by osmotic dehydration in plant tissues. *Journal of Food Engineering*, 67 (1-2), 167-177.
- Chirife, J. (1982). Curso sobre aspectos fundamentales de la conservación de alimentos por métodos combinados. (Ed), Universidad de las Américas. Puebla, México.
- Clydesdale, F.M. (1993). Color as a factor in food choice. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 33(1), 83-101.
- Contreras, C. (2006). Influencia del método de secado en parámetros de calidad relacionados con la estructura y el color de manzana y fresa deshidratadas. *Tesis Doctoral*. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, España.
- Contreras, C.; Marín, M.E.; Martínez-Navarrete, N.; Chiralt, A. (2005). Effect of vacuum impregnation and microwave application on structural changes which occurred during air-drying of apple. *Lebensmittel Wissenschaft und Technoligi*. 38, 471-477.

BIBLIOGRAFÍA

- Conway J., Castaigne, F., Picard, G. & Vovan, X. (1983). Mass transfer consideration in the osmotic dehydration of apples. *Canadian Institute Food Science Technology Journal*, 16, 25-29.
- Córdoba, A., García-Martínez, E., Martínez-Navarrete, N., Camacho, M.M., Martínez-Monzó, J. (2003). Enriquecimiento de la disolución osmótica en ácido ascórbico durante ciclos sucesivos de deshidratación de kiwi. en P. Fito, A. Chiralt, A. Andrés, y N. Martínez-Navarrete (Eds.), Series de Ciencia e Ingeniería de Alimentos. Investigación del postgrado del IAD-DTA (pp. 103–121). Valencia: Editorial de la Universidad Politécnica de Valencia.
- Cortés, M. (2004). Desarrollo de productos de manzana deshidratados enriquecidos con vitamina E.. *Tesis Doctoral*, Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, España.
- Costell, E.; Durán, L. (1981). El análisis sensorial en el Control de Calidad de los Alimentos (II). Planteamiento y planificación: Selección de pruebas. *Revista de Agroquímica y Tecnología de Alimentos, Valencia*, 21(2) p 149.
- Cox, S.D.; Mann, C.M.; Markham, J.L. (2000). The mode of antimicrobial action of the essential oil of *Melaleuca alternifolia* (tea tree oil). *Journal of Applied Microbiology*, 88, 170–175.
- Dalla Rosa, M.; Pinnavaia, G.; Lerici, C.R. (1982). La desidratazione della frutta mediante Osmosis Diretta. Nota II. Esperienze di Laboratorio su alcuni generi di frutta. *Industria Conserve*. 55(1), 3-7.
- Drake, S.R.; Spayd, S.E. (1983). Influence of calcium treatment on Golden Delicious apple quality. *J. Food Science*. 48, 403-407.
- Dobraszczyk, B.J. & Vincent, J.F.V. (1999). Measurement of mechanical properties of food materials in relation to texture: the materials approach. In: J. Rosenthal, (Eds.), *Food texture*. Measurement and perception, (pp. 99-147). Gaithersburg, Maryland: Aspen Publishers.
- Earle, R.L. (1988). Ingeniería de los Alimentos. Ed. Acribia. 2ª Edición.
- Edwards, M. (2001). Hortalizas y frutas. En : Rosenthal A.J., *Textura de los Alimentos, "Medida y Percepción"*. Ed. ACRIBIA, Zaragoza, España; con autorización de ASPEN PUBLISHERS, INC. pp 251-269.

- El-Zoghbi, M. (1994). Biochemical changes in some tropical fruits during ripening. *Food Chemistry*. 49(1), 33-37.
- Engel, K.H.; Tressl, R. (1983). Studies on the volatile components of two mango varieties. *J. Agr. Food Chem.*, 31, 796-801.
- Esbensen, K. (2006). The Introducer Package : Multivariate Data Analysis in Practice 5th Ed. by Prof. Kim Esbensen. CAMO, Inc. Aalborg University, Esbjerg, Denmark
- Escriche, I.; Chiralt, A.; Moreno, J.; Serra, J. A. (2000a). Influence of blanching-osmotic dehydration treatments on volatile fraction of strawberry. *Journal of Food Science*. 65, 1107–1111.
- Escriche, I.; García-Pinchi, R.; Andrés, A.; Fito, P. (2000b). Osmotic dehydration of kiwifruit (*Actinidia chinensis*): Fluxes and mass transfer kinetics. *Journal of Food Process Engineering*. 23(3), 191-205.
- F.A.O., (1981). Método de análisis microbiológico de alimentos y aguas para la determinación de microorganismos aerobios mesófilos y, mohos y levaduras. www.fao.org
- F.A.O., (1996). Consulta internacional sobre Frutales Tropicales, Kuala Lumpur (Malasia), 15-19 de Julio de 1996. ESC: ICTF 96/INF. 1-10 y CRS 1,4 y 8.
- FAO, (2006). Statistical Database. Production and trade. <http://apps.fao.org/cgi-bin/nph-db.plsubset=agriculture>
- FDA. U.S. Food and Drug Administration (2006). Center for food safety and applied nutrition. Gras Notification Program. *Code of Federal Regulations (CFR) Citations for Food Ingredients, Color Additives and Packaging*.
http://www.access.gpo.gov/nara/cfr/waisidx_05/21cfrv3_05.html
- Fellows, P. (1988). Food Processing Technology. Principles and Practice. Ellis Horwood Int. Pub. Sci. and Technology.

BIBLIOGRAFÍA

- Fernández-Segovia, I., Escriche, I., Gómez-Sintes, M., Fuentes, A., Serra, J.A. (2006). Influence of different preservation treatments on the volatile fraction of desalted cod (2006). *Food Chemistry*, 98, 473-482.
- Fito, P. (1994). Modelling of vacuum osmotic dehydration of food. *Journal of Food Engineering*, 22(1-4), 313-328.
- Fito, P.; Andrés, A.; Pastor, R.; Chiralt, A. (1994). Vacuum osmotic dehydration of fruits. En: *Minimal Processing of Foods and Process Optimization*. Ed: Singh, R.P. and Oliveira, F.A.R., An interface. Boca Raton, FL: CRC Press: 107-122.
- Fito, P; Pastor, R. (1994). Non-diffusional mechanisms occurring during vacuum osmotic dehydration. *J. Food Eng.* 21(4), 513-519.
- Fito, P; Chiralt, A. (1995). An update on vacuum osmotic dehydration. En: *Food preservation by moisture control: Fundamentals and applications*. Ed: G.V. Barbosa-Cánovas y Weltichaves. Technomic Publishing Company, inc. Lancaster. pp 351-372.
- Fito, P.; Andrés, A.; Chiralt, A.; Pardo, P. (1996). Coupling of hydrodynamic mechanism and deformation-relaxation phenomena during vacuum treatments in solid porous food-liquid systems. *J. Food Eng.* 27-229-240.
- Fito, P.; Chiralt, A. (1997). Osmotic Dehydration. An approach to the modelling of solid food-liquid operations: application to osmotic dehydration. En: P. Fito, E. Ortega-Rodríguez y G. V. Barbosa-Cánovas (Ed.). *Food engineering* (2000) Chapman & Hall. New York. pp. 231-252.
- Fito, P. & Chiralt, A. (2000). Vacuum impregnation of plant tissues. In: Alzamora, S.M., Tapia, M.S. & Lopez-Malo, A., (Eds.), *Design of minimal processing technologies for fruit and vegetables*, (Ed) Alzamora, S.M.; Tapia, M.S.; López-Malo, A. Aspen Publishers, Inc. Maryland. pp 189-205.
- Fito, P.; Betoret, N.; Gras, M.L.; Martínez-Monzó, J.; Chiralt, A. (2001a). Viability of vegetables matrices as support of physiological active components. En: J. Welty-Chanes, G.V. Barbosa-Cánovas, & J.M. Aguilera Proceedings of the Eighth International Congress on Engineering and Food- ICEF 8- Lancaster, Technomic Publishing Co., Inc. pp 1366-1371.
- Fito, P., Chiralt, A., Barat, J.M., Andrés, A., Martínez-Monzó, J. & Martínez-Navarrete, N. (2001b). Vacuum impregnation for development of new dehydrated products. *Journal of Food Engineering*, 49:297-302.

- Fito, P.; Chiralt, A.; Barat, J. M.; Martínez-Monzó, J. (2002). Mass transport and deformation relaxation phenomena in plant tissues. In J. Welti-Chanes, G. Barbosa-Cánovas y J. M. Aguilera (Eds.), *Engineering and food for the 21st century*, Boca Raton, FL: CRC Press. pp. 235-254.
- Fisher, C.; Scott, R.T. (2000). *Flavores de los Alimentos*. Editorial Acribia. Zaragoza, España. pp 212.
- Flink, J.M. (1980). Dehydrated carrot slices: Influence of osmosis concentration on drying behaviour and product quality, en: Linko-Malkki-Lariñakari (Ed.): *Food Process Engineering I*. Applied Sci. Pub. Ltd. London, England. pp 23.
- Fonseca, S.C.; Oliveira, F.R.A.; Brecht, J.K. (2002). Modelling Respiration Rate of Fresh Fruits and Vegetables for Modified Atmosphere Packages. A Review. *Journal of Food Engineering*, 52: 99-119.
- Forni, E.; Torreggiani, D.; Basttiston, P.; Polesello, A. (1986). Research into changes of pectin substances in apricots and peaches processed by osmotic dehydration. *Carbohydrate Polymers*. 6, 376-393.
- Forni, E., Torreggiani, K., Crivelli, G., Maestrelli, A., Bertolo, G. & Santelli, F. (1990). Influence of osmosis time on the quality of dehydrofrozen kiwi fruit. *Acta Horticulturae*, 282, 425-434.
- Friedman, M. (1996). Food browning and its prevention: an overview. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 44(3) 631-653.
- Galán-Saúco, V. (1999). *El cultivo del mango*. Editorial Mundi-Prensa. Madrid. 298pp.
- Galliard, T. (1979). The enzymatic degradation of membrane lipids in higher plants. En: *Advances in the Biochemistry and Physiology of Plant Lipids*. (Eds.) L.A. Appleqvist and C. Liljenberg, Elsevier, North Holland Biochemical Press, Amsterdam, pp. 121-132.
- García, R.; Menchú, J.F.; Rolz, C. (1974). Tropical fruits drying. A comparative study. Proc. IV. *Inter. Congress. Food Science and Technology*. Vol. IV. 32-40.
- García-Martínez, E., Martínez-Monzó, J., Camacho, M. M. & Martínez-Navarrete, N., (2002). Characterizations of reused osmotic solution as

BIBLIOGRAFÍA

- ingredient in new product formulation. *Food Research International*, 35, 307-313
- Garrote, R.L.; Bertone, R.A. (1989). Osmotic concentration at low temperature of frozen strawberry halves. Effect of glycerol, glucose and sucrose solutions on exudates loss during thawing. *Lebensm.-Wiss. U.-Technol.* 22, 264-267.
- Giangiaco, R.; Torreggiani, D.; Abbo, E. (1987). Osmotic dehydration on fruits. Part I. Sugar exchange between fruit and extracting syrups. *Journal of Food Proc. Pres.* 11, 183-195.
- Ginzburg, B.Z. (1961). Evidence for a protein gel structure cross-linked by metal cations in the intercellular cement of plant tissue, *Journal of Exp. Botanic*, 12: 85-107.
- Giraldo, G.A. (2003). Deshidratación osmótica de Mango (*Mangifera indica*). Aplicación al escarchado. *Tesis Doctoral*. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, España.
- Giraldo, G.; Talens, P.; Fito, P.; Chiralt, A. (2003). Influence of sucrose solution concentration on kinetics and yield during osmotic dehydration of mango. *Journal of Food Engineering*, 58(1), 33-43.
- Glenn, G.M.; Reddy, A.S.N.; Poovaiah, B.W. (1988). Effect of calcium on cell wall structure, protein phosphorylation and protein profile in senescing apples. *Plant and Cell Physiology*, 29, 565-572.
- Godefroot, M.; Sandra, P.; Verzele, M. (1981). New method for quantitative essential oil analysis. *Journal Chromatography*, 203, 325-335.
- González, C.; Fuentes, C.; Andrés, A.; Chiralt, A.; Fito, P. (1999). Effectiveness of vacuum impregnation brining of Manchego-type curd. *International Dairy Journal*. 9, 143-148.
- Grant, G.T.; Morris, E.R.; Rees, D.A.; Smith, P.J.C.; Thom, D. (1973). Biological interactions between polysaccharides and divalent cations: The egg-box model. *FEBS Letters*. 32, 195-198.
- Gras, M.L., Vidal, D., Betoret, N., Chiralt, A. & Fito, P. (2003). Calcium fortification of vegetables by vacuum impregnation interactions with cellular matrix. *Journal of Food Engineering*, 56, 9-284.

Guennengues, P. (1986). Etude thermodynamique des transferts de masse en déshydratation osmotique. D.E.A., E.N.S.I.A., Massy, France.

Guerrero-Beltrán, J.A.; Swanson, B.G.; Barbosa-Cánovas, G.V. (2005). Inhibition of polyphenoloxidase in mango puree with 4-hexylresorcinol, cysteine and ascorbic acid. *LWT - Food Science and Technology*, 38(6), 625-630.

Guillou, A.A.; Floros, J.D.; Cousin, M.A. (1992). Calcium chloride and potassium sorbate reduce sodium chloride used during natural cucumber fermentation and storage. *Journal of Food Science*. 57(6), 1364-1368.

Hawkes, J.; Flink, J.M. (1978). Osmotic concentration of fruit slices prior to freeze dehydration. *Journal of Food Processing and Preservation*. 2(4), 111-115.

Heng, K.; Guilbert, S.; Cuq, J.L. (1990). Osmotic Dehydration of Papaya: Influence of Process Variables on the Product Quality. *Sciences des Aliments*. 10, 831-848.

Hutchings, J.B. (1999). Food colour and appearance. 2nd ed. Gaithersburg, Md. Aspen Publishers.

Huxoll, C.C. (1982). Reducing the refrigeration load by partial concentration of food prior to freezing. *Food Technol.* 5, 98-102.

Ibáñez, E.; López-Sebastián, S.; Ramos, E.; Tabera, J.; Reglero, G. (1998). Analysis of volatile fruit components by headspace solid-phase microextraction. *Food Chemistry*, 63, 281-286.

Idstein, H.; Schreier, P. (1985). Volatile constituents of alphonso mango (*Mangifera indica* L.). *Phytochemistry*, 24, 2313-2316.

Islam, M.N.; Flink, J.N. (1982). Dehydration of potato II. Osmotic concentration and its effect on air-drying behaviour. *Journal of Food Technology*, 17(3), 387-403.

BIBLIOGRAFÍA

- ISO 6564 (1997). Sensory Analysis. Methodology. Flavour profile methods. En: *Análisis Sensorial*. Ed. AENOR, pp 133-140.
- ISO 8586-1 (1997). Sensory Analysis. General guidance for the selection, training an monitoring of judges. Part 1: selected judges. En: *Análisis Sensorial*. Ed. AENOR, Pp 216-240.
- Isse, M.G.; Schubert, H. (1991). Osmotic dehydration of Mango. Preprints II. 7.6-12. *Fourth World Congress of Chemical Engineering*. Karlsruhe, Germany.
- Izumi, H.; Watada, A.E.; Ko, N.P.; Douglas, W. (1996). Controlled atmospheres storage of carrot slices, sticks y shreds. *Postharvest Biology Technology*, 9, 165-172.
- Jay, J.M. (1986). Intrinsic and extrinsic parameters of foods that affect microbial growth. En: *Modern Food Microbiology*. Ed. Van Nostrand Reinhold. New York. pp 40-47.
- Jay, J.M. (1992). Microbiological Food Safety. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 31(3), 177-190.
- Jellinek, G. (1985). Sensory Evaluation of Food - Theory and Practice. Ellis Horwood, Ltd., Chichester, England.
- Joles, D.W.; Cameron, A.C.; Shirazi, A.; Petracek, P.D.; Beaudry, R.M (1994) Modified atmosphere packaging of "heritage" red raspberry fruit: respiratory response to reduce oxygen, enhanced carbon dioxide and temperature. *Journal of the American society for Horticultural Science*, 119, 540-545.
- Judez-Asensio, L. (1989). Técnicas De Análisis De Datos Multidimensionales. Madrid: Centro de Publicaciones, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.
- Kader, A.A. (1987). Respiration and Gas Exchange of Vegetables. en J. Weichman (Ed.). *Postharvest physiology of vegetables*, New York, USA, pp. 25-43.

- Kader, A.A.; Zagory, D.; Kerbel, E.L. (1989) Modified atmosphere packaging of fruits and vegetables. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 28(1), 1-30.
- Kader, A.A. (2002). Quality parameters of fresh-cut fruit and vegetable products. En: Lamikanra, O., (Ed.), *Fresh-Cut Fruits and Vegetables: Science, Technology, and Market*. CRC press LLC. New York. Pp. 11-20.
- Kalra, S.K.; Tandon, D.K.; Singh, B.P. (1995). Mango. In: *Handbook of Fruit Science and Technology. Production, Composition, Storage and Processing*. Ed. D.K. Salunkhe and S.S. Kadam. New York: Marcel Dekker, Inc. pp 123-169.
- Karel, M. (1973). Recent research and development in the field of low moisture and intermediate-moisture foods. *CRC Critical Review Food Technology*. 3, 329-373.
- Kays, S.J. (1991). Metabolic considerations in harvested products. En *Postharvest Physiology of perishable plant products*. New York, Van nostrand Reinhold, 75-142.
- Ke, D.; Goldstein, L.; O'Mahony, M.; Kader, A. A. (1991). Effects of short-term exposures to low O₂ and high CO₂ atmospheres on quality attributes of strawberries. *Journal of Food Science*, 56, 50-54.
- Keey, R.B. (1972). *Drying principles and practice*. Pergamon Press, Oxford.
- Ketsa, S.; Phakawatmongkol, W.; Subhadrabhandhu, S. 1999. Peel Enzymatic activity and changes in ripening mango fruit. *J. Plant Physiol.* 154, 363-366.
- Kondjoyan, N.; Berdagué, J.L. (1996). *A compilation of relative retention indices for the analysis of aromatic compounds*. Clermont Ferrand, France: Laboratoire flaveur.
- Kosterman, A.J.G.H. y Bompard, J.M. (1993). *The mangoes, their Botany, Nomenclature, Horticulture and Utilization*. Academic Press. Londres. 233 p.

BIBLIOGRAFÍA

- Kovats, E. (1958). Gas chromatographic characterization of organic compounds, I. Retention indices of aliphatic halides, alcohols, aldehydes and ketones. *Helv. Chim. Acta*, 41, 1915-1932 • *Microchemical Journal*, Volume 3, Issue 4, November 1959.
- Krebs, J.J.R.; Hauser, H.; Carafoli, E. (1979). Asymmetric distribution of phospholipids in the inner membrane of beef heart mitochondria. *Journal of Biology and Chemistry*. Baltimore, American Society of Biological Chemists. 254(2), 5308-5316.
- Krokida, M.K.; Kiranoudis, C.T.; Maroulis, Z.B. (2000). Effect of osmotic dehydration on colour and sorption characteristics of apple and banana. *Drying Technology*, 18(4/5): 937-950.
- Kuo, J.; Hwang, A.; Hsu, H.H.; Pan, B.S. (1996). Preliminary identification of lipoxigenase in algae (*Enteromorpha inestinalis*) for aroma formation. *J. Agric. Food Chem.*, 44, 2073-2077.
- La Font. (1988). Application de la deshydratation osmotique au Kiwi: Influence des variables pour comprendre les mecanismes regissant les transfer de matiere. *Memorie D'Ingenieur*. E.N.S.B.N.A. Dijon, France.
- Labib Azza, A.S.; El-Ashwah, F.A.; Omran H.T.; Askar, A. (1995). Heat-inactivation of mango pectinesterase and polygalacturonase. *Food Chemistry*. 53(2), 137-142.
- Lalel, H.J.D.; Singh, Z.; Tan, S.C. (2003). Aroma volatiles production during fruti ripening of 'Kensington Pride' mango. *Postharvest Biology and Technology*, 27, 323-336.
- Lara, I.; García, P.; Vendrell, M. (2004). Modifications in cell wall composition alter cold storage of calcium-treated strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.) fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 34, 331-339.
- Larrazabal, M.J. (2005). Estudio de la aplicación de técnicas de marinado de salmón (*Salmo salar*) alternativas al proceso tradicional. *Tesis Doctoral*, Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, España.

