

Biodegradación anaerobia de lodos y residuos agroalimentarios

R. Solera, M. Pérez, D. Sales

Facultad de Ciencias del Mar y Ambientales.
Universidad de Cádiz. 11510. Puerto Real (Cádiz)

 rosario.solera@uca.es
montserrat.perez@uca.es
diego.sales@uca.es



De izquierda a derecha, Montserrat Pérez, Diego Sales y Rosario Solera, investigadores de la línea TBR de la Universidad de Cádiz.

El Grupo de Investigación de Tecnología del Medio Ambiente de la Universidad de Cádiz (Grupo TEP-181 del Plan Andaluz de Investigación), dirigido por el Prof. Dr. D. Diego Sales Márquez, estudia desde hace más de cuatro décadas la biodegradación anaerobia de vertidos de alta carga orgánica, residuos y lodos, dentro de la línea de investigación Tratamiento Biológico de Residuos (TBR).

La biodegradación anaerobia, también llamada digestión anaerobia o biometanización, se fundamenta en la oxidación biológica de la materia orgánica contenida en los biorresiduos gracias a la actuación de microorganismos específicos en ausencia de oxígeno molecular. El proceso es fruto de las relaciones sintróficas entre diversas poblaciones microbianas filogenética y fun-

cionalmente muy diferentes (eubacterias, hidrolíticas, acidogénicas y acetogénicas, y arqueas hidrogenotróficas y acetoclásticas). Como resultado de este proceso la materia orgánica se transforma en productos finales estables e inertes, al tiempo que se genera un biogás (metano y dióxido de carbono, fundamentalmente) susceptible de aprovechamiento y valorización económica. Las principales ventajas de la degradación anaerobia se encuentran en los elevados porcentajes de eliminación de materia orgánica volátil, la obtención de energía en forma de biogás que excede a los costes energéticos de operación, la destrucción de patógenos (especialmente en el proceso termofílico) y la baja cantidad de biosólidos (lodos) generados, como consecuencia del metabolismo anaerobio.

Los estudios realizados en la línea de investigación incluyen la utilización de diferentes tipos de tecnologías anaerobias (reactores de tipo tanque agitado, filtros anaerobios y lechos fluidizados anaerobios), caracterización cinética del proceso y la cuantificación microbiana de las poblaciones responsables de la biodegradación mediante microscopía de epifluorescencia e hibridación molecular. La investigación desarrollada se ha aplicado a numerosos tipos de vertidos y residuos, fundamentalmente del sector urbano y agroalimentario: vinazas, lodos de estaciones depuradoras de aguas residuales urbanas (EDAR), fracción orgánica de residuos sólidos urbanos, cosetas de remolacha, alperujo, estiércol de vaca, purines de cerdo y subproductos de biocombustibles.

En relación con los estudios sobre tratamiento y valorización de lodos de EDAR se desarrollaron inicialmente dos proyectos: *Implantación de la degradación anaerobia termofílica para el tratamiento de lodos de una depuradora urbana convencional* (PETRI 95-0205.OP) y *Estabilidad de la degradación anaerobia termofílica de lodos de EDAR frente a distorsiones debidas a la temperatura y a la variación de carga orgánica* (95-0645.OP) en los que se demostró la viabilidad de la depuración anaerobia termofílica (55°C) frente a su homóloga mesofílica (35°C), encontrándose que el proceso termofílico alcanzaba los mismos rendimientos de depuración que el mesofílico, en menor tiempo y con mayor productividad de biogás (metano). Sin embargo, los efluentes termofílicos tienen un mayor contenido en ácidos grasos volátiles (AGV) que dificulta la gestión posterior del lodo digerido. Se planteó entonces estudiar la digestión anaerobia de lodos utilizando una tecnología que combina secuencialmente dos reactores (reactor termofílico + reactor mesofílico) que permite aglutinar las ventajas de la digestión termo y meso (tecnología TPAD). Fruto de esta investigación ha sido la concesión de una patente de invención "Planta para la digestión anaerobia termofílica-mesofílica secuencial de lodos mixtos de depuradora" nº de publicación ES238516.

