

ÍNDICE

DEDICATORIA.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
RESUMEN.....	IV
ABSTRACT.....	V
ÍNDICE.....	VI
ÍNDICE DE TABLAS.....	IX
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XI
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	XII
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	XII
NOMENCLATURA.....	XIII
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 ANTECEDENTES Y MOTIVACIÓN.....	2
1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	2
1.3 SOLUCIÓN PROPUESTA.....	3
1.4 OBJETIVO GENERAL.....	4
1.5 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	4
1.6 ALCANCES DEL PROYECTO.....	5
1.7 METODOLOGÍA Y HERRAMIENTAS UTILIZADAS.....	5
1.7 RESULTADOS ESPERADOS.....	6
1.8 ORGANIZACIÓN DEL DOCUMENTO.....	6
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	7
2.1 EL SECTOR DE ACEITE DE OLIVA EN CHILE.....	8
2.1.1 Superficie plantada en Chile.....	9
2.2 MÉTODOS DE EXTRACCIÓN DE ACEITE DE OLIVA.....	10
2.3 SUBPRODUCTOS DE LA INDUSTRIA DE ACEITE DE OLIVA.....	12
2.3.1 Alpechín subproducto seleccionado.....	13
2.4 TECNOLOGÍAS DE MEMBRANAS.....	14
2.4.1 Modos de filtración.....	15
2.4.1.1 Filtración frontal.....	15
2.4.1.2 Filtración tangencial.....	16
2.4.2 Módulos proceso de separación por membrana.....	16
2.4.2.1 Módulos tubulares.....	17
2.4.3 Aplicaciones.....	18

2.5 PROCESOS CONVENCIONALES DE SEPARACIÓN POR MEMBRANAS	19
2.5.1 Micro-Filtración	19
2.5.2 Ultra-Filtración	20
2.5.3 Nano-Filtración.....	20
2.6 PROCESOS NO CONVENCIONALES DE SEPARACIÓN POR MEMBRANAS	21
2.6.1 Destilación por membrana.....	21
2.6.2 Pervaporación	22
2.6.3 Perstracción	22
2.7 PRINCIPIO DEL PROCESO DE DESTILACIÓN OSMÓTICA	22
2.7.1 Modelación de la transferencia de masa en el proceso.....	24
2.7.2 PREDICCIÓN DE LA ACTIVIDAD DE AGUA	26
2.8 COMPUESTOS VALIOSOS A OBTENER DESDE EL TRATAMIENTO DEL ALPECHÍN	28
2.8.1 Antocianinas	28
2.8.2 Polifenoles	28
2.9 MÉTODOS QUÍMICOS PARA DETERMINAR LA CAPACIDAD ANTIOXIDANTE DEL ALPECHÍN	30
2.9.1 Determinación de antocianinas totales (AT)	30
2.9.2 Determinación de polifenoles totales (PT)	31
2.9.2.1 Preparación de la curva de calibración	31
2.9.3 Medición de Sólidos solubles (SS).....	33
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL	34
3.1 EQUIPO EXPERIMENTAL.....	35
3.2 PROCESO DE MICROFILTRACIÓN (MF)	37
3.2.1 Microfiltración cloruro de calcio (CaCl ₂).....	37
3.2.2 Microfiltración Alpechín	38
3.2.3 Medición del flujo transmembrana.....	38
3.3 PROCESO DE DESTILACIÓN OSMÓTICA.....	39
3.3.1 Descripción de las pruebas experimentales realizadas	42
3.3.2 Medición del flujo evaporativo de agua	44
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	45
4.1 PROCESO DE MICROFILTRACIÓN	46
4.1.1 Flujo transmembrana	46
4.1.1.1 Flujo transmembrana MF cloruro de calcio	46
4.1.1.2 Flujo transmembrana MF alpechín.....	48

4.1.2 Medición de antocianinas totales.....	49
4.1.2.1 Medición de antocianinas totales muestra inicial de alpechín y proceso de microfiltrado	49
4.1.3 Medición de polifenoles totales.....	50
4.1.3.1 Medición de polifenoles totales muestra inicial y microfiltración	50
4.1.4 Otras mediciones	52
4.2 DESTILACIÓN OSMÓTICA.....	53
4.2.1 Flujo evaporativo.....	53
4.2.2 Medición de antocianinas	56
4.2.2.1 Medición de antocianinas de las pruebas de DO realizadas.....	56
4.2.3 Medición de polifenoles totales.....	57
4.2.3.1 Medición de polifenoles totales de las pruebas de DO realizadas.....	57
4.2.4 Otras mediciones	60
4.2.5 Comportamiento de la cinética de evaporación del agua	61
4.3 SIMULACIÓN COMPUTACIONAL	66
CONCLUSIONES.....	71
CONCLUSIONES.....	72
REFERENCIAS	74
ANEXOS	77
ANEXO 1	78
ANEXO 2	83
ANEXO 3	84
ANEXO 4.....	85
ANEXO 5.....	86
ANEXO 6.....	94
ANEXO 7	95
ANEXO 8.....	96
ANEXO 9.....	97
ANEXO 10.....	100
ANEXO 11.....	103
ANEXO 12.....	104