- Lazarides, H.N.; Katsanidis, E.; Nickolaidis, A. (1995). Mass transfer kinetics during osmotic preconcentration aiming at minimal solid uptake. *Journal of Food Engineering*. 25(2), 151-166.
- Lazarides, H.N.; Mavroudis, N. (1996). Kinetics of osmotic dehydration of a highly shrinking vegetables tissue in a Salt-free medium. *J. Food Eng.* 30, 61-74.
- Lazarides, H.N. (1998). Mass transfer phenomena during osmotic processing of fruits and vegetables. Ed. Oliveira J.C. and F.A.R. Oliveira. *Proceedings of the Triad Main Meeting of the Copernicus Project in "Process Optimization and Minimal Processing of Foods"*, Vol.3, Drying. Leuven, Octubre 23-25, 1997. 43-45.
- Lazarides, H.N.; Fito, P.; Chiralt, A.; Gekas, V.; Lenart, A. (1999) . Advances in osmotic dehydration. En: R.P. Singh & F.A.R. Oliveira (Ed), *Minimal Processing of foods and process optimization*. CRC Press, Boca Raton. pp. 175-200.
- Lazarides, H.N. (2001). Reasons and possibilities to control solids uptake during osmotic treatment of fruits and vegetables. En: Osmotic Dehydration and Vacuum Impregnation, Edited By: Fito, Chiralt, Spiess and Beshnilian. Ed: *Food Preservation Technology Series*. Capítulo 4, pp. 33-42.
- Le Maguer, M. (1997). Mass transfer modeling in structured foods. En: P. Fito, E. Ortega-Rodríguez y G. V. Barbosa-Cánovas (Ed.). *Food engineering* (2000) Chapman & Hall. New York. pp. 253-270.
- Le Maguer, M. (1988). Osmotic Dehydration: Review and future directions. En Proceedings of the International Symposium on Progress in Food Preservation Processes. 1, 283-309.
- Lee, D.S.; Hagggar, P.E.; Lee, J.; Vam, K.L (1991) Model for fresh produce respiration in modified atmosphere based on principles of enzyme kinetics. *Journal of Food Science*, vol. 56, nº 6.
- Leistner, L.; Rodel, W. (1976). The stability of the intermediate moisture foods with respect to microorganisms. En: *Intermediate Moisture Foods*, R. Davies, G.G. Birch, y K.K. Parker (Eds.), Londres, Applied Science. pp. 120-130.

BIBLIOGRAFÍA

- Lenart, A; Flink, J.M. (1984a). Osmotic concentration of potatoes I, Spatial distribution of the osmotic effect. *Journal of Food Technology*. 19, 45-63.
- Lenart, A; Flink, J.M. (1984b). Osmotic concentration of potatoes II, Spatial distribution of the osmotic effect. *Journal of Food Technology*. 19, 65-89.
- Lenart, A.; Lewicki, P.P. (1990). Osmotic dehydration of apples at high temperature. Ed: A.S. Mujumdar, *Drying '89*. Hemisphere Publishing Corporation, 7-14.
- León-Crespo, F.; Galán-Soldevilla, H. (1991). Modernas técnicas en el procesado de alimentos. Pp. 83-104.
- Lerici, C.R.; Pepe, M.; Pinnavaia, G. (1977). The osmotic dehydration of fruit I. Results of laboratory experiments. *Industria Conserve*. 52(2), 125-129.
- Lerici, C.R.; Pinnavaia, G.; Dalla Rosa, M.; Bartolucci, L. (1989). Osmotic dehydration of fruit: Influence of osmotic agents on drying behavior and product quality. *Journal of Food Science*, 56, 1393-1398.
- Lerici, C.R.; Mastrocola, D.; Sensidoni, A.; Dalla Rosa, M. (1988). Osmotic concentration in food processing. En S. Bruin (Ed): *Pre-concentration and drying of food materials*. Elsevier Science Pub., Amsterdam, Holanda. pp 123-124.
- Lester, G. (1996). Calcium alters senescence rate of postharvest muskmelon fruit disks. *Postharvest Biology and Technology*, 7 (1-2), 91-96.
- Levi, A.; Gagel, S.; Juven, B. (1983). Intermediate moisture tropical fruit products for developing countries I. Technological data on papaya. *Journal of Food Technology*. 18(6), 667-685.
- Lewicki, P.P.; Gondek, E.; Witrowa-Rajchert, D.; Nowak, D. (2001). Effect of Drying on Respiration of Apple Slices. *Journal of Food Engineering*, 49, 333-337.
- López-Rubira, V.; Conesa, A.; Allende, A.; Artés, F. (2005). Shelf life and overall quality of minimally processed pomegranate arils modified

- atmosphere packaged and treated with UV-C. *Postharvest Biology and Technology*, 37, 174-185.
- Luna-Guzmán, I.; Cantwell, M.C.; Barrett, D.M. (1999). Fresh-cut cantaloupe: effects of CaCl₂ dips and heat treatments on firmness and metabolic activity. *Postharvest Biol. Technol.*, 17, 201–213
- Luna-Guzmán, I.; Barrett, D.M. (2000). Comparison of calcium chloride and calcium lactate effectiveness in maintaining shelf stability and quality of fresh-cut cantaloupes *Postharvest Biology and Technology*, 19(1), 61-72.
- Lyon, D. (1990). Factors affecting the sensory quality of vegetables. *Food science and technology today*, 4, 40–44.
- MacLeod, A.; Gonzalez, N. (1982). Volatile flavour components of mango fruit. *Phytochemistry*, 21, 2523-2526.
- MacLeod, A.; Pieris, N. (1984). Comparison of the volatile components of some mango cultivars. *Phytochemistry* 23, 361-366.
- Malundo, T.M.M.; Baldwin, E.A.; Ware, G.O.; Shewfelt, R.L. (1997). Method for the rapid headspace analysis of mango (*Mangifera indica* L.) homogenate volatile constituents and factors affecting quantitative results. *J. Agr. Food Chem.*, 45, 2187-2194.
- Martens, H., y Naes, T. (1989). *Multivariate calibration*. Chichester, UK: Wiley.
- Martens, H., y Martens, M. (2001). *Multivariate analysis of quality – an introduction*. West Sussex, UK: Wiley.
- Martín, E.; Fito, P.; Matínez-Navarrete, N.; Chiralt, A. (1999). Combined air-Microwave drying of fruit as affected by vacuum impregnation treatments. En : *Proceedings of the 6th Conference of Food Engineering (CoFE'99)*. Ed. G.V. Barbosa-Cánovas y S.P. Lombardo. AICHE. 465-470.
- Martín, M.E., Fito, P.; Martínez-Navarrete, N.; Chiralt, A. (2001) *Mathematical model of combined Conective-Microwave Drying of vacuum*

BIBLIOGRAFÍA

- impregnation apple. Proceedings of ICEF 8. Technomic Publishing Co., Inc. Lancaster, Volumen II, 1183-1187.
- Martínez, V. (2006). Propiedades de los mangos. El mundo de las plantas. <http://www.botanical-online.com/mangospropiedadesalimentarias.htm>
- Martínez-Monzó, J.; Martínez-Navarrete, N.; Chiralt, A.; Fito, P. (1998a). Osmotic dehydration of apple as affected by vacuum impregnation with HM pectin. Ed. C.B. Akritidis; D. Marinos-Kounis y G.D. Saravacos. Drying '98. Ziti Editions, Thessaloniki, Vol. A, 836-843.
- Martínez-Monzó, J.; Martínez-Navarrete, N.; Chiralt, A.; Fito, P. (1998b). Mechanical and structural changes in apple (var. Granny Smith) due to vacuum impregnation with crioprotectants. *Journal of Food Science*. 63, 499-503.
- Martínez-Monzó, J.; Martínez-Navarrete, N.; Chiralt, A.; Fito, P. (2001). Combined vacuum impregnation-osmotic dehydration in fruit cryoprotection. En: Osmotic Dehydration & Vacuum Impregnation: Application in food industries. Ed. P. Fito; A. Chiralt; J.M. Barat; Walter E.L. Spiess; Diana Behnlian. Technomic. Lancaster, Pennsylvania. U.S.A. 61-76.
- Mata-Montes de Oca, M; Tovar-Gómez, B.; García, H.S. (2000). Evolution of organic acids in minimally processed mango slices. *IFT'S Annual Meeting. Institute of Food Technologists*, 65A-16.
- Mavroudis, N.E.; Gekas, V.; Sjöholm, I. (1998). Osmotic dehydration of apples. Shrinkage phenomena and the significance of initial structure on mass transfer rates. *J. Food Eng.* 38, 101-123.
- Mazza, G. (1983). Dehydration of Carrots. Effects of pretreatments on moisture transport and product quality. *J. Food Technol.* 18, 113-123.
- Mazliak, P. (1976). Fisiología Vegetal. Nutrición y Metabolismo. *Colección Métodos*. Ed. Omega. Barcelona.
- Mauron, J. (1990). Influence of processing on protein quality. En Nutritional losses due to food preparation and possibilities of their prevention

- Conference-Proceedings, *Journal of Nutritional Science and Vitaminology*, 36(4), 557-569.
- Meilgaard, M., Civille, G. V. y Carr, B. T. (1999). Attribute differences test. III. Pairwise Ranking Test: Friedman Analysis. En : *Sensory Evaluation Techniques*. 3rd Edition. pp. 103-106. Boca Raton, FI: CRC Press.
- Mignani, I.; Greve, L.C.; Ben-Arie, R.; Stotz, H.U.; Chingying, L.; Shackel, K.A.; Labavitch, J.M. (1995). The effects of GA₃ and divalent cations on aspects of pectin metabolism and tissue softening in ripening tomato pericarp. *Physiologia Plantarum*. 93(1), 108-115.
- Mitcham, E.J.; McDonald, R.E. (1992) Cell wall modification during ripening of 'Keit' and 'Tommy Atkins' mango fruit. *J. Am. Soc. Hort. Sci.*, 117, 919-924.
- Mohsenin, N.M. (1986). *Physical properties of plant and animal materials*. New York: Gordon and Breach, Science Publishers.
- Moreno, J.; Chiralt, A.; Escriche, I.; Serra, J.A. (2000). Effect of blanching/osmotic dehydration combined methods on quality and stability of minimally processed strawberries. *Food Research International*. 33(7), 609-616.
- Moy, J.H.; Lau, N.B.H.; Dollar, A.M. (1978). Effects of sucrose and acids on osmovac-dehydration of tropical fruits. *Journal of food Processing and preservation*. 2(2), 131-135.
- Muda, P.; Seymour, G.B.; Errington, N.; Tucker, G.A. (1995). Compositional changes in cell wall polymers during mango fruit ripening. *Carbohydr. Polym.* 26, 255-260.
- Muguruma, M.; Katayama, K.; Nakamura, M.; Yamaguchi, M. (1987). Low temperature osmotic dehydration improves the quality of intermediate moistures meats. *Meat Science*. 21(2), 99-109.
- Navarro, P.; Corzo, O. (2000). Osmotic dehydration vacuum optimization for minimally processed pineapple. En: J. Welty-Chanes, G.V. Barbosa-Cánovas, & J.M. Aguilera *Proceedings of the Eighth International Congress on Engineering and Food- ICEF 8-* Lancaster, Technomic Publishing Co., Inc. pp 1264-1269.

BIBLIOGRAFÍA

- Overton, S.; Manura, J. (1994). Flavour and aroma in commercial bee honey. *American laboratory* (April 1994)
- Paliyath, G.; Poovaiah, B.W.; Munske, G.R.; Magnuson, J.A. (1984). Membrane fluidity in senescing apples: Effects of temperature and calcium. *Plant and Cell Physiology*. 25(6), 1083-1087.
- Panadés, G; Tejo, T.; Pérez, F. (1993). Obtaining a filling temperatura of 30-37 degree C in the final chilling of aseptically preserved guava pulp. *Alimentaria*, N° 242: 73-74.
- Panadés, G.; Rodríguez, I.; González, M.E.; Acosta, V. (2001). Influencia de las condiciones de operación sobre la calidad del mango mínimamente procesado por deshidratación osmótica. *Alimentaria*, Octubre: 135-138.
- Pascual, M.R.; Calderón, V. (2000).- *Microbiología Alimentaria*. Ed. Díaz de Santos, Madrid, Spain.
- Peiró, R.; Dias, V.M.C.; Camacho, M.M.; Martínez-Navarrete, N. (2006). Micronutrient flow to the osmotic solution during grapefruit osmotic dehydration. *Journal of Food Engineering*, 74, 299–307.
- Peleg, M. (1979). Characterization of stress relaxation curve of solid foods. *Journal of Food Science*, 44, 277-281.
- Peleg, M. (1983). Stress and strain activated fracture elements: Phenomenological rheological models of foods. *Journal of Texture Studies*, 14(2), 87-98.
- Pérez, L.; González-Martínez, c; Chafer, M; Chiralt, A. (2001). Inhibición del pardeamiento enzimático en pera var. Blanquilla. *Actas del 3º Congreso Iberoamericano de Ingeniería de Alimentos (CIBIA2001)*, Tomo IV(4), 307-312
- Pérez, L.E. (2003). Aplicación de métodos combinados para el control del desarrollo del pardeamiento enzimático en pera (variedad Blanquilla) mínimamente procesada. *Tesis Doctoral*, Universidad Politécnica de Valencia. España.
- Pfannhauser, W. (1988). Sensorische und instrumentelle analytische Untersuchungen des Kiwi-Aromas. *Zeitschrift fuer Lebensmitteluntersuchung und Forschung*, 187, 224–228.

- Pitt, R.E. (1992). Viscoelastic properties of fruits and vegetables. In Rao, M.A. & Steffe, J. F., (Eds.), *Science viscoelastic properties of foods*, (pp 49-76). London: Elsevier Applied.
- Pittia, P.; Nicoli, C.; Comi, G.; Massini, R. (1999). Shelf-life extension of fresh-like ready-to-use pear cubes. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 79, 955-960.
- Pointing, V.; Watters, G.G.; Forrey, R.R.; Jacson, R.; Stanley, W.L. (1966). Osmotic dehydration of fruits. *Food Technology*, (20), 125-128.
- Pointing, J.D. (1973). Osmotic dehydration on fruits. Recent modification and applications. *Process Biochemistry*, 8(12), 18-20.
- Poovaliah, B.W. (1986a). Calcium and fruit quality. *Wash State Hortic. Assoc. Proc.* Wenatchee, Wash. The Association. 82, 115-118.
- Poovaliah, B.W. (1986b). Role of calcium in prolonging storage life of fruit and vegetables. *Food Technology*, 40(5), 86-89.
- Poolman, B.; Driessen, A. J.; Konings, W.N. (1987). *Microbiological Reviews*, 51, 498-508.
- Puente, L. (2003). Aplicación de la técnica de impregnación a vacío en la obtención de alimentos funcionales con contenido probiótico a partir de manzana. *Tesis Doctoral*. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, España.
- Ragaert, P.; Verbeke, W.; Devlieghere, F.; Debevere, J. (2004). Consumer perception and choice of minimally processed vegetables and packaged fruits. *Food Quality and Preference*. 15(2004) 259-270.
- Ranhotra, G.S.; Gelroth, J.A.; Leinen, S.D.; Schneller, F.E. (1997). Bioavailability of calcium in breads fortified with different calcium sources. *Cereal Chemistry*, 74(4), 361-363.
- Raoult-Wack, A.L. (1994). Recent advances in the osmotic dehydration of foods. *Trends in Food Science and Technology*, 5(8), 255-260.

BIBLIOGRAFÍA

- Rastogi, N.K. & Ranghavarao, K.S.M.S. (1994). Effect of temperature and concentration on osmotic dehydration of coconut. *Lebensmittel und Technology*, 27, 564-567.
- Riva, M.; Cortellino, G.; Maestrelli, A.; Torreggiani, D. (2001). Structure collapse and colour changes in osmo-air dehydrated peach cubes. *Food Science and Biotechnology*, 10(6), 598-601.
- Rizzolo, A.; Gerli, F.; Prinziavalli, C.; Buratti, S.; Torreggiani, D. (2007). Headspace volatile compounds during osmotic dehydration of strawberries (cv Camarosa) : Influence of osmotic solution composition and processing time. *LWT*, 410, 529-535.
- Robbers, M., Singh, R. P. & Cunha, L. M. (1997). Osmotic-convective dehydrofreezing process for drying kiwifruit. *Journal of Food Science*, 62(5), 1039-1047.
- Rolle, R.S.; Chism, G.W. (1987). Physiological consequences of minimally processed fruits and vegetables. *J. Food Quality*, 10, 157-177.
- Rosen, J.C.; Kader, A.A. (1989). Postharvest physiology and quality maintenance of sliced pear and strawberry fruits. *Journal of Food Science*, 54(3), 656-659.
- Rosenthal, A.J. (2001). Relación entre medidas instrumentales y sensoriales de la textura de alimentos. En : Rosenthal A.J., *Textura de los Alimentos, "Medida y Percepción"*. Ed. ACRIBIA, Zaragoza, España; con autorización de ASPEN PUBLISHERS, INC. pp 3-16.
- Sa, M.M.; Sereno, A.M. (1999). The kinetics of browning measurement during the storage of onion and strawberry. *International Journal of Food Science and Technoogy*, 34(4), 343-349.
- Scalzo, R.; Papadimitriu, C.; Bertolo, G.; Maestrelli, A.; Torreggiani, D. (2001). Influence of cultivar and osmotic dehydration time on aroma profiles of muskmelon (Cucumis melo, cv. Reticulates Naud.) spheres. *Journal of Food Engineering*, 49(2/3): 261-264.
- Saftner, R.A.; Bai, J.; Abbott, J.; Lee, Y. (2003). Sanitary dips with calcium propionate, calcium chloride, or a calcium amino acid chelate maintain quality and shelf stability of fresh-cut honeydew chunks. *Postharvest Biology and Technology*, 29: 257-269.

