

Índice de contenidos

1. INTRODUCCIÓN	19
1.1. LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS. FRACCIÓN ORGÁNICA	21
1.1.1. Problemática socioambiental asociada	22
1.1.2. Situación actual de la gestión de la FORSU	23
1.1.3. Características de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos.....	27
1.1.4. Tipos de tratamiento	28
1.1.4.1. Compostaje	29
1.1.4.2. Incineración	30
1.1.4.3. Pirólisis y gasificación.....	31
1.1.4.4. Producción de biogás en vertedero.....	31
1.1.4.5. Digestión anaerobia o biometanización.....	32
1.2. LAS AGUAS RESIDUALES URBANAS	35
1.2.1. Problemática socioambiental asociada	37
1.2.2. Situación actual de la gestión de las aguas residuales urbanas	39
1.2.3. Características de las aguas residuales urbanas	40
1.2.4. Tipos de tratamiento	41
1.3. FILOSOFÍA DEL RESIDUO COMO RECURSO. PROPUESTA DE TRATAMIENTO.....	47
1.3.1. El proceso anaerobio de degradación de la materia orgánica	49
1.3.1.1. Procesos biológicos asociados.....	50
1.3.1.2. Microbiología del proceso anaerobio	52
1.3.1.3. El rol del azufre en los procesos anaerobios.....	54
1.3.1.4. Sustancias inhibidoras del proceso anaerobio	56
1.3.2. Propuesta para el tratamiento de la FORSU	59
1.3.2.1. Efecto de la implantación de trituradores de residuos de comida	60
1.3.2.1.1. Consumo adicional de agua.....	60
1.3.2.1.2. Efecto en la red de saneamiento.....	62
1.3.2.1.3. Efecto en las plantas de tratamiento.....	63
1.3.2.2. Experiencias de tratamiento conjunto de la FORSU	64
1.3.2.3. Implicaciones del tratamiento conjunto frente a la gestión de RSU convencional	70
1.3.2.4. Ventajas e inconvenientes de la propuesta de tratamiento conjunto	73
1.3.2.5. Viabilidad energética y económica de la propuesta de tratamiento conjunto	74

2. OBJETIVOS	79
3. MATERIALES Y MÉTODOS	83
3.1. CARACTERIZACIÓN DE LA FRACCIÓN ORGÁNICA DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS.....	83
3.1.1. Origen de la FORSU	83
3.1.2. Pretratamiento de la FORSU	84
3.1.3. Rutina de analíticas	86
3.1.4. Determinación de la distribución de tamaños de partícula	86
3.1.5. Ensayos de sedimentación	87
3.1.6. Determinación de la biodegradabilidad	88
3.2. DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA PILOTO PARA EL TRATAMIENTO CONJUNTO DE LA FORSU Y EL ARU.....	91
3.2.1. Elementos que componen la planta piloto AnMBR	93
3.2.1.1. Rotofiltro (RTF)	93
3.2.1.2. Tanque de regulación (TR).....	93
3.2.1.3. Reactor anaerobio (AnR).....	93
3.2.1.4. Tanque de membranas (TM)	93
3.2.1.5. Tanque de limpieza in situ (CIP).....	94
3.2.1.6. Sistema de impulsión de agua y de fango.....	94
3.2.1.7. Sistema de distribución de biogás	95
3.2.1.8. Instrumentación para la automatización y control de la planta	95
3.2.2. Etapas de operación de los módulos de membranas	97
3.2.3. Adaptación de la planta piloto al tratamiento de la FORSU.....	99
3.2.4. Condiciones de operación de la planta piloto AnMBR	103
3.2.4.1. Puesta en marcha del tratamiento conjunto de FORSU y ARU	105
3.2.5. Seguimiento analítico del proceso biológico	106
3.2.5.1. Rutina de analíticas.....	106
3.2.5.2. Balance de DQO	106
3.2.5.3. Balance de sólidos volátiles.....	109
3.2.5.4. Dinámica poblacional de la microbiología del sistema	110
3.3. PROCEDIMIENTOS ANALÍTICOS	111
3.3.1. Determinación de materia orgánica medida como DQO	111
3.3.2. Determinación de sólidos.....	111
3.3.3. Determinación de nutrientes	112
3.3.4. Determinación de ácidos grasos volátiles y alcalinidad	114
3.3.5. Actividad Metanogénica Específica (SMA) del Fango	114

