

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 FÍSICOQUÍMICOS	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 TRATAMIENTOS 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, ($\Delta C=C-Co$) [$\mu\text{g/g}$ 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

