

## ÍNDICE GENERAL

<b>I. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>1.1. El desalado de bacalao .....</b>	<b>3</b>
1.1.1. Antecedentes históricos.....	3
1.1.2. El mercado actual.....	5
1.1.3. El proceso de desalado de bacalao .....	7
<b>1.2. La salmuera residual del desalado de bacalao .....</b>	<b>9</b>
1.2.1. Problemática medioambiental de la salmuera residual .....	9
1.2.1.1. Recuperación de materias reutilizables .....	10
1.2.1.2. Reutilización .....	11
1.2.1.3. Estándares de vertido: Legislación europea y española .....	11
1.2.2. Gestión ambiental de la salmuera residual del desalado de bacalao .....	16
<b>1.3. Tecnología de membranas.....</b>	<b>18</b>
1.3.1. Antecedentes .....	18
1.3.2. Procesos de membrana.....	20
1.3.3. Clasificación de las operaciones de membrana.....	22
1.3.4. Tipos de membranas y módulos .....	25
1.3.4.1. Naturaleza de las membranas.....	25
1.3.4.2. Composición de las membranas .....	26
1.3.4.3. Módulos de membranas.....	28
1.3.5. Procesos de microfiltración y ultrafiltración tangencial.....	30
1.3.5.1. Microfiltración tangencial (MF).....	31
1.3.5.2. Ultrafiltración (UF).....	32
1.3.6. Fuerzas generalizadas para el transporte .....	33
1.3.7. Parámetros característicos en los procesos de membrana.....	35
1.3.8. Polarización por concentración .....	37
<b>1.4. Aplicación de tecnología de membranas en el tratamiento de efluentes industriales.....</b>	<b>39</b>
1.4.1. Recuperación de proteínas en efluentes.....	39
1.4.2. Ensuciamiento de la membrana en la separación de proteínas .....	40
<b>II. OBJETIVOS Y PLAN DE TRABAJO .....</b>	<b>45</b>
<b>2.1. Objetivos.....</b>	<b>47</b>
2.1.1. Objetivo General.....	47
2.1.2. Objetivos específicos (o parciales):.....	47
<b>2.2. Plan de trabajo.....</b>	<b>47</b>
<b>III. MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>49</b>
<b>3.1. Obtención de la Salmuera Residual .....</b>	<b>51</b>
<b>3.2. Determinaciones analíticas.....</b>	<b>52</b>
3.2.1. Sólidos totales y humedad.....	52
3.2.1.1. Humedad en muestra sólida (AOAC 24.002, 2000) .....	53
3.2.1.2. Sólidos totales en muestra líquida (APHA 2540B, 1998).....	53

3.2.2. Sólidos volátiles y sólidos fijos (cenizas). (APHA 2540E, 1998).....	54
3.2.3. Contenido de Cloruro Sódico .....	55
3.2.4. Determinación de nitrógeno total y proteína bruta (AOAC 24.037, 1984) .....	56
3.2.5. Determinación de proteína (método Bradford).....	59
3.2.6. Determinación de grasas (APHA 5520D, 1998).....	59
3.2.7. Determinación de la densidad.....	61
3.2.8. Determinación de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO <sub>5</sub> ) .....	61
3.2.9. Determinación de la demanda química de oxígeno (DQO).....	64
3.2.10. Determinación de la conductividad.....	65
3.2.11. Determinación del pH .....	65
3.2.12. Turbidez .....	66
3.2.13. Estudio Reológico.....	67
3.2.14. Análisis del Tamaño de Partícula .....	68
3.2.15. Potencial Zeta.....	69
3.2.16. Electroforesis de proteínas en geles de poliacrilamida .....	72
<b>3.3. Filtración frontal (FF) de salmuera residual de desalado de bacalao a distintos valores de pH .....</b>	<b>72</b>
<b>3.4. Procedimiento experimental general en filtración tangencial.....</b>	<b>73</b>
3.4.1. Hidratación y limpieza inicial de la membrana .....	74
3.4.2. Ensayo de permeabilidad al agua .....	74
