

ÍNDICE DE CONTENIDOS

JUSTIFICACIÓN E INTERÉS DEL ESTUDIO	1
I. INTRODUCCIÓN	5
1. LA FRESA Y LA MANZANA. ASPECTOS GENERALES DE COMPOSICIÓN Y PROPIEDADES.	7
1.1. La fresa	7
1.1.1. Descripción botánica, química y estructural	7
1.1.2. Producción mundial de fresa	10
1.2. La manzana	12
1.2.1. Descripción química y estructural de la manzana	12
1.2.2. Origen, producción e importancia de la manzana	13
1.3. Tendencias en el consumo de estas frutas	16
2. RESPIRACIÓN DE FRUTAS Y VEGETALES	18
2.1. Fisiología de la respiración	18
2.1.1. Clasificación de las frutas según su fisiología: climatéricas y no climatéricas	23
2.2. Influencia de la composición de la atmósfera en la respiración	26
2.3. Efecto de la temperatura en la respiración	30
2.4. Métodos de cuantificación de la tasa respiratoria	32
2.5. Efecto del procesado en la respiración de frutas y vegetales	43
2.5.1. Refrigeración. Daños por frío	43
2.5.2. Pelado-cortado	45
2.5.3. Tratamientos con aditivos	46
2.5.3.a. Antipardeantes	46
2.5.3.b. Inhibidores y potenciadores del etileno	48
2.5.3.c. Adición de calcio	49
2.5.4. Deshidratación	54
2.5.5. Recubrimientos	56
2.5.6. Irradiación	58
3. DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA E IMPREGNACIÓN A VACÍO COMO ALTERNATIVA PARA LA OBTENCIÓN DE FRUTAS MÍNIMAMENTE PROCESADAS	59
II. OBJETIVOS Y PLAN DE TRABAJO	65
1. OBJETIVOS	67
1.1. Objetivo general	67
1.2. Objetivos específicos	67
2. PLAN DE TRABAJO	68

III. ESTUDIOS EN FRESA	73
1. INTRODUCCIÓN	75
2. MATERIALES Y MÉTODOS	77
2.1. Materias primas	77
2.1.1. Fresa	77
2.1.2. Disoluciones osmóticas	77
2.2. Tratamientos	78
2.2.1. Tratamientos de impregnación isotónica	78
2.2.2. Tratamientos osmóticos	78
2.2.2.a. Estudio cinético	79
2.2.2.b. Preparación de muestras deshidratadas	79
2.3. Almacenamiento	80
2.4. Análisis composicional	80
2.4.1. Humedad	80
2.4.2. Sólidos solubles	80
2.4.3. Actividad de agua	81
2.4.4. Contenido en cationes (Na ⁺ , K ⁺ , Ca ²⁺ , Mg ²⁺)	81
2.5. Determinación de la densidad	82
2.6. Determinación de la tasa respiratoria	83
2.7. Análisis de volátiles (etanol y acetaldehído)	84
2.8. Determinación de las propiedades mecánicas	84
2.9. Determinación de las propiedades ópticas	85
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	86
3.1. Estudio cinético de la deshidratación osmótica. Efecto de la impregnación a vacío y el calcio.	86
3.1.1. Cambios de composición de la fase líquida	87
3.1.2. Ganancia de solutos y pérdida de agua	91
3.2. Efectos fisiológicos de los tratamientos de impregnación a vacío y deshidratación osmótica en fresa. Influencia del calcio	97
3.2.1. Efecto de la impregnación a vacío con disoluciones isotónicas en función de la temperatura de almacenamiento	97
3.2.2. Efecto de los tratamientos osmóticos con y sin calcio	102
3.2.2.a. Variaciones de masa, tasa respiratoria y producción de acetaldehído y etanol en los tratamientos sin calcio	103
3.2.2.b. Efecto de los tratamientos osmóticos con calcio sobre las variaciones de masa y la tasa respiratoria	112
3.2.3. Evolución durante el almacenamiento	121