- Salunkhe, D.K.; Do, J.Y.; Boling, H.R. (1973). Developments in technology and nutritive value of dehydrated fruits, vegetables and their products. *CRC Critical Reviews in Food Technology*. 4(2), 153-192.
- Salvatori, D., Albors, A., Andrés, A., Chiralt, A. y Fito, P. (1998). Analysis of the structural and compositional profiles in osmotically dehydrated apple tissue. *Journal of Food Science*, 63, 606-610.
- Salvatori, D.; Andrés, A.; Chiralt, A.; Fito, P. (1999a). Osmotic dehydration progression in apple tissue I: Spatial distribution of solutes and moisture content. *Journal of Food Engineering*. 42, 125-132.
- Salvatori, D.; Andrés, A.; Chiralt, A.; Fito, P. (1999b). Osmotic dehydration progression in apple tissue II: Generalized equations for concentration prediction. *Journal of Food Engineering*. 42, 125-132.
- Schlimme, D.V.; Rooney, M.L. (1994). Packaging of minimally processed fruits and vegetables. En R.C. Wiley (ed) *Minimally Processed Refrigerated Fruits and Vegetables*, Chapman and Hall, U.K.
- Scott, V.N. (1989). Interaction of factors to control microbial spoilage of refrigerated foods. *J. Food Prot.* 52, 431-435.
- Sheng, J.; Luo, Y.; Wainwright, H. (2000). Studies on lipoxigenase and the formation of ethylene in tomato. *J. Hort. Sci. biotechnol.*, 75, 69-71.
- Shewfelt, R.L. (1987). Quality of minimally processed fruits and vegetables. *Journal of Food Quality*, 10(3), 143-156.
- Shipman, J.W.; Rahman, A.R.; Segars, R.A.; Kapsalis, J.G.; Westcott, D.E. (1972). Improvement of the texture of dehydrated celery by glycerol treatment. *Journal of Food Science*. 37, 568-571.
- Sokhansanj, S.; Jayas, D.S. (1987). Handbook of Industrial Drying. Ed. Mujumdar, A.S. Marcel Dekker Inc., NY, 517-553.
- Spiazzi, E.; Mascheroni, R. (1997). Mass transfer model for osmotic dehydration of fruits and vegetables – I. Development of the simulation model. *J. Food Eng.* 34, 387-410.

BIBLIOGRAFÍA

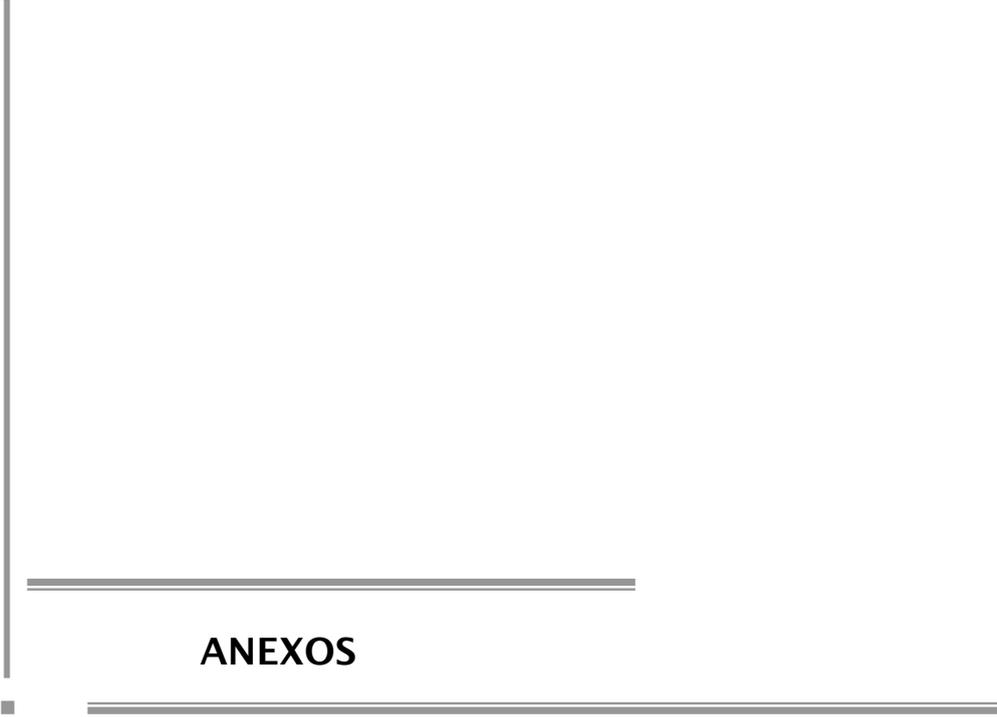
- Soliva-Fortuny, R. y Martín-Belloso, O. (2003). New advances in extending the shelf-life of fresh-cut fruits: a review. *Trends in Food Science y Technology*, 14, 341-53.
- Steinmetz, T.; Ingelheim, B. (1999). Alimentos funcionales. "Empleo de minerales de elevado valor". *Alimentación, Equipos y Tecnología*. 18(4), 149-155.
- Stern, D.; Ortolá, M. D.; Fito, P. (2001) Estudio de la influencia de distintas condiciones de almacenamiento de cítricos sobre el desarrollo de componentes volátiles indeseables y predicción de su vida útil. Series de ciencia e ingeniería de alimentos. *Investigación del Postgrado IAD-DTA*. Año 2000. Vol. I. Ed. Fito, P., Chiralt, A., Andrés, A, Martínez-Navarrete, N.
- Talens, P.; Hartong, S.; Martínez-Navarrete, N.; Chiralt, A.; Fito, P. (2000). Kinetics and equilibrium status in osmotic dehydration of strawberry *Proceedings of the 12th International Drying Simposium. IDS 2000*. Ed. P.J.A.M. Kerkhof, W.J. Coumans, D.D. Moolweer. Elsevier Science, Amsterdam. Paper N° 101.
- Talens, P.; Martínez-Navarrete, N.; Chiralt, A.; Fito, P. (2001). Influence of the osmotic solution concentration in strawberry osmotic dehydration. En: J. Welty-Chanes, G.V. Barbosa-Cánovas, & J.M. Aguilera *Proceedings of the Eighth International Congress on Engineering and Food- ICEF 8- Lancaster*, Technomic Publishing Co., Inc. pp 151-156.
- Talens, P. (2002). Tratamientos osmóticos en la crioprotección de fresa y kiwi. *Tesis Doctoral*. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, España.
- Talens, P.; Escriche, I.; Martínez-Navarrete, N; Chiralt, A. (2002a). Study of the influence of osmotic dehydration and freezing on the volatile profile of strawberries. *Journal of Food Science*. 67(5), 1648-1653.
- Talens, P.; Martínez-Navarrete, N.; Fito, P.; Chiralt, A. (2002b). Changes in optical and mechanical properties during osmodehydrofreezing of kiwi fruit. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 3, 191-199.

- Talens, P.; Escriche, I.; Martínez-Navarrete, N.; Chiralt, A. (2003). Influence of osmotic dehydration and freezing on the volatile profile of kiwi fruit. *Food Research International*, 36: 635-642.
- Thompson, J.E.; Legge, R.L.; Barber, R.F. (1987). The role of free radicals in senescence and wounding. *New Phytol.*, 105, 317-344.
- Torreggiani, D. (1993). Osmotic dehydration in fruit and vegetables processing. *Food Res. Int.* 26, 27-44.
- Torreggiani, D. (1995). Technological aspects of osmotic dehydration in foods. In Barbosa-Cánovas, G.V. & Welti-Chanes, J., (Eds.), *Food preservation by moisture control: fundamentals and applications*, (pp. 281-304). Lancaster: Technomic Pub. Co.
- Torres, J.D.; Talens, P.; Escriche, I.; Chiralt, A. (2006). Influence of process conditions on mechanical properties of osmotically dehydrated mango. *Journal of Food Engineering*, 74(2), 240-246.
- Torres, J.D.; Talens, P.; Carot, J.M.; Chiralt, A.; Escriche, I. (2007). Volatile profile of mango (*Mangifera indica* L.), as affected by osmotic dehydration. *Food Chemistry*, 101, 219-228.
- Tovar, B., García, H. S. y Mata, M. (2001a). Physiology of pre-cut mango I. ACC and ACC oxidase activity of slices subjected to osmotic dehydration. *Food Research International* 34, 207-15.
- Tovar, B., García, H. S. y Mata, M. (2001b). Physiology of pre-cut mango II. Evolution of organic acids. *Food Research International* 34, 705-14.
- Uzuegbu, J.O.; Ukeka, C. (1987). Osmotic dehydration as a method of preserving fruits to minimize ascorbic acid loss. *J. Food and Agric.* 1(3) 187-188.
- USDA, United States Department of Agriculture. Agricultural Research Service. *USDA National Nutrient Database for Standard Reference*, Release 18 (2006).
http://www.nal.usda.gov/fnic/foodcomp/cgi-bin/list_nut_edit.pl
- Van Buren, J.P. (1979). The chemistry of texture in fruits and vegetables. *Journal of Texture studies*. 10(1), 1-23.

BIBLIOGRAFÍA

- Van den Dool, H.; Fratz, P.D.J. (1963). *Chromatogr.* 11, 463.
- Vial, C.; Gulibert, S.; Cuq, J.L. (1991). Osmotic dehydration of kiwi fruits: Influence of process variables on the colour and ascorbic acid content. *Sciences des Aliments.* 11, 63-64.
- Videv, K.; Tanchev, S.; Sharma, R.C.; Joshi, V.K. (1990). Effect of sugar syrup concentration and temperature on the rate of dehydration of apples. *Food Science Technology*, 27, 307-308.
- Vincent, J.F.V. (1994). Texture of plants. In: Linskens, H.F. & Jackson, J.F., (Eds.), *Vegetables and Vegetable Products*, (pp. 57-72). Berlin: Springer.
- Watada, A.E.; Ko, N.P.; Minott, D.A. (1996). Factors affecting quality of fresh-cut horticultural products. *Postharvest Biology and Technology*, 9(2), 115-125.
- Werkhoff, P., Güntert, M., Krammer, G., Sommer, H. & Kaulen, J. (1998). Vacuum head-space method in aroma research: Flavor chemistry of yellow passion fruits. *Journal Agriculture Food Chemistry*, 46, 1076-93.
- Wilkes, J.G.; Conte, E.D.; Kim, Y.; Holcomb, M.; Sutherland, J.B.; Miller, D.W. (2000) Sample preparation for the analysis of flavors and off-flavors in foods (REVIEW). *Journal of Chromatography A*, 880(1-2), 3-33
- Wiley, R.C. (1994). Minimally processed refrigerated fruits and vegetables. Chapman and Hall.
- Wiley, R.C. (1997a). Introducción a las frutas y hortalizas mínimamente procesadas, en: *Frutas y hortalizas mínimamente procesadas y refrigeradas*. Editorial Acribia. Zaragoza, 65-130.
- Wiley, R.C. (1997b). Métodos de conservación de las frutas y hortalizas mínimamente procesadas y refrigeradas, en: *Frutas y hortalizas mínimamente procesadas y refrigeradas*. Editorial Acribia. Zaragoza, 65-130.
- Wills, R.H.H.; Lee, T.H.; McGlasson, W.B.; Hall, E.G.; Graham, D. (1984). Fisiología y Manipulación de Frutas y Hortalizas. *Postrecolección*. Ed. Acribia.

- Wills, R.B.H.; Mahendra, M.S. (1989). Effect of postharvest application of calcium on ripening of peach. *Aust. J. Exp. Agric.*, 29: 751-753.
- Yahia, E.; Carrillo, L.; Rivera, D. (1997). Manejo poscosecha del mango. Ed. Universidad de Colima, México.
- Youn, K.S.; Lee, J.H.; Choi, Y.H. (1996). Changes of free sugar and organic acid in the osmotic dehydration process of apples. *Korean Journal of Food Science*, 28(6), 1095-1103.
- Yu, Y. y Yang, S. F. (1980). Biosynthesis of wound ethylene. *Plant Physiology*, 66, 281-5.
- Zabetakis, I., Holden, M. A. (1997). Strawberry flavour: Analysis and biosynthesis. *Journal of Science of Food and Agriculture* 74, 424-34.
- Zabetakis, I, Koulentianos, A., Orruño, E. y Boyes, I. (2000). The effect of high hydrostatic pressure on strawberry flavour compounds. *Food Chemistry*, 71, 51-55.



ANEXOS

ANEXO 1. Componentes nutricionales característicos del mango (cantidades dadas para 100 g de pulpa fresca) (USDA, 2006).

Nutrientes	Unidades	Valores x 100 g
Proximates		
Agua	g	81.71
Energía	kcal	65
Energía	kJ	272
Proteínas	g	0.51
Total de Lípidos	g	0.27
Cenizas	g	0.50
Carbohidratos, por diferencia	g	17.00
Fibra dietaria total	g	1.8
Azúcares totales	g	14.80
Minerales		
Calcio, Ca	mg	10
Hierro, Fe	mg	0.13
Magnesio, Mg	mg	9
Fósforo, P	mg	11
Potasio, K	mg	156
Sodio, Na	mg	2
Zinc, Zn	mg	0.04
Cobre, Cu	mg	0.110
Manganeso, Mn	mg	0.027
Selenio, Se	mcg	0.6
Vitaminas		
Vitamina C, ácido ascórbico total	mg	27.7
Tiamina	mg	0.058
Riboflavina	mg	0.057
Niacina	mg	0.584
Ácido Pantoténico	mg	0.160
Vitamina B-6	mg	0.134

Nutrientes	Unidades	Valores x 100 g
Folato, total	mcg	14
Ácido fólico	mcg	0
Ácidos grasos, total saturados	g	0.066
Folato, alimenticio	mcg	14
Folato, DFE	mcg_DFE	14
Vitamina B-12	mcg	0.00
Vitamina A, IU	IU	765
Vitamina A, RAE	mcg_RAE	38
Vitamina E (alfa-tocoferol)	mg	1.12
Vitamina K (filoquinona)	mcg	4.2
Lípidos		
4:0	g	0.000
6:0	g	0.000
8:0	g	0.000
10:0	g	0.000
12:0	g	0.001
14:0	g	0.009
16:0	g	0.052
18:0	g	0.003
Ácidos grasos, total monoinsaturados	g	0.101
16:1	g	0.048
18:1	g	0.054
20:1	g	0.000
22:1	g	0.000
Ácidos grasos, total polinsaturados	g	0.051
18:2	g	0.014
18:3	g	0.037
18:4	g	0.000
20:4	g	0.000
20:5 n-3	g	0.000
22:5 n-3	g	0.000

Nutrientes	Unidades	Valores x 100 g
22:6 n-3	g	0.000
Colesterol	mg	0
Aminoácidos		
Triptofano	g	0.008
Treonina	g	0.019
Isoleucina	g	0.018
Leucina	g	0.031
Lisina	g	0.041
Metionina	g	0.005
Fenilalanina	g	0.017
Tirosina	g	0.010
Valina	g	0.026
Arginina	g	0.019
Histidina	g	0.012
Alanina	g	0.051
Acido Aspártico	g	0.042
Acido Glutámico	g	0.060
Glicina	g	0.021
Prolina	g	0.018
Serina	g	0.022
Otros		
Alcohol etílico	g	0.0
Cafeína	mg	0
Teobromina	mg	0
Beta caroteno	mcg	445
Alfa caroteno	mcg	17
Licopeno	mcg	0

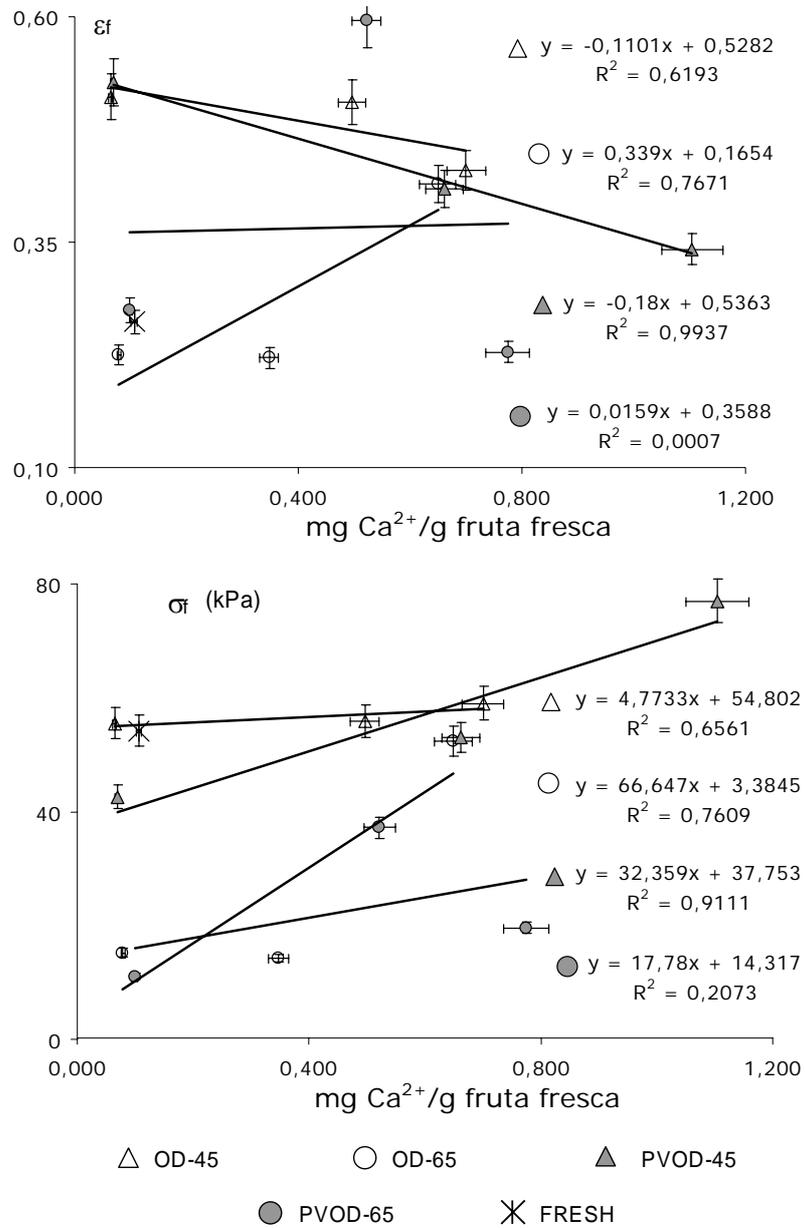
USDA National Nutrient Database for Standard Reference, Release 18 (2005)

http://www.nal.usda.gov/fnic/foodcomp/cgi-bin/list_nut_edit.pl

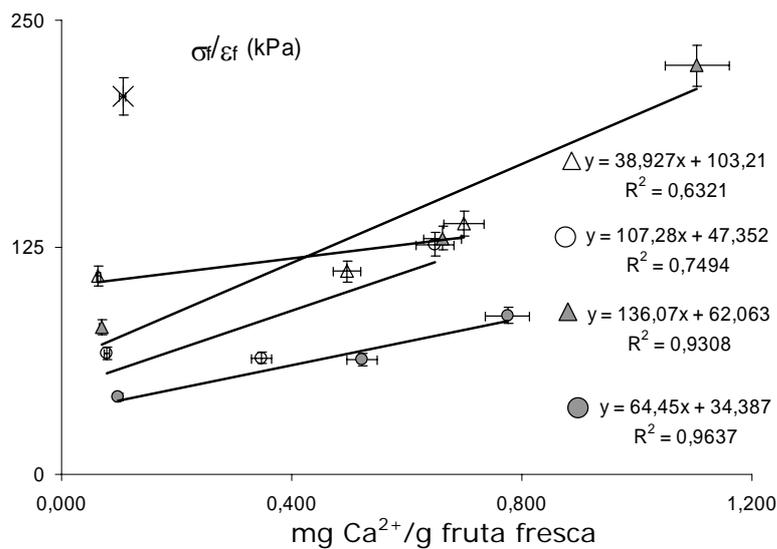
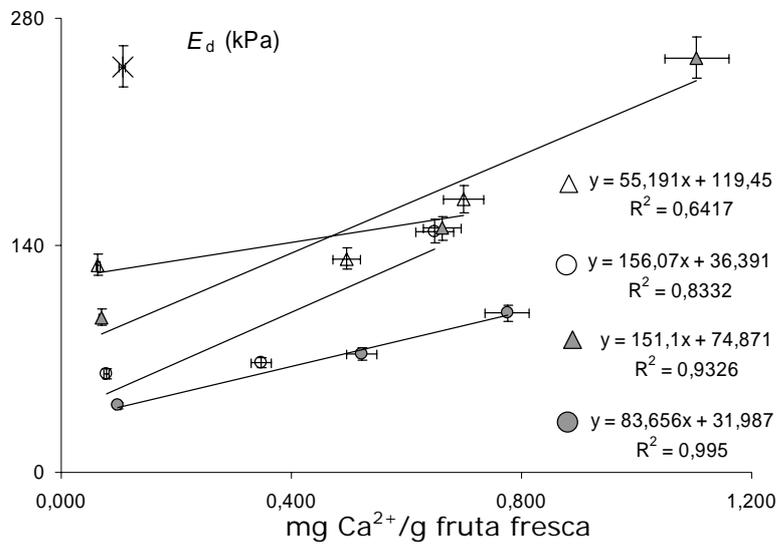
Anexo 2. Ficha técnica y datos de seguridad (según directiva 2001/58/CE) del reactivo calcio lactato 5-hidrato (E-327, F.C.C.)

