

Proyecto LIFE-ANADRY: evaluación de un prototipo pre-industrial de digestión seca para el tratamiento de lodos de EDAR urbanas

M. Esteban-Gutiérrez^{1,2}, E. Aymerich^{1,2}, J. García-Aguirre^{1,2}, L. Pastor³, J.E. Sánchez-Ramírez³, S. Doñate³, C. Lardín⁴, R. Romaguera⁵

¹ Ceit, Manuel Lardizabal 15, 20018 Donostia / San Sebastián, Spain

² Universidad de Navarra, Tecnun, Manuel Lardizabal 13, 20018 Donostia / San Sebastián, Spain.

³ Depuración de Aguas del Mediterráneo (DAM). Avenida Benjamín Franklin, 21. 46980 Parque Tecnológico, Paterna, Valencia (Spain).

⁴ Entidad de Saneamiento de la Región de Murcia (ESAMUR). Complejo de Espinardo - Ctra. N-301 C/Santiago Navarro, 4 1ª Planta 30.100 Espinardo (Murcia)

⁵ Ingeniería y Desarrollos Renovables (INDEREN). Av. Artal de Foces, 46290 Alcásser, València (Spain).

E-mail: mesteban@ceit.es

Resumen

En este trabajo se presentan los resultados de la implantación de la digestión anaerobia seca como alternativa de tratamiento para lodos de estaciones depuradoras de aguas residuales (EDAR) urbanas que no cuentan con digestión anaerobia. Estos resultados están enmarcados dentro del proyecto europeo **LIFE-ANADRY** (ENV/ES/000524), cuyo objetivo es demostrar la viabilidad técnica, económica y ambiental de la tecnología de digestión seca en EDAR urbanas de tamaño mediano y/o pequeño (<100.000 hab. eq.).

Concretamente, este estudio recoge la evaluación de la operación de un prototipo pre-industrial de 20 m³, cuyo diseño permite la mezcla completa de lodo deshidratado y que cuenta con una caldera dual para el aprovechamiento del biogás. Se ha evaluado la implementación de la digestión seca en temperatura mesófila (35°C) y termófila (55°C), bajo condiciones de operación distintas en relación a la carga orgánica volumétrica (COV) y el tiempo de retención (TR).

En línea con los objetivos del proyecto, se ha valorado el rendimiento del proceso en términos de eliminación de materia volátil, producción de biogás y metano, y en términos de higienización, cuestiones clave para demostrar la viabilidad de la alternativa planteada. Es destacable que el seguimiento del prototipo LIFE-ANADRY refleja rendimientos superiores operando en rango mesófilo de temperatura a un TR de 20 días, lo que indica una mejora considerable respecto a la operación a 55°C.

Asimismo, se ha comprobado la higienización del lodo obtenido en términos de eliminación de *E. coli* y *Salmonella spp.*, contemplados en la Orden AAA/1072/2013.

Palabras Clave: digestión seca, higienización, LIFE-ANADRY, lodo urbano, prototipo pre-industrial

Introducción

El proyecto **LIFE ANADRY** (www.life-anadry.eu) tiene por objetivo demostrar la viabilidad técnica, económica y ambiental de la digestión anaerobia seca de lodos como solución integral para la gestión de esta corriente en estaciones depuradoras de aguas residuales (EDAR) urbanas de tamaño mediano y/o pequeño (<100.000 hab. eq.).

LIFE ANADRY surge como una alternativa para mejorar la gestión de los lodos de acuerdo al contexto de legislación europeo, es decir, para reducir el impacto sobre la salud y el medio ambiente, con la intención de promover la implantación de tecnologías energéticamente eficientes habituales en EDAR de mayor escala.

Por un lado, la Directiva 91/271/CEE exige la implantación de sistemas de depuración para poblaciones que superen los 2000 hab. equiv. y su cumplimiento en Europa apunta a un incremento considerable en la generación de lodos. Por otro lado, una de las vías de gestión mayoritarias para los lodos de EDAR es su aplicación a suelo con fines agrícolas o de fertilización, para lo cual es necesario cumplir con la Directiva 86/278/CEE. El borrador de esta directiva del año 2000 y la legislación nacional en varios países de la UE van más allá incluyendo límites a patógenos tales como la *Salmonella spp.*, por lo que cobra especial importancia el criterio de higienización. En España, además de las transposiciones de las directivas, hay que tener en cuenta la Orden AAA/1072/2013 en la que se incluye la *E. coli*, además de la *Salmonella spp.*

Existen en el mercado tecnologías patentadas de digestión seca con diversas configuraciones para modos de operación discontinuos, semi-continuos o continuos (André, 2018) que en Europa se ha implantado mayoritariamente para el tratamiento de residuos sólidos urbanos (RSU), residuos de comida, restos de cultivos y/o cultivos energéticos. Sin embargo, ha surgido especial interés la última década en aplicar esta tecnología a lodos de depuradora debido en gran medida a las ventajas que presenta respecto a la digestión húmeda convencional en cuanto a menor requerimiento de espacio, menor coste de inversión y mejoras en el rendimiento energético.