3.2.3.a. Cambios en la tasa respiratoria	121
3.2.3.b. Cambios en la variación de masa	125
3.2.3.c. Cambios en las propiedades mecánicas	129
3.2.3.d. Cambios de color	136
IV. ESTUDIOS EN MANZANA	151
1. INTRODUCCIÓN	153
2. MATERIALES Y MÉTODOS	155
2.1. Materias primas	155
2.1.1. Manzana	155
2.1.2. Disoluciones osmóticas	155
2.2. Tratamientos	156
2.2.1. Tratamientos de impregnación isotónica	156
2.2.2. Tratamientos osmóticos	156
2.2.2.a. Estudio cinético	156
2.2.2.b. Preparación de muestras deshidratadas	157
2.3. Almacenamiento	157
2.4. Análisis composicional y fisicoquímico	157
2.5. Determinación de la tasa respiratoria	157
2.6. Envasado en atmósfera modificada	157
2.7. Determinación de las propiedades mecánicas	159
2.8. Análisis microbiológico	159
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	160
3.1. Estudio cinético de la deshidratación osmótica. Efecto de la impregnación a vacío	160
3.2. Efectos fisiológicos de los tratamientos de impregnación a vacío y deshidratación osmótica en manzana. Influencia del calcio	167
3.2.1. Influencia de la temperatura en la tasa respiratoria de rodajas de manzana fresca y deshidratada osmóticamente	167
3.2.2. Efecto de distintas concentraciones de gases en la respiración de rodajas de manzana frescas y deshidratadas	173
3.2.3. Efecto de los tratamientos osmóticos con y sin calcio y del almacenamiento en los cambios fisiológicos y texturales de manzana	177
3.2.3.a. Cambios composicionales y de masa debidos a los tratamientos	177
3.2.3.b. Cambios composicionales y de masa debidos al almacenamiento	183
3.2.3.c. Cambios en la tasa respiratoria	189

3.2.3.d. Cambios en las propiedades mecánicas	197
3.3. Estudio de la vida útil de las muestras de manzana osmodeshidratadas con y sin calcio	203
V. CONCLUSIONES	207
VI. BIBLIOGRAFÍA	215

ÍNDICE DE TABLAS

I. INTRODUCCIÓN

Tabla I.1. Contenido energético y composicional en 100 gramos de fresa (adaptada de Lobo & González, 2003; Folquer, 1986; Alcentral, 2006)	9
Tabla I.2. Composición química y nutritiva en 100 gramos de manzana (adaptada de Lobo & González, 2003; Infoagro, 2005; Ansorena, 2003)	13
Tabla I.3. Recomendaciones de atmósfera controlada y modificada (CA y MA) para una selección de frutas cortadas (Gorny, 2001).	28
Tabla I.4. Detalles metodológicos utilizados por varios autores para la determinación de la tasa respiratoria de distintos productos hortofrutícolas sometidos a distintos tratamientos.	35

III. ESTUDIOS EN FRESA

Tabla III.1.- Características físico-químicas y respuesta a la impregnación isotónica a vacío de las fresas frescas.	86
Tabla III.2. Valores de los coeficientes de difusión efectiva en la fase líquida de la fresa sometida a los distintos tratamientos.	89
Tabla III.3. Tiempos de proceso en función de las concentraciones alcanzadas en la fruta, del tipo de tratamiento y de la adición o no de lactato cálcico (1% p/p) en la disolución osmótica.	91
Tabla III.4. Parámetros cinéticos para la pérdida de agua y ganancia de solutos y para la pérdida de peso.	94
Tabla III.5. Tasas de respiración respecto al O ₂ y CO ₂ y cociente respiratorio para fresas enteras, cortadas e impregnadas a vacío.	99
Tabla III.6. Parámetros del Modelo de Gompertz modificado para mitades de fresa impregnadas y no impregnadas.	101
Tabla III.7. Tiempo de tratamiento, densidad de las muestras, contenido en	105