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Principales aplicaciones de los procesos por membranas.	19
Tabla 2 Medición absorbancia curva de calibración	32
Tabla 3 Equipos utilizados para la destilación osmótica.....	35
Tabla 4 Materiales utilizados para la destilación osmótica	36
Tabla 5 Reactivos utilizados para la destilación osmótica	36
Tabla 6. Características módulo destilación osmótica.....	40
Tabla 7. Condiciones de operación proceso de destilación osmótica.....	42
Tabla 8. Medición de absorbancia promedio para PT muestra inicial, permeado MF y retenido MF.	51
Tabla 9. Concentración de polifenoles totales en la MI, permeado MF y retenido MF con el error asociado a su medición.	51
Tabla 10. Variación de pH, °Brix y TDS en la MI, permeado MF y retenido MF.	53
Tabla 11. Medición de absorbancia promedio de las pruebas de DO a 765 Nm.	58
Tabla 12. Polifenoles totales del alpechín de oliva después de su concentración mediante DO.	59
Tabla 13. Variación de pH, °Brix y TDS en la destilación osmótica.	61
Tabla 14. Resumen de pruebas de DO a distintas condiciones de operación.....	61
Tabla 15. Proceso microfiltración cloruro de calcio 50%.	83
Tabla 16. Proceso microfiltración cloruro de calcio 60%.	84
Tabla 17. Proceso de microfiltración alpechín.	85
Tabla 18. Medición proceso DO prueba 1.....	86
Tabla 19. Medición proceso DO prueba 2.....	87
Tabla 20. Medición proceso DO prueba 3.....	88
Tabla 21. Medición proceso DO prueba 4.....	89
Tabla 22. Medición proceso DO prueba 5.....	90
Tabla 23. Medición proceso DO prueba 6.....	91
Tabla 24. Medición proceso DO prueba 7.....	92
Tabla 25. Medición proceso DO prueba .8.....	93
Tabla 26. Medición absorbancia AT muestra inicial a 515 nm.....	94
Tabla 27. Medición absorbancia AT permeado MF a 515 nm.....	94

Tabla 28. Medición absorbancia AT retenido MF a 515 nm.....	94
Tabla 29. Medición absorbancia AT muestra inicial a 700 nm.....	95
Tabla 30. Medición absorbancia AT permeado MF a 700 nm.....	95
Tabla 31. Medición absorbancia AT retenido MF a 700 nm.....	95
Tabla 32. Medición absorbancia PT muestra inicial, permeado MF y retenido MF a 765 nm.	96
Tabla 33. Medición absorbancia AT proceso DO 1 a 515 nm.	97
Tabla 34. Medición absorbancia AT proceso DO 2 a 515 nm.	97
Tabla 35. Medición absorbancia AT proceso DO 3 a 515 nm.	97
Tabla 36. Medición absorbancia AT proceso DO 4 a 515 nm.	98
Tabla 37. Medición absorbancia AT proceso DO 5 a 515 nm.	98
Tabla 38. Medición absorbancia AT proceso DO 6 a 515 nm.	98
Tabla 39. Medición absorbancia AT proceso DO 7 a 515 nm.	99
Tabla 40. Medición absorbancia AT proceso DO 8 a 515 nm.	99
Tabla 41. Medición absorbancia AT proceso DO 1 a 700 nm.	100
Tabla 42. Medición absorbancia AT proceso DO 2 a 700 nm.	100
Tabla 43. Medición absorbancia AT proceso DO 3 a 700 nm.	100
Tabla 44. Medición absorbancia AT proceso DO 4 a 700 nm.	101
Tabla 45. Medición absorbancia AT proceso DO 5 a 700 nm.	101
Tabla 46. Medición absorbancia AT proceso DO 6 a 700 nm.	101
Tabla 47. Medición absorbancia AT proceso DO 7 a 700 nm.	102
Tabla 48. Medición absorbancia AT proceso DO8 a 700 nm.	102
Tabla 49. Medición absorbancia PT procesos de DO a 765 nm.....	103

