
ÍNDICE DE CONTENIDOS

JUSTIFICACIÓN E INTERÉS DEL TRABAJO	1
I. INTRODUCCIÓN	7
I.1. ASPECTOS GENERALES DEL POMELO	8
I.1.1. Origen y nombre científico	8
I.1.2. Producción y comercialización	8
I.1.3. Descripción histológica	10
I.1.4. Variedades	12
I.1.5. Propiedades nutritivas del pomelo	13
I.1.6. Fisiología Celular	17
I.1.6.1. Respiración	19
I.1.6.2. Fermentación	25
I.1.6.3. Tasa respiratoria y coeficiente respiratorio	27
I.2. PROCESOS DE DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA E IMPREGNACIÓN A VACÍO	29
I.2.1. Cinética de la deshidratación osmótica	32
I.2.2. Problemática de la disolución osmótica	36
I.3. EL CALCIO	37
I.3.1. Importancia del calcio en la salud humana	37
I.3.2. Distribución y transporte del calcio a nivel celular en tejidos vegetales	40
I.3.3. Efecto del calcio en frutas mínimamente procesadas	43
I.4. PRODUCTOS GELIFICADOS	45
I.4.1. Carragenatos	48
I.4.1.1. Estructura y tipos	48
I.4.1.2. Mecanismos de gelificación	51
I.4.1.3. Funcionalidad de los carragenatos	51

I.4.1.4. Aplicaciones de los carragenatos	53
I.5. ANÁLISIS SENSORIAL	55
I.5.1. Definición e importancia del análisis sensorial	55
I.5.2. Los jueces	56
I.5.3. Tipo de pruebas sensoriales	58
II. OBJETIVOS Y PLAN DE TRABAJO	65
II.1. OBJETIVOS	65
II.1.1. Objetivo principal	65
II.1.2. Objetivos específicos	66
II.2. PLAN DE TRABAJO	67
III. DESARROLLO DE UN PRODUCTO GELIFICADO CON POMELO POR TRATAMIENTOS OSMÓTICOS	73
III.1. MATERIALES Y MÉTODOS	73
III.1.1. Materia Prima	73
III.1.1.1. Fruta	73
III.1.1.2. Disolución osmótica	74
III.1.1.3. Agente gelificante	74
III.1.2. Procedimiento experimental	75
III.1.2.1. Preparación de las muestras de pomelo fresco	75
III.1.2.2. Tratamientos osmóticos	76
III.1.2.2.1. Estudio cinético	78
III.1.2.2.2. Obtención de pomelo deshidratado para la formulación del producto gelificado	80
III.1.2.3. Preparación de los geles con pomelo	81
III.1.2.3.1. Estudio previo	81
III.1.2.3.2. Formulación seleccionada	84
III.1.2.4. Almacenamiento en refrigeración	84
III.1.3. Análisis realizados	85
III.1.3.1. Determinación de la actividad del agua	85

	Índice
III.1.3.2. Determinación de los sólidos solubles	85
III.1.3.3. Determinación de la humedad	86
III.1.3.4. Determinación del pH	87
III.1.3.5. Determinación de la acidez valorable	87
III.1.3.6. Determinación del ácido ascórbico	88
III.1.3.7. Medidas de la concentración de cationes	89
III.1.3.8. Variación de masa	91
III.1.3.9. Determinación de las propiedades mecánicas	91
III.1.3.10. Determinación del color	92
III.1.3.11. Medidas de tasa de respiración	93
III.1.3.12. Análisis microbiológico	95
III.2. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	97
III.2.1. Estudio cinético de la deshidratación osmótica del pomelo	97
III.2.1.1. Caracterización de las propiedades fisicoquímicas del pomelo durante la deshidratación osmótica	98
III.2.1.2. Estimación de la difusividad efectiva del agua	99
III.2.1.3. Cinética de pérdida de agua y ganancia de solutos	101
III.2.2. Obtención de pomelo deshidratado para la formulación del producto gelificado	106
III.2.2.1. Efecto de la reutilización de la disolución osmótica en el recuento de microorganismos del pomelo deshidratado osmóticamente almacenado en refrigeración	106
III.2.2.2. Efecto de la reutilización de la disolución osmótica y del almacenamiento en refrigeración en las propiedades del pomelo deshidratado.	110
III.2.2.2.1. Efecto sobre la humedad, sólidos solubles y actividad del agua	110
III.2.2.2.2. Efecto sobre la acidez, pH y ácido ascórbico	114