humedad (x_w), sólidos solubles (x_s), y variación de masa total (ΔM), de agua (ΔM_w) y de solutos (ΔM_s), referidas a la masa inicial, debidas al tratamiento.	
Tabla III.8. Fracciones másicas de agua (x_w) y solutos (x_s) de las fresas frescas y tratadas y variaciones de masa total (ΔM), de agua (ΔM_w) y solutos (ΔM_s) ocurridas durante los tratamientos, referidas a la masa inicial de la muestra.	113
Tabla III.9. Contenido de cationes (Ca^{+2} , Na^+ , Mg^{+2} y K^+) de fresas frescas y tratadas referidos a 100 gramos de fresa tratada.	115
Tabla III.10. Contenido de cationes (Ca^{+2} , Na^+ , Mg^{+2} y K^+) de fresas frescas y tratadas referidos a 100 gramos de fresa fresca	115
Tabla III.11. Tasas respiratoria de fresa fresca e impregnada isotómicamente con y sin 1% de calcio a 10 °C	118
Tabla III.12. Coordenadas de color de las muestras frescas y tratadas al inicio del almacenamiento	136
Tabla III.13. Cambios de color de la fresa impregnada isotómicamente (IV), deshidratadas a presión atmosférica (DO), o aplicando un pulso de vacío al inicio del proceso (DOPV), respecto a la fresa fresca, al inicio del almacenamiento.	142
IV. ESTUDIOS EN MANZANA	
Tabla IV.1. Características físico-químicas de rodajas de manzana frescas y respuesta a la impregnación isotónica	160
Tabla IV.2. Coeficientes de difusividad efectiva y parámetros cinéticos para la variación de masa total (k^0 , k), masa de agua (k_w^0 , k_w) y masa de sólidos solubles (k_s^0 , k_s) según los tratamientos de deshidratación osmótica a presión atmosférica (DO) y con aplicación de un pulso de vacío (DOPV).	164
Tabla IV.3. Tiempos de proceso en función de las concentraciones.	164
Tabla IV.4. Humedad, sólidos solubles y actividad del agua de las rodajas frescas y deshidratadas, así como variaciones de masa total, de agua y de solutos obtenidas en el tratamiento osmótico.	167
Tabla IV.5. Parámetros del modelo individual de Arrhenius ajustado a los valores de TR en muestras control y deshidratadas.	172
Tabla IV.6. Parámetros del modelo global para la predicción de la tasa respiratoria en muestras control y deshidratadas.	172
Tabla IV.7. Tiempo de tratamiento, densidad de las muestras y cambios composicionales de las muestras: fracción másica de agua (x_w) y fracción másica de sólidos solubles (x_s), variación de masa total (ΔM), de agua (ΔM_w) y	179

de solutos (ΔM_s), referidas a la masa inicial, debidas al tratamiento.

Tabla IV.8. Contenido en humedad (x_w), sólidos solubles (x_s), así como variación de masa total (ΔM), de agua (ΔM_w) y de solutos (ΔM_s), referidas a la masa inicial de la muestra fresca, debida al almacenamiento (6 días) de las muestras frescas y procesadas.

184

ÍNDICE DE FIGURAS

I. INTRODUCCIÓN

Figura I.1. Producción mundial (a) y de Europa (b) de fresa del año 2004 (Adaptada de los datos de FAOSTAT, 2005).	10
Figura I.2. Producción mundial (a) y de Europa (b) de manzana del año 2004 (Adaptada de los datos de FAOSTAT, FAO, 2005).	15
Figura I.3. Esquema de la respiración aerobia (Jimeno <i>et al.</i> , 1997)	19
Figura I.4. Variación de la intensidad respiratoria de un fruto climatérico y de un fruto no climatérico durante el crecimiento, maduración y la senescencia. m: mínimo climatérico; M, máximo climatérico (Côme & Corbineau, 2002b).	25
Figura I.5. Concentración de cationes calcio a nivel celular en célula parenquimática de manzana (Val <i>et al.</i> , 1999).	50
Figura I.6. Región de homogalacturonano formando puentes de calcio (Azcón-Bieto & Talón, 2000).	50
Figura I.7. Tráfico de Ca^{2+} en una célula vegetal. 1) H^+ -ATPasa que "energetiza" el plasmalema e impone un gradiente de potencial electroquímico para H^+ y un potencial de membrana (E_m) negativo en el citoplasma con respecto al exterior. 2) Ca^{2+} -ATPasa del plasmalema. 3) y 4) Distintos tipos de canales de Ca^{2+} . 5) H^+ -ATPasa de la vacuola. 6) Antiporte Ca^{2+} - H^+ del tonoplasto. 7) y 8) Canales de Ca^{2+} del tonoplasto; el signo + y el $InsP_3$ significan que los canales se activan por voltaje y por inositol 1-4-5 trifosfato. 9) Canal de Ca^{2+} en el cloroplasto. 10) Ca^{2+} -ATPasa del retículo endoplasmático (Azcón-Bieto & Talón, 2000).	52