Este interés queda patente en trabajos de bibliografía con digestores de hasta 0,3 m³ (Aymerich, 2013) y 2 m³ (Liu, 2012).

El proyecto **LIFE ANADRY** contempla la operación de un prototipo pre-industrial con el fin de evaluar y demostrar la viabilidad de la digestión anaerobia seca como una tecnología adecuada para la gestión de lodos, en el que se aborda la implantación del proceso en dos rangos de temperatura: mesófila (35°C) y termófila (55°C).

El consorcio del proyecto cuenta con representantes del sector público (ESAMUR) y privado, tanto de perfil empresarial (DAM – coordinador, INDEREN) como del ámbito tecnológico (Ceit-IK4), y tiene un socio para diseminación (SEMIDE) cuyo papel principal es difundir el proyecto y mostrar la viabilidad de una solución reproducible en otras áreas y escenarios, llegando a un número elevado de potenciales usuarios finales de la tecnología y profesionales del sector del agua y los residuos.

Materiales y Métodos

Plataforma experimental

El entorno de demostración del proyecto **LIFE ANADRY** es la EDAR urbana de Alguazas en Murcia (imagen 1), que actualmente da cobertura a una población equivalente de 40.000 hab. equ. y tiene una capacidad de diseño de 150.000 hab.equ.

La EDAR recibe un caudal medio de 3500 m³/d y el tratamiento biológico principal por el que se trata el agua residual es la aireación prolongada.

En esta depuradora existe un aporte agroindustrial importante sujeto a la estacionalidad de los cultivos.



Imagen 1. EDAR urbana de Alguazas en la que se realiza la demostración del proyecto LIFE ANADRY

El prototipo demostrativo **LIFE ANADRY** está conectado a la tolva en la que se almacena el lodo deshidratado de la depuradora que se obtiene por un sistema de deshidratación empleando centrífugas.

El equipo se alimenta en modo semi-continuo con 10 cargas diarias, para mantener una carga de lodo constante.

El gasómetro del digestor permite almacenar el biogás y monitorizar la producción diaria de biogás trabajando a una presión constante.

Durante las primeras fases del proyecto se ha ejecutado el diseño, la construcción y puesta en marcha del prototipo pre-industrial demostrativo de 20 m³, que tiene forma cilíndrica y es horizontal.

Asimismo, cuenta con una caldera dual para poder aprovechar el biogás con fines de calentamiento y auto-suficiencia energética, y un sistema de agitación que permite la mezcla completa del lodo deshidratado (Imagen 2).

El prototipo tiene una capacidad suficiente como para llegar a tratar el 25% del lodo deshidratado que se produce en la EDAR.

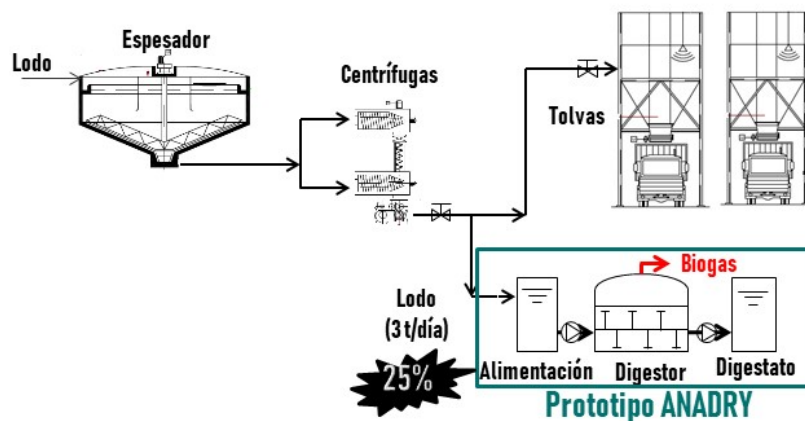


Imagen 2. Esquema general del prototipo LIFE-ANADRY (arriba) e imagen de los principales elementos (abajo)

Seguimiento analítico

Para evaluar el rendimiento del proceso, se han realizado medidas de composición de biogás por cromatografía de gases una vez por semana (GC-TCD HP6890) y diariamente por sonda portátil (Biogas 5000 Geotech). Así mismo, se han determinado los Sólidos Volátiles (SV) para estimar la eliminación de materia orgánica y se han cuantificado *E. coli* (PEM/MUNLAB 06 28) y *Salmonella spp.* (método PEM/MUNLAB/06 29) con el fin de comprobar la higienización del lodo de acuerdo a lo establecido en el RD 506/2013.