Posteriormente, se han abordado estudios de codigestión de lodos con otros residuos agroalimentarios. La codigestión de lodos permitiría compartir instalaciones de tratamiento, unificar metodologías de gestión, reducir costes de inversión y explotación y amortiguar las variaciones temporales de composición y producción de los residuos por separado. Además, se generaría más biogás en las depuradoras con lo que se incrementaría su eficiencia energética, cumpliendo uno de los objetivos de la Estrategia 2020 de Economía Circular. En este contexto, se han realizado estudios de codigestión de lodos con residuos de la industria azucarera, empleando la tecnología TPAD con resultados exitosos (Montañés, 2014 y 2015).

Actualmente, las Dras. Pérez y Solera, responsables del proyecto *Co-producción de hidrógeno y metano mediante codigestión anaerobia de biosólidos y vinazas* (CTM2015-64810-R), ensayan una modificación de la tecnología TPAD mediante la separación de

fases microbiológicas empleando dos reactores en serie (termofílico acidogénico y mesofílico metanogénico), lo que permite obtener hidrógeno en la primera fase y metano en la segunda, además de un lodo digerido que puede ser utilizado con fines agronómicos. Este estudio constituye el proyecto de tesis doctoral de Miriam Tena Villares (Fig. 1), licenciada en Ingeniería Química.

Considerando la microbiología del proceso anaerobio, inicialmente se aplicó la microscopía de epifluorescencia con el fluorocromo DAPI y autofluorescencia para determinar las concentraciones de microorganismos en reactores monoetapa y de fases separadas para el tratamiento de las vinazas de vino. Posteriormente, en estudios sobre el arranque y estabilización de biorreactores anaerobios termofílicos se cuantificó, por primera vez en el grupo de investigación, las poblaciones de bacterias y arqueas contenidas en los reactores mediante la hibridación molecular *in situ* (FISH). Se destaca de esta investigación el establecimiento de los tamaños relativos de las poblaciones de bacterias y arqueas en reactores con funcionamiento estable y el papel esencial que juegan las metanógenas utilizadoras de hidrógeno en el arranque del proceso para mantener la presión parcial de hidrógeno en unos niveles que permita la actividad acetogénica y metanógena acetoclástica (Montero et al. 2010). A partir de los trabajos de Montero,

la hibridación molecular *in situ*, se ha aplicado rutinariamente para el seguimiento y control de las poblaciones responsables del proceso anaerobio en sucesivos proyectos de investigación. Así, se ha estudiado la dinámica poblacional de reactores para la producción de biohidrógeno y metano a partir de residuos (*Tratamiento biológico integral de los residuos sólidos urbanos: Potenciación de la producción de hidrógeno mediante la separación de fases anaerobias* (CTM2007-62164), *Producción y valorización de biohidrógeno a partir de residuos sólidos urbanos* (P07-TEP-02472) y *Potenciación de la producción de biohidrógeno a partir de la fracción orgánica de residuos sólidos urbanos y biosólidos* (CTM2010-17654). En estos trabajos se determinaron los tamaños relativos de las poblaciones de bacterias hidrolíticas y acidogénicas, bacterias acetogénicas consumidoras de butírico y propiónico y metanógenas utilizadoras de hidrógeno y acetoclásticas. Asimismo, se mostró que la actividad microbiana de los reactores anaerobios está relacionada con las variables de operación del proceso (velocidad de carga orgánica y tiempo hidráulico de retención), que la tecnología de fases separadas consigue niveles de eficacia depurativa similares a la tecnología monoetapa con una concentración menor de microorganismos en cada fase y que para poder depurar a bajos tiempos de retención en reactores sin retención de biomasa es fundamental el aporte de microorganismos



Figura 1. Miriam Tena con los equipos de investigación de su tesis doctoral.

activos en la propia alimentación (residuos) (Zahedi *et al.*, 2013a,b).