III.2.2.2.3. Efecto sobre el contenido en cationes	120
III.2.2.2.4. Efecto sobre la tasa respiratoria	122
III.2.3. Optimización de la formulación de un producto gelificado empleando tratamientos osmóticos. Efecto del almacenamiento en refrigeración.	125
III.2.3.1. Estudio previo	125
III.2.3.2. Estudio de almacenamiento del producto gelificado optimizado	131
III.2.3.2.1. Evolución del contenido en ácido ascórbico (AA)	132
III.2.3.2.2. Color y propiedades mecánicas	134
III.2.3.3. Estudio microbiológico	139
IV. ESTUDIO DEL EFECTO DE LA ADICIÓN DE LACTATO CÁLCICO A LA DISOLUCIÓN OSMÓTICA PARA LA OBTENCIÓN DE PRODUCTOS GELIFICADOS CON POMELO	143
IV.1. MATERIALES Y MÉTODOS	143
IV.1.1. Materia Prima	143
IV.1.1.1. Fruta	143
IV.1.1.2. Disoluciones	144
IV.1.1.3. Agente gelificante	144
IV.1.2. Procedimiento experimental	145
IV.1.2.1. Preparación de las muestras de pomelo fresco	145
IV.1.2.2. Estudio cinético	145
IV.1.2.3. Tratamientos de impregnación a vacío y de deshidratación osmótica con pulso de vacío	145
IV.1.2.4. Preparación de los geles con pomelo	147
IV.1.2.5. Almacenamiento en refrigeración	147
IV.1.3. Análisis realizados	148
IV.1.3.1. Determinación de las propiedades mecánicas	148

	Índice
IV.1.3.2. Análisis sensorial	150
IV.2. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	153
IV.2.1. Estudio cinético de la deshidratación osmótica del pomelo. Influencia del catión calcio	153
IV.2.1.1. Caracterización de las propiedades fisicoquímicas del pomelo durante la deshidratación osmótica	154
IV.2.1.2. Estimación de la difusividad efectiva del agua	155
IV.2.1.3. Cinética de pérdida de agua y ganancia de solutos	157
IV.2.2. Obtención de pomelo deshidratado para la formulación del producto gelificado. Influencia del catión calcio, del pulso de vacío y del almacenamiento en refrigeración	160
IV.2.2.1. Efecto de los tratamientos de impregnación a vacío y de deshidratación osmótica con pulso de vacío en la fruta deshidratada. Influencia del catión calcio y del almacenamiento en refrigeración	161
IV.2.2.1.1. Efecto sobre la humedad y los sólidos solubles	161
IV.2.2.1.2. Efecto sobre el pH y la acidez valorable	165
IV.2.2.1.3. Efecto sobre el contenido en cationes	167
IV.2.2.1.4. Efecto sobre la tasa respiratoria	172
IV.2.2.1.5. Efecto sobre las propiedades mecánicas	175
IV.2.2.1.6. Análisis microbiológico de las muestras de pomelo deshidratado. Efecto del catión calcio	180
IV.2.2.1.7. Análisis sensorial de las muestras de pomelo deshidratado. Efecto del catión calcio y del almacenamiento en refrigeración	182
IV.2.2.2. Estudio del efecto del almacenamiento en refrigeración del producto gelificado formulado con lactato cálcico	192

Índice

IV.2.2.2.1. Evolución de los cationes en los geles y en la fruta deshidratada	192
IV.2.2.2.2. Estudio microbiológico de las muestras	194
IV.2.2.2.3. Análisis sensorial de geles con fruta deshidratada con y sin calcio. Estudio del almacenamiento	196
V. CONCLUSIONES	205
VI. BIBLIOGRAFÍA	211