II. OBJETIVOS Y PLAN DE TRABAJO

Figura II.1. Esquema del plan de trabajo	71
---	----

III. ESTUDIOS EN FRESA

Figura III.1. Representación de 1-Y frente a la raíz cuadrada del tiempo	89
Figura III.2. Balances de materia del estudio cinético de fresa	92
Figura III.3. Pérdidas de peso y de agua y ganancia de solutos de fresas cortadas deshidratadas a presión atmosférica o con aplicación de un pulso de vacío y con y sin adición de calcio en la disolución osmótica, en función de la raíz cuadrada del tiempo.	93
Figura III.4. Relación entre la ganancia de sólidos solubles y la pérdida de agua en fresas cortadas y deshidratadas a presión atmosférica o con aplicación de un pulso de vacío en función del tiempo de proceso. Tratamientos sin calcio (a) y con calcio (b).	95
Figura III.5. Evolución de la actividad de agua (a_w) en función de tiempo (a) y relación entre la actividad de agua y el nivel de concentración de la fase líquida (z_s) (b), según el tratamiento osmótico aplicado.	97
Figura III.6. Cambios de concentración en el espacio de cabeza de O_2 y CO_2 con fresa entera, cortada e impregnada a vacío con disolución isotónica.	98
Figura III.7. Tasas de respiración respecto al CO_2 y al O_2 de las muestras cortadas con y sin impregnación a vacío en función de la temperatura.	99
Figura III.8. Cociente respiratorio (CR) de fresa cortada con y sin impregnación a vacío.	102
Figura III.9. Perfiles de los sólidos solubles en fresas deshidratadas con y sin pulso de vacío y evolución de la actividad de agua.	106
Figura III.10. a) Tasa respiratoria (TR) y b) cociente respiratorio (CR) de mitades de fresa según el tratamiento y el nivel de sólidos solubles alcanzado.	
Figura III.11. Diferencias entre la tasa respiratoria evaluada a través del consumo de O_2 y la generación de CO_2 .	107
Figura III.12. Tasas respiratorias (TR) y cociente respiratorio (CR) obtenidos en muestras deshidratadas cuando están equilibradas con las disoluciones osmóticas de 15 y 20 °Brix o inmersas durante el mismo tiempo en disolución isotónica.	109
Figura III.13. Niveles de etanol y acetaldehído obtenidos en el espacio de cabeza de muestras deshidratadas.	110
Figura III.14. Cromatograma de iones obtenido para fresas deshidratadas osmóticamente hasta 20 °Brix con aplicación de un pulso de vacío sin calcio.	112
Figura III.15. Variaciones de masa de los cationes estudiados (Ca^{+2} , Na^+ , Mg^{+2} y K^+) en función del tratamiento osmótico aplicado. Barras grises: tratamientos sin calcio. Barras blancas: tratamientos con calcio.	116

Figura III.16. Tasas respiratorias (TR) y cocientes respiratorios (CR) a 10°C de fresas cortadas (control) y fresas deshidratadas a presión atmosférica (DO) y aplicando un pulso de vacío inicial (DOPV) y con y sin adición de calcio en la disolución. Las barras indican los intervalos LSD (95%).	120
Figura III.17. Cambios de concentración en el espacio de cabeza de O ₂ y CO ₂ con fresa fresca y deshidratadas osmóticamente a presión atmosférica y con un pulso de vacío a distintos tiempos de almacenamiento.	121
Figura III.18. Tasa respiratoria en términos de O ₂ consumido y CO ₂ producido y cociente respiratorio (CR) a lo largo del almacenamiento (6 días a 10 °C): A) Fresas impregnadas isotónicamente con y sin calcio, B) Muestras osmodeshidratadas a presión atmosférica hasta 15 y 20 °Brix con y sin 1% de lactato cálcico en la disolución y C) Muestras osmodeshidratadas aplicando un pulso de vacío hasta 15 y 20 °Brix con y sin 1% de lactato cálcico en la disolución. Las muestras frescas cortadas se representan en todos los casos como referencia.	122
Figura III.19. Pérdida de masa asociada a la pérdida de fase líquida durante los seis días de almacenamiento en las fresas frescas y tratadas, referida a la masa inicial e incluyendo las variaciones de masa debidas al tratamiento osmótico (día 0).	126
Figura III.20. Pérdida de líquido durante los seis días de almacenamiento en las fresas frescas y tratadas, referida a la masa inicial según la ecuación III.22.	127
Figura III.21. Curva de punción de una fresa fresca, en la que se representa fuerza (F) frente a la deformación relativa (ϵ).	129
Figura III.22. Curvas de punción en fresas frescas, impregnadas isotónicamente y deshidratadas hasta 15 y 20 °Brix al inicio y al final del almacenamiento.	131
Figura III.23. Parámetros mecánicos (con intervalos LSD al 95%) al inicio y al final del almacenamiento, en fresas frescas, impregnadas isotónicamente (IV), deshidratadas osmóticamente a presión atmosférica (DO), deshidratadas osmóticamente aplicando un pulso de vacío (DOPV); con y sin calcio. Barras blancas: tiempo 0. Barras grises: tiempo 6 días de almacenamiento	132
Figura III.24. Cociente $F_{m\acute{a}x}/\epsilon_{m\acute{a}x}$ (con intervalos LSD al 95%) de las muestras control y tratadas al inicio y fin del almacenamiento. Barras blancas: tiempo 0. Barras grises 6 días de almacenamiento.	133
Figura III.25. Planos cromáticos a*L* de las fresas frescas y tratadas en la cara externa.	138
Figura III.26. Planos cromáticos a*L* de las fresas frescas y tratadas en la	138

