

Índice

	Resúmenes	3
	Prefacio	11
	Notación	15
1.	MOTIVACIÓN	25
2.	OBJETIVOS	31
3.	CONTRIBUCIÓN	35
4.	INTRODUCCIÓN	39
4.1.	La aceituna de mesa verde estilo español	39
4.1.1.	Composición de la aceituna	40
4.1.2.	Producción de aceituna	42
4.1.3.	Elaboración de aceitunas de mesa	44
4.1.3.1.	Proceso de elaboración de las aceitunas de mesa verdes estilo español	47
4.1.3.2.	Aguas residuales generadas durante la elaboración de las aceitunas de mesa verdes estilo español	50
4.1.3.3.	Tratamiento de las aguas residuales procedentes de la industria de elaboración de aceitunas de mesa	53
4.2.	Compuestos fenólicos	58
4.2.1.	Compuestos fenólicos presentes en las salmueras de fermentación de las aceitunas de mesa verdes estilo español	60
4.2.2.	Recuperación de compuestos fenólicos a partir de aguas residuales del procesamiento de la aceituna: antecedentes	62
4.2.2.1.	Recuperación de compuestos fenólicos mediante tratamientos con membranas	64

Índice

4.2.2.2.	Recuperación de compuestos fenólicos mediante adsorción	67
4.3.	Procesos de separación por membranas	70
4.3.1.	Procesos de membranas cuya fuerza impulsora es un gradiente de presión	74
4.3.2.	Proceso de ultrafiltración	76
4.3.3.	Proceso de nanofiltración	77
4.3.4.	Parámetros característicos de los procesos de membranas	85
4.3.5.	Ventajas e inconvenientes de los procesos de membranas	88
4.3.6.	Disminución de la densidad de flujo de permeado con el tiempo	89
4.4.	Modelos matemáticos de predicción de la densidad de flujo de permeado en procesos de ultrafiltración	95
4.4.1.	Modelo de Hermia adaptado al flujo tangencial	96
4.4.2.	Modelo Combinado	99
4.4.3.	Modelo de Resistencias en Serie	100
4.4.4.	Modelo de Mondal y De	102
4.5.	Procesos de adsorción	103
5	METODOLOGÍA	111
5.1	Proceso propuesto para la recuperación de compuestos fenólicos	111
5.2	Revisión del estado del arte	112
5.3	Agua residual utilizada como alimentación	113
5.4	Equipos y montaje experimental	114
5.4.1	Equipo de filtración	114
5.4.2	Planta piloto de ultrafiltración y membranas utilizadas	115

5.4.3	Planta piloto de nanofiltración y membranas utilizadas	121
5.4.4	Resinas de adsorción	126
5.5	Métodos analíticos	127
5.5.1	Determinación de pH y conductividad	127
5.5.2	Determinación de sólidos en suspensión totales, volátiles y fijos	129
5.5.3	Determinación del volumen de sólidos sedimentables (V30)	134
5.5.4	Determinación de la distribución de tamaño de partícula	134
5.5.5	Determinación de la turbidez	136
5.5.6	Determinación del color	137
5.5.7	Determinación de la demanda química de oxígeno (DQO) soluble	139
5.5.8	Determinación de la concentración de iones cloruro	143
5.5.9	Determinación de iones sodio	144
5.5.10	Determinación de compuestos fenólicos totales	145
5.5.11	Determinación del perfil fenólico	149
5.5.12	Determinación de la actividad antioxidante total	159
5.6	Metodología experimental	166
5.6.1	Caracterización y conservación de las muestras	167
5.6.2	Pretratamiento: estudio del efecto del pH y ensayos de filtración	167
5.6.2.1	Estudio del efecto del pH	167
5.6.2.2	Ensayos de filtración	168
5.6.3	Ensayos de ultrafiltración	171
5.6.3.1	Acondicionamiento de las membranas	171

