

## ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN .....	3
1.1	El Nitrógeno.....	4
1.1.1	<i>El ciclo del Nitrógeno.....</i>	4
1.1.2	<i>La contaminación de las aguas por compuestos nitrogenados.....</i>	6
1.1.2.1	Disminución de los niveles de oxígeno disuelto .....	7
1.1.2.2	Eutrofización.....	8
1.1.2.3	Acidificación .....	8
1.1.2.4	Toxicidad de los compuestos nitrogenados .....	9
1.1.3	<i>Legislación Ambiental .....</i>	11
1.2	Eliminación biológica de nitrógeno de las aguas residuales .....	13
1.2.1	<i>Procesos convencionales de eliminación de nitrógeno .....</i>	14
1.2.1.1	Nitrificación y desnitrificación vía nitrato.....	14
1.2.1.2	Esquemas de tratamiento y características de aplicación .....	18
1.2.2	<i>Procesos no convencionales de eliminación de nitrógeno .....</i>	24
1.2.2.1	Nitrificación y desnitrificación vía nitrito. Características del proceso SHARON .....	31
1.2.2.2	Oxidación anaerobia de amonio. Características del proceso ANAMMOX .....	33
1.2.2.3	Nitritación parcial combinada con oxidación anaerobia de amonio .....	35
1.2.2.4	Nitrificación y desnitrificación simultánea. Características del proceso SND .....	37
1.2.2.5	Potenciación de organismos nitrificantes. Características del proceso BABE .....	38
1.2.3	<i>Microbiología asociada a la eliminación biológica del nitrógeno .....</i>	40
1.2.3.1	Características de los organismos amonioxidantes (AOB).....	42
1.2.3.2	Características de los organismos nitritoxidantes (NOB).....	43
1.2.3.3	Características de los organismos desnitrificantes.....	45
1.2.3.4	Identificación y cuantificación bacteriana mediante la técnica de hibridación in situ FISH .....	46
1.3	Monitorización y control de los procesos de tratamiento de aguas residuales .....	47
1.3.1	<i>Sistema de control basado en la lógica difusa .....</i>	51
1.3.1.1	Estructura y diseño de un sistema de control basado en lógica difusa .....	53
1.3.1.2	Calibración y validación de un sistema de control basado en lógica difusa .....	57
1.3.2	<i>Control automático de los procesos de eliminación biológica de nitrógeno.....</i>	58
2	OBJETIVOS Y PLAN DE TRABAJO.....	65
3	MATERIALES Y MÉTODOS.....	71
3.1	Descripción de los montajes experimentales.....	71
3.1.1	<i>Reactores para la nitritación parcial y para la nitrificación y desnitrificación vía nitrito.....</i>	72
3.1.2	<i>Reactor empleado en los experimentos puntuales .....</i>	73
3.2	Procedimiento experimental.....	74
3.2.1	<i>Estudio del proceso de nitritación parcial .....</i>	75

3.2.1.1	Puesta en marcha del proceso .....	76
3.2.1.2	Efecto de la concentración de amonio y amoníaco sobre la actividad de los organismos AOB .....	77
3.2.1.3	Efecto de la salinidad sobre la actividad de los organismos AOB .....	79
3.2.1.4	Efecto de la concentración de nitrito y ácido nitroso sobre la actividad de los organismos AOB ....	79
3.2.1.5	Efecto del pH sobre la actividad de los organismos AOB .....	80
3.2.1.6	Efecto de la temperatura sobre la actividad de los organismos AOB.....	81
3.2.1.7	Efecto del tiempo de retención hidráulico sobre las características del efluente.....	82
3.2.2	<i>Estudio del proceso SHARON de nitrificación y desnitrificación vía nitrito.....</i>	<i>82</i>
3.2.2.1	Puesta en marcha del proceso .....	82
3.2.2.2	Monitorización y control automático del proceso .....	84
3.3	<b>Métodos analíticos y microbiológicos .....</b>	<b>86</b>
3.3.1	<i>Métodos de análisis de contaminantes en las aguas residuales .....</i>	<i>86</i>
3.3.1.1	Amonio, nitrito, nitrato y ortofosfato.....	86
3.3.1.2	Nitrógeno total .....	86
3.3.1.3	Sólidos suspendidos totales y sólidos suspendidos volátiles.....	86
3.3.1.4	Alcalinidad .....	86
3.3.1.5	Demanda química de oxígeno .....	87
3.3.2	<i>Técnicas microbiológicas y moleculares.....</i>	<i>87</i>
3.3.2.1	Técnica de hibridación in situ FISH .....	87
3.3.2.2	Técnica de viabilidad celular.....	91
4	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>95</b>
4.1	<b>ESTUDIO DEL PROCESO SHARON DE NITRITACIÓN PARCIAL .....</b>	<b>95</b>
4.1.1	<i>Puesta en marcha y seguimiento de la evolución del proceso .....</i>	<i>95</i>
4.1.1.1	Puesta en marcha I: incremento progresivo de la concentración de N-amoniaco .....	96
4.1.1.2	Puesta en marcha II: arranque del proceso con alta concentración de N-amoniaco .....	100
4.1.2	<i>Efecto de los factores ambientales y de operación sobre la actividad de los organismos AOB y las características del efluente del proceso.....</i>	<i>103</i>
4.1.2.1	Efecto de la concentración de amonio y amoníaco sobre la actividad de los organismos AOB .....	105
4.1.2.2	Efecto de la salinidad sobre la actividad de los organismos AOB.....	109
4.1.2.3	Efecto de la concentración de nitrito y ácido nitroso sobre la actividad de los organismos AOB ..	115
4.1.2.4	Efecto del pH sobre la actividad de los organismos AOB .....	118
4.1.2.5	Efecto de la temperatura sobre la actividad de los organismos AOB.....	122
4.1.2.6	Efecto del tiempo de retención hidráulico sobre las características del efluente del proceso .....	127
4.1.3	<i>Criterios y recomendaciones para la puesta en marcha y operación estable de un proceso de nitrificación parcial .....</i>	<i>134</i>
4.2	<b>ESTUDIO DEL PROCESO SHARON DE NITRITACIÓN Y DESNITRITACIÓN.....</b>	<b>139</b>
4.2.1	<i>Puesta en marcha y seguimiento de la evolución del proceso .....</i>	<i>139</i>
4.2.1.1	Puesta en marcha I: temperatura 30°C e inóculo procedente de un proceso de nitrificación parcial.....	139
4.2.1.2	Puesta en marcha II: temperatura 30°C e inóculo procedente de un proceso de fangos activados .....	142

4.2.1.3 Puesta en marcha III: temperatura 35°C e inóculo procedente de un proceso de fangos activados ....	144
4.2.2 <i>Monitorización del proceso SHARON de nitrificación y desnitrificación vía nitrito</i> .....	145
4.2.2.1 Análisis de la información proporcionada por las sondas instaladas .....	146
4.2.2.2 Desarrollo de una estrategia de monitorización del proceso .....	158
4.2.3 <i>Control del proceso SHARON de nitrificación y desnitrificación vía nitrito</i> .....	167
4.2.3.1 Control automático de la duración de las etapas aerobia y anóxica .....	167
4.2.3.2 Control automático de la dosificación de materia orgánica .....	170
4.2.3.3 Implementación de la estrategia de control.....	183
4.2.3.4 Validación del sistema de control.....	188
5 CONCLUSIONES .....	203
6 DESARROLLOS FUTUROS .....	211
7 BIBLIOGRAFÍA .....	215