

CONAMA2016

LIFE SIAMEC: Sistema anaerobio integrado para el tratamiento a temperatura ambiente de aguas residuales en climas europeos.

Autor: Natividad Moya (Aguas de Murcia)

Institución: Aguas de Murcia

Otros autores: Simón Nevado (Aguas de Murcia), Teresa R. Serna, Jorge Dominguez (Hidrogea), Pedro Simón, Carlos Lardín (ESAMUR)



RESUMEN

El proyecto LIFE SIAMEC (LIFE14/ENV/ES/000849) promueve un cambio de paradigmas en el sector de la depuración, pasando de procesos consumidores de energía a tratamientos sostenibles que permitan aumentar la calidad del agua y la implementación de prácticas seguras de reutilización. A lo largo del proyecto financiado por la Comisión Europea se construirán dos pilotos demostrativos en los que se evaluará el prototipo Sistema Integrado de Reactor Anaerobio Metanogénico y Bioreactor de Membranas (SIAM), patentado por la Universidad de Santiago de Compostela (USC), uno en una Estación Depuradora de Aguas Residuales (EDAR) de la Región de Murcia (Agua Residual Urbana (ARU), clima mediterráneo), y otro en una industria láctea de Galicia (Agua Residual Industrial (ARI), clima atlántico).

PALABRAS CLAVE: Depuración, reutilización, tratamientos anaerobios, eliminación nutrientes, reducción de emisiones



ÍNDICE

1. Introducción	4
2. Objetivos	4
3. Descripción del proyecto	5
4. Resultados.....	6
5. Conclusiones.....	12



1. Introducción

Los recursos hídricos de la cuenca mediterránea están sometidos a altas presiones y la escasez de agua se ha convertido en una preocupación creciente. La Región de Murcia es una de las regiones mediterráneas que se enfrenta a este problema que además probablemente, se agravará en los próximos años debido a una menor disponibilidad del recurso (periodos prolongados de sequías y aumento de la temperatura (T)) y un incremento de la demanda, asociado al aumento de la población y al hecho de que el desarrollo económico de la zona depende en gran medida de actividades que consumen elevadas cantidades de agua, como son la producción agrícola y el turismo.

Por todo ello, es necesario racionalizar la demanda y hacer una adecuada gestión del agua, de tal forma que se pueda garantizar la sostenibilidad a través del uso de recursos no convencionales, como son las aguas regeneradas.

Los tratamientos anaerobios de las aguas residuales a T ambiente han sido ampliamente utilizados en regiones cálidas y templadas, alcanzándose unos rendimientos de depuración satisfactorios. Sin embargo, a pesar de considerarse una tecnología fiable, su aplicación en climas más fríos, como los climas europeos, sigue siendo un gran desafío debido a:

- i) A T en torno a los 20°C la solubilidad del metano (CH_4) en el agua efluente se incrementa, provocando emisiones del gas en el agua residual. Este compuesto tiene un gran potencial de calentamiento global y pueden afectar sensiblemente al cambio climático.
- ii) Baja capacidad de eliminación de nutrientes: Nitrógeno (N) y Fósforo (P).

2. Objetivos

La finalidad del proyecto LIFE SIAMEC es demostrar la viabilidad del tratamiento anaerobio del ARU y ARI a T ambiente en climas europeos con el fin de conseguir una tecnología integrada para la reutilización del agua residual, que minimice el consumo energético, la producción de biomasa y la Huella de Carbono.

Los objetivos específicos que se pretenden alcanzar son los siguientes:

- ✓ Desarrollo de una tecnología compacta, versátil, modular y robusta para la eliminación de materia orgánica y N de ARU y ARI hasta niveles de reutilización o vertido en zonas sensibles, que permita además su configuración en diferentes tipos de EDAR.
- ✓ Desarrollo de una tecnología capaz de eliminar las emisiones Gases de Efecto Invernadero (GEI) asociadas a los tratamientos anaerobios y que permita ahorrar costes, tanto energéticos como de gestión de lodos, con respecto a los tratamientos convencionales.
- ✓ Demostrar las ventajas de la tecnología SIAM: tratamiento sostenible, paliación de escasez de recursos, incremento en la rentabilidad de la explotación de EDAR, etc.

