
ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN.....	15
1.1. Antecedentes y motivación.....	16
1.2. Descripción del problema	17
1.3. Solución propuesta.....	17
1.4. Objetivos	18
1.4.1. Objetivo general	18
1.4.2. Objetivos específicos	18
1.5. Alcances.....	19
1.6. Metodología y herramientas utilizadas	19
1.7. Resultados esperados	19
1.8. Organización del documento	19
CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO.....	21
2.1. Productos frutícolas	22
2.1.1. La actividad antioxidante y los productos frutícolas	22
2.1.2. Fitoquímicos fenólicos	23
2.1.3. Procesos de evaporación para la concentración	26
2.1.4. Procesos de membranas utilizados para la filtración	27
2.1.5. Procesos de membranas utilizados para la filtración de jugos	28
2.1.6. Métodos para la medición de compuestos valiosos del jugo.....	30
2.1.7. Método medición grados Brix	31
2.2. Cloruro de calcio.....	32
2.2.1. Aplicaciones del CaCl₂	33
2.2.2. Calidades de producto de CaCl₂	34
2.2.3. Procesos de producción aplicados.....	35
2.2.4. Propiedades y datos técnicos	37
2.2.5. Seguridad y manipulación.....	41
2.3. Cloruro de calcio como agente osmótico	41
2.3.1. Características necesarias del agente osmótico	41
CAPÍTULO 3: EXPERIMENTACION	43
3.1. Solución de CaCl₂	46

3.1.1. Procedimiento.....	46
3.2. Microfiltrado	47
3.2.1. Ensuciamiento de la membrana microfiltración	48
3.3. Jugo de manzana	49
3.3.1. Procedimiento.....	49
3.3.2. Proceso de microfiltrado	49
3.4. Reconcentración de cloruro de calcio.....	50
3.4.1. Tipo de medición	50
3.4.2. Métodos de prueba	52
3.4.3. Proceso de concentración	55
3.4.4. Consumo energético.....	60
3.5. Destilación osmótica	61
CAPÍTULO 4: RESULTADOS	63
4.1. Reconcentración.....	64
4.1.1. Gasto energético y comportamiento de las curvas de secado.....	64
4.1.2. Método seleccionado	70
4.2. Antocianinas totales.....	74
4.3. Polifenoles totales.....	76
4.4. Microfiltrado	82
4.4.1. Cloruro de calcio	82
4.4.2. Jugo de manzana	83
CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES, ANÁLISIS Y RECOMENACIONES	85
5.1. Conclusiones.....	86
5.2. BIBLIOGRAFÍA.....	90
CAPÍTULO 6: ANEXOS	93
6.1. Marco teórico.....	93
6.1.1. CaCl₂ aguamarket.....	93
6.1.2. Seguridad y manipulación de soluciones de CaCl ₂	93
6.2. Procesos de microfiltración en distintas concentraciones	97
6.2.1. Microfiltración al 40% p/v BP	97
6.2.2. Microfiltración al 30% p/v BD	97
6.2.3. Microfiltración al 60% p/v BD.....	97
6.3. Ensuciamiento de la membrana por microfiltración	98

6.4. PH diferencial	100
6.4.1. Absorbancia jugo muestra inicial, permeado, retenido, DO1 y DO2	101
6.4.2. Tablas resultados AT jugo muestra inicial, permeado, retenido, DO1 y DO2 ...	106
6.5. Método Folin-Ciocalteu.....	107
6.6. Reconcentración cloruro de calcio.....	110
6.6.1. Tablas concentración vs densidad y tabla de corrección densidad.....	110
6.6.2. Tablas de datos de pruebas	112
6.7. Destilación osmótica	114
6.7.2. Destilación osmótica N°2 (DO2)	117
6.8. Otras mediciones.....	118
6.9. Gráficos de pruebas	121
6.10. Tablas de pruebas	139