3.4.3. Acondicionamiento previo de la membrana.....	75
3.4.4. Retrolavado de la membrana.....	75
3.4.5. Medida de la resistencia por ensuciamiento interno y superficial.....	76
3.4.6. Limpieza de la membrana.....	76
<b>3.5. Microfiltración tangencial (MF) .....</b>	<b>77</b>
<b>3.6. Ultrafiltración (UF) .....</b>	<b>78</b>
<b>3.7. Equipo y módulo de filtración.....</b>	<b>80</b>
3.7.1. Módulo de filtración.....	80
3.7.2. Equipo experimental .....	82
<b>IV. RESULTADOS - CARACTERIZACIÓN DE LA SALMUERA.....</b>	<b>85</b>
<b>4.1. Transferencia de Masa en el Proceso de Desalado .....</b>	<b>87</b>
<b>4.2. Caracterización de la Salmuera del Desalado de Bacalao .....</b>	<b>89</b>
4.2.1. Estudio Reológico.....	89
4.2.2. Distribución del Tamaño de Partícula.....	94
4.2.3. Potencial Z .....	95
4.2.4. Electroforesis de proteínas .....	98
<b>V. RESULTADOS - TRATAMIENTO PRELIMINAR DE LA SALMUERA</b>	<b>99</b>
<b>5.1. Filtración frontal (FF) de salmuera residual de desalado de bacalao a distintos pH .....</b>	<b>101</b>
5.1.1. Variación del volumen de permeado en el tiempo .....	101
5.1.2. Determinación de la densidad de flujo de permeado .....	103
<b>5.2. Determinación de los sólidos volátiles en el permeado.....</b>	<b>105</b>
<b>5.3. Discusión de los resultados .....</b>	<b>107</b>

<b>VI. RESULTADOS – MICROFILTRACIÓN TANGENCIAL DE LA SALMUERA .....</b>	<b>109</b>
6.1. Caracterización inicial de la membrana .....	111
6.2. Influencia de la fuerza impulsora ( $\Delta P$ ) sobre la densidad del flujo de permeado en la MF de salmuera residual .....	111
6.3. Influencia de la velocidad tangencial (VT) sobre la densidad de flujo de permeado.....	119
6.4. Análisis de la superficie de respuesta para las variables estudiadas ...	123
6.4.1. Efecto de los factores sobre la densidad de flujo de permeado ( $J$ ) .....	124
6.4.2. Efecto de los factores sobre la resistencia por ensuciamiento ( $R_f$ ).....	129
6.4.3. Efecto de los factores sobre la resistencia por ensuciamiento interno ( $R_{if}$ ).....	133
6.4.4. Efecto de los factores sobre la resistencia por ensuciamiento superficial ( $R_{sf}$ ) .....	136
6.4.5. Optimización de las múltiples respuestas.....	142
6.5. Retención de proteínas .....	144
6.5.1. Contenido de proteínas en la salmuera residual.....	144
6.5.2. Retención de proteínas durante la filtración frontal (FF) .....	146
6.5.3. Retención de proteínas durante la MF .....	147
6.6. Discusión de los resultados .....	153
<b>VII. RESULTADOS - ULTRAFILTRACIÓN DE LA SALMUERA.....</b>	<b>155</b>
7.1. Caracterización inicial de la membrana de UF.....	157
7.2. Ultrafiltración de salmuera previa FF y MF (UF-S <sub>1</sub> ).....	158
7.2.1. Efecto de la $\Delta P$ sobre la densidad de flujo de permeado .....	160
7.2.2. Efecto de la $\Delta P$ sobre la resistencia por ensuciamiento ( $R_f$ , $R_{sf}$ , $R_{if}$ ).....	164
7.2.3. Índice de rechazo de proteínas en UF-S <sub>1</sub> .....	164
7.2.3.1. Contenido de proteínas en la salmuera usada en UF-S <sub>1</sub> .....	164
7.2.3.2. Retención de proteínas durante la ultrafiltración en UF-S <sub>1</sub> .....	165
7.3. Ultrafiltración de salmuera previa FF (UF-S <sub>2</sub> ).....	166
7.3.1. Efecto de la $\Delta P$ sobre la densidad de flujo de permeado .....	167
7.3.2. Efecto de la $\Delta P$ sobre la resistencia por ensuciamiento ( $R_f$ , $R_{sf}$ , $R_{if}$ ) ....	168