cara interna.	
Figura III.27. Planos cromáticos a^*b^* de las fresas frescas y tratadas en la cara externa.	139
Figura III.28. Planos cromáticos a^*b^* de las fresas frescas y tratadas en la cara interna.	139
Figura III.29. Espectros de reflexión representativos de las muestras frescas y tratadas al inicio del almacenamiento en la cara externa.	141
Figura III.30. Espectros de reflexión representativos de las muestras frescas y tratadas al inicio del almacenamiento en la cara interna.	141
Figura III.31. Diferencias de color global (ΔE) provocadas por los diferentes tratamientos.	143
Figura III.32. Evolución de las coordenadas L^* a^* y b^* en la cara externa de fresas frescas y tratadas durante el almacenamiento.	144
Figura III.33. Evolución de las coordenadas C^* h^* y de las diferencias de color (ΔE) respecto a las muestras frescas al inicio del almacenamiento de la cara externa de fresas frescas y tratadas durante el almacenamiento.	145
Figura III.34. Evolución de las coordenadas L^* a^* y b^* en la cara interna de fresas frescas y tratadas durante el almacenamiento.	146
Figura III.35. Evolución de las coordenadas C^* h^* y de las diferencias de color (ΔE) respecto a las muestras frescas al inicio del almacenamiento de la cara interna de fresas frescas y tratadas durante el almacenamiento.	147

IV. ESTUDIOS EN MANZANA

Figura IV.1. Montaje utilizado para la modificación de la atmósfera de las cámaras destinadas a la medida de la tasa respiratoria.	158
Figura IV.2. Representación de 1-Y (a), de la ganancia de sólidos (b), de la pérdida de agua (c) y de la pérdida de masa total (d) en función de la raíz cuadrada del tiempo para los tratamientos osmóticos a presión atmosférica (DO) y aplicando un pulso de vacío (DOPV).	163
Figura IV.3. Evolución de la actividad de agua (a_w) en función de tiempo (a) y relación entre la actividad de agua y el nivel de concentración de la fase líquida (z_s) (b) según el tratamiento osmótico aplicado.	165
Figura IV.4. Relación entre la ganancia de sólidos solubles y la pérdida de agua en rodajas de manzana cortadas deshidratadas a presión atmosférica o con aplicación de un pulso de vacío en función del tiempo de proceso.	166
Figura IV.5.- Variación del $\%O_2$ y del $\%CO_2$ en el espacio de cabeza con rodajas de manzanas frescas a 0, 12 y 20°C y deshidratadas a 12 y 20 °C en el	168