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1.1. Sistema de destilación osmótica	18
Ilustración 2.1. Tipos de fotoquímicos	23
Ilustración 2.2. Evaporador estándar	26
Ilustración 2.3. Proceso de separación por membranas convencionales	28
Ilustración 2.4. Esquema DO	30
Ilustración 2.5. Cloruro de calcio (sólido en escamas)	32
Ilustración 2.6. Diagrama producción de $CaCl_2$	36
Ilustración 3.1. Diagrama de etapas del proceso de MF y DO	45
Ilustración 3.2. Proceso de concentración Fuente: Propia	46
Ilustración 3.3. Vaso precipitado con solución de $CaCl_2$ para microfiltrar.....	47
Ilustración 3.4. Membrana de Micro-filtración	48
Ilustración 3.5. Microfiltración jugo de manzana con BD	49
Ilustración 3.6. Prototipo de secado	53
Ilustración 3.7. Pruebas cloruro de calcio reconcentrado	56
Ilustración 3.8. Ejemplo tiempo en alcanzar T° deseada	57
Ilustración 3.9. Microondas, ducto y sensor de Temperatura.	57
Ilustración 3.10. Ventilador de salida del microondas	58
Ilustración 3.11. Interior del microondas (ubicación del recipiente).....	58
Ilustración 3.12. Microondas con bomba de vacío conectada.....	59
Ilustración 3.13. Sistema de destilación osmótica	61
Ilustración 3.14. Limpiador ultrasónico.....	62
Ilustración 4.1. Solución de $CaCl_2$ solidificada	70
Ilustración 4.2. Prueba cromatografía.....	75

Ilustración 4.3. Jugo de manzana (muestra N°1) en todas las etapas; muestra inicial (mi), retenido (R), permeado (P) y destilación osmótica (DO)	81
Ilustración 6.1. Método de PH diferencial para obtener absorbancia de antocianinas	101
Ilustración 6.2. Preparación de la curva de calibración	108
Ilustración 6.3. Mini módulo liquicel 1.7x5.5	114
Ilustración 6.4. Bomba peristáltica MASTERFLEX.....	114

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Propiedades del cloruro de calcio.....	33
Tabla 2.2. Calidades de productos de cloruro de calcio.....	35
Tabla 3.1. Equipos usados en la experimentación	44
Tabla 3.2. Materiales usados.....	44
Tabla 3.3. Tipos de métodos para concentrar soluciones de $CaCl_2$	52
Tabla 3.4. Tipo de prueba y sus variables de funcionamiento definidas	54
Tabla 3.5. Gasto energético túnel de viento	60
Tabla 3.6. Gasto energético microondas y bomba de vacío	60
Tabla 4.1. Resumen consumo energético de cada método de concentración	64
Tabla 4.2. Resultados pruebas concentración.....	65
Tabla 4.3. Resumen pruebas método seleccionado de reconcentración	71
Tabla 4.4. Reconcentración de solución para DO	72
Tabla 4.5. Resumen antocianinas totales.....	75
Tabla 4.6. Medición polifenoles muestra inicial, permeado, retenido y DO1	76
Tabla 4.7. Medición polifenoles muestra inicial, permeado, retenido y DO2	76
Tabla 6.1. Microfiltración (N°1) 40% de $CaCl_2$ mediante BP	98
Tabla 6.2. Microfiltración (N°1) 30% de $CaCl_2$ mediante BD.....	98
Tabla 6.3. Microfiltración (N°1) 60% de $CaCl_2$ mediante BD.....	99
Tabla 6.4. Microfiltración (N°2) jugo de manzana mediante BP.....	99
Tabla 6.5. Medición absorbancia muestra inicial a 515 nm.....	101
Tabla 6.6. Medición absorbancia muestra inicial a 700 nm.....	101
Tabla 6.7. Medición absorbancia muestra inicial N°2 a 515 nm	102
Tabla 6.8. Medición absorbancia muestra inicial N°2 a 700 nm	102
Tabla 6.9. Medición absorbancia muestra inicial retenido a 515 nm	102
Tabla 6.10. Medición absorbancia muestra inicial retenido a 700 nm	103
Tabla 6.11. Medición absorbancia muestra inicial retenido (N°2) a 515 nm.....	103
Tabla 6.12. Medición absorbancia muestra inicial retenido (N°2) a 700 nm.....	103
Tabla 6.13. Medición absorbancia muestra inicial permeado a 515 nm	104