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla I.1. Valor nutricional del pomelo por 100g de sustancia comestible.	14
Tabla I.2. Cantidad diaria recomendada de calcio (mg/día).	39
Tabla I.3. Contenido en calcio de algunos alimentos.	39
Tabla III.1. Fracción másica de agua y sólidos solubles y actividad del agua del pomelo deshidratado osmóticamente en función del tiempo de deshidratación.	99
Tabla III.2. Valores de la variación relativa de masa total (ΔM_T), ganancia de solutos (ΔM_S) y pérdida de agua (ΔM_W), referidos por unidad de masa inicial de producto en función del tiempo de deshidratación osmótica.	103
Tabla III.3. Parámetros fisicoquímicos analizados en el pomelo fresco (PF) y pomelo deshidratado, con disolución osmótica sin reutilizar (PD1) y reutilizada durante 3 (PD3) y 5 (PD5) ciclos sucesivos de deshidratación, durante su almacenamiento (10°C).	111
Tabla III.4. Contenido en ácido cítrico (AC), expresado como mg AC/100g muestra y como mg AC/100g del correspondiente pomelo fresco (PF) de partida, analizado en el pomelo fresco (PF) y pomelo deshidratado con disolución osmótica sin reutilizar (PD1) y reutilizada durante 3 (PD3) y 5 (PD5) ciclos sucesivos de deshidratación. Evolución durante su almacenamiento (10°C).	115
Tabla III.5. Valores de pH analizado en el pomelo fresco (PF) y pomelo deshidratado, con disolución osmótica sin reutilizar (PD1) y reutilizada durante 3 (PD3) y 5 (PD5) ciclos sucesivos de deshidratación. Evolución durante su almacenamiento (10°C).	116

Tabla III.6. Contenido en ácido ascórbico (AA), expresado como mg AA/100g muestra y como mg AA/100g PF de partida, analizado en el pomelo fresco (PF) y pomelo deshidratado, con disolución osmótica sin reutilizar (PD1) y reutilizada durante 3 (PD3) y 5 (PD5) ciclos sucesivos de deshidratación, durante su almacenamiento (10°C).	117
Tabla III.7. Contenido en cationes de pomelo fresco (PF) y deshidratado después de 1 (PD1), 3 (PD3) y 5 (PD5) ciclos de deshidratación y porcentaje de pérdida de cada mineral.	120
Tabla III.8. Contenido en cationes de la disolución osmótica (mg/100g SO) después de 1, 3 y 5 ciclos de deshidratación.	122
Tabla III.9. Fracción másica de agua y solutos de la fruta y del gel para el sistema PFG55 a cada tiempo de almacenamiento a 10°C.	127
Tabla III.10. Fracción másica de agua y solutos de la fruta y del gel para el sistema PDOG50 a cada tiempo de almacenamiento a 10°C.	128
Tabla III.11. Fracción másica de agua y solutos de la fruta y del gel para el sistema PFG30 a cada tiempo de almacenamiento a 10°C.	129
Tabla III.12. Fracción másica de agua y solutos de la fruta y del gel para el sistema PDOG30 a cada tiempo de almacenamiento a 10°C.	130
Tabla III.13. Valores de tono (h^*), croma (C^*) y diferencia de color calculada en función del tiempo de almacenamiento (ΔE) para las muestras de pomelo fresco (PF), pomelo deshidratado (PD) y pomelo deshidratado incluido en la matriz gelificada (PDG).	135

Tabla VI.1. Fracción másica de agua y sólidos solubles y actividad del agua del pomelo deshidratado osmóticamente, con 2% de lactato cálcico añadido, en función del tiempo de deshidratación.	155
Tabla IV.2. Valores de la variación de masa total (ΔM_T), ganancia de solutos (ΔM_S) y pérdida de agua (ΔM_W), referidos por unidad de masa inicial de producto en función del tiempo de deshidratación osmótica.	158
Tabla IV.3. Composición de las muestras sin almacenar.	162
Tabla IV.4. Composición de las muestras tras 7 días de almacenamiento en refrigeración.	162
Tabla IV.5. Contenido en calcio de las muestras estudiadas. Ganancias o pérdidas de Ca^{2+} como consecuencia del tratamiento y del almacenamiento.	168
Tabla IV.6. Frecuencia de las respuestas de los catadores en la comparación pareada múltiple de las muestras tratadas con calcio ($PD_{2\%}$) y sin calcio ($PD_{0\%}$), así como con y sin 5 días de almacenamiento (5d) en refrigeración.	183
Tabla IV.7. Suma de rangos en la comparación pareada múltiple de las muestras tratadas con calcio ($PD_{2\%}$) y sin calcio ($PD_{0\%}$), así como con y sin 5 días de almacenamiento (5d) en refrigeración.	184
Tabla IV.8. Valores T de Friedman para los distintos atributos analizados.	186
Tabla IV.9. Diferencia entre suma de rangos en el análisis sensorial de pomelo deshidratado con calcio ($PD_{2\%}$) y sin calcio ($PD_{0\%}$), así como con y sin 5 días de almacenamiento (5d) en refrigeración.	187