7.3.3. Índice de rechazo de proteínas UF-S <sub>2</sub> .....	171
7.3.3.1. Contenido de proteínas en la salmuera usada en UF-S <sub>2</sub> .....	171
7.3.3.2. Retención de proteínas durante la ultrafiltración en UF-S <sub>2</sub> .....	172
7.4. Discusión de los resultados obtenidos en UF .....	174
7.5. Evaluación de UF en modo recirculación.....	178
7.5.1. Características de la salmuera inicial .....	178
7.5.2. Proceso de UF en modo recirculación.....	180
7.5.3. Características del permeado .....	184
<b>VIII. CONCLUSIONES.....</b>	<b>189</b>
<b>IX. BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>197</b>
<b>X. ANEXOS .....</b>	<b>207</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3. 1. Ecuaciones y notaciones utilizadas en la caracterización del proceso .....	51
Tabla 3. 2. Volumen de muestra y dosificación de ATU según intervalo de DBO .....	63
Tabla 3. 3. Disoluciones de nutrientes empleadas en la determinación de DBO... 64	
Tabla 4. 1. Valores de los índices y variables obtenidos en el proceso de desalado .....	87
Tabla 4. 2. Valores de parámetros determinados en la salmuera residual..... 88	
Tabla 4. 3. Percentiles medios (10, 30, 50, 70, 90 y 95) y sus desviaciones estándar (en $\mu\text{m}$ ), en las tres muestras estudiadas. Por filas, las letras identifican grupos homogéneos ( $\alpha < 0,05$ )..... 95	
Tabla 5. 1. Coeficientes y parámetros de ajuste de la ecuación (5.1)..... 101	
Tabla 5. 2. Valores medios de sólidos volátiles (% p/v) encontrados en los permeados a los valores de pH estudiados..... 105	
Tabla 5. 3. Análisis de varianza factorial para sólidos volátiles..... 107	
Tabla 6. 1. Análisis de varianza para J .....	125
Tabla 6. 2. Análisis de varianza para $R_f$ ..... 130	
Tabla 6. 3. Análisis de varianza para $R_{if}$ .....	134
Tabla 6. 4. Análisis de varianza para $R_{sf}$ ..... 138	
Tabla 7. 1. Rechazo de proteínas en los permeados al inicio ( $P_0$ ), a los 100 minutos ( $P_{100}$ ) y al término ( $P_{180}$ ) de la UF-S <sub>1</sub> ..... 165	
Tabla 7. 2. Rechazo de proteínas en los permeados al inicio ( $P_0$ ), a los 100 minutos ( $P_{100}$ ) y al término ( $P_{180}$ ) de la UF-S <sub>2</sub> ..... 172	
Tabla 7. 3. Valores de los índices y variables obtenidos en el proceso de desalado .....	178
Tabla 7. 4. Valores de los parámetros analizados en la salmuera residual proveniente del desalado de bacalao..... 179	
Tabla 7. 5. Valores de los parámetros analizados en el permeado..... 185	

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. 1. Competencias administrativas en materia de autorización de vertidos .....	14
Figura 1. 2. Demanda anual de membranas en USA por área de aplicación (Fuente: Freedonia Group Inc.).....	20
Figura 1. 3. Comparación entre la filtración frontal y tangencial: a) Figura esquemática del proceso de filtración frontal, b) Figura esquemática del proceso de filtración tangencial, c) Variación en el tiempo de la densidad de flujo y espesor de la torta en la filtración frontal, d) Variación en el tiempo de la densidad de flujo y espesor de la torta en la filtración tangencial.....	22
Figura 1. 4. Demanda de membranas en Estados Unidos 2009 (Fuente: Freedonia Group Inc.).....	23
Figura 1. 5. Esquema representativo de los tamaños de separación en procesos de membrana cuya fuerza impulsora es el gradiente de presión ...	24