Tabla 6.14. Medición absorbancia muestra inicial permeado a 700 nm	104
Tabla 6.15. Medición absorbancia muestra inicial permeado N°2 a 515 nm	104
Tabla 6.16. Medición absorbancia muestra inicial permeado N°2 a 700 nm	105
Tabla 6.17. Medición absorbancia concentrado DO1 a 515 nm	105
Tabla 6.18. Medición absorbancia concentrado DO1 a 700 nm	105
Tabla 6.19. Medición absorbancia concentrado DO2 a 515 nm	106
Tabla 6.20. Medición absorbancia concentrado DO2 a 700 nm	106
Tabla 6.21. Absorbancia muestra inicial N°1 y N°2	106
Tabla 6.22. Absorbancia muestra inicial retenido N°1 y N°2	106
Tabla 6.23. Absorbancia muestra inicial permeado N°1 y N°2	107
Tabla 6.24. Absorbancia (AT) concentrado DO1	107
Tabla 6.25. Absorbancia (AT) concentrado DO2	107
Tabla 6.26. Datos curva patrón fenol	107
Tabla 6.27. Equivalencia para la determinación de la concentración de <i>CaCl2</i> a 15°C	110
Tabla 6.28. Corrección de densidad por diferencia de Temp. °C	111
Tabla 6.29. Extracto de tabla para tomar datos para prueba experimental.....	112
Tabla 6.30. Resultados pruebas método seleccionado.....	113
Tabla 6.31. Resumen general de todas las pruebas de concentración de <i>CaCl2</i>	113
Tabla 6.32. Características modulo para destilación osmótica	114
Tabla 6.33. Corrección de °Brix de acuerdo a la temperatura	115
Tabla 6.34. Datos obtenidos DO1.....	116
Tabla 6.35. Variación de concentración y volumen solución DO1.....	117
Tabla 6.36. Datos obtenidos DO2.....	117
Tabla 6.37. Variación de concentración y volumen solución DO2.....	118
Tabla 6.38. Otras mediciones DO	120
Tabla 6.39. Corrección de °Brix final DO 1 y 2.....	120
Tabla 6.40. Resumen otras mediciones DO1.....	120
Tabla 6.41. Resumen otras mediciones DO2.....	121
Tabla 6.42. Relación entre volumen inicial, concentrado final, gasto energético en el tiempo al reconcentrar cloruro de calcio (32 al 42 %p/v)	139
Tabla 6.43. P1.1. Aire Forzado 70°C.	140
Tabla 6.44. P1.2. Aire Forzado 90°C	141
Tabla 6.45. P2.3. Microondas Potencia 30% Aire Entrada 25°C.....	142
Tabla 6.46. P2.1. Microondas Potencia 30% Aire de Entrada 45°C.....	143
Tabla 6.47. P2.2. Microondas Potencia 10% Aire Entrada 90°C.....	144
Tabla 6.48. P4.2. BBA Vacío y Microondas Potencia 30 %	145
Tabla 6.49. P3.1. Microondas Potencia 10%	146

Tabla 6.50. P3.2. Microondas Potencia 30%	147
Tabla 6.51. P5.2. BBA Vacío, Microondas Potencia 30% Aire de Entrada 45°C	149
Tabla 6.52. P5.1. BBA Vacío, Microondas Potencia 30% Aire de Entrada 90°C	150
Tabla 6.53. P4.1. BBA Vacío y Microondas Potencia 50 %	152
Tabla 6.54. P2.4. Microondas Potencia 50% Aire Entrada T° amb.....	153
Tabla 6.55. P2.4.1. Microondas Potencia 50% Aire Entrada T° amb.....	154
Tabla 6.56. P2.4.2. Microondas Potencia 50% Aire Entrada T° amb.....	155
Tabla 6.57. P2.4.3. Microondas Potencia 50% Aire Entrada T° amb.....	156
Tabla 6.58. P2.4.4. Microondas Potencia 50% Aire Entrada T° amb.....	157
Tabla 6.59. P2.4.9. Reconcentración CaCl ₂ Usado DO1 (N°2) Alexis Microondas Potencia 50% Aire Entrada T° amb.....	158