periodo de TR constante. Las líneas muestran los valores obtenidos de la concentración de cada gas con el modelo ajustado (ec. IV.10 y IV. 11).	
Figura IV.6. Valores experimentales y predichos por los modelos de las tasas respiratorias de rodajas de manzana frescas y deshidratadas, en mL O_2 kg $^{-1}$ h $^{-1}$ (a) y mL CO_2 kg $^{-1}$ h $^{-1}$ (b), respectivamente, en función de la temperatura.	171
Figura IV.7.- Porcentaje de reducción de la tasa respiratoria de rodajas de manzana debido a la deshidratación osmótica hasta 20 °Brix, en función de la temperatura tanto en términos de O_2 como de CO_2 .	171
Figura IV.8. Valores experimentales y predichos por los modelos matemáticos de los cocientes respiratorios de rodajas de manzana frescas y deshidratadas, en función de la temperatura.	173
Figura IV.9. TR de rodajas de manzana deshidratadas osmóticamente y frescas en función de la concentración de la atmósfera y la temperatura (20 y 4 °C).	174
Figura IV.10. CR de rodajas de manzana frescas y deshidratadas en función de la atmósfera del espacio de cabeza y la temperatura (4 y 20 °C).	175
Figura IV.11. Contenido en cationes (Ca^{2+} , Na^+ , Mg^{2+} y k^+) de las manzanas frescas y tratadas (mg catión/100 g manzana tratada) en función de la concentración de lactato cálcico de la disolución osmótica.	180
Figura IV.12. Porcentaje de la cantidad diaria recomendada (CDR) cubierto por la ingesta 100 g de rodajas de manzana fresca (control) o tratadas.	181
Figura IV.13. Contenido en cationes (Ca^{2+} , Na^+ , Mg^{2+} y k^+) de muestras frescas y tratadas (mg catión/100 gramos de muestra fresca) en función de la concentración de lactato cálcico de la disolución osmótica.	181
Figura IV.14. Variaciones de masa de los cationes estudiados (Ca^{+2} , Na^+ , Mg^{+2} y K^+) según la concentración de lactato cálcico (L.C.) de la disolución y el tratamiento osmótico aplicado.	183
Figura IV.15. Pérdidas de peso (o de fase líquida) debidas al tratamiento y al almacenamiento durante seis días para las muestras tratadas con diferente nivel de lactato cálcico (rojo: sin L.C.; verde: 1% de L.C.; azul: 2% de L.C.) en la disolución osmótica y diferente tipo de tratamiento (muestras frescas (cruz), impregnadas isotónicamente (círculos) deshidratadas hasta 20°Brix (triángulos) y deshidratadas hasta 30°Brix (cuadrados)). Símbolos vacíos: muestras tratadas a presión atmosférica (DO). Símbolos rellenos: muestras tratadas con pulso de vacío (DOPV).	186
Figura IV.16. Pérdidas de peso (o de fase líquida) debidas al almacenamiento referidas a la masa inicial según la ecuación III.22 de las muestras tratadas con	188

diferente nivel de lactato cálcico (rojo: sin L.C.; verde: 1% de L.C.; azul: 2% de L.C.) en la disolución osmótica y diferente tipo de tratamiento (muestras frescas (cruz), impregnadas isotónicamente (círculos) deshidratadas hasta 20°Brix (triángulos) y deshidratadas hasta 30 °Brix (cuadrados)). Símbolos vacíos: muestras tratadas a presión atmosférica (DO). Símbolos rellenos: muestras tratadas con pulso de vacío (DOPV).	
Figura IV.17. Pérdida de líquido al final del almacenamiento en las muestras no tratadas, impregnadas y deshidratadas. Las barras indican los intervalos LSD (95 %).	189
Figura IV.18. Tasas respiratorias de rodajas de manzana frescas, impregnadas isotónicamente y deshidratadas con y sin pulso de vacío hasta 20 y 30 °Brix, con 0, 1 y 2% (p/p) de lactato cálcico al inicio del almacenamiento. Las barras indican los intervalos LSD (95 %).	191
Figura IV.19. Cocientes respiratorios de manzana frescas, impregnadas isotónicamente y deshidratadas con y sin pulso de vacío hasta 20 y 30 °Brix, con 0, 1 y 2% (p/p) de lactato cálcico al inicio del almacenamiento. Las barras indican los intervalos LSD (95 %).	192
Figura IV.20. Evolución de la tasa respiratoria en términos de O ₂ y CO ₂ de las muestras control y las muestras impregnadas isotónicamente.	194
Figura IV.21. Evolución de la tasa respiratoria en términos de O ₂ de las muestras control y las muestras deshidratadas hasta 20 y 30 °Brix.	194
Figura IV.22. Evolución de la tasa respiratoria en términos de CO ₂ de las muestras control y las muestras deshidratadas hasta 20 y 30 °Brix.	195
Figura IV.23. Evolución del cociente respiratorio de las muestras control y las muestras tratadas.	196
Figura IV.24. Curvas medias de punción de rodajas de manzana no tratada, impregnadas isotónicamente y deshidratadas hasta 20 y 30 °Brix al inicio y al final del almacenamiento.	198
Figura IV.25. Valores medios (con intervalos LSD al 95%) de los parámetros mecánicos analizados: Pendiente del tramo inicial (E), fuerza de fractura (F _{máx}), deformación de fractura (ε _{Fmáx}) y área para las muestras frescas y tratadas y a tiempo 0 y 6 días de almacenamiento.	202
Figura IV.26. Crecimiento microbiano en manzana fresca y deshidratada a presión atmosférica (DO) y con pulso de vacío (DOPV) hasta 20 °Brix, con 2% de calcio y sin calcio, almacenados a 10 °C. a) Aerobios mesófilos. b) Mohos y levaduras.	204