Aunque el proyecto LIFE SIAMEC tiene por objeto demostrar la viabilidad de la tecnología SIAM (combinación de sistema anaerobio (reactor anaerobio metanogénico) y un sistema de membranas (biorreactor de membranas)), también se estudiará una línea paralela de tratamiento convencional no basado en membranas, de menor consumo energético. La tecnología LIFE SIAMEC sin membranas será evaluada y comparada para otras áreas



donde no se requiera la reutilización del agua o para la mejora de EDAR que incorporen tratamientos terciarios.

3. Descripción del proyecto

El proyecto LIFE SIAMEC, iniciado en 2015 y con una duración prevista de tres años, está siendo financiado por la Comisión Europea a través del programa LIFE14. El líder del proyecto es la delegación en Galicia del Centro Tecnológico del Agua (Cetaqua) y los socios son la Universidad de Santiago de Compostela (USC), las empresas Aguas de Murcia, Capsa Food e Hidrogea y la Entidad de Saneamiento y Depuración de Aguas Residuales de la Región de Murcia (ESAMUR).

El proyecto contempla el desarrollo y construcción de dos pilotos demostrativos en los que se evaluará el prototipo SIAM (patente WO2014/118416 A1 de la USC, Figura 1), en una EDAR de la Región de Murcia (ARU, clima mediterráneo de T estable y moderada 17-25°C), y en una industria láctea de Galicia (ARI, clima atlántico de T ambiente baja y oscilante).

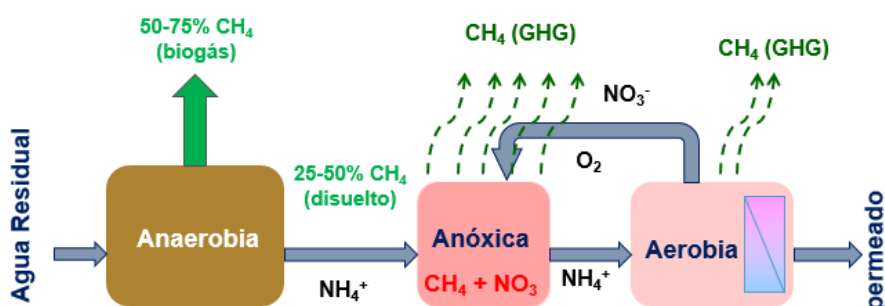


Figura 1. Sistema integrado SIAM.

Para la validación de la tecnología en climas mediterráneos se desarrollarán las siguientes tareas:

1. Identificación y adaptación del emplazamiento del prototipo

Identificación de la EDAR más adecuada para la evaluación del prototipo SIAM en el clima mediterráneo.

2. Diseño, detalle y construcción del prototipo

Ejecución de los trabajos necesarios para la construcción de la planta experimental en la EDAR seleccionada, incluyendo obra civil, fontanería, electricidad.

3. Operación y validación de resultados

Comparación entre el sistema LIFE SIAMEC con membranas (SIAM) y el sistema LIFE SIAMEC sin membranas (tratamiento convencional), en términos de calidad del efluente de cara a su reutilización directa, consumo de energía y producción de fangos.

4. Análisis económico-financiero y plan de desarrollo de la tecnología

Esta tarea se basa en el análisis de los costes asociados al proyecto LIFE SIAMEC, incluyendo la identificación de los parámetros de optimización necesarios para minimizar costes. Finalmente, se procederá a la creación de un entorno tecnológico y económico para el desarrollo del producto final.



4. Resultados

1. Identificación y selección de la EDAR para la instalación del prototipo

El objetivo de esta tarea ha sido evaluar la idoneidad de diferentes EDAR de la Región de Murcia para albergar el prototipo. Se han estudiado distintas instalaciones gestionadas por Aguas de Murcia y por Hidrogea en la Región de Murcia en relación a los siguientes criterios: (1) Características de la EDAR en cuanto a disponibilidad de (i) Personal en la planta, (ii) Laboratorio para el control del proceso y (iii) Taller mantenimiento y (2) Características del influente: contenido en Nitrógeno Total (N_T), pH, T ambiente, Demanda Química de Oxígeno (DQO) y concentración de Sulfatos (SO_4^{-2}).