3.4.	SIMULACIÓN DEL TRATAMIENTO CONJUNTO DE FORSU Y ARU	117
3.5.	VIABILIDAD ECONÓMICA DEL TRATAMIENTO CONJUNTO DE LA FORSU Y EL ARU	119
3.5.1.	Valoración energética del proceso biológico y filtración de las membranas.	119
3.5.2.	Evaluación económica del proceso.....	122
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	127
4.1.	CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DE LA FRACCIÓN ORGÁNICA DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS.	127
4.1.1.	Afección del proceso de trituración de la FORSU al consumo de agua.....	127
4.1.2.	Caracterización química de la FORSU	128
4.1.2.1.	Acondicionamiento de la muestra de FORSU para su caracterización química	129
4.1.2.1.1.	Materia orgánica.....	132
4.1.2.1.2.	Sólidos.....	135
4.1.2.1.3.	Nutrientes	135
4.1.2.1.4.	Ácidos grasos volátiles y alcalinidad	137
4.1.3.	Caracterización física de la FORSU	139
4.1.3.1.	Distribución de tamaños de partícula de la FORSU.....	139
4.1.3.2.	Ensayos de sedimentación.....	140
4.1.4.	Ensayos de determinación de la biodegradabilidad anaerobia	146
4.1.5.	Estimación del potencial de metano	151
4.2.	TRATAMIENTO CONJUNTO DE LA FORSU Y EL ARU: EXPERIENCIA EN PLANTA PILOTO. ESTUDIO DE VIABILIDAD DEL PROCESO BIOLÓGICO	153
4.2.1.	Estabilidad del proceso anaerobio	154
4.2.2.	Establecimiento de los periodos pseudo-estacionarios. Balance de DQO..	156
4.2.3.	Efecto sobre la DQO del afluente y la carga orgánica (OLR)	159
4.2.4.	Efecto sobre la concentración de nutrientes.....	163
4.2.5.	Evolución de los sólidos del reactor	167
4.2.6.	Evolución de la producción de biogás	172
4.2.7.	Evolución de las características del efluente	177
4.2.8.	Dinámica poblacional en la microbiología del sistema	179
4.3.	MODELIZACIÓN MATEMÁTICA DEL PROCESO	186
4.3.1.	Simulación del tratamiento conjunto de FORSU y ARU.....	186
4.4.	VIABILIDAD ECONÓMICA DEL TRATAMIENTO CONJUNTO DE LA FORSU Y EL ARU	193

4.4.1.	Valoración energética del proceso biológico y de filtración de las membranas.	193
4.4.1.1.	Consideraciones previas: análisis del proceso de filtración.	193
4.4.1.2.	Valoración energética.	196
4.4.2.	Evaluación económica del proceso.	200
5.	CONCLUSIONES	207
6.	DESARROLLOS FUTUROS.....	215
7.	BIBLIOGRAFÍA	219
8.	ANEXOS	235
8.1.	ANEXO I.- DISTRIBUCIÓN DE PARTÍCULA	235
8.2.	ANEXO II.- MODELOS MATEMÁTICOS DE SEDIMENTACIÓN	241
8.2.1.	Modelo de Vesilind.....	241
8.2.2.	Modelo de Kynch.....	241
8.2.3.	Aplicación de los modelos de sedimentación	242
8.3.	ANEXO III.- PRODUCCIÓN DE METANO ESPERADA	245
8.4.	ANEXO IV.- CARACTERIZACIÓN DE LAS CORRIENTES DE ENTRADA 249	
8.5.	ANEXO V.- MODELO MATEMÁTICO BNRM2.....	253
8.5.1.	Componentes del modelo.....	253
8.5.2.	Procesos del modelo	254
8.6.	ANEXO VI.- ANÁLISIS ESTADÍSTICOS DE LOS RESULTADOS	261