Identificación de la sustancia o del preparado:
Denominación: Calcio Lactato 5-hidrato
Uso de la sustancia o preparado:
Aditivo alimentario.
Composición/Información de los componentes:
Calcio Lactato 5-hidrato Ca(CH ₃ CHOHCOO) ₂ .5H ₂ O M. = 607,04 CAS [5743-47-5] 212-406-7
Identificación de los peligros:
Sustancia no peligrosa según Directiva 67/548/CEE.
Medidas a tomar en caso de vertido accidental:
Recoger en seco y depositar en contenedores de residuos para su posterior eliminación de acuerdo con las normativas vigentes. Limpiar los restos con agua abundante.
Propiedades físicas y químicas:
Aspecto: Sólido blanco
Olor: Inodoro
pH 6,5(50 g/l)
Solubilidad: 66 g/l en agua a 20°C
Efectos peligrosos para la salud:
No son de esperar características peligrosas. Observar las precauciones habituales en el manejo de productos químicos.
Ecotoxicidad:
12.2.1 - Test EC ₅₀ (mg/l) :----- 12.2.2 - Medio receptor : Riesgo para el medio acuático = ---- Riesgo para el medio terrestre = ---- 12.2.3 - Observaciones :-----
Otros posibles efectos sobre el medio natural:
Manteniendo las condiciones adecuadas de manejo no cabe esperar problemas ecológicos.

Datos suministrados por la empresa PANREAC QUIMICA, S.A. (Barcelona) España (2006).



Anexo 3(a). Relación entre los parámetros mecánicos (eje Y) (deformación (ϵ_f) y esfuerzo (σ_f) [kPa], en el punto de fractura) de las muestras frescas y tratadas, y la concentración final de calcio en el tejido (mg/g fruta fresca) (eje X). Se representan las ecuaciones ajustadas a la línea recta, con los respectivos coeficientes de correlación lineal [R^2]



\triangle OD-45 \circ OD-65 \blacktriangle PVOD-45
 \bullet PVOD-65 \times FRESH

Anexo 3(b). Relación entre los parámetros mecánicos (eje Y) (módulo inicial (E_d [kPa]) y el cociente σ_f/ϵ_f [kPa]) de las muestras frescas y tratadas, y la concentración final de calcio en el tejido (mg/g fruta fresca) (eje X). Se representan las ecuaciones ajustadas a la línea recta, con los respectivos coeficientes de correlación lineal [R^2]

Anexo 4. Cuestionario realizado a los jueces, en durante la prueba sensorial. .

CUESTIONARIO

NOMBRE: _____

FECHA: _____

1. Para cada atributo que vas a evaluar: intensidad de color, Claridad, firmeza, Gomosidad e intensidad de aroma (sabor típico), coloca una (X) en la muestra que consideres que tiene mayor intensidad del mismo.
2. Indica igualmente con una (X) cual de las dos muestras prefieres.

Pareja 1

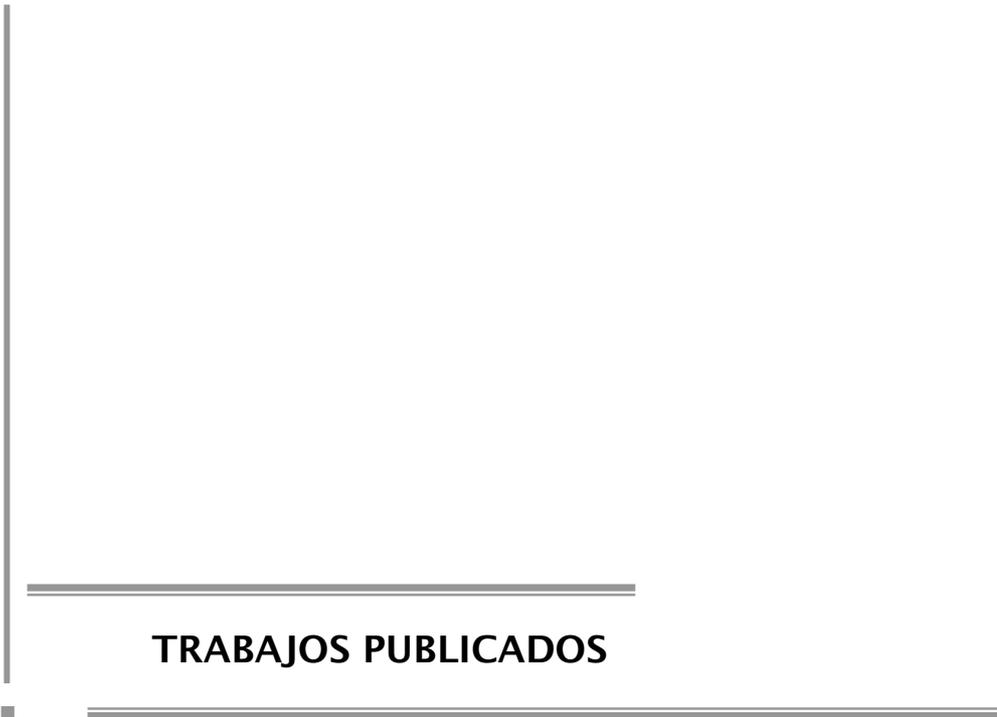
ATRIBUTO	MUESTRA	
	724	914
Claridad		
Intensidad de Color (Viveza)		
Firmeza		
Gomosidad		
Intensidad de Aroma (Sabor Típico)		
Muestra Preferida		

- *Claridad:* Claro u Oscuro
- *Intensidad de Color:* Viveza
- *Firmeza:* Grado de dureza que tiene un producto. Para el caso de las frutas, se habla de firmeza.
- *Gomosidad:* La dificultad que presenta un alimentos para ser destruido mediante la masticación. Ej. como las gominolas.
- *Intensidad de Aroma:* hace referencia a al sabor típico de la fruta y el grado en que es percibido.

Anexo 5. Suma de las puntuaciones (obtenido de las comparación pareada múltiple) de las muestras tratadas.

EXPERIENCIA 45-55						
TRATAMIENTO	CLARIDAD	INTENSIDAD COLOR	FIRMEZA	GOMOSIDAD	INTENSIDAD AROMA	PREFERIDAS
OD45	84	101	108	112	100	99
PVOD45	119	106	115	100	108	105
OD55	101	107	96	106	110	112
PVOD55	128	118	113	114	114	116

EXPERIENCIA 45-45 Ca⁺²						
TRATAMIENTO	CLARIDAD	INTENSIDAD COLOR	FIRMEZA	GOMOSIDAD	INTENSIDAD AROMA	PREFERIDAS
OD-45	94	111	111	110	108	110
PVOD-45	113	92	117	108	110	105
OD-45 Ca	105	119	100	114	105	107
PVOD-45 Ca	120	110	104	100	109	110



TRABAJOS PUBLICADOS

Influence of process conditions on mechanical properties of osmotically dehydrated mango

J.D. Torres, P. Talens, I. Escriche, A. Chiralt *

Department of Food Technology, Polytechnic University, P.O. Box 22012, 46071 Valencia, Spain

Received 3 December 2004; accepted 7 March 2005

Available online 26 April 2005

Abstract

The influence of osmotic treatments using 45° and 65° Brix sucrose containing calcium lactate at different levels (0%, 1% and 2%), applying or not a vacuum pulse at the beginning of the process, on the mechanical response of mango samples was studied. Mango samples were dehydrated till 30° Brix and were characterised as mechanical properties, sugar and calcium gain, water loss and changes in sample mass during treatments. Mechanical properties, measured through a compression test, were affected by treatment conditions. The influence of calcium on mechanical parameters was especially relevant at 2% in the osmotic solution, in treatments using 45° Brix sucrose and vacuum pulse, when calcium and solute gain were promoted. In this case, samples became notably stiffer, shorter and firmer. Calcium gain in the tissue partially explains the mechanical changes, but other factors such as concentration and structural profiles developed in the tissue also contribute to the mechanical pattern.

© 2005 Elsevier Ltd. All rights reserved.

Keywords: Osmotic dehydration; Mango; Mechanical properties; Calcium

1. Introduction

Mango is regarded as the queen of fruits in tropical areas of the world. The mango is native from southern Asia, especially Burma and eastern India. Commercial marketability requires 13% soluble solids.

The mango is commonly preserved in the dried form in Asia, but conventionally dried mangoes have an undesirable tough texture, poor colour and non-fresh flavour with a loss of nutritive value, which reduce its economic importance (Durance, Wang, & Meyer, 1999). There has been an increasing interest in osmotic dehydration (OD) of foods due to the low temperature (minimal heat damage) and energy requirements in addition to better retention of the initial nutritional and sensory characteristics in the final product

(Monsalve-Gonzalez, Barbosa-Canovask, & Cavallieri, 1993; Panagiotou, Karathanos, & Maroulis, 1999).

Osmotic dehydration of foods involves the immersion of fruit in concentrated solutions where both partial dehydration of the fruit and solid uptake are obtained. Mass transfer rates during OD depend on factors such as temperature, concentration of osmotic medium, size and geometry of the samples, sample to solution ratio, and degree of agitation of the solution (Barat, Fito, & Chiralt, 2001; Panagiotou et al., 1999; Rastogi & Raghavarao, 1994; Tedjo, Taiwo, Eshtiaghi, & Knorr, 2002).

In the osmotic processes, application of vacuum for a short period at the beginning of the process—pulsed vacuum osmotic dehydration (PVOD)—had beneficial effects on process kinetics and fruit quality in many fruits (Fito, 1994; Fito & Chiralt, 2000). Vacuum impregnation (VI) of a porous product consists of exchanging the internal gas or liquid occluded in open pores for an external liquid phase, due to the action of

* Corresponding author. Tel.: +34 963 879 146; fax: +34 963 877 369.
E-mail address: dchiralt@tal.upv.es (A. Chiralt).

hydrodynamic mechanisms (HDM) promoted by pressure changes (Fito et al., 2001; Fito & Pastor, 1994).

The physical and chemical changes that take place throughout the osmotic process provoke changes in macroscopic product properties, such as optical and mechanical properties, to differing degrees, depending on the process conditions and product characteristics (Torreggiani, 1995). These changes are directly related to the colour, appearance and texture of the product (Chiralt et al., 2001; Talens, Martínez-Navarrete, Fito, & Chiralt, 2002). It has been proven that osmotic pre-treatment improves the texture characteristics of thawed fruits and vegetables (Chiralt et al., 2001; Robbers, Singh, & Cunha, 1997; Talens et al., 2002; Torreggiani, 1995), decreases enzymatic browning (Conway, Castaigne, Picard, & Vovan, 1983) and reduces structural collapse and drip loss during thawing (Forni et al., 1990).

Different factors contribute to mechanical properties of plant tissue: cell turgor, cell bonding force through middle lamella, cell wall resistance to compression or tensile forces, density of cell packaging, sample size and shape, temperature and strain rate (Chiralt et al., 2001; Pitt, 1992; Vincent, 1994). The general pattern of plant tissue mechanical response, for fresh fruit, indicates an initially linear stress–strain relationship or elastic response till a critical deformation level. The straight-line slope gives the small-strain or initial modulus (Mohsenin, 1986). From a greater deformation level, as a consequence of sample fracture or failure, the stress decreases. This occurs at characteristic stress and strain values (σ_F and ϵ_{HF}), depending mainly on turgor pressure of the tissue and failure mode during compression.

Phenomena like water or native solute losses, penetration/diffusion of external solutes or solution and physiological cell alteration due to the occurrence of chemical and biochemical reactions, provoke changes in mechanical properties, to a different degree depending on the process conditions and product characteristics (Chiralt et al., 2001; Torreggiani, 1995). These changes are directly related to the texture of the product. The main changes induced by osmotic treatment affecting mechanical behaviour of plant tissues are loss of cell turgor, alteration of middle lamella (Alzamora, Gerschenson, Vidales, & Neto, 1997), alteration of cell wall resistance, establishment of water and solute concentration profiles, changes in air and liquid volume fractions in the samples and changes in sample size and shape (Chiralt et al., 2001). In this way, the expected changes in mechanical response provoked by osmotic processes will be a decrease in the stress–strain relationship, an increase in the ratio viscous-elastic character and changes in the failure mode. In this sense, the cell-debonding mode will be promoted instead of the cell rupture, with a notable increase in failure strain and a decrease in failure stress and initial modulus (Chiralt et al., 2001).

Ca fortification of fruit or vegetables, associated with osmotic treatments can improve mechanical properties of the tissue due to the fact that Ca^{+2} impregnated from the solution can interact with the plant cellular matrix, forming bonds between pectins and other cellular wall components, modifying its structural response (Gras, Vidal, Betoret, Chiralt, & Fito, 2003).

The aim of this work was to analyse the influence of the presence of calcium in the osmotic solution and process conditions (vacuum pulse application and osmotic solute concentration) on mechanical properties of mango osmotically dehydrated with sucrose solutions at mild temperature.

2. Materials and methods

2.1. Fresh material

Mango (Kent var.) fruits were purchased in a local market selected on the basis of a similar ripening degree. Two slices parallel to the stone were cut from each fruit and cylinders (1.5 cm height and 2 cm diameter) were taken with a core borer from these.

2.2. Sample treatments

Mango samples were submitted to osmotic dehydration treatments at 30 °C using 45° and 65° Brix sucrose solutions, with and without calcium lactate (1% and 2%): prepared by adding commercial sucrose to distilled water. Equipment with pressure and temperature control and osmotic solution recirculation was used for experiments. Osmotic dehydration was carried out at atmospheric pressure (OD) or by applying a vacuum pulse (10 min at 50 mbar) at the beginning of the process (PVOD) in order to promote the sample vacuum impregnation (VI) with the osmotic solution. (Fito & Chiralt, 1995). Therefore, 12 different treatments (45 OD, 45 PVOD, 65 OD and 65 PVOD with 0%, 1% and 2% calcium lactate) were considered. Samples were immersed in the osmotic solution for enough time to achieve about 30° Brix in the fruit liquid phase. Process times, shown in Table 1, were determined according to a previous kinetic study carried out under the same conditions (Giraldo, Talens, Fito, & Chiralt, 2003).

Raw material and all processed samples were analysed as to weight, moisture (by vacuum drying at 60 °C to constant weight), and soluble solid content (by measuring the refractive index with a refractometer ATAGO model NAR-3T, Japan), the calcium concentration as well as the mechanical properties as described below.

Calcium concentration was analysed in fresh and processed samples obtained from each treatment. In this sense, three cylinders were taken from each mango fruit

Table 1

Process time and composition changes of the samples in the different treatments [mass fraction of water (x_w) and soluble solids (x_s), liquid phase soluble solid content (z_s), weight (ΔM) and water loss (ΔM_w) and sugar gain (ΔM_s)]

Treatment	Process time (min)	x_w	x_s	z_s	ΔM	ΔM_s	ΔM_w
65 OD	152.5	0.69 ± 0.01	0.30 ± 0.01	30.07 ± 0.61	−0.353 ± 0.004	0.038 ± 0.008	−0.386 ± 0.008
65 OD + Ca ⁺² (1%)	182.5	0.70 ± 0.01	0.29 ± 0.01	29.60 ± 0.50	−0.329 ± 0.009	0.043 ± 0.008	−0.365 ± 0.006
65 OD + Ca ⁺² (2%)	242.5	0.70 ± 0.01	0.29 ± 0.01	29.50 ± 0.36	−0.308 ± 0.011	0.049 ± 0.007	−0.348 ± 0.006
45 OD	421.0	0.69 ± 0.01	0.31 ± 0.01	30.93 ± 0.40	−0.243 ± 0.021	0.076 ± 0.008	−0.307 ± 0.038
45 OD + Ca ⁺² (1%)	421.0	0.69 ± 0.01	0.29 ± 0.01	29.80 ± 0.75	−0.223 ± 0.031	0.073 ± 0.010	−0.285 ± 0.047
45 OD + Ca ⁺² (2%)	421.0	0.70 ± 0.01	0.29 ± 0.01	29.50 ± 0.30	−0.207 ± 0.014	0.075 ± 0.007	−0.272 ± 0.025
65 PVOD	171.5	0.68 ± 0.01	0.31 ± 0.01	30.93 ± 0.38	−0.343 ± 0.003	0.047 ± 0.005	−0.383 ± 0.004
65 PVOD + Ca ⁺² (1%)	201.5	0.69 ± 0.01	0.30 ± 0.01	30.37 ± 0.71	−0.319 ± 0.006	0.051 ± 0.005	−0.363 ± 0.009
65 PVOD + Ca ⁺² (2%)	261.5	0.69 ± 0.01	0.29 ± 0.01	29.83 ± 0.23	−0.273 ± 0.006	0.060 ± 0.005	−0.329 ± 0.007
45 PVOD	308.0	0.68 ± 0.01	0.30 ± 0.01	31.20 ± 0.17	−0.100 ± 0.038	0.113 ± 0.007	−0.212 ± 0.048
45 PVOD + Ca ⁺² (1%)	308.0	0.70 ± 0.01	0.29 ± 0.01	29.77 ± 1.25	−0.067 ± 0.046	0.113 ± 0.005	−0.175 ± 0.058
45 PVOD + Ca ⁺² (2%)	308.0	0.70 ± 0.01	0.29 ± 0.01	29.57 ± 0.50	−0.047 ± 0.027	0.116 ± 0.007	−0.161 ± 0.035

for each treatment which was repeated in samples coming from three different fruits. Calcium quantification was carried out by using the atomic absorption spectrophotometric AOAC method 975.03 (AOAC, 1997). Samples consisting of 1.5 g were ashed (500 °C, 14 h) and dissolved in HNO₃ (65%) before analysis in a Perkin Elmer 3110 atomic absorption spectrometer, under the following conditions: $\lambda = 422.7$ nm and air–acetylene flame.

2.3. Measurement of mechanical properties

Mechanical properties of fresh and dehydrated samples will be analysed through uniaxial compression test (strain rate 0.3 m/s) by using a universal test machine (TA.XT2 Texture Analyser, Stable Micro Systems, Haslemere, England). Mango dimensions were measured after treatment with callipers and the Henky strain and true stress were estimated from force-deformation data at each deformation time, by assuming constancy of sample volume during compression (Dobraszczyk & Vincent, 1999; Peleg, 1984). Twenty mango cylinders were obtained from each fruit, four of those were used for mechanical characterisation of fresh fruit and the other four groups of four cylinders were submitted to the different treatments.