Sólo una de las plantas operadas por Aguas de Murcia, EDAR Murcia Este (Murcia, **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) y dos de las operadas por Hidrogea, EDAR Cabezo Beza (Cartagena, Figura 3) y EDAR La Hoya (Lorca, Figura 4), reúnen los requisitos establecidos respecto a las infraestructuras disponibles. En la Tabla 1 se resumen las principales características de las plantas:



Figura 2. Sistema integrado SIAM.



Figura 3. EDAR Cabezo Beza.



Figura 4. EDAR La Hoya.



Tabla 1. Principales características de las EDAR identificadas para la implementación del prototipo en el clima mediterráneo.

	EDAR Murcia Este	EDAR Cabezo Beaza	EDAR La Hoya
Ubicación	Murcia	Cartagena	Lorca
Q _{Diseño} (m ³ /día)	100.000	35.000	20.000
Población equivalente	350.000	210.000	292.667
Líneas de tratamiento	Agua, fango y biogás	Agua, fango y biogás	Agua, fango y biogás
Uso del efluente	Vertido al río Segura	Recarga de un estanque artificial	Cesión a una Comunidad de Regantes

Las consideraciones para la identificación del influente más adecuado para alimentar el prototipo han sido las siguientes:

- El prototipo experimental patentado por la USC permite eliminar una concentraciones de N_T entre 15-50 mg/l.
- Los TA se han demostrado adecuados para el tratamiento de las ARU y ARI con concentraciones de MO entre 150 y 5000 mg DQO/l; situándose el valor óptimo por encima de 400 mg DQO/l (TBW, 2001).
- Las aguas tratadas por este sistema deben poseer un pH entre 6,30-7,85 para permitir que las bacterias responsables de la digestión anaerobia puedan crecer y llevar a cabo la actividad biológica. El valor del pH es también importante porque a valores altos, el amonio (NH_4^+) se disocia a amoniaco (NH_3), el cual inhibe la actividad de las bacterias productoras de CH_4 .
- Para un óptimo crecimiento de la microflora (TBW, 2001) en los reactores anaerobios la T óptima debe situarse entre 20° y 60°C.
- La presencia de SO_4^{-2} representa un grave riesgo para el sistema (Subtil, 2012), ya que las bacterias reductoras de SO_4^{-2} puede reducir el SO_4^{-2} a sulfuro de hidrógeno (H_2S) causando multitud de problemas (toxicidad, corrosión, malos olores). Además, una fracción del H_2S que aparece en la etapa anaeróbica, a 20°C, es soluble en agua. Uno de los objetivos del proyecto LIFE SIAMEC es estudiar la desnitrificación de N en el post-tratamiento, la presencia de una gran contenido en H_2S soluble en el efluente harían más difícil la desnitrificación. Se requiere que la relación DQO/ SO_4^{-2} sea lo más alta posible, para impulsar la metanogénesis frente a los procesos de reducción de SO_4^{-2} en la etapa de digestión anaerobia.

En la Tabla 2 se muestran las características del agua residual tratada en las tres EDAR descritas durante el periodo de 2010 a 2015. Para evitar los problemas derivados de la entrada de solidos gruesos al prototipo, se ha optado por alimentar la planta con el efluente de la decantación primaria de la EDAR, por tanto el valor de DQO presentado corresponde a esa corriente.



Tabla 2. Características del influente. Valores de pH, NT, SO_4^{-2} , DQO y DBO_5 (Promedio y desviación estándar) para el período 2010-2015.

Parámetro	Uds.	EDAR Murcia Este	EDAR Cabezo Beaza	EDAR La Hoya
pH	Ud. pH	7,63 ± 0,08	7,55 ± 0,29	7,66 ± 0,16
N_T	mg/l N	46,31 ± 8,5	66,18 ± 11,00	113,75 ± 12
SO_4^{-2}	mg/l	441,86 ± 77,6	188,88 ± 57,60	288,65 ± 103
DQO	mg/l	379,43 ± 74,0	499,92 ± 99,00	687,63 ± 70
DBO_5	mg/l	252,63 ± 55,0	471,42 ± 155,00	599,62 ± 61

También se han considerado las condiciones climáticas de las zonas donde están ubicadas las plantas para garantizar la estabilidad de las T. De acuerdo con los datos publicados por la Agencia Nacional de Meteorología, el rango de T registradas en invierno y en verano en 2014 en las tres ciudades son los que se pueden observar en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.:**

Tabla 3. T registradas en 2014 en las ciudades donde están ubicadas las EDAR (valores máximo y mínimo).

