

INDICE

1. INTRODUCCIÓN	23
1.1 Situación actual	23
1.2 Alternativas al proceso convencional	29
1.2.1 Sistemas de redirección de carbono	29
1.2.2 Procesos de eliminación y recuperación de N.....	53
1.3 Referencias.....	88
2. OBJETIVOS DE LA TESIS Y ESTRUCTURA	113
3. MATERIALES Y MÉTODOS: DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA PILOTO DE ULTRAFILTRACIÓN Y LOS MONTAJES EXPERIMENTALES	119
3.1 Planta piloto de Ultrafiltración.....	119
3.2 Analíticas de seguimiento	121
3.3 Referencias.....	123
4. INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS DE OPERACIÓN DE LA MEMBRANA DE ULTRAFILTRACIÓN EN LA CALIDAD DEL PERMEADO	127
4.1 Introducción	127
4.2 Materiales y métodos	127
4.2.1 Montaje experimental.....	127
4.2.2 Influencia de las variables de filtración.....	128
4.3 Resultados y discusión	129
4.3.1 Nutrientes	129
4.3.2 Materia orgánica y turbidez.....	133
4.5 Conclusiones	138
4.6 Referencias.....	140
4.7 Material suplementario	142
5. ESTUDIO DE LA VIABILIDAD DEL PROCESO DE NITRIFICACIÓN – DENITRIFICACIÓN CON EL PERMEADO DE ULTRAFILTRACIÓN DEL AGUA RESIDUAL URBANA	147
5.1 Introducción	147
5.2 Materiales y métodos	147
5.2.1 Montaje a escala laboratorio	147
5.2.2 Desnitrificación simultánea.....	148
5.2.3 Desnitrificación convencional.....	149
5.2.4 Microbiología.....	150

5.3 Resultados y discusión.....	151
5.3.1 Desnitrificación simultánea.....	151
5.3.2 Desnitrificación convencional.....	155
5.4 Conclusiones.....	168
5.5 Referencias.....	170
6. NITRIFICACIÓN PARCIAL CON EL PERMEADO DE ULTRAFILTRACIÓN DEL AGUA RESIDUAL URBANA	177
6.1 Introducción	177
6.2 Materiales y métodos	178
6.2.1 Montaje a escala laboratorio	178
6.2.2 Configuración de los ciclos	179
6.2.3 Ensayo estudio de la influencia del NH ₃	180
6.2.4 Ensayo influencia de la alcalinidad.....	181
6.2.5 Control duración fase aerobia	182
6.2.6 Microbiología.....	187
6.3 Resultados y Discusión.....	187
6.3.1 Ensayo estudio de la influencia del NH ₃	187
6.3.2 Ensayo influencia de la alcalinidad.....	190
6.3.3 Reactor sin membrana.....	193
6.3.4 Reactor con membrana.....	202
6.4 Discusión	210
6.5 Conclusiones.....	216
6.6 Referencias.....	218
6.7 Material suplementario	225
7. MODELACIÓN DE LOS PROCESOS BIOLÓGICOS IMPLICADOS EN LA NITRIFICACIÓN PARCIAL: CALIBRACIÓN Y VALIDACIÓN	229
7.1 Introducción	229
7.2 Materiales y métodos	229
7.2.1 Modelo matemático.....	229
7.2.2 Calibración	231
7.2.3 Validación	236
7.2.4 Análisis de sensibilidad.....	236
7.3 Resultados y discusión.....	237
7.3.1 Calibración	237

7.3.2 Validación	247
7.3.3 Estudio de sensibilidad.....	250
7.4 Conclusiones	253
7.5 Referencias.....	254
7.6 Material complementario	257
8. CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL DE RELLENO (ADSORBENTE) DE LAS COLUMNAS DE INTERCAMBIO CATIONICO PARA LA RECUPERACIÓN DEL NITRÓGENO DEL PERMEADO DE ULTRAFILTRACIÓN DEL AGUA RESIDUAL	264
8.1 Introducción	264
8.2 Materiales y métodos	265
8.2.1 Adsorbentes caracterizados	265
8.2.2 Medios empleados.....	266
8.2.3 Activación zeolitas	267
8.2.4 Ensayos cinéticos	268
8.2.5 Ajuste cinéticas de adsorción	268
8.2.6 Preparación de los ensayos de determinación de las isothermas	270
8.2.7 Ensayo influencia pH	271
8.2.8 Ensayos de regeneración	271
8.2.9 Ajustes modelos de isothermas de adsorción.....	272
8.3 Resultados	273
8.3.1 Ensayos cinéticos	273
8.3.2 Ensayos de isothermas	277
8.3.3 Ensayos de regeneración	286
8.4 Conclusiones	287
8.5 Referencias.....	289
8.6 Material suplementario	296
9. RECUPERACIÓN DEL NITRÓGENO DEL PERMEADO DE ULTRAFILTRACIÓN MEDIANTE COLUMNAS DE INTERCAMBIO CATIONICO	300
9.1 Introducción	300
9.2 Materiales y métodos	300
9.2.1 Montaje experimental.....	300
9.2.2 Caracterización de la columna de trabajo	301
9.2.3 Ensayos adsorción	302