Tabla IV.10. Porcentaje de variabilidad explicado por los factores del análisis de correspondencias.	189
Tabla IV.11. Contribuciones de los factores a la inercia de las muestras.	189
Tabla IV.12. Contribuciones de los factores a la inercia de los atributos.	190
Tabla IV.13. Respuestas de los catadores en el análisis sensorial de geles con pomelo deshidratado con calcio (PDG _{2%}) y sin calcio (PDG _{0%}), así como con y sin 7 días de almacenamiento (7d) en refrigeración.	196
Tabla IV.14. Suma de rangos en el análisis sensorial de geles con pomelo deshidratado con calcio (PDG _{2%}) y sin calcio (PDG _{0%}), así como con y sin 7 días de almacenamiento (7d) en refrigeración.	197
Tabla IV.15. Test de Friedman en el análisis sensorial de geles con pomelo deshidratado.	199
Tabla IV.16. Diferencia entre suma de rangos en el análisis sensorial de geles con pomelo deshidratado con calcio PDG _{2%} y sin calcio PDG _{0%} , así como con y sin 7 días de almacenamiento (7d) en refrigeración.	199
Tabla IV.17. Factores del análisis sensorial de geles con pomelo deshidratado.	200
Tabla IV.18. Contribuciones de los factores a la inercia de las muestras.	201
Tabla IV.19. Contribuciones de los factores a la inercia de los atributos.	201

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura I.1. a) Sección transversal de las vesículas y sus filamentos en un fruto de 3 meses de edad de mandarina. b) Sección transversal de un fruto de pomelo.	12
Figura I.2. Variedades del pomelo.	13
Figura I.3. Esquema simplificado de la glucólisis.	20
Figura I.4. Esquema del Ciclo de Krebs.	22
Figura I.5. Transferencia de electrones y fosforilación oxidativa en la cadena respiratoria mitocondrial.	24
Figura I.6. Fermentación ácido-láctica.	26
Figura I.7. Fermentación etanólica.	27
Figura I.8. Tipos de transporte en el tejido vegetal.	34
Figura I.9. Movimiento del Ca^{2+} en una célula vegetal.	41
Figura I.10. Estructura de los residuos de disacáridos repetidos de los tres carragenatos principales utilizados en la industria agroalimentaria.	49
Figura III.1. Preparación de las muestras frescas.	76
Figura III.2. a) Equipo con cámara de vacío; b) Baño termostático con agitación.	77
Figura III.3. a) Cromatógrafo líquido de intercambio iónico; b) Carro de automatización de muestras.	90
Figura III.4. a) Prensa universal de textura. b) Célula Otawa.	92
Figura III.5. a) Analizador de gases CheckMate 9900 PBI Dansensor; b) Ejemplo de toma de muestras.	94
Figura III.6. Esquema de la preparación de las diluciones, teniendo en cuenta que se realizaban 2 repeticiones para cada dilución.	96

Figura III.7. Representación de $1 - Y_w^t$ frente a la raíz cuadrada del tiempo.	101
Figura III.8. Relación entre la pérdida de peso de las muestras a cada tiempo de deshidratación y la pérdida de agua más la ganancia de solutos.	103
Figura III.9. Valores de la pérdida de masa total, ganancia de solutos y pérdida de agua, referidos por unidad de masa inicial de producto, en función del tiempo de deshidratación osmótica.	104
Figura III.10. Recuento de viables totales y mohos y levaduras, en pomelo fresco, pomelo deshidratado osmóticamente con SO sin reutilizar y reutilizada durante 3 y 5 ciclos de deshidratación, sin tratamiento térmico de la disolución osmótica antes de cada ciclo.	107
Figura III.11. Recuento de viables totales y mohos y levaduras, en pomelo fresco, pomelo deshidratado osmóticamente con SO sin reutilizar y reutilizada durante 3 y 5 ciclos de deshidratación, previo tratamiento térmico suave de la SO antes de cada ciclo.	109
Figura III.12. Valores medios de °Brix de la SO en función del número de ciclos de deshidratación.	113
Figura III.13. Contenido en AA de la SO en función del número de ciclos de deshidratación.	119
Figura III.14. Tasa respiratoria, expresada como mL CO ₂ producido/kg h, del pomelo fresco y pomelo deshidratado osmóticamente con SO sin reutilizar y reutilizada durante 3 (PD3) y 5 ciclos de deshidratación y su evolución durante el almacenamiento de las muestras a 10°C.	123
Figura III.15. Evolución de la a_w de la fruta y del gel en los cuatro sistemas estudiados.	126