3. Results and discussion

Fresh samples showed mass fraction of water and soluble solids of $x_w = 0.83 \pm 0.01$ and $x_s = 0.15 \pm 0.01$, respectively. Table 1 shows the mass fraction of water and soluble solids of processed mango samples achieved in each treatment. The mass fraction of soluble solids in the fruit liquid phase (water plus solutes) reached in the different treatments was approximately 0.301 ± 0.005 . In Table 1, it can be observed that this concentration is reached with different water loss (ΔM_w) and sugar gain (ΔM_s) levels, depending on the treatment. This is due

to the coupled action of different mass transport mechanisms (osmo-diffusional and hydrodynamic) to differing extents, in each case. Low viscosity (less concentrated) osmotic solutions and vacuum pulse favour the hydrodynamic gain of the osmotic solution in the tissue pores, thus reaching a determined overall concentration in the sample with smaller water (and weight) loss (Fito et al., 2001; Lazarides, Fito, Chiralt, Gekas, & Lenart, 1999). In this sense, the greatest weight loss was reached in the treatment carried out at atmospheric pressure using 65° Brix solution whereas the lowest value was obtained in PVOD treatment with 45° Brix solution.

In calcium fortification, the ion can interact with the fruit cellular matrix, modifying its VI response with the osmotic solution (Gras et al., 2003) and the ratio in which the different mass transport mechanisms act in the tissue due to the structural changes. In the treatments under consideration, mass loss was reduced in a determined kind of treatment when calcium concentration increases in the osmotic solution. This was associated with the enhancement of solid gain and the limitation of water loss for a determined overall concentration in the samples. Limitation of water loss could be due to the decrease in cell wall permeability because of the reinforcement of its polymeric structure by calcium bridges. This aspect implied an increase in process time when calcium concentration increased in 65° Brix osmotic solution, but did not affect process time when 45° Brix solution was used. Low osmotic solution concentration (45° Brix) implies a lower process driving force, and subsequently longer treatment times, which is associated with the development of flatter concentration profiles. This gives rise to a greater number of cell layers affected by the osmotic treatment at a determined overall concentration of the sample (Albors, Salvatori, Andrés, Chiralt, & Fito, 1998). In affected cells, membranes can be denatured and solute diffusion can be allowed through a wider zone in the sample, thus promoting a higher solute gain, as can be seen in Table 1.

Differences in mass transport and structural changes promoted in the tissue when different process conditions are applied can induce different mechanical behaviour of osmo-dehydrated samples. Fig. 1 shows the mean stress–strain curves for processed mango samples, in OD and PVOD treatments, for sucrose solutions with and without calcium, as compared with that obtained for fresh mango samples. From stress–strain curves the slope of the linear range at low deformation (E_d), the fracture point (σ_F and ε_{HF}) and the ratio $\sigma_F/\varepsilon_{HF}$ were characterised for fresh and processed samples. According to an ANOVA, homogenous values were obtained for fresh samples of the selected fruits, the mean values of the different parameters being $E_d = 344 \pm 72$ kPa; $\sigma_F = 58 \pm 15$ kPa; $\varepsilon_{HF} = 0.19 \pm 0.03$ and $\sigma_F/\varepsilon_{HF} = 316 \pm 55$ kPa.

Osmotic treatments provoked a decrease in the stress–strain relationship, decreasing the initial slope and fracture stress and increasing deformation at fracture. When calcium is present in the solution, the stress decrease is less marked, the effect being dependent on the kind of treatment.

Fig. 2 summarizes the values of mechanical parameters obtained for each treatment as a function of the calcium level present in the solution, where the different mechanical response induced by process conditions can be observed. The increase in calcium lactate concentration to 2% implied an increase in E_d , σ_F , and $\sigma_F/\varepsilon_{HF}$ to a different extent, depending on the kind of treatment,

which can be attributed to differences in calcium gain. The most intense effect was observed for PVOD treatment with 45° Brix solution. Deformation at fracture did not show clear tendencies as a function of calcium concentration or kind of treatment.

When 0% or 1% calcium lactate was used, no great differences between OD and PVOD treated samples were observed in terms of initial modulus, and parameters at break. Nevertheless, samples treated with 45° Brix solution appeared as more rigid (greater E_d) and resistant to fracture (greater σ_F , and $\sigma_F/\varepsilon_{HF}$). When 2% calcium lactate is present in the solution, the effect of vacuum pulse and osmotic solution concentration was observable; treatments with 45° Brix give rise to harder and more resistant samples, especially in PVOD treatments, whereas a negative effect of the vacuum pulse seems to be observed when 65° Brix solution is used. Differences in calcium gain and developed concentration and structural profile in the tissue and the mechanical effect of the vacuum pulse can explain the observed behaviour. Calcium level reached in the tissue was analysed to explain partially the observed differences. Table 2 shows the calcium concentration in fresh and processed samples and calcium gains (both referred per mass unit of fresh sample to make values comparable). Treatments with solution non-enriched in calcium implied losses of the cation of about 3–4 mg/g fresh samples. Previous studies about osmotic solution reuse, revealed the lixiviation of minerals and other water

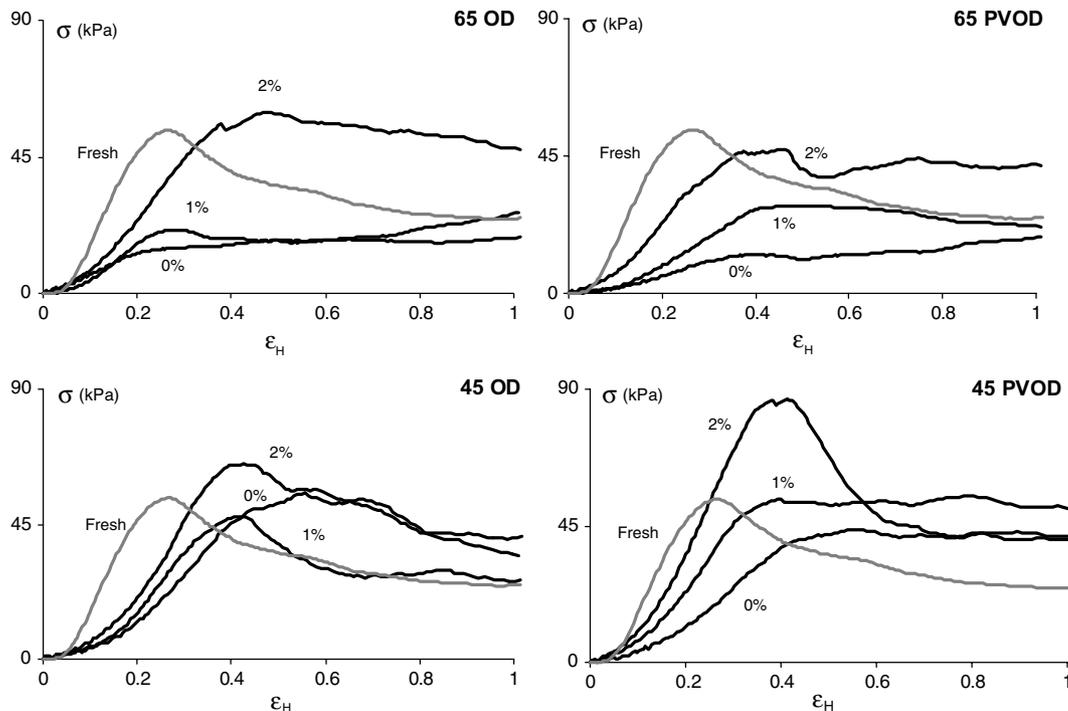


Fig. 1. Mean compression curves of fresh and dehydrated mango samples when treated (OD and PVOD processes) with 45° Brix and 65° Brix sucrose solutions containing different concentrations of calcium lactate.

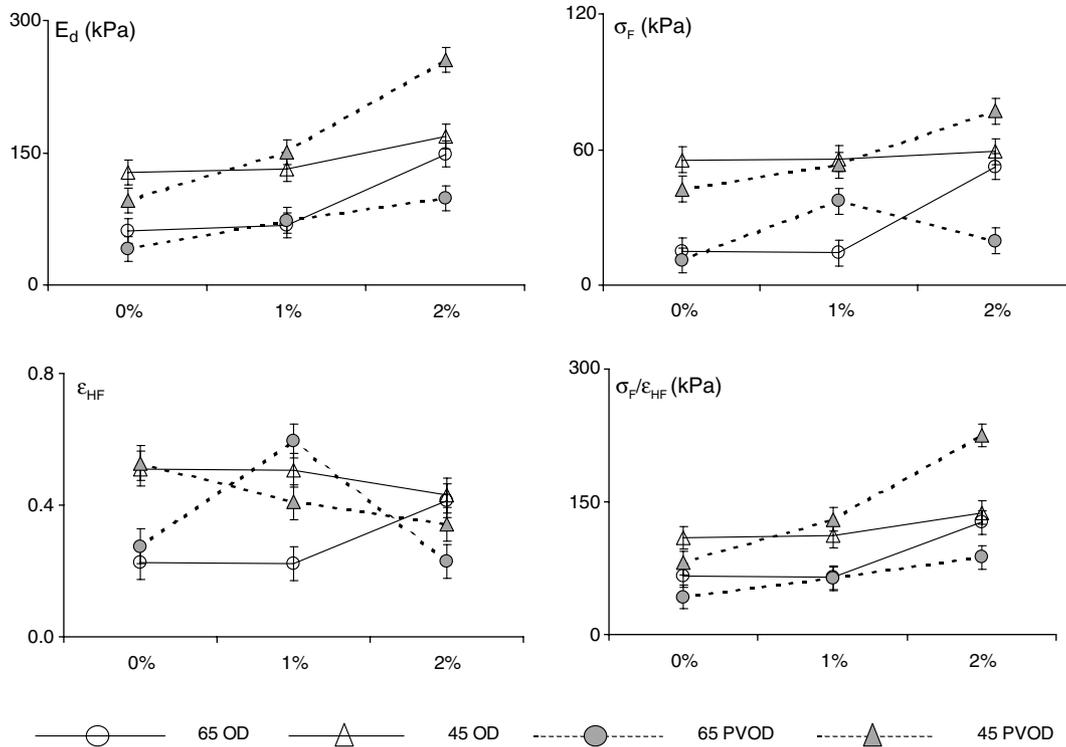


Fig. 2. Mean values and LSD intervals of mechanical parameters obtained for samples submitted to different treatments. Initial modulus (E_d); Henky strain (ϵ_{HF}) and true stress (σ_F), at failure; and ratio (σ_F/ϵ_{HF}).

Table 2
Calcium concentration and calcium gain in fresh and processed mango samples under different process conditions

Process	Concentration	
	ΔCa^{+2} mg/g fresh sample	Ca^{+2} mg/g fresh sample
Fresh	–	0.11 ± 0.01
65 OD + Ca 0%	-0.03 ± 0.01	0.08 ± 0.01
65 OD + Ca 1%	0.24 ± 0.03	0.35 ± 0.03
65 OD + Ca 2%	0.54 ± 0.06	0.65 ± 0.06
45 OD + Ca 0%	-0.04 ± 0.01	0.06 ± 0.01
45 OD + Ca 1%	0.39 ± 0.01	0.50 ± 0.01
45 OD + Ca 2%	0.60 ± 0.04	0.70 ± 0.04
65 PVOD + Ca 0%	-0.03 ± 0.02	0.08 ± 0.02
65 PVOD + Ca 1%	0.41 ± 0.04	0.52 ± 0.04
65 PVOD + Ca 2%	0.67 ± 0.08	0.77 ± 0.08
45 PVOD + Ca 0%	-0.04 ± 0.02	0.07 ± 0.02
45 PVOD + Ca 1%	0.56 ± 0.03	0.66 ± 0.03
45 PVOD + Ca 2%	1.00 ± 0.06	1.10 ± 0.07

soluble compounds from the fruit to the solution (García-Martínez, Martínez-Monzó, Camacho, & Martínez-Navarrete, 2002). The calcium gains increased when its concentration in the solution increased, especially in PVOD treatments; the gains being higher for 45° Brix osmotic solution. Vacuum pulse and low viscosity of the osmotic solution promote calcium gain as also occurs with the total soluble solids. Fig. 3 shows the mean calcium concentration (and LSD intervals)

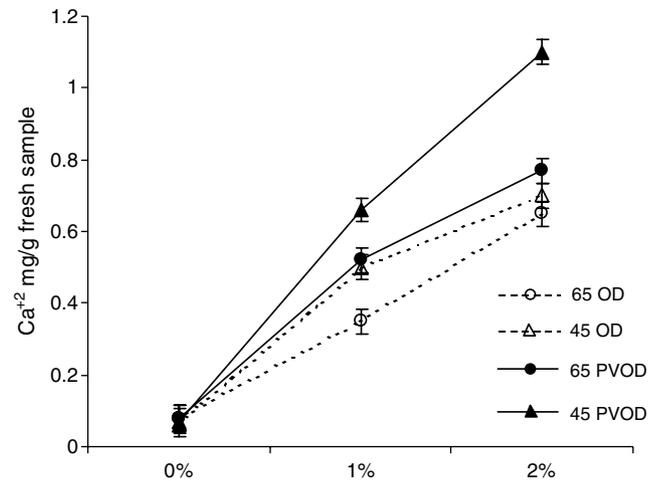


Fig. 3. Mean values and LSD intervals (95%), of calcium concentration of samples submitted to different treatments as a function of the calcium lactate level in the osmotic solution.

reached in the different treatments as a function of its concentration in the solution. The behaviour commented on above and similar pattern of OD 45° Brix and PVOD 65° Brix can be observed. The maximum calcium level was 1.10 mg/g fresh sample, reached in samples PVOD treated with 45° Brix solution with 2% calcium lactate.

The effect of calcium level in the tissue on mechanical behaviour has been analysed through a correlation

analysis. Table 3 shows the Pearson correlation coefficients and the significance level obtained for the analysed mechanical parameters and calcium concentration in the tissue. Parameters E_d , σ_F , and σ_F/ϵ_{HF} are significantly ($\alpha < 0.01$) correlated which indicates that only one of these can be used to characterise samples. Nevertheless, calcium concentration is closely correlated with E_d , and σ_F/ϵ_{HF} , thus indicating the role of the cation in sample firmness and hardness. Fig. 4 shows the plot of the sample initial modulus as a function of the calcium concentration in the tissue. Linear relationships between E_d and calcium level in the tissue could be observed for each treatment showing the different behaviour of the samples obtained in each case. This indicates that not only global concentration in the sample but also the different cation distribution reached in the tissue in the different treatments induces differences in mechanical behaviour and texture, in agreement with the different structural changes induced in each case. Firmness of the samples treated in PVOD-45 and OD 65 are more sensitive to the overall calcium level, than samples treated in OD-45 and PVOD 65, according to the greater slopes of the fitted straight-lines.

4. Conclusion

Mechanical properties of mango cylinders osmotically dehydrated till 30° Brix were affected by treatment conditions (solution concentration and application of vacuum pulse) and calcium lactate addition to the osmotic solution. The influence of calcium on mechanical parameters was especially relevant at 2% in the osmotic solution, in treatments using 45° Brix sucrose and vacuum pulse. In this case, samples became notably stiffer, shorter and firmer. Calcium gain in the tissue partially explains the mechanical changes, but other factors such as concentration and structural profiles developed in the tissue also contribute to the mechanical pattern. Low viscosity of the osmotic solution and vacuum pulse, promote solute and calcium gain thereby improving sample texture.

Acknowledgement

Authors thank Ministerio de Ciencia y Tecnología (AGL2001–3025 Project) for the financial support given to this research.

Table 3
Pearson correlation coefficients for calcium concentration (mg/g of raw material) and mechanical parameters (ϵ_{HF} Henky strain at failure; σ_F : true stress at failure; E_d : initial modulus, and ratio σ_F/ϵ_{HF})

	σ_F	E_d	Ratio σ_F/ϵ_{HF}	Ca ⁺² Concentration
ϵ_{HF}	0.581*	0.200	0.128	-0.047
σ_F	-	0.904**	0.87**	0.539
E_d	-	-	0.995**	0.752**
Ratio σ_F/ϵ_{HF}	-	-	-	0.750**

* Correlation is significant at 0.05 level.

** Correlation is significant at 0.01 level.

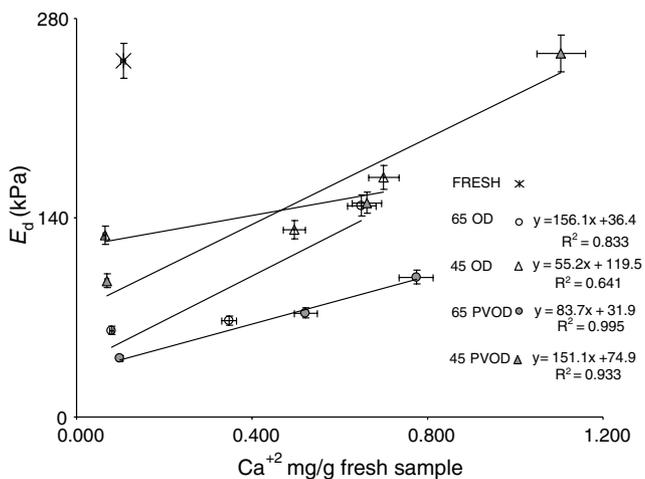


Fig. 4. Relationship between initial modulus E_d of treated mango samples and final calcium concentration in the tissue (equations of fitted straight-lines are given in the plot).

References

Albors, A., Salvatori, D., Andrés, A., Chiralt, A., & Fito, P. (1998). Influence of the osmotic solution concentration on the structural and compositional profiles in dehydrated apple tissue. In D. Marinos-Louris, G. D. Saravakos, & A. S. Mujundar (Eds.), *Proceedings of the 11th International Drying* (A(6), pp. 877–885). Thessaloniki: Ziti Editions.

Alzamora, S. M., Gerschenson, L. N., Vidales, S., & Neto, A. (1997). Structural changes in the minimal processing of fruits: some effects of blanching and sugar impregnation. In P. Fito, E. Ortega-Rodriguez, & G. V. Barbosa-Cánovas (Eds.), *Food Engineering (2000)* (pp. 117–140). New York: Chapman, Hall.

AOAC (1997). *Official methods of analysis*. Washington, DC: Association of Official Analytical chemist.

Barat, J. M., Fito, P., & Chiralt, A. (2001). Effect of osmotic solution concentration temperature and vacuum impregnation pretreatment on osmotic dehydration kinetics of apple slices. *Food Science and Technology International*, 5(7), 451–456.

Chiralt, A., Martínez-Navarrete, N., Martínez-Monzó, J., Talens, P., Moraga, G., Ayala, A., et al. (2001). Changes in mechanical properties throughout osmotic processes. Cryoprotectant effect. *Journal of Food Engineering*, 49, 129–135.

Conway, J., Castaigne, F., Picard, G., & Vovan, X. (1983). Mass transfer consideration in the osmotic dehydration of apples. *Canadian Institute Food Science Technology Journal*, 16, 25–29.

Dobraszczyk, B. J., & Vincent, J. F. V. (1999). Measurement of mechanical properties of food materials in relation to texture: the materials approach. In J. Rosenthal (Ed.), *Food texture. Measurement and perception* (pp. 99–147). Gaithersburg, Maryland: Aspen Publishers.

Durance, T. D., Wang, J. H., & Meyer, R. S. (1999). *Processing for drying mango and pineapples*. US Patent No. 5 962 057.