Figura 1. 6. Esquema representativo de la clasificación de las membranas según su naturaleza .....	27
Figura 1. 7. Módulo plano: (a) esquema, (b y c) fotografías del módulo (Millipore Corp.).....	28
Figura 1. 8. Esquema de una membrana en arrollamiento en espiral .....	29
Figura 1. 9. Módulo tubular: (a) Esquema de módulo con membrana de un canal; (b) Carcasas para varias membranas multicanal (Tami Ind).....	29
Figura 1. 10. Módulo de membrana de fibra hueca .....	30
Figura 1. 11. Fenómeno de polarización de concentración: (a) Sin depósito gel, (b) Con depósito gel.....	38
Figura 3. 1. Equipo de digestión de muestras para determinación de nitrógeno total: (a) Digestor, (b) Unidad de depuración de vapores.....	57
Figura 3. 2. Equipo de destilación/valoración de nitrógeno total: (a) Unidad de destilación/valoración, (b) y (c) Detalle de la bureta del equipo .....	58
Figura 3. 3. Reómetro HAAKE Rheo Stress 1 (Thermo Scientific).....	67





Figura 3. 4. Equipo de difracción láser Mastersizer 2000 (Malvern Instruments Ltd.).....	68
Figura 3. 5. Representación esquemática de la estructura de la doble capa de Stern en una partícula de carga negativa.....	70
Figura 3. 6. Esquema de la variación del potencial y denominaciones de las capas según la distancia desde coloide .....	71
Figura 3. 7. Equipo Zetasizer Nano Z (Malvern Instruments Ltd.).....	71
Figura 3. 8. Esquema experimental general.....	73
Figura 3. 9. Esquema de las experiencias realizadas en MF para las diferentes $\Delta P$ y VT utilizadas.....	77
Figura 3. 10. Figura esquemática del diseño experimental utilizado en UF.....	79
Figura 3. 11. Membranas cerámicas Inside Cerám® (Fuente: Tami Ind. Web).....	81
Figura 3. 12. Características técnicas de las membranas utilizadas.....	81
Figura 3. 13. Resistencia química de diferentes materiales:  resistente,  resistencia limitada,  no resistente,  sin datos (Fuente: Tami Industries) .....	82
Figura 3. 14. del equipo experimental de filtración tangencial: (1) Depósito de alimentación, (2) Depósito de limpieza, (3) Filtro de cartucho, (4) Bomba centrífuga, (5) Intercambiador de placas, (6) Medidor de caudal electromagnético, (7) Válvulas de tres vías, (8) Módulo de membrana, (9) Manómetro, (10) Sonda para la medida de la temperatura, (11) Válvula de bola, (12) Retenido, (13) Permeado, y (14) Derivación del permeado para muestreo.....	84
Figura 3. 15. Planta de MF/UF empleada en las experiencias.....	84
Figura 4. 1. Reograma a 10°C (puntos experimentales y recta ajustada) para salmuera residual del desalado de bacalao.....	90
Figura 4. 2. Reograma a 20°C (puntos experimentales y recta ajustada) para salmuera residual del desalado de bacalao.....	91
Figura 4. 3. Reograma a 30°C (puntos experimentales y recta ajustada) para salmuera residual del desalado de bacalao.....	91
Figura 4. 4. Reograma a 40°C (puntos experimentales y recta ajustada) para salmuera residual del desalado de bacalao.....	92

Figura 4. 5. Curva de flujo ajustada de la salmuera de bacalao a distintas temperaturas .....	92
Figura 4. 6. Datos experimentales y modelo ajustado para la variación de la viscosidad respecto a la temperatura en salmuera residual de desalado de bacalao.....	93
Figura 4. 7. Distribución del tamaño de partículas en muestras de salmuera de desecho del desalado de bacalao.....	94