Temperatura	Murcia	Cartagena	Lorca
Invierno (°C)	11,7-16	13,1-18	10,2-14
Verano (°C)	20,8-28,4	21,9-26,8	19-27

Las corrientes de entrada de las EDAR estudiadas presentan valores de DQO, pH y T, dentro de los rangos descritos en la patente de a validar a lo largo del proyecto.

A pesar de que la EDAR La Hoya presenta la carga orgánica más elevada, está limitada por la excesiva concentración de N_T (>110 mg/l). Mediante el prototipo LIFE SIAMEC sería posible eliminar cargas de N_T de hasta 50 mg/l, pero el efluente contendría concentraciones de N_T superiores a las recomendadas para el vertido, estando limitada por tanto la reutilización del agua.

La EDAR Murcia Este posee ratios adecuados de DQO/ N_T , sin embargo la instalación ha sido rechazada debido a las elevadas concentraciones de SO_4^{-2} , que impedirían la adecuada validación de la tecnología. La EDAR Cabezo Beaza es la instalación que presenta las concentraciones de SO_4^{-2} más bajas, por lo que el ciclo del azufre tendrá mucho menos participación y será posible una mayor eliminación de N utilizando el CH_4 como fuente de carbono. Además los ratios DQO/ SO_4^{-2} y DQO/ N_T se encuentran dentro de los rangos recomendados para la operación del prototipo.

Otro factor clave para la selección de la EDAR Cabezo Beaza han sido las condiciones climáticas, debido a la proximidad de la planta a la costa, las T son las más estables.

2. Adaptación de la EDAR para la instalación del prototipo

A principios de 2015 se iniciaron los trabajos para la construcción del piloto en la EDAR de Cabezo Beaza. Se ha identificado la situación óptima en el interior de la planta considerando: (i) La proximidad al punto de captación de aguas residuales, (ii) La disponibilidad de espacio (iii) Menor necesidad de obras para suministro de energía y agua y conexión a la red de alcantarillado y (iv) No debe obstaculizar los trabajos corrientes en la planta o bloquear accesos.



De acuerdo con estos requisitos, la planta piloto se ha construido en la zona norte de la EDAR Cabezo Beaza, cerca de los decantadores primarios, como muestra la Figura 5.:



Figura 5. Ubicación final del prototipo y puntos representativos.

El prototipo LIFE SIAMEC consta de 4 fases (Figura 6) y de su combinación surgen los dos sistemas de tratamiento a evaluar: (i) LIFE-SIAMEC basado en membranas (1 y 2) (Tecnología SIAM) y (ii) LIFE SIAMEC sin membranas (1, 3 y 4).

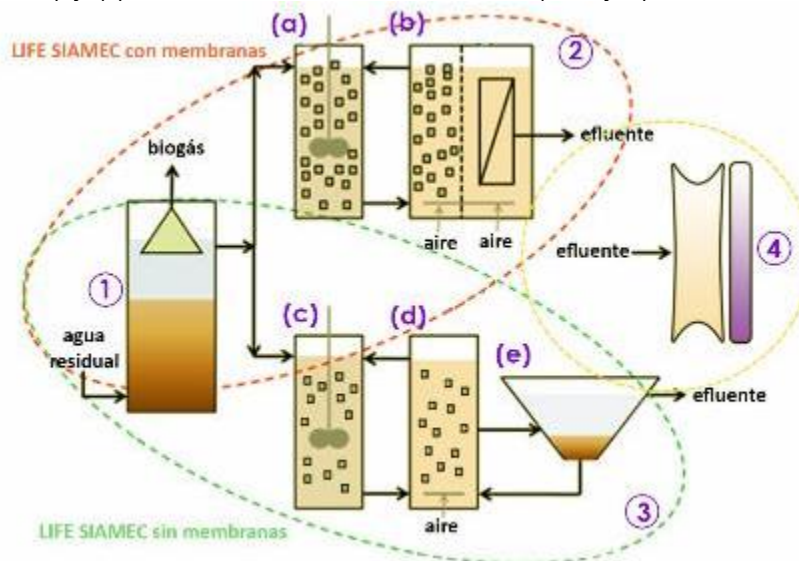


Figura 6. Esquema del prototipo.