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 2.1. Punto de congelamiento de soluciones de CaCl ₂	37
Gráfico 2.2. Punto de ebullición de soluciones de CaCl ₂	38
Gráfico 2.3. Incremento teórico de temperatura en preparaciones de soluciones de CaCl ₂ a partir de sólido	39
Gráfico 2.4. Tensión superficial de soluciones de CaCl ₂ puras.....	40
Gráfico 2.5. Calor específico de soluciones acuosas de CaCl ₂	40
Gráfico 2.6. Viscosidad absoluta de soluciones de CaCl ₂	41
Gráfico 3.1. Concentración (%P/P) vs Densidad (kg/l) Fuente: Propia	52
Gráfico 4.1. Concentración CaCl ₂ método 1.....	65
Gráfico 4.2. Concentración CaCl ₂ método 2.....	66
Gráfico 4.3. Concentración CaCl ₂ método 3.....	67
Gráfico 4.4. Concentración CaCl ₂ método 4.....	67
Gráfico 4.5. Concentración CaCl ₂ método 5.....	68
Gráfico 4.6. Comparación mejores pruebas.....	69
Gráfico 4.7. Peso/volumen vs tiempo método 2.4	71
Gráfico 4.8. Variación volumen inicial y reconcentrado en el tiempo	73
Gráfico 4.9. Variación gasto energético respecto al volumen concentrado en el tiempo	74
Gráfico 4.10. Comparación polifenoles totales DO	77
Gráfico 4.11. Otras mediciones DO (PH, TDS, Densidad)	78
Gráfico 4.12. DO °Brix vs tiempo	79
Gráfico 4.13. Comparación °Brix (M1 y M2) en etapas.....	80
Gráfico 4.14. DO volumen vs tiempo	80

Gráfico 4.15. Microfiltración (N°1) al 40% de $CaCl_2$ mediante BP (Flujo vs Tiempo)	82
Gráfico 4.16. Microfiltración (N°1) al 30% de $CaCl_2$ mediante BD (Flujo vs Tiempo).....	82
Gráfico 4.17. Microfiltración (N°1) al 60% de $CaCl_2$ mediante BD	82
Gráfico 4.18. MF (N°2) Jugo de manzana con BP (Flujo vs Tiempo)	83
Gráfico 4.19. Comparación ensuciamiento de membrana	84
Gráfico 6.1. Curva patrón de calibración F-C.....	108
Gráfico 6.2. Otras mediciones M1 (PH, TDS, densidad)	118
Gráfico 6.3. Otras mediciones M2 (PH, TDS, densidad)	118
Gráfico 6.4. Polifenoles totales M1	119
Gráfico 6.5. Polifenoles totales M2	119
Gráfico 6.6. Curvas método elegido (100, 250, 500, 750 y 1000 ml) y reconcentración (1000ml).....	121
Gráfico 6.7. Aire Forzado 70°C Volumen/Peso vs Tiempo	122
Gráfico 6.8. Aire Forzado 70°C Concentración vs Tiempo.....	122
Gráfico 6.9. Aire Forzado 90°C Volumen/Peso vs Tiempo	123
Gráfico 6.10. Aire Forzado 90°C Concentración vs Tiempo	123
Gráfico 6.11. Microondas Potencia 30% Aire de Entrada 45°C Volumen/Peso vs Tiempo	124
Gráfico 6.12. Microondas Potencia 30% Aire Entrada 45°C Concentración vs Tiempo.....	124
Gráfico 6.13. Microondas Potencia 10% Aire Entrada 90°C Volumen/Peso vs Tiempo	125
Gráfico 6.14. Microondas Potencia 10% Aire Entrada 90°C Concentración vs Tiempo.....	125
Gráfico 6.15. Microondas Potencia 30% Aire Entrada 25°C Volumen/Peso vs Tiempo	126
Gráfico 6.16. Microondas Potencia 30% Aire Entrada 25°C Concentración vs Tiempo.....	126
Gráfico 6.17. Microondas Potencia 50% Aire Entrada T° amb. (22°C) Volumen/Peso vs Tiempo	127
Gráfico 6.18. Microondas Potencia 50% Aire Entrada T° amb. (22°C) Concentración vs Tiempo	127
Gráfico 6.19. Microondas Potencia 10% Volumen/Peso vs Tiempo	128
Gráfico 6.20. Microondas Potencia 10% Concentración vs Tiempo	128
Gráfico 6.21. Microondas Potencia 30% Volumen/Peso vs Tiempo	129
Gráfico 6.22. Microondas Potencia 30% Concentración vs Tiempo	129
Gráfico 6.23. BBA Vacío y Microondas Potencia 50 % Volumen/Peso vs Tiempo	130
Gráfico 6.24. BBA Vacío y Microondas Potencia 50 % Concentración vs Tiempo	130
Gráfico 6.25. BBA Vacío y Microondas Potencia 30 % Volumen/Peso vs Tiempo	131
Gráfico 6.26. BBA Vacío y Microondas Potencia 30 % Concentración vs Tiempo	131
Gráfico 6.27. BBA Vacío, Microondas Potencia 30% Aire de Entrada 90°C Volumen/Peso vs Tiempo.....	132