Figura III.16. Diseño experimental para la preparación del producto gelificado optimizado.	131
Figura III.17. Evolución del contenido en AA de las muestras de pomelo deshidratado no incluido en gel, pomelo deshidratado incluido en gel y del gel.	133
Figura III.18. Diagrama cromático (a^* , b^*) obtenido para las muestras de pomelo fresco, pomelo deshidratado e inmerso en la matriz gelificada seleccionada.	136
Figura III.19. Curvas fuerza (N)–distancia (d) tipo obtenidas en pomelo fresco y deshidratado sin almacenar, así como pomelo incluido en el la matriz gelificada durante 10 días de almacenamiento.	137
Figura III.20. Valores de la fuerza máxima obtenidos a partir del ensayo de compresión-extrusión de las muestras de pomelo fresco, pomelo deshidratado e inmerso en la matriz gelificada.	138
Figura III.21. Recuento de viables totales y mohos y levaduras, en pomelo fresco, pomelo deshidratado y en el producto gelificado seleccionado.	140
Figura IV.1. Punzón empleado en el ensayo de punción-compresión y zona de la muestra analizada.	149
Figura IV.2. Preparación de las muestras para los análisis sensoriales.	151
Figura IV.3. Representación de $1 - Y_w^t$ frente a la raíz cuadrada del tiempo.	156
Figura IV.4. Relación entre la pérdida de peso de las muestras a cada tiempo de deshidratación y la pérdida de agua más la ganancia de solutos.	158

Figura IV.5. Variación de masa total, solutos y agua con el tiempo de procesado osmótico.	
Figura IV.6. Acidez valorable (mg ácido cítrico/100 g muestra) y pH de las muestras de pomelo fresco, pomelo impregnado a vacío con disolución isotónica y pomelo deshidratado, antes y después de 7 días de almacenamiento en refrigeración.	162
Figura IV.7. Contenido en Na^+ , K^+ y Mg^{2+} de las muestras estudiadas antes y después de 7 días de almacenamiento en refrigeración, en función del calcio añadido.	170
Figura IV.8. Tasas respiratorias expresadas como consumo de O_2 y generación CO_2 , y cociente respiratorio de las muestras estudiadas.	173
Figura IV.9. Curva típica fuerza (F)–deformación relativa (ϵ) obtenida en el pomelo fresco y parámetros mecánicos evaluados.	176
Figura IV.10. Parámetros mecánicos obtenidos a partir de las curvas de punción de pomelo fresco, pomelo impregnado a vacío con disolución isotónica y pomelo deshidratado, antes y después de 7 días de almacenamiento en refrigeración.	177
Figura IV.11. Recuento durante el período de almacenamiento en refrigeración a 10°C de: (a) viables totales y (b) mohos y levaduras, en pomelo fresco (PF) y deshidratado con ($\text{PD}_{2\%}$) y sin 2% lactato cálcico ($\text{PD}_{0\%}$).	180
Figura IV.12. Test de Friedman (suma de rangos, obtenido de la comparación pareada múltiple) de las muestras tratadas con calcio y sin calcio, así como sin y con 5 días de almacenamiento en refrigeración.	184
Figura IV.13. Representación de las coordenadas de ambos factores en el plano factorial.	191
	193

Figura IV.14. Evolución del Ca^{2+} en la fruta deshidratada y el gel del producto PDG _{2%} durante su almacenamiento en refrigeración.	
Figura IV.15. Evolución del K^+ en la fruta deshidratada y el gel del producto PDG _{2%} durante su almacenamiento en refrigeración.	194
Figura IV.16. Recuento durante el período de almacenamiento en refrigeración a 10°C de: (a) viables totales y (b) mohos y levaduras, para las muestras de pomelo fresco (PF) y las muestras de geles de pomelo deshidratado con calcio (PDG _{2%}) y sin calcio añadido (PDG _{0%}).	195
Figura IV.17. Test de Friedman (suma de rangos, obtenido de la comparación pareada múltiple) de los geles con calcio y sin calcio, así como con y sin 7 días de almacenamiento en refrigeración.	198
Figura IV.18. Representación de las coordenadas de ambos factores en el plano factorial.	202