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de flujo de las distintas operaciones que se realizan en cada uno de los tres procesos de extracción de aceite de oliva.	11
Figura 2. Diagrama de flujo para la obtención de la solución concentrada.....	14
Figura 3. Esquema de la separación mediante la tecnología de membranas.....	15
Figura 4. Filtración perpendicular (a) y tangencial (b).....	16
Figura 5. Principio de funcionamiento de un módulo de membranas.....	16
Figura 6. Esquema representativo de una destilación por membranas.....	21
Figura 7. Esquema de los fenómenos de transporte con los perfiles de concentración a través de la membrana.....	23
Figura 8. Esquema del proceso de DO.	41
Figura 9. Flujo evaporativo del proceso de DO del alpechín para una temperatura de 30°C. (a) 2 L/min 50%, (b) 2 L/min 60%, (c) 1,5 L/min 50%, (d) 1,5 L/min 60%.....	54
Figura 10. Flujo evaporativo del proceso de DO del alpechín para una temperatura de 40°C. (a) 2 L/min 50%, (b) 2 L/min 60%, (c) 1,5 L/min 50%, (d) 1,5 L/min 60%.....	55
Figura 11. Comportamiento de la reducción de volumen del alpechín en el tiempo para una temperatura de 30°C. (a) 2 L/min, (b) 1,5 L/min.	63
Figura 12. Comportamiento de la reducción de volumen del alpechín en el tiempo para una temperatura de 40°C. (a) 2 L/min, (b) 1,5 L/min.	64
Figura 13. Comparación de la reducción de volumen experimental (rojo) y simulado (azul) para diferentes concentraciones y flujos en las pruebas de DO a 30 °C.	67
Figura 14. Comparación de la reducción de volumen experimental (rojo) y simulado (azul) para diferentes concentraciones y flujos en las pruebas de DO a 40 °C.	68
Figura 15. Simulación numérica del %p/p (a), flujo transmembra (b), actividad de agua (c) y fracciones másicas (d) del alpechín (verde) y salmuera (rojo) para diferentes concentraciones y flujos durante las pruebas de DO a 30 °C.....	69
Figura 16. Simulación numérica del %p/p (a), flujo transmembra (b), actividad de agua (c) y fracciones másicas (d) del alpechín (verde) y salmuera (rojo) para diferentes concentraciones y flujos durante las pruebas de DO a 40 °C.....	70

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Procesos de separación por membranas convencionales.....	20
Ilustración 2 Preparación de la curva de calibración	32
Ilustración 3 Membrana microfiltración.....	37
Ilustración 4. Módulo de destilación osmótica liqui-cel 1.7x5.5.	39
Ilustración 5. Bomba peristáltica MASTERFLEX.....	40
Ilustración 6. Bomba de diafragma SHURflo 8090-802-278.....	41
Ilustración 7. Sistema de destilación osmótica.....	43
Ilustración 8. Prueba cromográfica del retenido MF (izquierda), permeado MF (derecha).	50
Ilustración 9. Comparativa entre la muestra inicial (izquierda), retenido MF (centro) y permeado MF (derecha).....	53
Ilustración 10. Prueba cromográfica DO 8 (izquierda) y DO 1 (derecha).	57
Ilustración 11. Comparativa alpechín microfiltrado (izquierda) y alpechín concentrado mediante DO (derecha).....	65

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Evolución de la superficie plantada para la producción de aceite 2006-2015.	9
Gráfico 2. Proyección de la superficie plantada de olivos en Chile.	10
Gráfico 3 Curva de calibración.....	33
Gráfico 4. Flujo transmembrana proceso de microfiltración del cloruro de calcio al 50%..	46
Gráfico 5. Flujo transmembrana proceso de microfiltración del cloruro de calcio al 60%..	47
Gráfico 6. Medición de ensuciamiento de la membrana en el proceso de microfiltración del alpechín.....	48
Gráfico 7. Comparación de la concentración de PT en la MI, permeado MF y retenido MF.	52
Gráfico 8. Comparación de la concentración de PT en proceso de destilación osmótica.	60

NOMENCLATURA

NOMENCLATURA LETRAS LATINAS

A	Área	(L ²)
CaCl ₂	Cloruro de calcio	
D	Difusividad	(L s ⁻²)
DO	Destilación osmótica	
J	Flujo de transferencia de masa	(mol s ⁻¹)
J	Flujo de transmembrana	(kg/L ² h)
K	Coefficiente de transferencia de masa	(mol L ⁻² s ⁻¹)
L	Longitud específica	(L)
MF	Microfiltración	
P	Presión	(Pa)
P _w	Presión parcial del agua	(Pa)
Q	Caudal volumétrico	(L ³ s ⁻¹)
R	Constante universal de los gases	(8.314 J mol ⁻¹ K ⁻¹)
Re	Número de Reynolds	(adimensional)
Sh	Número de Sherwood	(adimensional)
Sc	Número de Schmidt	(adimensional)
SS	Sólidos solubles	(°Brix)
T	Temperatura	(°C, K)
TDS	Sólidos totales disueltos	(ppm, ppt)

V	Volumen	(L, ml, cm ³)
v	Velocidad	(L s ⁻¹)
X	Fracción molar	(adimensional)
[]	Concentración	(kg/L)

NOMENCLATURA LETRAS GRIEGAS

ε	Porosidad	(adimensional)
τ	Tortuosidad	(adimensional)
δ	Espesor	(L)
ρ	Densidad	(kg L ⁻¹)

NOMENCLATURA SUBÍNDICES

1	Referido a la capa límite de la solución de alimentación
2	Referido a la membrana
3	Referido a la capa límite del líquido extractante
W	Agua
A	Aire