(1) *Reactor anaerobio metanogénico* – La primera fase consiste en el tratamiento anaerobio del agua residual en un reactor anaerobio de manto de lodos con flujo ascendente (UASB, Figura 7). En el UASB se elimina una parte importante de la DQO del agua residual, generándose un biogás rico en CH_4 .



Figura 7. Vista del reactor UASB.

(2) *Post-tratamiento MBR* – Esta fase consiste en: (a) Una etapa anóxica con un relleno de partículas plásticas en suspensión y (b) Una etapa aerobia de filtración con un relleno de partículas plásticas en suspensión junto con un módulo de membranas de ultrafiltración sumergidas.

El agua que sale del reactor UASB, saturada de CH_4 , llega a la cámara anóxica (a) donde se promueve el crecimiento de microorganismos adheridos a partículas de soporte plástico en forma de biopelícula, eliminándose la fracción de DQO residual y el CH_4 disuelto como fuentes de carbono para desnitrificar el nitrato generado en el UASB.

En la etapa aerobia de filtración (b) se promueve la oxidación del amonio a nitrito (NO_2^-) y/o nitrato (NO_3^-), el cual se recircula a la cámara anóxica, donde tiene lugar la eliminación de N. Además, el agua se filtra mediante membranas de ultrafiltración, produciendo un permeado con una DQO menor de 40 mg/l, una DBO_5 menor de 5 mg/l, un N_T de 15 mg/l y libre de sólidos en suspensión y microorganismos.

Este post-tratamiento permite la prevención de emisiones GEI y la obtención de un efluente de alta calidad adecuado para su reutilización.

(3) *Post-tratamiento no basado en membranas* – Esta línea de tratamiento convencional incluye (c) Una etapa anóxica con relleno de partículas en suspensión, (d) Una etapa aerobia con relleno de partículas plásticas en suspensión y (e) Un decantador.

(4) *Tratamiento terciario* Figura 7) – Compuesto de filtro de arena y un módulo de desinfección por radiación ultravioleta (UV).

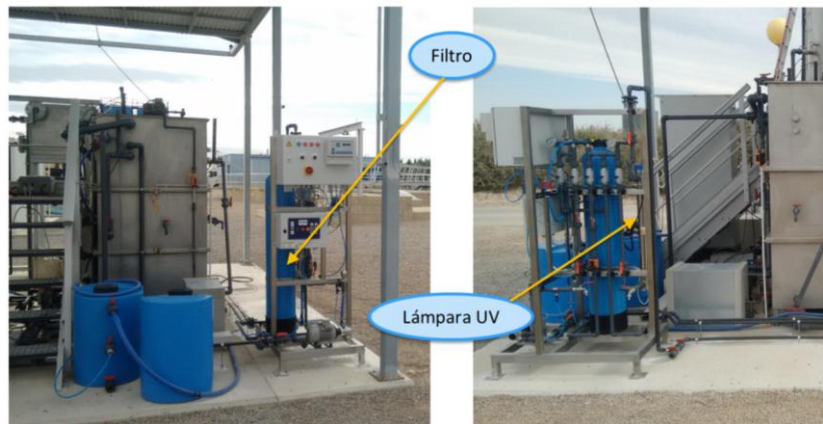


Figura 7. Tratamiento terciario.

Finalmente, como el objetivo es la reutilización de los efluentes como agua de riego, se analizarán de acuerdo con los requisitos de calidad definidos por el RD 1620/2007 y, para poder valorar sus características agronómicas, se utilizarán para regar un huerto, dividido en dos secciones, construido en uno de los laterales de la planta.

3. Operación y validación de resultados

Se ha procedido al arranque del reactor UASB, inoculando fango anaerobio de la EDAR Cabezo Beaza y sin utilizar ningún sistema de calentamiento externo. De acuerdo con la bibliografía (Rizvi et al., 2015), el tiempo necesario para la puesta en marcha de la tecnología en climas con una T media está en torno a los 60 días. En el caso de estudio, este proceso ha necesitado 80 días. En la Figura 8, se puede observar la evolución de la DQO durante el tiempo que se ha operado el sistema. Los rendimientos de eliminación de DQO alcanzados han sido algo bajos (35-50%) en comparación con los resultados reportados por otros autores (Mahmoud et al., 2004, Rizvi et al., 2015).