Figura 4. 8. Variación del potencial zeta ( $\zeta$ ) en muestras de salmuera residual de desalado de bacalao.....	96
Figura 4. 9. SDS-PAGE de muestras de salmuera residual proveniente del desalado de bacalao (Pa = patrón, S = salmuera).....	98
Figura 5. 1. Variación en el tiempo del volumen de permeado de salmuera residual a distintos valores de pH en tamaño de poro de 8,0 $\mu\text{m}$ (a) y 1,5 $\mu\text{m}$ (b). Datos en marcadores y modelo de ajuste en línea continua.....	102
Figura 5. 2. Flux de filtrado de salmuera residual a través del tiempo a distintos valores de pH en filtros de tamaño de poro de 8,0 $\mu\text{m}$ (a) y 1,5 $\mu\text{m}$ (b) .....	104
Figura 5. 3. Valores medios e intervalos LSD (95%) para el contenido en sólidos volátiles del permeado, (a) filtro de 8 $\mu\text{m}$ y (b) filtro de 1,5 $\mu\text{m}$ .....	106
Figura 6. 1. Variación de $J_w$ , a diferentes $\Delta P$ , en la membrana cerámica de 0,2 $\mu\text{m}$ nueva, después de una limpieza inicial básica-alcalina.....	111
Figura 6. 2. Variación en el tiempo de la densidad de flujo de permeado (J) y de la resistencia por ensuciamiento ( $R_f$ ): (a) 0,15 bar; (b) 0,3 bar; (c) 0,5 bar.....	113
Figura 6. 3. Variación en el tiempo de la densidad de flujo de permeado (J) y de la resistencia por ensuciamiento ( $R_f$ ): (a) 0,75 bar; (b) 1,0 bar y (c) 1,25 bar.....	114
Figura 6. 4. Variación en el tiempo de la densidad flujo de permeado en MF .....	115
Figura 6. 5. Densidad de flujo, en estado estacionario, a diferentes presiones de trabajo: J = densidad de flujo de permeado de la salmuera; $J_w$ = densidad de flujo de agua desionizada.....	116

Figura 6. 6. Dependencia de las resistencias normalizadas ( $R_f = R_f \cdot R_m^{-1}$ ; $R_{sf} = R_{sf} \cdot R_m^{-1}$ y $R_{if} = R_{if} \cdot R_m^{-1}$ ) con la $\Delta P$ aplicada .....	117
Figura 6. 7. Variación en el tiempo de la densidad de flujo de permeado a una $\Delta P$ de 0,15 bar y VT de 4 m/s, 2 m/s y 1 m/s .....	120
Figura 6. 8. Variación en el tiempo de la densidad de flujo de permeado a una $\Delta P$ de 0,3 bar y VT de 4 m/s, 2 m/s y 1 m/s .....	120
Figura 6. 9. Variación en el tiempo de la densidad de flujo de permeado a una $\Delta P$ de 0,5 bar y VT de 4 m/s, 2 m/s y 1 m/s .....	121
Figura 6. 10. Dependencia de las resistencias normalizadas, $R_n$ ( $R_f \cdot R_m^{-1}$ ; $R_{sf} \cdot R_m^{-1}$ y $R_{if} \cdot R_m^{-1}$ ) a una $\Delta P$ de 0,15 bar y VT de 4 m/s, 2 m/s y 1 m/s .....	121
Figura 6. 11. Dependencia de las resistencias normalizadas, $R_n$ ( $R_f \cdot R_m^{-1}$ ; $R_{sf} \cdot R_m^{-1}$ y $R_{if} \cdot R_m^{-1}$ ) a una $\Delta P$ de 0,3 bar y VT de 4 m/s, 2 m/s y 1 m/s .....	122
Figura 6. 12. Dependencia de las resistencias normalizadas, $R_n$ ( $R_f \cdot R_m^{-1}$ ; $R_{sf} \cdot R_m^{-1}$ y $R_{if} \cdot R_m^{-1}$ ) a una $\Delta P$ de 0,5 bar y VT de 4 m/s, 2 m/s y 1 m/s .....	122
Figura 6. 13. Diagrama de Pareto estandarizado para J .....	124
Figura 6. 14. Gráfica de efectos principales para J .....	126
Figura 6. 15. Diagrama de Pareto estandarizado para J. Efectos considerados en el modelo .....	127
Figura 6. 16. Gráfica de interacción para J .....	127
Figura 6. 17. Superficie de respuesta estimada para J .....	128