La operación del prototipo se ha seguido en base a medidas semanales de parámetros que, junto con el porcentaje de metano, aportan información clave sobre la estabilidad del proceso y de su estado metabólico: pH, nitrógeno amoniacal total (NAT) y amoniacal libre y el ratio AGV/alcalinidad. Estos parámetros y los SV se han determinado por métodos basados en el *Standard Methods* (APHA, 2005).

Resultados y Discusión

Fase termófila

Durante el arranque del proceso termófilo, el digestor fue inoculado con 16 m³ de biomasa termófila procedente de un digestor anaerobio que trata la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos (FORSU). El digestor se operó inicialmente con un tiempo de retención de 20 días, lo cual produjo un aumento de los AGV hasta concentraciones de 34 g HAc L⁻¹.

Con el fin de controlar la concentración de AGV, se ajustó el TR a 40 días. No obstante, el aumento del tiempo de retención favoreció la liberación de nitrógeno amoniacal, que alcanzó valores superiores a 6.000 mg N L⁻¹. Con el fin de solventar una posible inhibición, se aumentó la carga orgánica volumétrica, reduciendo el TR a 30, 20 y 15 días sucesivamente, lo cual favoreció la bajada de niveles de nitrógeno amoniacal y un aumento considerable de la producción de biogás hasta 17m³ día⁻¹ y del contenido de metano en el biogás.

La operación en condiciones termófilas garantizó la completa higienización del lodo de Alguazas (Tabla 1).

Parámetro	Unidad	Termófila (55°C)		Mesófila (35°)	
		Influyente	Efluente	Influyente	Efluente
Q	kg/d	500		>900	
ST	%	15	12,5	13-15	10,5
MV	%	76	60	81	69,2
pH		7,1±0,5	7,5±1,2	7,1±0,5	8,1
<i>Salmonella spp.</i>	presencia 25 g	(+)	(-)	(+)	(-)
<i>E. coli</i>	UCF/100 ml	6,9x10 ⁴	< 10	5x10 ⁴	< 40

Tabla 1. Resumen de fase termófila y mesófila de la operación del prototipo LIFE ANADRY

Fase mesófila

El arranque del proceso mesófilo, se realizó con un inóculo procedente de un digestor anaerobio mesófilo de una EDAR urbana cercana a Alguazas. Durante el proceso mesófilo, el pH se ha mantenido alcalino en $8,33 \pm 0,4$, con una concentración de AGV inferior al proceso anterior de $4.000 \pm 1.108 \text{ mg HAc L}^{-1}$.

Debido a la menor temperatura empleada, los valores de nitrógeno amoniacal total se han mantenido más estables e inferiores a $4.000 \text{ mg N L}^{-1}$. Se ha obtenido una máxima producción de biogás de $29,4 \text{ m}^3 \text{ día}^{-1}$, con una composición estable de metano de superior al 60%. Los resultados para los patógenos contemplados en la Orden AAA/1072/2013 se incluyen en la Tabla 1, que indican la higienización del lodo.

Conclusiones

El seguimiento del prototipo **LIFE ANADRY** ha reflejado una mejora del rendimiento de producción de biogás, producción de metano y eliminación de SV en condiciones mesófilas frente a la operación en rango termófilo.

De forma remarcable, ambos procesos han permitido higienizar completamente el lodo de salida, cumpliendo con la legislación vigente y demostrando que la digestión seca es una alternativa viable para la gestión de lodos en EDAR urbanas de tamaño mediano y/o pequeño.

Agradecimientos

Los autores agradecen la cofinanciación de este proyecto (LIFE14 ENV/ES/000524) al Programa LIFE de la Unión Europea.

Referencias

1. André L., Pauss A. and Ribeiro T. (2018) A Solid anaerobic digestion: State-of-art, scientific and technological hurdles. *Bioresource Technology* 247, 1027–1037.
2. APHA-AWWA-WEF (2005) *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 21st Edition.
3. Aymerich E., Esteban-Gutiérrez M. and Sancho L. (2013) Analysis of the stability of high-solids anaerobic digestion of agro-industrial waste and sewage sludge. *Bioresource Technology* 144, 107-114.
4. Gao, S., Zhao, M., Chen, Y., Yu, M., Ruan, W. (2015). Tolerance response to in situ ammonia stress in a pilot-scale anaerobic digestion reactor for alleviating ammonia inhibition. *Bioresource Technology* 198, 372-379.
5. Karthikeyan, Z.O.P., Visvanathan, C. (2012). Effect of C/N ratio and ammonia-N accumulation in a pilot-scale thermophilic dry anaerobic digester. *Bioresource Technology* 113, 294 – 302.
6. Liu X., Gao X., Wang W., Zheng L., Zhou Y. and Sun Y. (2012) Pilot-scale anaerobic co-digestion of municipal biomass waste: Focusing on biogas production and GHG reduction. *Renewable Energy* 44, 463-468.