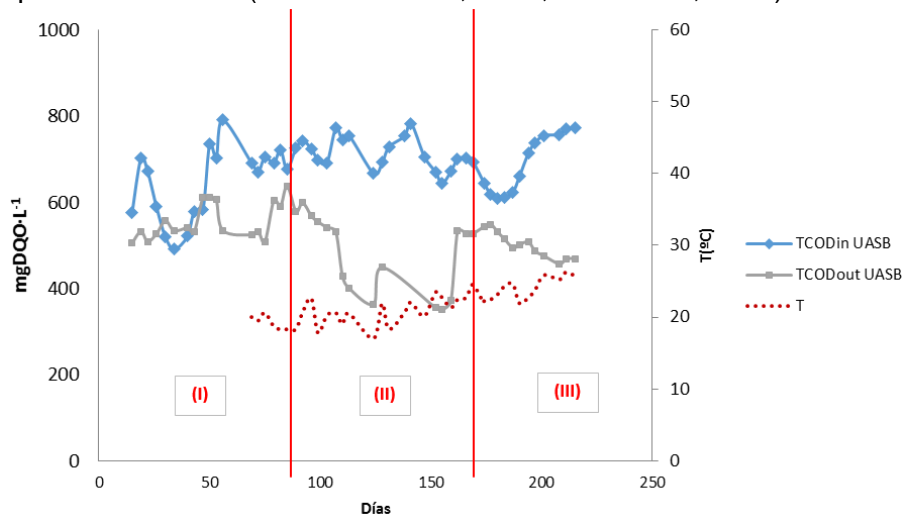


Figura 8. Evolución de la DQO en el reactor UASB.

El proceso de eliminación de N_T se ha observado transcurridos 25 días (Figura 9), alcanzándose unos rendimientos de eliminación del 75% ($60 \text{ mgN}\cdot\text{L}^{-1}$)