Figura 6. 18. Contorno de la superficie de respuesta estimada para J .....	129
Figura 6. 19. Diagrama de Pareto estandarizado para $R_f$ .....	129
Figura 6. 20. Gráfica de efectos principales para $R_f$ .....	130
Figura 6. 21. Diagrama de Pareto estandarizado para $R_f$ . Efectos considerados en el modelo .....	131
Figura 6. 22. Gráfica de interacción para $R_f$ .....	131
Figura 6. 23. Superficie de respuesta para $R_f$ .....	132
Figura 6. 24. Contorno de la superficie de respuesta estimada para $R_f$ .....	133
Figura 6. 25. Diagrama de Pareto estandarizado para $R_{if}$ .....	133
Figura 6. 26. Diagrama de Pareto estandarizado para $R_{if}$ . Efectos considerados en el modelo .....	134
Figura 6. 27. Gráfica de efectos principales para $R_{if}$ .....	135



Figura 6. 28. Superficie de respuesta estimada para $R_{if}$ .....	136
Figura 6. 29. Contorno de la superficie de respuesta estimada para $R_{if}$ .....	136
Figura 6. 30. Diagrama de Pareto estandarizada para $R_{sf}$ .....	137
Figura 6. 31. Diagrama de Pareto estandarizado para $R_{if}$ . Efectos considerados en el modelo .....	138
Figura 6. 32. Gráfica de efectos principales para $R_{sf}$ .....	139
Figura 6. 33. Detalle de la tasa de variación de $R_{sf}$ por VT.....	139
Figura 6. 34. Gráfica de interacción para $R_{sf}$ .....	140
Figura 6. 35. Superficie de respuesta estimada para $R_{sf}$ .....	141
Figura 6. 36. Contorno de la superficie de respuesta estimada para $R_{sf}$ .....	142
Figura 6. 37. Superficie de respuesta estimada para la optimización de D.....	144
Figura 6. 38. Contorno de la superficie de respuesta estimada para la optimización de D.....	144
Figura 6. 39. Contenido de proteínas en las salmueras residuales utilizadas en MF.....	145
Figura 6. 40. Relación ( $N_{proteico} / NT$ ) en salmueras residuales del desalado de bacalao expresado en tanto por ciento .....	145
Figura 6. 41. Índice de rechazo de proteínas ( $S_p$ ) en diferentes filtraciones frontales a través de cartucho de polipropileno bobinado de 10 $\mu m$ .....	147
Figura 6. 42. Contenido de proteína e intervalos LSD (95%) en la salmuera, filtrado y diferentes permeados, en la MF a 0,15 bar.....	148
Figura 6. 43. Contenido de proteína e intervalos LSD (95%) en la salmuera, filtrado y diferentes permeados, en la MF a 0,30 bar.....	148
Figura 6. 44. Contenido de proteína e intervalos LSD (95%) en la salmuera, filtrado y diferentes permeados, en la MF a 0,50 bar.....	149
Figura 6. 45. Contenido de proteína e intervalos LSD (95%) en la salmuera, filtrado y diferentes permeados, en la MF a 0,75 bar.....	149
Figura 6. 46. Contenido de proteína e intervalos LSD (95%) en la salmuera, filtrado y diferentes permeados, en la MF a 1,0 bar.....	150
Figura 6. 47. Contenido de proteína e intervalos LSD (95%) en la salmuera, filtrado y diferentes permeados, en la MF a 1,25 bar.....	150

Figura 6. 48. $S_p$ (en tanto por ciento) en la salmuera filtrada y en los permeados obtenidos a diferentes tiempos de proceso.....	151
Figura 6. 49. Resultados obtenidos en la separación de proteínas mediante SDS-PAGE: (S) Salmuera, (F) Filtrado por cartucho de 10 $\mu\text{m}$ , ( $P_{MF}$ ) Permeado de la MF .....	152
Figura 7. 1. Variación de $J_w$ a diferentes $\Delta P$ en la membrana cerámica de 3 kD nueva, después de una limpieza inicial básica-alcalina .....	157