Índice

5.6.3.2	Caracterización de la membrana	171
5.6.3.3	Ensayos de UF empleando como alimentación la salmuera de fermentación	172
5.6.3.4	Ensayos de limpieza	173
5.6.3.5	Modelización de los ensayos de UF	174
5.6.3.6	Ensayos de UF con concentración de la alimentación	176
5.6.3.7	Ensayos de UF con variación del pH de la alimentación	177
5.6.4	Ensayos de nanofiltración	178
5.6.4.1	Acondicionamiento de las membranas	178
5.6.4.2	Caracterización de la membrana	178
5.6.4.3	Ensayos de NF empleando como alimentación el permeado de la UF	178
5.6.4.4	Ensayos de limpieza	179
5.6.4.5	Ensayos de NF con concentración de la alimentación	180
5.6.5	Estabilidad de las muestras con el paso del tiempo	181
5.6.6	Ensayos de adsorción/desorción	181
5.6.7	Ensayo de NF a recirculación completa empleando como alimentación el permeado de UF que fue utilizado como disolución de arrastre en un proceso de OD	183
5.6.8	Ensayos de UF con concentración de la alimentación y de NF a recirculación completa, empleando como alimentación el efluente de un reactor biológico secuencial (SBR) que trata la salmuera de fermentación	184
6	RESULTADOS	189
6.1	Caracterización de las muestras de agua residual	189
6.2	Ensayos de filtración	194

6.2.1	Determinación de los sólidos en suspensión retenidos por el filtro	199
6.3	Estudio de la variación del pH de las muestras	203
6.4	Caracterización membranas de UF	212
6.5	Ensayos de UF a recirculación completa empleando como alimentación la salmuera de fermentación	215
6.5.1	Estudio de la densidad de flujo de permeado	217
6.5.2	Estudio de los protocolos de limpieza de las membranas	222
6.5.3	Caracterización de los permeados	226
6.5.4	Modelización de la densidad de flujo de permeado	237
6.5.4.1	Validación del modelo de Resistencias en Serie	246
6.5.5	Estudio de la variación de la composición de la alimentación	248
6.6	Ensayos de UF con concentración de la alimentación empleando como alimentación la salmuera de fermentación	252
6.6.1	Estudio de la densidad de flujo de permeado al variar el volumen de muestra	252
6.6.2	Estudio de los protocolos de limpieza de las membranas	256
6.6.3	Caracterización de las corrientes	261
6.6.4	Estudio de la variación de la composición de la alimentación	271
6.6.5	Estudio del efecto de la acidificación de la alimentación	280
6.7	Ensayos de NF a recirculación completa empleando como alimentación el permeado de la UF	286
6.7.1	Caracterización de la alimentación de la NF	286
6.7.2	Caracterización de las membranas de NF	288

Índice

6.7.3	Estudio de la densidad de flujo de permeado	289
6.7.4	Estudio de los protocolos de limpieza de las membranas	296
6.7.5	Caracterización de los permeados	299
6.8	Ensayo de NF con concentración empleando como alimentación el permeado obtenido en la UF	310
6.8.1	Estudio de la densidad de flujo de permeado	311
6.8.2	Estudio de los protocolos de limpieza de la membrana	312
6.8.3	Caracterización de las corrientes	313
6.9	Estabilidad de las muestras con el paso del tiempo	323
6.10	Adsorción y desorción de los compuestos fenólicos presentes en el permeado de la NF mediante una resina no iónica	331
6.11	Ensayo de NF a recirculación completa empleando como alimentación el permeado de la UF que fue utilizado como disolución de arrastre en un proceso de OD	335
6.11.1	Caracterización de la alimentación	335
6.11.2	Estudio de la densidad de flujo de permeado	336
6.11.3	Caracterización de los permeados	338
6.12	Ensayo de UF con concentración de la alimentación y de NF a recirculación completa, empleando como alimentación el efluente de un reactor biológico secuencial (SBR) que trata la salmera de fermentación	340
6.12.1	Caracterización de la alimentación	340
6.12.2	Caracterización de la membrana de UF	343
6.12.3	Estudio de la densidad de flujo de permeado de la UF	343
6.12.4	Estudio de los protocolos de limpieza de la membrana de UF	345

6.12.5	Caracterización de las corrientes de UF	345
6.12.6	Caracterización de la membrana de NF	350
6.12.7	Estudio de la densidad de flujo de permeado de la NF	350
6.12.8	Estudio de los protocolos de limpieza de la membrana de NF	351
6.12.9	Caracterización del permeado de NF	351
6.12.10	Proceso completo	352
7	COSTES DE OPERACIÓN	357
8	CONCLUSIONES	371
9	BIBLIOGRAFÍA	381