Gráfico 6.28. BBA Vacío, Microondas Potencia 30% Aire de Entrada 90°C Concentración vs Tiempo.....	132
Gráfico 6.29. BBA Vacío, Microondas Potencia 30% Aire de Entrada 45°C Volumen/Peso vs Tiempo.....	133
Gráfico 6.30. BBA Vacío, Microondas Potencia 30% Aire de Entrada 45°C Concentración vs Tiempo.....	133
Gráfico 6.31. (N°1) Microondas Potencia 50% Aire Entrada T° amb. (22°C) Volumen/Peso vs Tiempo.....	134
Gráfico 6.32. (N°1) Microondas Potencia 50% Aire Entrada T° amb. (22°C) Concentración vs Tiempo.....	134
Gráfico 6.33. (N°2) Microondas Potencia 50% Aire Entrada T° amb. (22°C).....	135
Gráfico 6.34. (N°2) Microondas Potencia 50% Aire Entrada T° amb. (22°C) Concentración vs Tiempo.....	135
Gráfico 6.35. (N°3) Microondas Potencia 50% Aire Entrada T° amb. (22°C) Volumen/Peso vs Tiempo.....	136
Gráfico 6.36. (N°3) Microondas Potencia 50% Aire Entrada T° amb. (22°C) Concentración vs Tiempo.....	136
Gráfico 6.37. (N°4) Microondas Potencia 50% Aire Entrada T° amb. (22°C) Volumen/Peso vs Tiempo.....	137
Gráfico 6.38. (N°4) Microondas Potencia 50% Aire Entrada T° amb. (22°C) Concentración vs Tiempo.....	137
Gráfico 6.39. Reconcentración $CaCl_2$ usado DO1 (N°2) Volumen/Peso vs Tiempo	138
Gráfico 6.40. Reconcentración $CaCl_2$ usado DO1 (N°2) Concentración vs Tiempo.....	138

NOMENCLATURA

AO	Agente Osmótico
DO	Destilación Osmótica
EO	Evaporación Osmótica
CaCl₂	Cloruro de Calcio
OI	Osmosis Inversa
OD	Osmosis Directa
PFT	Polifenoles Totales
AT	Antocianinas Totales
F-C	Folin-Ciocalteu
kt	kilo tonelada
W	Potencia
HZ	Frecuencia
μ	Micro
BD	Bomba de Diafragma
BP	Bomba Peristáltica
MF	Microfiltración
M1	Muestra N°1
M2	Muestra N°2