

El volumen de residuos sólidos urbanos (RSU) y aguas residuales urbanas (ARU) aumenta drásticamente a nivel mundial por el aumento de población y de actividades en las áreas urbanas. La contaminación del agua y la excesiva producción de residuos, que a su vez conlleva la escasez de recursos naturales, precisa de innovaciones en el tratamiento de los residuos. Estas innovaciones se deben sustentar sobre las bases de un nuevo paradigma: de una filosofía de gestión de residuos a una filosofía de gestión de recursos. A través de la recuperación de materiales y de energía, se considera que los residuos son un recurso que puede y debe aprovecharse, siendo esto el concepto de la valorización.

Esta Tesis Doctoral tiene como objetivo principal estudiar el tratamiento conjunto de las aguas residuales urbanas (ARU) y la fracción orgánica de los RSU (FORSU), aunando los tratamientos para su valorización energética. En concreto, se evalúa la viabilidad del tratamiento conjunto mediante la tecnología AnMBR (Anaerobic Membrane BioReactor), obteniendo como producto el biogás, rico en metano, que puede ser utilizado en motores de combustión para la producción de electricidad. Para ello, se realizó una caracterización exhaustiva de la FORSU, y mediante un montaje experimental con un triturador de residuos de comida (TR) se incorporó la FORSU a una planta piloto AnMBR, en la que se realizó un estudio experimental a nivel biológico y un estudio de viabilidad económica. La planta piloto está situada en la EDAR del Carraixet (Alboraia, València) y es alimentada con el efluente del desarenador y la fracción orgánica de los residuos producidos en los restaurantes de la Universidad Politécnica de València.

El uso de TR en los domicilios supone un consumo extra de agua poco significativo (del 1,9%, según el presente estudio). La caracterización físico-química de la FORSU pone de manifiesto una elevada concentración de materia orgánica (medida como DQO) de la FORSU ( $59400 \pm 14000 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ), cien veces mayor respecto de los valores medios de ARU que se introducen en la planta piloto AnMBR o de un ARU típica. Por ello, se espera un notable aumento de la producción de biogás. Además, la concentración de sulfato, se mantiene en unos rangos de concentración similares a los del ARU, de forma que la relación  $\text{DQO/S-SO}_4$  aumenta, favoreciendo a las *Archaea* metanogénicas (AM) en su competición por el sustrato disponible contra las bacterias sulfatoreductoras. La concentración de nitrógeno total es casi el doble de la del ARU afluente y 10 veces mayor en el caso del fósforo total.

En el estudio de distribución de tamaño de partículas, se refleja que sólo el 13% de las partículas se eliminarán tras un pretratamiento restrictivo, como es el tamizado por 0,5 mm. Por lo tanto, la mayor parte de la materia orgánica pasa a través del proceso de tamizado y alcanza el reactor anaerobio para su valorización. La biodegradabilidad anaerobia de la FORSU, obtenida a partir de ensayos de BMP, es del  $72 \pm 3\%$ .

Durante los 536 días de operación desarrollada a escala de planta piloto, se estudian seis periodos distintos modificando el tiempo de retención celular (TRC) y el factor de penetración (FP) de la FORSU. Se observa que la adición de la FORSU no afecta a la estabilidad del proceso, tal y como lo muestra la ausencia de AGV en el efluente de AnMBR y la baja relación de alcalinidad.

El aporte de DQO debido a la adición de la FORSU implica un notable incremento de la carga orgánica en la entrada al reactor AnMBR. La proporción de FORSU respecto al caudal total (1,1 %) provoca un efecto de dilución que hace que el aporte de nutrientes por parte de los residuos prácticamente no se aprecie. Así, la relación

DQO/S-SO<sub>4</sub> se ve incrementada de 5,1 en el Periodo 1 (TRC de 40 días y 0% de FP) a 8,0 en el Periodo 5 (TRC de 70 días y 80% de FP).

La producción de metano durante el tratamiento conjunto es notablemente mayor que en los periodos donde sólo se trata ARU (Periodos 1 y 6), alcanzando un incremento de casi un 200% cuando se trabaja con un FP del 80% en el Periodo 5 con respecto de la producción en el Periodo 1. En general, la producción de metano es mayor cuanto mayor es el TRC. Con un mismo FP del 40%, se consigue una mayor producción en el Periodo 4, con 70 días de TRC (114,9 L·kg<sup>-1</sup> DQO eliminada) que en el Periodo 2, con 40 días (80,4 L·kg<sup>-1</sup> DQO eliminada). Sin embargo, la producción en el Periodo 3, operado sin purga de fango, es solamente un 5% mayor que la obtenida a TRC de 70 días, mientras que la concentración de sólidos en el reactor en el Periodo 3 dobla la concentración del Periodo 4 (28943 mg·L<sup>-1</sup> y 15484 mg·L<sup>-1</sup>, respectivamente), lo cual sugiere que TRCs superiores a 70 días no suponen un incremento significativo en la producción de biogás. Por otro lado, al incrementar el FP de la FORSU al doble, se observa un aumento del 30% en la producción de metano y casi de un 200% al comparar con el periodo previo al tratamiento conjunto.

El efluente obtenido es rico en nutrientes, y, gracias al efecto de las membranas, no hay presencia de sólidos suspendidos o patógenos, dotando al efluente de una gran calidad, por lo que puede ser utilizado como agua de riego. Además, se cumplieron los límites de vertido de DQO durante todo el experimento.

La incorporación de la FORSU y el incremento del TRC provocan un cambio poblacional en el reactor anaerobio por el incremento de población de bacterias encargadas de la hidrólisis y la fermentación y de AM, traduciéndose en una mayor biodegradabilidad de la materia orgánica. Tras la calibración del modelo BNRM2, las simulaciones realizadas confirman esta mayor biodegradabilidad durante los periodos con adición de la FORSU.

Durante los diferentes periodos, el ensuciamiento de las membranas fue mínimo, la presión transmembrana (PTM) en el módulo de membranas de  $-0,131 \pm 0,06$  bar está muy alejada de la PTM límite ( $-0,40$  bar). En el estudio económico de la operación, el menor coste se dio en el Periodo 5 (con TRC de 70 días y 80% de FP), consiguiendo un beneficio debido a la producción de biogás de  $0,022 \text{ €} \cdot \text{m}^{-3}$  tratado, frente al coste del Periodo 1 (con TRC de 40 días y sin FORSU) de  $0,039 \text{ €} \cdot \text{m}^{-3}$  tratado, bajo condiciones óptimas de filtración, demostrando que el tratamiento conjunto de la FORSU en un AnMBR reduce el coste de operación.

La presente Tesis Doctoral ha demostrado la viabilidad técnico-económica del tratamiento conjunto de aguas residuales y FORSU con la tecnología AnMBR y el gran interés de este tratamiento como una opción de futuro dentro del concepto actual de transformar las estaciones de tratamiento de aguas residuales en estaciones de recuperación de recursos.