Fito, P. (1994). Modelling of vacuum osmotic dehydration of food. *Journal of Food Engineering*, 22(1–4), 313–328.

- Fito, P., & Chiralt, A. (1995). An update on vacuum osmotic dehydration. In G. V. Barbosa-Cánovas & J. Welti-Chanes (Eds.), *Food preservation by moisture control: Fundamentals and applications* (pp. 351–372). Lancaster: Technomic Publishing.
- Fito, P., & Chiralt, A. (2000). Vacuum impregnation of plant tissues. In S. M. Alzamora, M. S. Tapia, & A. Lopez-Malo (Eds.), *Design of minimal processing technologies for fruit and vegetables* (pp. 189–205). Maryland: Aspen Publishers Inc.
- Fito, P., Chiralt, A., Barat, J. M., Andrés, A., Martínez-Monzó, J., & Martínez-Navarrete, N. (2001). Vacuum impregnation for development of new dehydrated products. *Journal of Food Engineering*, 49, 297–302.
- Fito, P., & Pastor, R. (1994). Non-diffusional mechanism occurring during vacuum osmotic dehydration. *Journal of Food Engineering*, 21, 513–519.
- Forni, E., Torreggiani, K., Crivelli, G., Maestrelli, A., Bertolo, G., & Santelli, F. (1990). Influence of osmosis time on the quality of dehydrofrozen kiwi fruit. *Acta Horticulture*, 282, 425–434.
- García-Martínez, E., Martínez-Monzó, J., Camacho, M. M., & Martínez-Navarrete, N. (2002). Characterisation of reused osmotic solution as ingredient in new product formulation. *Food Research International*, 35, 307–313.
- Giraldo, G., Talens, P., Fito, P., & Chiralt, A. (2003). Influence of sucrose solution concentration on kinetics and yield during osmotic dehydration of mango. *Journal of Food Engineering*, 58(1), 33–43.
- Gras, M. L., Vidal, D., Betoret, N., Chiralt, A., & Fito, P. (2003). Calcium fortification of vegetables by vacuum impregnation interactions with cellular matrix. *Journal of Food Engineering*, 56, 9–284.
- Lazarides, H. N., Fito, P., Chiralt, A., Gekas, V., & Lenart, A. (1999). Advances in osmotic dehydration. In F. A. R. Oliveira & J. C. Oliveira (Eds.), *Processing foods: Quality optimization and process assessment* (pp. 175–199). CRC Press.
- Mohsenin, N. M. (1986). *Physical properties of plant and animal materials*. New York: Gordon and Breach, Science Publishers.
- Monsalve-Gonzalez, A., Barbosa-Canovask, G. V., & Cavallieri, P. R. (1993). Mass transfer and textural changes during processing of apples by combined methods. *Journal of Food Science*, 58(5), 1118–1124.
- Panagiotou, N. M., Karathanos, V. T., & Maroulis, Z. B. (1999). Effect of osmotic agent on osmotic dehydration of fruits. *Drying Technology*, 17(1–2), 175–189.
- Peleg, M. (1984). A note on the various strain measures at large compressive deformations. *Journal of Texture Studies*, 15, 317–326.
- Pitt, R. E. (1992). Viscoelastic properties of fruits and vegetables. In M. A. Rao & J. F. Steffe (Eds.), *Science viscoelastic properties of foods* (pp. 49–76). London: Elsevier Applied.
- Rastogi, N. K., & Ranghavarao, K. S. M. S. (1994). Effect of temperature and concentration on osmotic dehydration of coconut. *Lebensmittel und Technology*, 27, 564–567.
- Robbers, M., Singh, R. P., & Cunha, L. M. (1997). Osmotic-convective dehydrofreezing process for drying kiwifruit. *Journal of Food Science*, 62(5), 1039–1047.
- Talens, P., Martínez-Navarrete, N., Fito, P., & Chiralt, A. (2002). Changes in optical and mechanical properties during osmodehydrofreezing of kiwi fruit. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 3, 191–199.
- Tedjo, W., Taiwo, K. A., Eshtiaghi, M. N., & Knorr, D. (2002). Comparison of pretreatment methods on water and solid diffusion kinetics of osmotically dehydrated mangoes. *Journal of Food Engineering*, 53(2), 133–142.
- Torreggiani, D. (1995). Technological aspects of osmotic dehydration in foods. In G. V. Barbosa-Cánovas & J. Welti-Chanes (Eds.), *Food preservation by moisture control: Fundamentals and applications* (pp. 281–304). Lancaster: Technomic Pub. Co.
- Vincent, J. F. V. (1994). Texture of plants. In H. F. Linskens & J. F. Jackson (Eds.), *Vegetables and vegetable products* (pp. 57–72). Berlin: Springer.

Volatile profile of mango (*Mangifera indica* L.), as affected by osmotic dehydration

Juan Diego Torres ^a, Pau Talens ^a, José Miguel Carot ^b, Amparo Chiralt ^a, Isabel Escriche ^{a,*}

^a Institute of Food Engineering for Development, Food Technology Department, Polytechnic University of Valencia, P.O. Box 46022 Valencia, Spain

^b Department of Statistic, Polytechnic University of Valencia, Spain

Received 23 May 2005; received in revised form 3 January 2006; accepted 6 January 2006

Abstract

The effect of osmotic dehydration on the volatile fraction of mango fruit was studied. Osmotic treatments were carried out at atmospheric pressure (OD) and by applying a vacuum pulse (PVOD). Sucrose at 35, 45, 55 and 65 °Brix was used as osmotic solution until reaching 20 or 30 °Brix in the liquid phase of dehydrated mango. Volatile compounds of fresh and dehydrated samples were obtained by simultaneous distillation–extraction, and analyzed by GC–MS. In general, osmotic dehydration provoked changes in the concentration of analyzed compounds to different extents, depending on process conditions. The use of highly concentrated osmotic solutions, and the high level of sample osmodehydration, induced losses of volatiles with respect to the fresh samples. On the other hand, more heavily diluted solutions and shorter treatment times (lower osmodehydration level) could give rise to the enhancement of volatile production. In these cases, sample mass loss was reduced during treatment since sugar gain was promoted against water loss.

© 2006 Elsevier Ltd. All rights reserved.

Keywords: Mangoes; Osmotic dehydration; GC–MS; Volatile compounds; Minimally processed fruit

1. Introduction

Mango fruit is one of the most widely sold tropical fruits in Europe and its commercialization, as fresh cut fruit, is gaining importance in the market. However, fresh-cut fruits have a very short shelf life because of the difficulties in preserving their fresh-like quality (Soliva-Fortuny & Martín-Belloso, 2003). Minimally processed fruits are products that contain living tissues, which have suffered minor changes from their fresh state. Some studies have reported quality changes, which occurred in fresh cut products, such as physiological and physicochemical alterations (Watada, Ko, & Minott, 1996) and specifically in fresh cut mango (Beaulieu & Lea, 2003). Some basic operations of minimal processing, such as peeling and slicing, induce quality changes due to the lesions produced in the tissue (Brecht, 1995; Watada et al., 1996) which, among other

things, enhance enzyme activity (Yu & Yang, 1980) and provoke physiological changes (Balwin, Nisperos-Carriedo, & Beaker, 1995), thus giving rise to a reduction in the shelf life of minimally processed fruits when compared to the whole pieces.

An alternative for reducing the above-mentioned undesired changes could be the partial dehydration of the cut fruit by applying mild osmotic dehydration treatments, which slightly reduce the fruit water activity, thereby limiting the deteriorative process, especially in the more external cells, which dehydrate to a greater degree and can act as a barrier for the rest of the tissue (Tovar, Garcia, & Mata, 2001b).

Osmotic dehydration (OD) involves the immersion of fruit in concentrated sugar solutions, where both partial dehydration of the tissue and solid uptake take place. Mass transfer rates during OD depend on factors such as temperature, concentration of osmotic medium, size and geometry of the samples and degree of agitation of the solution. In the osmotic processes, application of vacuum for a short period at the beginning of the process (vacuum pulse

* Corresponding author. Tel.: +34 963879146; fax: +34 963877369.
E-mail address: iescrich@tal.upv.es (I. Escriche).

osmotic dehydration: PVOD) had beneficial effects on process kinetics and fruit quality in many fruits (Fito, 1994; Fito & Chiralt, 2000), affecting physical and transport properties of the plant tissue. The increase in process rate in PVOD allows us to work at a mild temperature, thus preserving product quality attributes. Osmotic solution (OS) concentration and viscosity greatly affect the product response to vacuum impregnation (VI) (Barat, Fito, & Chiralt, 2001; Cháfer, González-Martínez, Ortolá, Chiralt, & Fito, 2001) and the osmodehydration kinetics, as well as the internal ratio, water loss: sugar gain, in the product, that in turn has a great influence on product characteristics. The major sugar in mango is sucrose (Gil et al., 2000), and so, it is expected that the osmotic treatments using solutions of this sugar are those that alter the product sensory properties the least. The kinetics of mango osmodehydration using sucrose solutions, as a function of solution concentration and application of vacuum pulse have been studied by Giraldo, Talens, Fito, and Chiralt (2003). The effect of osmotic treatments on several properties of the tissue (enzymatic activity, respiration rate, ethylene production and organic acid evolution) has been reported by Tovar, Garcia, and Mata (2001a, 2001b). Nevertheless, no previous studies were found on the effect of osmotic treatments on mango volatile profile, as related to the fruit aroma.

The fruit flavour is an important quality factor that influences consumer acceptability and, for this reason, its study is relevant in the minimally processed food product. The volatile compounds that are involved in the fruit flavour are produced through metabolic pathways during ripening, harvest, post-harvest and storage, and depend on many factors related to the species, variety and type of technological treatments (Ibáñez, López-Sebastián, Ramos, Tabera, & Reglero, 1998). Mango aroma is mainly formed by a complex mixture of compounds, but some authors consider terpenes, especially 3-carene, as the most important aroma constituents, due to the high percentage in the volatile fraction (50–60%) (Andrade, Maia, & Zoghbi, 2000). The terpene hydrocarbons are considered to be important contributors to the flavour of Florida mango varieties, such as “Keitt”, “Kent” and “Tommy Atkins” (Malundo, Baldwin, Ware, & Shewfelt, 1997). Engel and Tressl (1983) identified the monoterpenes as an important class of volatiles contributing to the flavour of Florida, Brazilian and Venezuelan mango varieties, in contrast to Indian varieties, which have more oxygenated volatile compounds, such as esters, furanones, and lactones. The use of suitable technologies, such as osmotic dehydration at mild temperatures, permits the production of minimally processed food, to a great extent preserving the flavour and colour of fresh fruit (Heng, Guilbert, & Cuq, 1990).

In this paper, the influence of osmotic dehydration on the volatile profile of mango, concentrated up to 20 and 30 °Brix, was analyzed by considering the osmotic solution concentration and the application, or not, of a vacuum

pulse at the beginning of the process to promote sample degasifying and impregnation as process variables.

2. Materials and methods

2.1. Sample preparation

Mango (*Mangifera indica* L.) Kent var. fruits, selected on the basis of a similar ripening degree, were purchased in a local market. Two slices, parallel to the stone, were cut from each fruit and cylinders (1.5 cm height and 2.0 cm diameter) were taken with a core borer from these. Treatments were carried out on cylinders (10 for each treatment), coming from 10 different mangoes that were used for half the treatments. So, two batches, of 10 mangoes in each, were used for all the experiments. All samples were characterized as to moisture, soluble solids, water activity and volatile fraction.

2.2. Osmotic treatments

Mango samples were submitted to osmotic dehydration treatments, at 30 °C, using four sucrose concentrations: 35, 45, 55 and 65 °Brix, prepared by adding sucrose (commercial sugar) to distilled water. Equipment with pressure and temperature control, and osmotic solution (OS) recirculation (80 rpm) were used. Osmotic dehydration was carried out at normal pressure (OD) and by applying a vacuum pulse (PVOD) (10 min, 50 mbar) at the beginning of the process (Fito & Chiralt, 1995). The samples were immersed in the osmotic solution for long enough to reach 20 or 30 °Brix in the fruit liquid phase. Therefore, 16 different treatments were considered: OD 35-20, OD 35-30, OD 45-20, OD 45-30, OD 55-20, OD 55-30, OD 65-20; OD 65-30, PVOD 35-20, PVOD 35-30, PVOD 45-20, PVOD 45-30, PVOD 55-20, PVOD 55-30, PVOD 65-20 and PVOD 65-30. Mango batch 1 was used for treatments with 45 and 65 °Brix osmotic solutions and batch 2 for treatments with 35 and 55 °Brix osmotic solution. Process times, shown in Table 1, were determined according to a previous kinetic study carried out under the same conditions (Giraldo et al., 2003). Due to the large number of samples to be analyzed according to the experimental design, all samples were frozen and stored at –40 °C prior to analysis in sealed polyethylene plastic bags for no more than 2 days in order to provoke the minimum alterations in volatiles.

2.3. Analytical determinations

Processed samples were characterized as to mass and water loss and sugar gain during osmotic treatment. Likewise, fresh samples from each batch and all processed samples were analyzed, as well as to their volatile fraction, as described below.

Moisture content was determined by drying to constant weight at 60 °C (method 20.013 AOAC, 1980). Soluble sol-

Table 1

Process time and composition changes of the samples in the different treatments [mass fraction of water (x_w), soluble solids (x_s), and liquid phase soluble solid content (z_s), weight loss (ΔM) and water loss (ΔM_w) and sugar gain (ΔM_s)]

Treatment	Process time (min)	x_w	x_s	z_s	ΔM^a	ΔM_w^a (kg/kg)	ΔM_s^a (kg/kg)
FRESH 1 ^b		0.825 ± 0.002	0.156 ± 0.004	0.160 ± 0.004			
FRESH 2 ^c		0.823 ± 0.005	0.157 ± 0.001	0.153 ± 0.001			
OD 35-20	129	0.783 ± 0.001	0.200 ± 0.001	0.204 ± 0.001	-0.042 ± 0.001	-0.076 ± 0.001	0.035 ± 0.001
OD 45-20	29	0.774 ± 0.007	0.209 ± 0.005	0.204 ± 0.004	-0.104 ± 0.004	-0.129 ± 0.003	0.030 ± 0.005
OD 55-20	17	0.780 ± 0.002	0.204 ± 0.005	0.207 ± 0.004	-0.106 ± 0.001	-0.128 ± 0.001	0.025 ± 0.005
OD 65-20	1	0.766 ± 0.003	0.214 ± 0.002	0.208 ± 0.002	-0.151 ± 0.002	-0.172 ± 0.001	0.024 ± 0.002
PVOD 35-20	39	0.775 ± 0.008	0.204 ± 0.004	0.209 ± 0.005	0.073 ± 0.019	0.007 ± 0.023	0.062 ± 0.001
PVOD 45-20	3	0.787 ± 0.002	0.195 ± 0.001	0.190 ± 0.001	0.100 ± 0.001	0.042 ± 0.002	0.056 ± 0.002
PVOD 55-20	2	0.781 ± 0.004	0.201 ± 0.003	0.205 ± 0.004	-0.102 ± 0.001	-0.124 ± 0.002	0.024 ± 0.003
PVOD 65-20	2	0.792 ± 0.003	0.193 ± 0.001	0.189 ± 0.001	-0.099 ± 0.022	-0.110 ± 0.015	0.018 ± 0.005
OD 35-30	901	0.696 ± 0.007	0.293 ± 0.009	0.296 ± 0.008	-0.155 ± 0.001	-0.237 ± 0.006	0.091 ± 0.008
OD 45-30	347	0.681 ± 0.001	0.306 ± 0.001	0.300 ± 0.002	-0.253 ± 0.002	-0.314 ± 0.001	0.072 ± 0.001
OD 55-30	147	0.682 ± 0.003	0.305 ± 0.005	0.309 ± 0.004	-0.296 ± 0.001	-0.345 ± 0.001	0.058 ± 0.004
OD 65-30	224	0.679 ± 0.009	0.309 ± 0.009	0.303 ± 0.009	-0.344 ± 0.003	-0.377 ± 0.009	0.046 ± 0.005
PVOD 35-30	823	0.701 ± 0.002	0.284 ± 0.002	0.289 ± 0.002	-0.125 ± 0.002	-0.212 ± 0.004	0.092 ± 0.001
PVOD 45-30	300	0.703 ± 0.002	0.290 ± 0.001	0.286 ± 0.001	-0.175 ± 0.003	-0.243 ± 0.001	0.084 ± 0.001
PVOD 55-30	181	0.682 ± 0.005	0.300 ± 0.005	0.306 ± 0.005	-0.274 ± 0.002	-0.330 ± 0.003	0.061 ± 0.004
PVOD 65-30	148	0.671 ± 0.003	0.314 ± 0.001	0.307 ± 0.001	-0.335 ± 0.001	-0.377 ± 0.001	0.052 ± 0.001

OD: osmotic dehydration at atmospheric pressure; PVOD: pulsed vacuum osmotic dehydration; 65, 55, 45 and 35 correspond to °Brix of the osmotic solution; 20 and 30 correspond to °Brix of the sample liquid phase.

^a (kg/kg of initial sample).

^b Used for treatments with 35 and 55 °Brix osmotic solutions.

^c Used for treatments with 45 and 65 °Brix osmotic solutions.

ids were measured in samples, previously homogenized, using a refractometer (ATAGO model NAR-3T) at 20 °C.

2.4. Isolation and analysis of volatile compounds

Volatile components of fresh and processed mango samples were isolated by using a combined simultaneous distillation–extraction (SDE) technique with pentane as solvent (Godefroot, Sandra, & Verzele, 1981), in a J&W Simultaneous Steam Distillation–Extraction Apparatus obtained from Fisher Scientific UK™ Ltd (Loughborough, Leics. England), by using the methodology described in a previous paper (Escriche, Chiralt, Moreno, & Serra, 2000; Talens, Escriche, Martinez-Navarrete, & Chiralt, 2003). Despite the fact that some authors reported artifacts when boiling took place for several hours (Werkhoff, Güntert, Krammer, Sommer, & Kaulen, 1998), this problem has probably been minimized by shortening the boiling time and using smaller amounts of sample. In fact, this technique (SDE) has been used in recent works to analyse volatile compounds in mango (Andrade et al., 2000), strawberry (Zabetakis, Koulentianos, Orruño, & Boyes, 2000) and papaya (Almora et al., 2004). In each analysis, 70 ml of bi-distilled water, 35 g of sample, previously homogenized using an Ultra-Turrax macerator T 25 model, and 100 µl of camphor (internal standard) at 200 µg/l for fresh samples and 75 µl of the same standard for processed samples, were put into a 500 ml round-bottomed flask. The flask was held in an ultrasonic bath for 2 min to totally disintegrate the sample and was then introduced into the extraction equipment oil bath and heated until boiling at around 100 °C. The 50 ml heart flask con-

taining 3 ml of pentane was put into a water bath at 40 °C. The steam of both flasks was condensed in the common refrigerated “U-tube” of the equipment. After 30 min of distillation, the content of the U-tube was collected in an airtight sealed tube and frozen at -18 °C to facilitate the separation of the organic fraction (which is liquid and has lower density at -18 °C) where aromatic compounds were dissolved. This organic phase was concentrated, under nitrogen stream, up to a final volume of approximately 50 µl. The analysis was conducted on a GC–MS Finnigan TRACE™ MS (TeramoQuest, Austin, USA) chromatograph (Norwalk, CT, USA) with a fused silica capillary column (DB-5, 30 m; 0.32 mm i.d.; J&W Scientific, Cromlab, Spain). The oven temperature was programmed from 40 °C to 60 °C at a ramp rate of 2 °C/min; afterwards this was increased to 260 °C, at a ramp rate of 4 °C/min, and the final holding time was 2 min (Andrade et al., 2000). Helium was used as a carrier gas at a constant flow rate of 2 ml/min. A 5 µl extract was injected with a split ratio of 1:16. The MS fragmentation was performed by electronic impact EI⁺ at 70 eV, and scan mode was between 35 and 450 mass units; the scan rate was 2.5 scans/s.