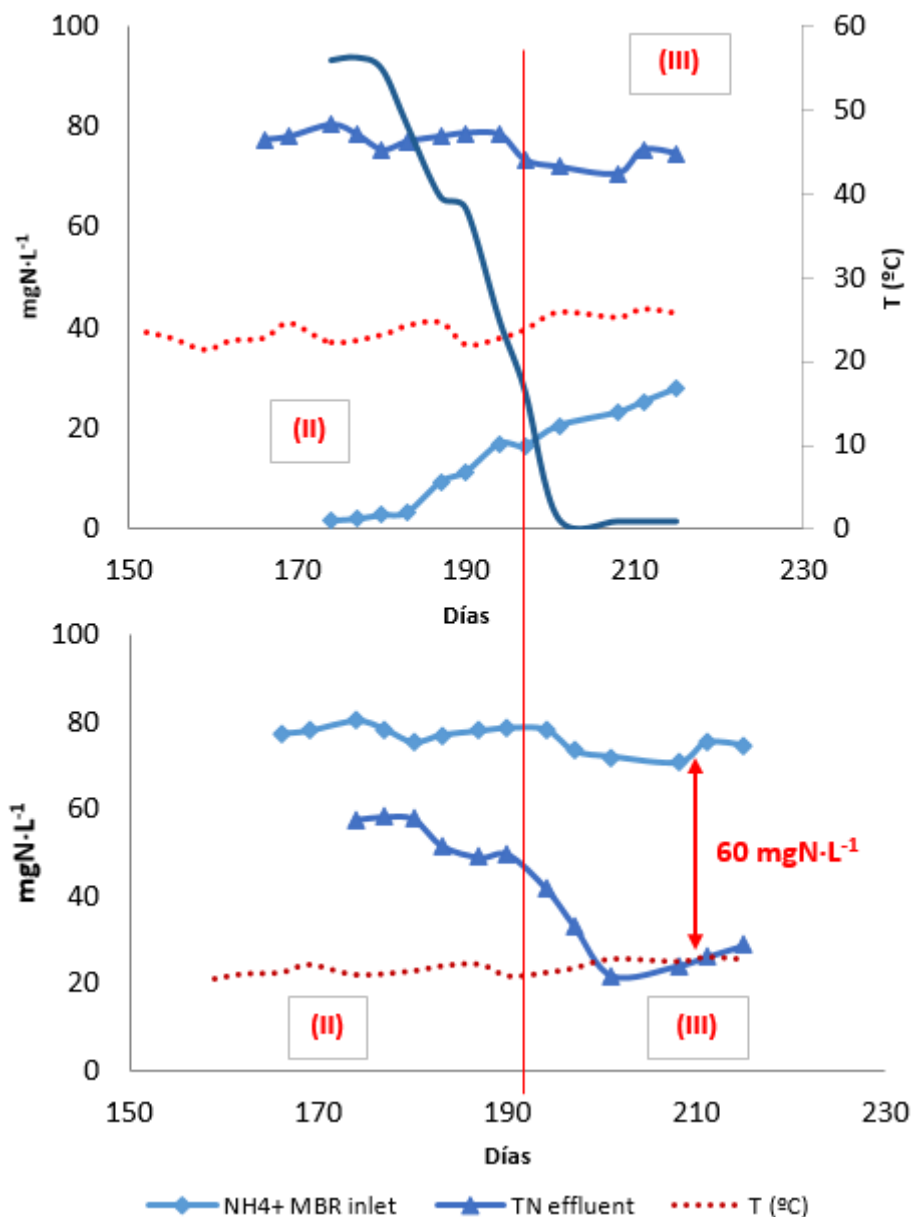


Figura 9. Evolución del contenido en NH_4^+ y N_T en el reactor UASB.

5. Conclusiones

Las dos primeras etapas del proyecto se dan por finalizadas una vez se ha seleccionado la EDAR más adecuada para la ubicación del prototipo y se ha concluido el diseño y la construcción de la instalación experimental.

A continuación se ha realizado la puesta en marcha de la planta, incluyendo las pruebas hidráulicas y la verificación del correcto funcionamiento del sistema de control y de adquisición de datos. Se ha realizado el arranque del reactor UASB con ARU, inoculando con fango de la propia instalación, alcanzándose eliminaciones de DQO de hasta el 55%.



Se ha validado en la fase del post-tratamiento con membranas, que es posible la desnitrificación mediante el uso de CH₄ como fuente de carbono.

Los resultados preliminares son prometedores en cuanto a la viabilidad de la tecnología SIAM para el tratamiento de las aguas residuales a T ambiente en climas mediterráneos.

6. Referencias

- Ahring, B. Angelidaki, I. Macario, E.C. Gavala, H.N. Hofman-Bang, J. Macario, A.J.L. Elferink, S.J. Raskin, L. Stams, A.J.M. Westermann, P. y Zheng, D. (2003) *Perspective for Anaerobic Digestion. Biomethanation*, 81, 1-30.
- Naturgerechte Technologien, Bau- und Wirtschaftsberatung (TBW) GmbH (Editor) (2001): *Anaerobic Treatment of Municipal Wastewater in UASB-reactors*. Available on line: <http://www.sswm.info/category/step-rrr-business-development/module-2-sector-inputs/technologicaloptions/technological-14>. Last access: 04/02/2016
- Lens, P. N. L.; Kuenen, J. G. (2001) *The biological sulfur cycle: novel opportunities for environmental biotechnology. Water Science and Technology*, 8, 57–66.
- Lens, P. N. L. Visser, A. Jansen, A. J. H. Hulshoff-Pol, L. W. y Lettinga, G. (1998) *Biotechnological treatment of sulphate-rich wastewaters. Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 28, 41-88.
- O'Flaherty, V. Colleran, E. (2000) *Sulfur problems in anaerobic digestion. In: International Water Association. Environmental technologies to treat sulfur pollution: principles and engineering*, 467–89.
- Postgate, J. R. (1984) *The sulphate reducing bacteria. 2nd Ed. Cambridge: University Press*.
- Subtil E.L. Cassini S.T.A. Gonçalves R.F. (2012) *Sulfate and dissolved sulfide variation under low COD/Sulfate ratio in Up-flow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) treating domestic wastewater. Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, 1, 130-139.
- Vincke, E. Boon, N. Verstraete, W. (2001) *Analysis of the microbial communities on corroded sewer pipes – a case study. Applied Microbiology and Biotechnology*, 57, 6.776–6.785.