El seguimiento de las poblaciones microbianas también se ha realizado en procesos de codigestión anaerobia en el marco del proyecto *Codigestión anaerobia de lodos de depuradora y residuos vegetales de cultivos energéticos. Estrategias para mejorar la producción de biogás y la valorización agronómica del residuo final* (P09-TEP-5275). En esta investigación se muestra que en reactores con altas concentraciones de ácidos grasos volátiles, las metanógenas utilizadoras de hidrógeno constituyen el 100% de las arqueas, y que la actividad de este subgrupo se correlaciona con la carga orgánica aplicada, tanto en los procesos de codigestión mesofílico y termofílico, como en el proceso TPAD (Montañés *et al.*, 2014, 2015).

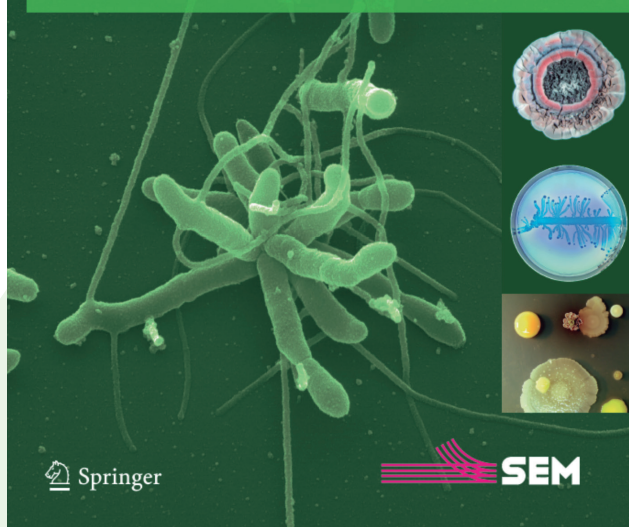
Actualmente participamos en la iniciativa "Industria 2020 en la Economía Circular" mediante la concesión de un proyecto del Programa Marco de Investigación e Innovación de la Unión Europea, Horizonte 2020 (H2020) *REcovery and REcycling of nutrients TURNing wasteWATER into added-value products for a circular economy in agricultura* (Water2REturn) (H2020-IND-CE-2016-17) (Industry 2020 in the Circular Economy) (730398 — Water2REturn) que tiene como objetivo el desarrollo de un proceso innovador para el tratamiento de los vertidos generados en mataderos y otras industrias cárnicas (altamente contaminantes) dirigido a la recuperación y reciclado de nutrientes mediante su transformación en productos de alto valor añadido de aplicación en agricultura.

REFERENCIAS

- Montañés R, Pérez M, Solera R.** (2015). Anaerobic mesophilic co-digestion of sewage sludge and sugar beet pulp lixiviation in batch reactors: effect of temperature. *Bioresour Technol* 180:177-184.
- Montañés R, Pérez M, Solera R.** (2014). Anaerobic mesophilic co-digestion of sewage sludge and sugar beet pulp lixiviation in batch reactors: effect of pH control. *Chem Eng J* 255:492-199.
- Montero B, García-Morales JL, Sales D, Solera R.** (2010). Evolution of butyric acid and the methanogenic microbial population in thermophilic dry anaerobic reactor. *Waste Manage* 30:1790-1797.
- Zahedi S, Sales D, Romero LI, Solera R.** (2013a). Optimisation of single-phase dry-thermophilic anaerobic digestion under high organic loading rates of industrial municipal solid waste: population dynamics. *Bioresour Technol* 146:109-117.
- Zahedi S, Sales D, Romero, LI, Solera R.** (2013b). Optimisation of two-phase dry-thermophilic anaerobic digestion process of sulphate-containing municipal solid waste: population dynamics. *Bioresour Technol* 148:443-452.

International MICROBIOLOGY

Official journal of the Spanish Society for Microbiology



OFFICIAL JOURNAL OF THE SPANISH SOCIETY FOR MICROBIOLOGY

- Publishes information on basic and applied microbiology for a worldwide readership
- Includes articles about pioneering microbiologists and their work
- Coverage is broadened to include eukaryotic microorganisms
- No publication charges

Web Page: <https://bit.ly/2QaXrhu>