Compounds were identified by comparing their mass spectra with those of the NIST library. Another confirmation was obtained by determining their relative retention indices, using *n*-alkanes, and comparing them to those reported in the literature (Kondjoyan & Berdagué, 1996). The identity of some selected compounds was further verified by comparing their mass spectra and retention time with those obtained for authentic standard compounds. In order to correct any losses that could occur during

analytical process, quantification of compounds was carried out using the internal standard method (camphor). Precision of the SDE extraction (and subsequent analysis) was determined by the average variation coefficient of the within-day and between-day variations of samples. The accuracy of the method was assessed by adding a known concentration of all the previously identified standards to the sample during the initial preparation. The overall recovery of all standards varied between 90% and 92% for all compounds.

A minimum of two extracts was obtained for each sample, both fresh and processed mangoes, and each extract was analyzed in triplicate. All reagents were of analytical grade. Standard compounds for defining GC Kovat's indices and mass spectra were purchased from Sigma–Aldrich S.A. (Madrid, Spain).

2.5. Statistical analysis

The data were analysed by use of multivariate techniques, applying the software Unscrambler version 9.2 (CAMO Process AS, Oslo, Norway). The variables were weighted with the inverse of the standard deviation of all objects in order to compensate for the different scales of the variables (Martens & Martens, 2001).

Partial least square regression, PLSR2, (Martens & Næs, 1989) was applied to describe the relationships among the volatile compounds and compositional variables. In addition, this procedure is useful for each treatment volatile profile determination and the evaluation of resemblances and differences among processes. In this analysis, mass loss and water content loss values have been taken as absolute values in order to simplify the comprehension of the model prediction.

3. Results and discussion

3.1. Physicochemical changes induced by osmotic treatments

Table 1 shows the mass fraction of water (x_w) and soluble solids (x_s) of processed mango samples reached in each treatment. Fresh samples showed $x_w = 0.824 \pm 0.003$ and $x_s = 0.156 \pm 0.003$. The mass fraction of soluble solids in the fruit liquid phase (water plus solutes) reached in the different treatments was 0.200 ± 0.003 and 0.300 ± 0.004 , respectively for each sample group, according to the experimental design. In Table 1, it can be observed that this concentration is reached with different water loss (ΔM_w) and sugar gain (ΔM_s) levels (defined according to Fito & Chiralt (1997), per kilograms of fresh fruit), depending on the process conditions. As expected, mass loss of the samples (as a result of the balance of water loss and solute gain) increased as the fruit concentration level increased but, for each level, the values ranged widely, depending on the osmotic solution concentration and the application, or not, of vacuum pulse. In both, OD and PVOD processes, mass loss increased when OS concentration increased and

the vacuum pulse implied a reduction of mass loss; the more diluted the OS, the greater was the reduction and, even in samples treated with 35 and 45 °Brix OS, concentrated to 20 °Brix, a positive mass gain was observed.

This can be explained by the coupled action of different mass transport mechanisms (osmo-diffusional and hydrodynamic), which occurs to a different extent, in each case. Low viscosity (less concentrated), osmotic solutions and vacuum pulse favour the hydrodynamic gain of the osmotic solution in the tissue pores, which allows us to obtain a determined overall concentration in the sample with smaller water (and weight) loss (Fito, Chiralt, Barat, & Martinez-Monzó, 2002; Lazarides, Fito, Chiralt, Gekas, & Lenart, 1999). The sample impregnation with the osmotic solution, promoted by vacuum pulse, is also favoured when solution viscosity is low, in comparison with sample volume compression (coupled to impregnation) that prevails when the solution has high viscosity (Chiralt et al., 1999). Likewise, low osmotic solution concentration implies a smaller process driving force and the subsequent longer treatment times when sample capillary impregnation is promoted.

Concentration profiles developed in sample tissue will also be dependent on process conditions. The lowest OS concentration induces a flatter water distribution profile in the tissue, at a determined overall concentration of the sample, than highly concentrated solutions. Although there are a greater number of cell layers affected by the osmotic treatment, the changes provoked in them are less intense than when highly concentrated osmotic solutions are used. In affected cells, membranes can be denatured and solute diffusion allowed through a wider zone in the sample, thus promoting the net solute gain (Talens et al., 2003). Concentration profiles in PVOD samples will be flatter than in the corresponding OD ones, since the disturbance front in the tissue is in a more internal location due to the promoted action of hydrodynamic mechanisms and sample impregnation (Fito et al., 2002).

3.2. Changes in volatile profile

Fifty volatile compounds were identified in all samples. Due to the fact that samples were frozen stored before volatile fraction analysis, a previous evaluation of possible losses of volatile compounds due to freezing was carried out by comparing relative areas (to internal standard) of fresh and fresh-frozen samples (Table 2). Scant effect of frozen storage conditions could be observed, since the losses of volatiles were in the range of 7%.

To analyze the changes induced by treatments in volatile profile, just 10 of the most representative compounds found in Florida mango varieties (Andrade et al., 2000; Engel & Tressl, 1983; Malundo et al., 1997) were quantified in all samples: heptanal, benzaldehyde, nonanal, α -pinene, camphene, β -myrcene, α -phelandrene, 3-carene, limonene, α -linalool. Table 3 shows concentration values ($\mu\text{g/g}$) for fresh samples in the two batches used in this study. Variability of fresh fruit, in terms of quantified com-

Table 2
Identified compounds in fresh mango before and after freezing at -40°C for 48h, and relative area to internal standard in both cases

Compound	Kovat's indices	Relative area		Compound	Kovat's indices	Relative area	
		Fresh	Frozen			Fresh	Frozen
Heptanal	886.1	0.271	0.247	Cinnamic acid-3-phenyl-ethyl ester	1418.3	0.217	0.200
α -Pinene	916.5	0.140	0.132	Germacrene D	1422.9	0.176	0.164
Camphene	928.4	0.046	0.042	Caryophyllene	1426.6	0.076	0.067
Benzaldehyde	937.5	0.088	0.080	α -Lanone	1428.9	0.113	0.105
Myrcene	973.8	0.226	0.212	Ledene	1438.2	0.044	0.040
α -Phellandrene	983.3	0.170	0.160	Phenol-2,4-di- <i>tert</i> -butyl	1459.8	0.227	0.214
3-Carene	988.9	6.814	6.752	Lauric anhydride	1512.7	0.086	0.079
α -Terpinen	980.6	0.041	0.037	Benzoic acid 4-(dimethylamino) ethyl ester	1638.3	0.533	0.521
Limonene	1008.4	0.260	0.249	Tetradecanal (myristaldehyde)	1650.0	0.857	0.823
τ -Terpinene	1022.5	0.066	0.060	Tetradecanoic acid (myristic acid)	1703.6	0.020	0.016
Octanal	1038.0	0.103	0.095	Tetranic acid ethyl ester	1735.1	0.226	0.214
Cyclohexene	1052.0	0.480	0.470	Isopropyl myristate	1768.5	0.134	0.121
α -Linalool	1090.5	0.069	0.065	Hexadecanoic acid methyl ester	–	3.00	2.92
Nonanal	1090.5	0.540	0.495	9-Hexadecanoic acid	–	1.69	1.59
2,6-Nonadienal	1113.4	0.129	0.120	<i>n</i> -Hexadecanoic acid	–	0.039	0.036
2-Nonenal	1119.8	0.335	0.326	Hexadecanoic acid ethyl ester	–	0.780	0.720
Decanal	1160.9	0.229	0.219	Isopropyl palmitate	–	0.208	0.196
Benzothiazole	1166.8	0.155	0.152	Oleic acid methyl ester	–	3.386	3.312
Phenol- <i>m-tert</i> -butyl	1221.0	0.091	0.086	Hexadecadienoic acid methyl ester	–	0.374	0.357
2-Methoxy-4-vinylphenol	1228.9	0.020	0.016	Nonanoic acid-9-(<i>o</i> -propylphenyl) methyl ester	–	0.202	0.191
Docosane	1238.9	0.023	0.018	Stearic acid	–	0.253	0.244
Copaene	1260.1	0.099	0.090	Octadecanoic acid ethyl ester	–	0.270	0.260
α -Cubene	1260.4	0.029	0.025	Acetic acid octadietyl ester	–	0.063	0.051
α -Damascenone	1264.9	0.636	0.592	Squalene	–	0.220	0.207
α -Caryophyllene	1281.4	1.656	1.57				

Table 3
Volatile compounds quantified ($\mu\text{g/g}$ raw sample) in fresh mango batches

Compounds	Concentration $\mu\text{g/g}$ raw sample			α
	Batch 1	Batch 2	Mean	
<i>Aldehydes</i>				
Heptanal	0.019 \pm 0.000	0.034 \pm 0.001	0.027 \pm 0.009	*
Benzaldehyde	0.008 \pm 0.001	0.007 \pm 0.001	0.008 \pm 0.001	n.s.
Nonanal	0.053 \pm 0.002	0.035 \pm 0.002	0.044 \pm 0.010	*
<i>Terpenes</i>				
α -Pinene	0.011 \pm 0.001	0.009 \pm 0.000	0.010 \pm 0.001	n.s.
Camphene	0.002 \pm 0.000	0.003 \pm 0.000	0.002 \pm 0.001	*
β -Myrcene	0.013 \pm 0.001	0.020 \pm 0.003	0.017 \pm 0.004	n.s.
α -Phellandrene	0.006 \pm 0.001	0.010 \pm 0.002	0.008 \pm 0.002	n.s.
3-Carene	0.300 \pm 0.060	0.500 \pm 0.050	0.401 \pm 0.130	n.s.
Limonene	0.011 \pm 0.002	0.016 \pm 0.003	0.013 \pm 0.004	n.s.
<i>Monoterpenic alcohol</i>				
α -Linalool	0.009 \pm 0.001	0.005 \pm 0.001	0.007 \pm 0.003	*

n.s., not significantly different.

* $\alpha < 0.05$.

pounds, was very low, as reflected by the ANOVA carried out for each volatile component by considering the batch factor. Although four (heptanal, nonanal, camphene and α -linalool) of the 10 compounds showed statistically significant differences (at 95% confidence level), these were reasonably small. As also stated by other studies on mango volatiles (Andrade et al., 2000; Idsteim & Schreier, 1985; MacLeod & Gonzalez, 1982; MacLeod & Pieris, 1984), the highest concentration among the identified compounds was shown by 3-carene ($0.40 \pm 0.13 \mu\text{g/g}$ fresh fruit); this

concentration represented 74.7% of the total quantified volatiles. The others fluctuated between 0.002 and $0.044 \mu\text{g/g}$ fresh fruit, obtained for camphene and nonanal, respectively (see Table 3).

The effect of osmotic treatment on the volatile profile of mango was evaluated through the concentration changes induced by the treatment in each compound. In this sense, for each compound, the mean value of fresh sample concentration (C_0) was subtracted from the value of processed samples (C) ($[C - C_0]$, for each replicate), both C and C_0 being expressed as $\mu\text{g/g}$ fresh sample.

Fig. 1 shows the concentration changes ($\mu\text{g/g}$ fresh sample) induced by osmotic treatments for all quantified components. Osmotic treatments promoted changes in the volatile profile of mango, as are reported in previous works for strawberry (Escriche et al., 2000) and kiwi (Talens et al., 2003).

In general, when samples were osmodehydrated to 30 °Brix, a decrease in the volatile concentration was observed, especially in PVOD processed samples, 3-carene and nonanal being the most affected compounds. Nevertheless, in 20 °Brix samples, an increase in some volatiles was observed, due to the osmotic treatment. In these cases, treatments carried out using 45 °Brix solution involved the lowest changes in volatile profile. When 65 °Brix sucrose was used, the greatest losses of volatile compounds occurred in all cases. Treatments PVOD 35-20 and OD 55-20 gave the greatest increases in volatiles (in 9 of the 10 quantified compounds, there is an increase in concentration).

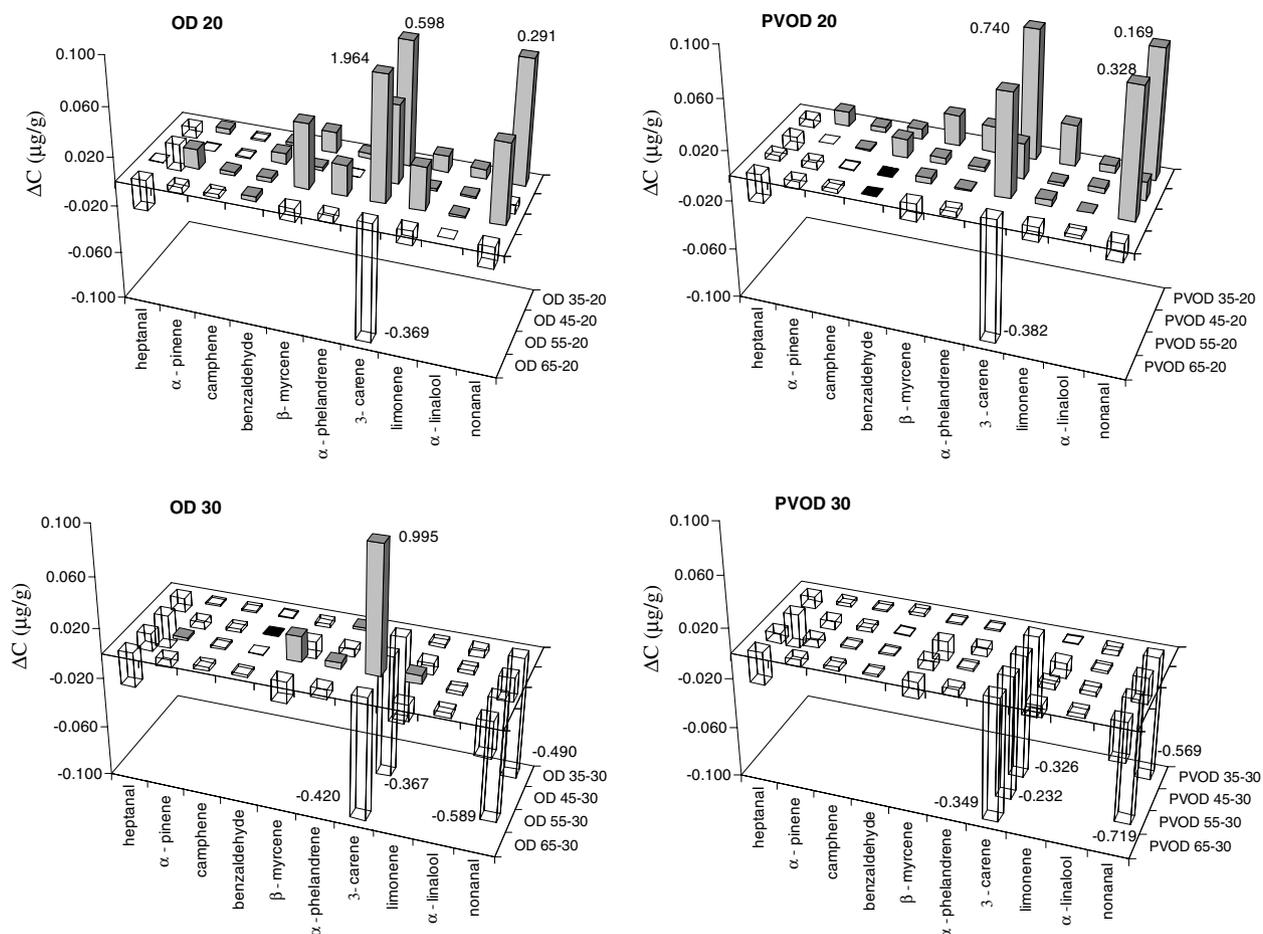


Fig. 1. Change of concentration ($\Delta C = C - C_0$) in the major mango fruit volatile compounds ($\mu\text{g/g}$ raw sample) due to the osmotic treatments. (C_0) mean value of fresh sample concentration. (C) mean value of processed samples concentration. White bars represent negative values and dark bars positive values. Concentration for 3-carene and nonanal were specified to adapt the y-scale to the rest of the values.

Fig. 2 shows the effect of osmotic solution concentration, vacuum pulse and sample dehydration level on the changes in concentration of different quantified compounds. As far as the effect of treatments on the different compound families is concerned, a similar pattern was observed for the analyzed terpenic compounds of mango (α -pinene, camphene, β -myrcene, α -phelandrene, 3-carene and limonene). The maximum levels of terpenes are generated in samples of 20 °Brix treated at atmospheric pressure with 55 °Brix sucrose. Nevertheless, no general pattern was observed for the different identified aldehydes. The behaviour of benzaldehyde, which is considered a key compound in the fruit fragrance (Ibáñez et al., 1998), shows that treatments carried out using 45 °Brix enhance its formation when samples reached 20 °Brix.

After the individual behaviour of each compound was studied, a multivariate analysis (PLS2 regression) was done, with the purpose of describing the volatile fraction behaviour as related to both, the compositional variables and the applied treatments.