9.2.4 Modelos de adsorción.....	304
9.2.5 Ensayos regeneración.....	306
9.3 Resultados.....	307
9.3.1 Caracterización columna.....	307
9.3.2 Ensayos de adsorción.....	307
9.3.3 Evolución de la conductividad durante la adsorción.....	312
9.3.4 Ensayos de regeneración.....	315
9.3.5 Conductividad en la regeneración.....	318
9.3.6 Ajuste modelos.....	322
9.4 Conclusiones.....	330
9.5 Referencias.....	332
9.6 Material suplementario.....	335
10. ANÁLISIS ECONÓMICO DE LAS CONDICIONES DE OPERACIÓN DEL PROCESO DE RECUPERACIÓN DE NITRÓGENO EN LA FORMA DE SULFATO AMÓNICO.....	346
10.1 Introducción.....	346
10.2 Materiales y métodos.....	347
10.2.1 Escenarios analizados.....	347
10.2.2 CAPEX.....	348
10.2.3 OPEX.....	350
10.2.4 Indicadores económicos.....	351
10.3 Resultados.....	351
10.3.1. Análisis del efecto del caudal de trabajo.....	351
10.3.2 Efecto regeneración de la zeolita.....	353
10.3.3 Efecto del control de la duración de la fase de regeneración.....	355
10.4 Conclusiones.....	357
10.5 Referencias.....	358
11. EVALUACIÓN DE LAS DIFERENTES ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO PROPUESTAS AL ESQUEMA CONVENCIONAL.....	362
11.1 Introducción.....	362
11.2 Materiales y métodos.....	363
11.2.1 Alternativa 0: EDAR Carraixet.....	363
11.2.2 Alternativa 1: UF + Desnitrificación / Nitrificación.....	364
11.2.3 Alternativa 2: UF + Nitrificación Parcial + Anammox.....	366

11.2.4 Alternativa 3: UF + IC+ HFMC.....	367
11.2.5 CAPEX.....	370
11.2.6 OPEX	372
11.2.7 Indicadores económicos	373
11.2.8 Análisis de sensibilidad.....	373
11.2.9 Análisis ambiental.....	373
11.3 Resultados	374
11.3.1 Balance energético	374
11.3.3 Requisitos de superficie	378
11.3.2 Análisis económico	380
11.3.4 Otras cuestiones ambientales	389
11.4 Conclusiones	391
11.5 Referencias.....	392
12. DISCUSIÓN GENERAL	400
12. 1 Influencia de los parámetros de operación de la membrana de ultrafiltración en la calidad del permeado.....	400
12.2 Estudio de la viabilidad del proceso de nitrificación – desnitrificación con el permeado de ultrafiltración del agua residual urbana	402
12.3 Nitrificación parcial con el permeado de ultrafiltración del agua residual urbana	405
12.4 Calibración y modelación de los procesos biológicos implicados en la nitrificación parcial	408
12.5 Caracterización del material de relleno (adsorbente) de las columnas de intercambio catiónico para la recuperación del nitrógeno del permeado de ultrafiltración del agua residual	410
12.6 Recuperación del nitrógeno del permeado de uf mediante columnas de intercambio catiónico.....	412
12.7 Análisis económico de las condiciones de operación del proceso de recuperación de nitrógeno en forma de sulfato amónico.....	416
12.8 Análisis económico de las diferentes alternativas de tratamiento propuestas al esquema convencional	417
12.9 Conclusiones generales y desarrollos futuros	420
13. CONCLUSIONES.....	426
13. ANEXOS	434
Lista de abreviaturas de uso general	434
Lista de abreviaturas de los apartados referidos a los ensayos biológicos	435

Lista de abreviaturas de los apartados referidos a los ensayos físico químicos.....	437
Lista de abreviaturas de los apartados referidos a los análisis económicos y ambientales	438
Índice de tablas	439
Índice de tablas suplementarias	442
Índice figuras	443
Índice figuras suplementarias	451