NOMENCLATURA

a*: coordenada cromática (rojo-verde)

a_w: actividad de agua

b*: coordenada cromática (amarillo-azul)

C*_{ab}: croma o saturación

CR: cociente respiratorio

D_e: Difusividad efectiva (m²s⁻¹)

DO: deshidratación osmótica a presión atmosférica

DOPV: deshidratación osmótica por pulso de vacío

E: pendiente del tramo inicial de la curva de punción

E_a: energía de activación (kJ·mol⁻¹)

F_{max}: fuerza de fractura (N)

h*: tono

HDM: mecanismo de transporte hidrodinámico

IV: impregnación a vacío

K: constante de Arrhenius (mLkg⁻¹h⁻¹)

K_i: constante de inhibición (%CO₂)

K_m: constante de Michaelis-Menten (%O₂)

k: pendiente de la zona exponencial de la sigmoide en el Modelo de Gompertz

k: constante de transferencia de materia total asociada a mecanismos osmodifusionales (estudio cinético)

k⁰: ganancia de masa total debida al HDM

k_s: constante de transferencia de solutos asociada a mecanismos osmodifusionales

k_s⁰: ganancia de solutos debida al HDM

k_w: constante de transferencia de agua asociada a mecanismos osmodifusionales

k_w⁰: ganancia de agua debida al HDM

l: semiespesor de la lámina

L*: Luminosidad

M: masa (kg o g)

Q₁₀: coeficiente de temperatura

R: constante de los gases

R₀: valor asintótico más bajo de la TR en el modelo de Gompertz

r: radio

T: temperatura

T_c: temperatura característica en el punto de inflexión en el modelo de Gompertz

TR: tasa respiratoria (mLkg⁻¹h⁻¹)

x_s: fracción másica de sólidos solubles

- x_s^0 : fracción másica de sólidos solubles a tiempo 0
 x_s^t : fracción másica de sólidos solubles a tiempo t
 x_w : fracción másica de agua
 x_w^0 : fracción másica de agua a tiempo 0
 x_w^t : fracción másica de agua a tiempo t
 x_l : fracción másica de líquido impregnado en la muestra
Y: fuerza impulsora del proceso
 y_s : fracción másica de solutos en la disolución
 y_w : fracción másica de agua en la disolución
 y_t : %O₂ ó %CO₂ a tiempo t
 y_{t0} : %O₂ ó %CO₂ a tiempo 0
 z_s : contenido de sólidos solubles en la fase líquida de la muestra
 z_w : contenido de agua en la fase líquida de la muestra
 $z_s^t \Big|_{\text{HDM}}$: Composición de la fase líquida de la muestra después del pulso de vacío
V: volumen del espacio de cabeza
 V_m : tasa respiratoria máxima en la ecuación de Michaelis-Menten
 ΔE : diferencias de color
 ΔM : variación de masa
 ΔM_w : variación del contenido en agua
 ΔM_s : variación del contenido en sólidos
 ΔR : diferencia entre los valores asintóticos en el modelo de Gompertz
 ε : deformación relativa
 $\varepsilon_{F\text{máx}}$: deformación de fractura