Fig. 3 shows the PCA biplot obtained considering the complete series of determined compounds in the volatile profile (in both fresh and treated samples) and the different

treatments. It was found that two principal components (PCs) explained 81% of the variations in the data set. The PC1 explains 67% of the variability, and PC2 explains the 14%. In this plot, the nearness between treatments indicates a similar behaviour of the sample aromatic profile after the process and the proximity among compounds means the degree of correlation between their changes in concentration during treatments (similar change pattern). All compounds are located on the right semi-plan in the plot. The location of treatments on the plot generates two groups, clearly differentiated: those that are located on the right side, which correspond to the conditions that lead to the highest volatile concentration, and those that are located on the left side which lead to lowest volatile concentrations. In this last group, a great proximity of treatments can be observed where samples were concentrated to 30 °Brix (except OD 55-30) and those where 65 °Brix osmotic solutions were used. This suggests a very similar impact of these treatments, that leads to a loss of volatile compounds, as related to fresh samples. The first group includes all treatments where 20 °Brix was reached in the samples, except those carried out with 65 °Brix solution. Treatments PVOD 45-20 and PVOD 55-20 are very

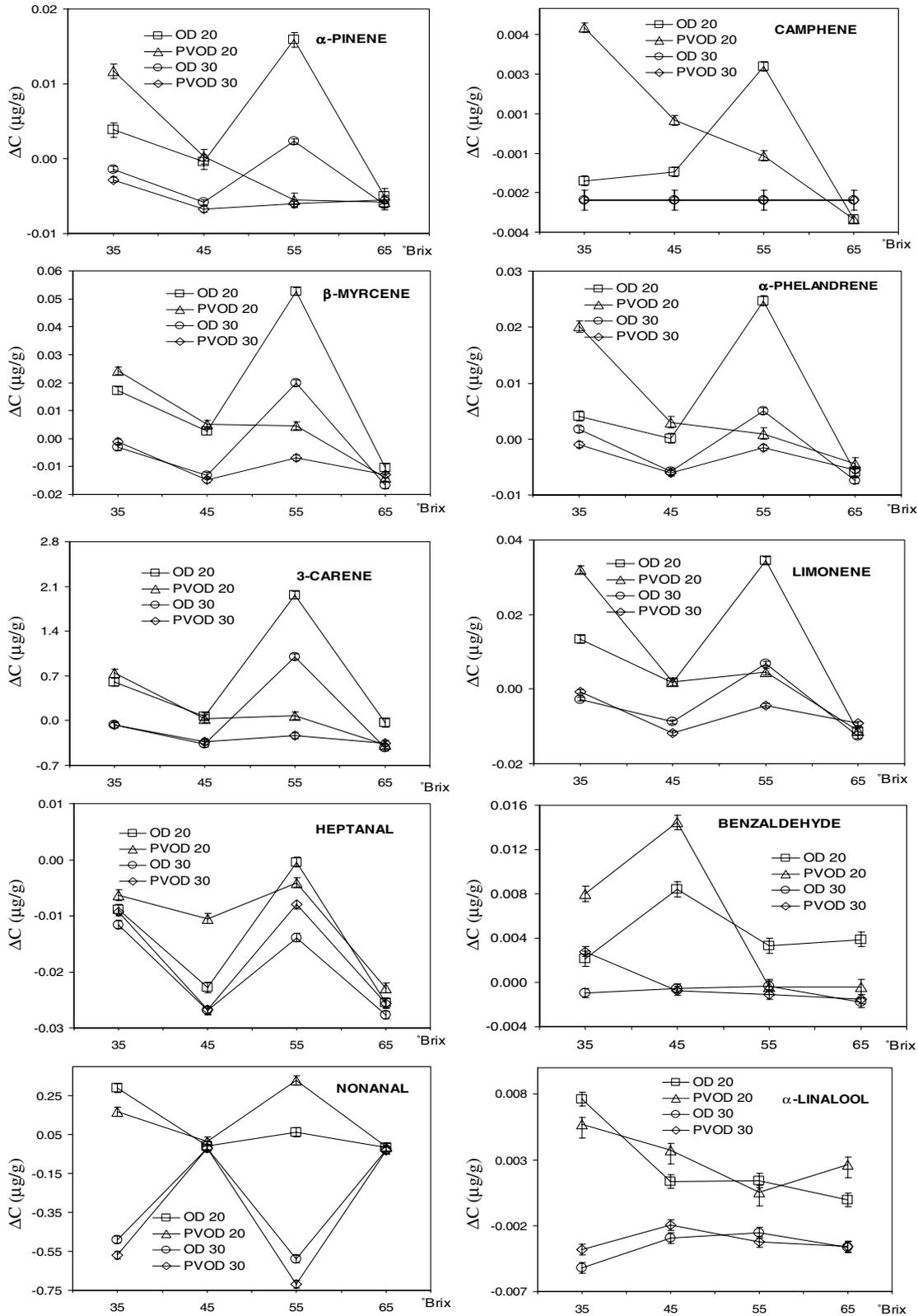


Fig. 2. Mean values and LSD intervals (95%) for difference of concentration of quantified compounds between osmodehydrated and fresh samples.

near to the fresh sample in the plot, in agreement with the fact that very similar volatile profiles was obtained in these cases. On the other hand, treatments OD 55-20 and PVOD 35-20 were those that showed a major volatile production.

According to the compound distribution along the second axis, a great separation between the major terpenic compounds (except camphene) and heptanal can be observed, thus indicating the different behaviour of both

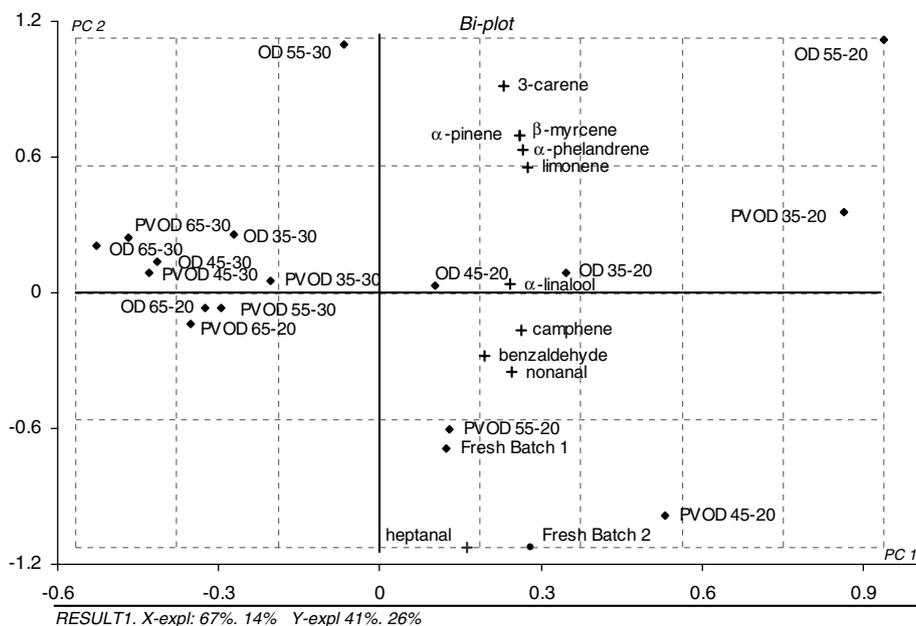


Fig. 3. Biplot for the treatments and volatile compounds (PC1 and PC2) obtained by means of the PLS2 analysis. Processes are identified by a black rhombus and compounds by a black cross.

compound groups. Heptanal, as a representative short chain aldehyde, characteristic of fresh fruits (Pfannhauser, 1988; Talens et al., 2003), is very close to fresh samples and samples treated in PVOD 45-20 and PVOD 55-20, which correspond to the process conditions that cause less alteration to the volatile profile of the samples. The proximity on the plot of terpenic compounds and treatments OD 55-20 and PVOD 35-20, indicates that these treatments facilitated the generation of these volatile compounds.

Fig. 4 shows the correlation loading plot for volatile concentration variables and those related to compositional changes in the samples (mass fraction of water (x_w) and soluble solids (x_s), liquid phase soluble solid content (z_s), weight loss (ΔM) and water loss (ΔM_w) and sugar gain

(ΔM_s)). All compositional variables, except ΔM_s , showed significant correlations among the volatile compounds, as they are located between the two drawn ellipses. An increase of x_s , z_s , ΔM and ΔM_w variables is related to a decrease in all volatile compounds. However, an increase of x_w is associated with a development of all compounds, especially heptanal. This means that an increase in the concentration of sugar in samples implied greater losses of volatiles, especially heptanal.

The individual effect of process conditions (vacuum pulse, osmotic solution concentration and final sample concentration level) on final volatile profile is not clear, but there are interactions among them. Soluble solid concentrations of the samples seem to affect the volatile profile

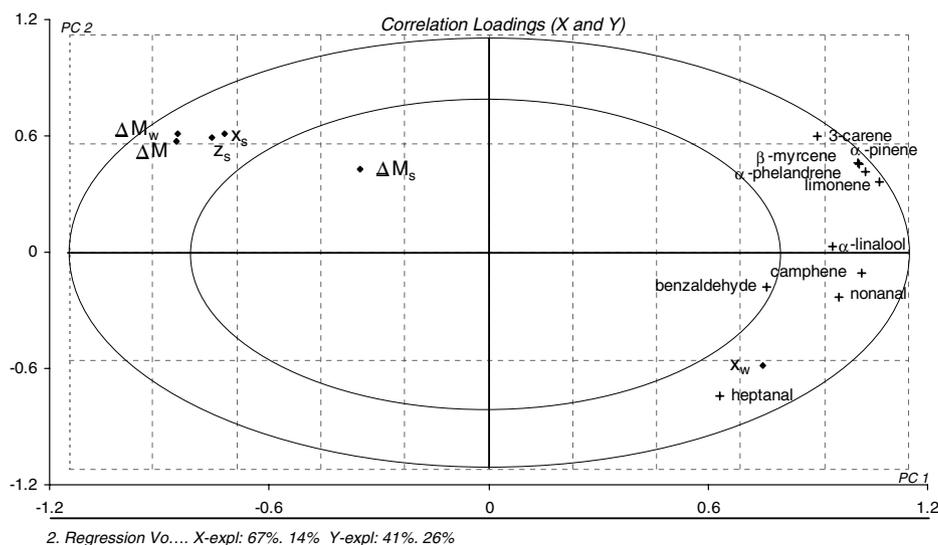


Fig. 4. Correlation loading plot (X and Y) for sample compositional variables and volatile compounds obtained by means of the PLS2 analysis.

more clearly. In this sense, a reduction of volatile concentration is induced when samples are more heavily osmodehydrated. Nevertheless, treatments with the most concentrated solution (65 °Brix) also lead to a great volatile concentration reduction, regardless of final Brix level reached in the samples.

The described behaviours could be the result of different phenomena responsible for changes in volatiles. These can occur due to lixiviation (diffusion from samples to the osmotic solution) and degradation–formation reactions, which take place in the tissue associated with cellular stress induced by the treatments. As far as lixiviation phenomena are concerned, treatment time has a great impact since longer treatments imply higher diffusion levels. Nevertheless, the degree of cellular alteration is also responsible for the physiological changes, depending on the process conditions. In this sense, different profiles and cellular alteration may be expected as a function of process variables (Albors, Salvatori, Andrés, Chiralt, & Fito, 1998; Salvatori, Albors, Andrés, Chiralt, & Fito, 1998). Osmotic stress, among other stress factors, promotes generation of volatile compounds in plant tissue, responsible for the fruit aroma by enzymatic action (Zabetakis & Holden, 1997). Previous studies have proved the role of enzymes in volatile development of strawberry when submitted to the osmotic process (Escriche et al., 2000).

Treatments carried out with highly concentrated solutions give rise to a clear solid concentration profile in the samples, which is associated with the degree of cellular alteration. On the other hand, diluted osmotic solutions induce flatter concentration profiles, where more cells are affected/alterated, although less intensely. The application of vacuum pulse implies modifications in sample concentration profile since the osmotic solution penetrates deeply into the tissue, at the same time as the gases in the intercellular spaces are eliminated to a great extent, which may also affect biochemical pathways in stressed cells. On the other hand, the greater the overall sample concentration, the higher is the number of cells involved in the tissue changes. The number of altered cells and the degree of alteration will have a direct impact on the biochemical changes recorded through volatile analysis.

4. Conclusions

The volatile profile of mango was clearly affected by process conditions in osmotic treatments. In general, the use of highly concentrated osmotic solutions and the high level of sample osmodehydration induced losses of volatiles with respect to the fresh samples. On the other hand, more diluted solutions and shorter treatment times (lower osmodehydration level) can give rise to the enhancement of volatile production, which could be positive for the fruit aroma perception. Furthermore, in these cases, sample mass loss is reduced during treatment since sugar gain is promoted against water loss.

Acknowledgement

Authors thank Ministerio de Ciencia y Tecnología (AGL2001-3025 Project) for the financial support given to this research.

References

- Albors, A., Salvatori, D., Andrés, A., Chiralt, A., & Fito, P. (1998). Influence of the osmotic solution concentration on the structural and compositional profiles in dehydrated apple tissue. In D. Marinou-Louris, G. D. Saravakos, & A. S. Mujundar (Eds.), *Proceedings of the 11th international drying* (Vol. A (6), pp. 877–885). Thessaloniki: Ziti Editions.
- Almora, K., Pino, J. A., Hernández, M., Duarte, C., González, J., & Roncal, E. (2004). Evaluation of volatiles from ripening papaya (*Carica papaya* L., var. Maradol roja). *Food Chemistry*, *86*, 127–130.
- Andrade, E., Maia, J., & Zoghbi, M. (2000). Aroma volatile constituents of Brazilian varieties of mango fruit. *Journal of Food Composition and Analysis*, *13*, 27–33.
- Balwin, E. A., Nisperos-Carriedo, M. O., & Beaker, R. A. (1995). Edible coatings for lightly processed fruits and vegetables. *HortScience*, *30*, 35–38.
- Barat, J. M., Fito, P., & Chiralt, A. (2001). Effect of osmotic solution concentration temperature and vacuum impregnation pre-treatment on osmotic dehydration kinetics of apple slices. *Food Science and Technology International*, *5*, 451–456.
- Beaulieu, J. C., & Lea, J. M. (2003). Volatile and quality changes in fresh-cut mangos prepared from firm-ripe and soft-ripe fruit, stored in clamshell containers and passive MAP. *Postharvest Biology and Technology*, *30*, 15–28.
- Brecht, J. K. (1995). Physiology of lightly processed fruits and vegetables. *HortScience*, *30*, 18–22.
- CAMO (2005). *The unscrambler user guide*. Oslo, Norway: CAMO Process AS.
- Cháfer, M., González-Martínez, C., Ortolá, M. D., Chiralt, A., & Fito, P. (2001). Kinetics of osmotic dehydration in orange and mandarin peels. *Journal of Food Process Engineering*, *24*, 273–289.
- Chiralt, A., Fito, P., Andrés, A., Barat, J. M., Martínez-Monzó, J., & Martínez-Navarrete, N. (1999). Vacuum impregnation: a tool in minimally processing of foods. In F. A. R. Oliveira & J. C. Oliveira (Eds.), *Processing of foods: Quality optimization and process assessment* (pp. 341–356). Boca Raton, FL: CRC Press.
- Engel, K. H., & Tressl, R. (1983). Studies on the volatile components of two mango varieties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *31*, 796–801.
- Escriche, I., Chiralt, A., Moreno, J., & Serra, J. A. (2000). Influence of blanching-osmotic dehydration treatments on volatile fraction of strawberry. *Journal of Food Science*, *65*, 1107–1111.
- Fito, P. (1994). Modelling of vacuum osmotic dehydration of food. *Journal of Food Engineering*, *22*, 313–328.
- Fito, P., & Chiralt, A. (1995). An update on vacuum osmotic dehydration. In G. V. Barbosa-Cánovas & J. Welti-Chanes (Eds.), *Food preservation by moisture control: Fundamentals and applications* (pp. 351–372). Lancaster, PA: Technomic.
- Fito, P., & Chiralt, A. (1997). An approach to the modelling of solid food-liquid operations: application to osmotic dehydration. In P. Fito, E. Ortega-Rodríguez, & G. V. Barbosa-Cánovas (Eds.), *Food engineering (2000)* (pp. 231–252). New York: Chapman & Hall.
- Fito, P., & Chiralt, A. (2000). Vacuum impregnation of plant tissues. In S. M. Alzamora, M. S. Tapia, & A. López-Malo (Eds.), *Design of minimal processing technologies for fruit and vegetables* (pp. 189–205). Maryland: Aspen Publishers Inc.
- Fito, P., Chiralt, A., Barat, J. M., & Martínez-Monzó, J. (2002). Mass transport and deformation relaxation phenomena in plant tissues. In J. Welti-Chanes, G. Barbosa-Cánovas, & J. M. Aguilera (Eds.),

- Engineering and food for the 21st century* (pp. 235–254). Boca Raton, FL: CRC Press.
- Gil, A., Duarte, I., Delgadillo, I., Colquhoun, J., Casuscelli, F., Humper, E., et al. (2000). Study of the compositional changes of mango during ripening by use of nuclear magnetic resonance spectroscopy. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *48*, 1524–1536.
- Giraldo, G., Talens, P., Fito, P., & Chiralt, A. (2003). Influence of sucrose solution concentration on kinetics and yield during osmotic dehydration of mango. *Journal of Food Engineering*, *58*, 33–43.
- Godefroot, M., Sandra, P., & Verzele, M. (1981). New method for quantitative essential oil analysis. *Journal Chromatography*, *203*, 325–335.
- Heng, K., Guilbert, S., & Cuq, J. (1990). Osmotic dehydration of papaya: influence of process variables on the product quality. *Science Aliments*, *10*, 831–848.
- Ibáñez, E., López-Sebastián, S., Ramos, E., Tabera, J., & Reglero, G. (1998). Analysis of volatile fruit components by headspace solid-phase micro extraction. *Food Chemistry*, *63*, 281–286.
- Idstein, H., & Schreier, P. (1985). Volatile constituents of alphonso mango (*Mangifera indica* L.). *Phytochemistry*, *24*, 2313–2316.
- Kondjoyan, N., & Berdagué, J. L. (1996). *A compilation of relative retention indices for the analysis of aromatic compounds*. Clermont Ferrand, France: Laboratoire flaveur.
- Lazarides, H. N., Fito, P., Chiralt, A., Gekas, V., & Lenart, A. (1999). Advances in osmotic dehydration. In F. A. R. Oliveira & J. C. Oliveira (Eds.), *Processing foods: Quality optimization and process assessment* (pp. 175–199). Boca Raton, FL: CRC Press.
- MacLeod, A., & Gonzalez, N. (1982). Volatile flavour components of mango fruit. *Phytochemistry*, *21*, 2523–2526.
- MacLeod, A., & Pieris, N. (1984). Comparison of the volatile components of some mango cultivars. *Phytochemistry*, *23*, 361–366.
- Malundo, T. M. M., Baldwin, E. A., Ware, G. O., & Shewfelt, R. L. (1997). Method for the rapid headspace analysis of mango (*Mangifera indica* L.) homogenate volatile constituents and factors affecting quantitative results. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *45*, 2187–2194.
- Martens, H., & Martens, M. (2001). *Multivariate analysis of quality – An introduction*. West Sussex, UK: Wiley.
- Martens, H., & Næs, T. (1989). *Multivariate calibration*. Chichester, UK: Wiley.
- Pfannhauser, W. (1988). Sensorische und instrumentelle analytische Untersuchungen des Kiwi-Aromas. *Zeitschrift fuer Lebensmitteluntersuchung und Forschung*, *187*, 224–228.
- Salvatori, D., Albors, A., Andrés, A., Chiralt, A., & Fito, P. (1998). Analysis of the structural and compositional profiles in osmotically dehydrated apple tissue. *Journal of Food Science*, *63*, 606–610.
- Soliva-Fortuny, R., & Martín-Belloso, O. (2003). New advances in extending the shelf-life of fresh-cut fruits: a review. *Trends in Food Science & Technology*, *14*, 341–353.
- Talens, P., Escriche, I., Martínez-Navarrete, N., & Chiralt, A. (2003). Influence of osmotic dehydration and freezing on the volatile profile of kiwi fruit. *Food Research International*, *36*, 635–642.
- Tovar, B., García, H. S., & Mata, M. (2001a). Physiology of pre-cut mango I. ACC and ACC oxidase activity of slices subjected to osmotic dehydration. *Food Research International*, *34*, 207–215.
- Tovar, B., García, H. S., & Mata, M. (2001b). Physiology of pre-cut mango II. Evolution of organic acids. *Food Research International*, *34*, 705–714.
- Watada, A., Ko, N., & Minott, D. (1996). Factors affecting quality of fresh-cut horticultural products. *Postharvest Biology and Technology*, *9*, 115–125.
- Werkhoff, P., Güntert, M., Krammer, G., Sommer, H., & Kaulen, J. (1998). Vacuum head-space method in aroma research: Flavor chemistry of yellow passion fruits. *Journal Agriculture Food Chemistry*, *46*, 1076–1093.
- Yu, Y., & Yang, S. F. (1980). Biosynthesis of wound ethylene. *Plant Physiology*, *66*, 281–285.
- Zabetakis, I., & Holden, M. A. (1997). Strawberry flavour: analysis and biosynthesis. *Journal of Science of Food and Agriculture*, *74*, 424–434.
- Zabetakis, I., Koulentianos, A., Orruño, E., & Boyes, I. (2000). The effect of high hydrostatic pressure on strawberry flavour compounds. *Food Chemistry*, *71*, 51–55.