Figura 7. 2. Comparación de las resistencias hidráulica de la membrana cerámica de MF (marcador cuadrado) y de UF (marcador circular).....	158
Figura 7. 3. Densidad de flujo de permeado a diferentes $\Delta P$ en la UF de salmuera residual previamente sometida a FF y MF (UF- $S_1$ ).....	159
Figura 7. 4. $J$ en estado estacionario para las diferentes $\Delta P$ (UF- $S_1$ ).....	160
Figura 7. 5. Variación de $R_f$ en el tiempo para las distintas $\Delta P$ (UF- $S_1$ ) .....	161
Figura 7. 6. Resistencias normalizadas ( $R_n$ ) a las diferentes presiones en UF- $S_1$ .....	162
Figura 7. 7. Gráfico de columna apilada para las componentes de $R_f$ (■ $R_{if}$ y □ $R_{sf}$ ) en UF- $S_1$ .....	163
Figura 7. 8. Contenido de proteínas (mg/L) en las salmueras utilizadas en UF- $S_1$ previamente sometidas a MF .....	164
Figura 7. 9. Contenido de NT (mg/L) en las salmueras utilizadas en UF- $S_1$ previamente sometidas a MF.....	165
Figura 7. 10. Rechazo de NT ( $S_{NT}$ ) en tanto por uno, al inicio ( $P_0$ ) a los 100 minutos ( $P_{100}$ ) y el término ( $P_{180}$ ) de la UF- $S_1$ .....	166
Figura 7. 11. Densidad de flujo de permeado a diferentes $\Delta P$ en la UF de salmuera residual previamente sometida a FF (UF- $S_2$ ) .....	167
Figura 7. 12. $J$ en estado estacionario para las diferentes $\Delta P$ en (UF- $S_2$ ).....	168
Figura 7. 13. Variación de $R_f$ en el tiempo para las distintas $\Delta P$ en (UF- $S_2$ ).....	169
Figura 7. 14. Resistencias normalizadas ( $R_n$ ) a las diferentes presiones (UF- $S_2$ ).....	170
Figura 7. 15. Gráfico de columna apilada para las componentes de $R_f$ (■ $R_{if}$ y □ $R_{sf}$ ) en UF- $S_2$ .....	171

Figura 7. 16. Contenido de proteínas (mg/L) en las salmueras utilizadas en UF-S <sub>2</sub> .....	171
Figura 7. 17. Contenido de NT (mg/L) en las salmueras utilizadas en UF-S <sub>2</sub> .....	172
Figura 7. 18. Rechazo de NT (S <sub>NT</sub> ) en tanto por uno, al inicio (P <sub>0</sub> ) a los 100 minutos (P <sub>100</sub> ) y el término (P <sub>180</sub> ) de la UF-S <sub>2</sub> .....	173
Figura 7. 19. Variación de J, en estado estacionario, con $\Delta P$ .....	175
Figura 7. 20. Densidad de flujo de permeado (J) y resistencia por ensuciamiento (R <sub>f</sub> ) en el tiempo a una $\Delta P = 3$ bar y $V_T = 4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ .....	181
Figura 7. 21. Comparación de curvas J. Curva 3 bar (B) (señalada con flechas) representa la repetición de UF-S <sub>2</sub> a una $\Delta P = 3$ bar y $V_T = 4\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ en modo concentración .....	182
Figura 7. 22. Variación de J con el FRV.....	183
Figura 7. 23. Comparación de las resistencias normalizadas (R <sub>n</sub> ) a las diferentes presiones en UF-S <sub>1</sub> . Datos en abscisa 3(B) corresponde a repetición a una $\Delta P = 3$ bar y $V_T = 4\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ en modo concentración.....	184
Figura 7. 24. Variación de la DBO (mgO <sub>2</sub> / L) durante 5 días.....	186
Figura 7. 25. Muestras de salmuera post FF (cartucho de 10 $\mu\text{m}$ ) y permeado ..	187
Figura 7. 26. Bandas en gel de poliacrilamida, en electroforesis (SDS-PAGE) de muestras de UF: S = Salmuera alimento, P <sub>UF</sub> = Permeado, Rechazo = Salmuera concentrada al final del proceso .....	188