



# Procesos avanzados de eliminación de nitrógeno: Anita Mox con configuración IFAS

**Araitz Santamaría** *process engineer* de AnoxKaldnes AB

**Jon Albizuri** *sales and process engineer* de AnoxKaldnes AB

**Brandy Nussbaum** *sales manager* de AnoxKaldnes AB

**Hong Zhao** *process & technology leader* de Kruger Inc.

**Romain Lemaire** *wastewater process engineer & biological treatment expert* del Departamento Técnico de Veolia Water

La minimización del consumo energético de las estaciones depuradoras de aguas residuales (EDAR) es de suma importancia. Gracias a la digestión anaerobia de fangos la materia orgánica se transforma en energía, pero se generan corrientes secundarias con alto contenido en nitrógeno que, al ser redirigidas a la cabeza de la planta y tratadas junto con la corriente principal, producen un detrimento del tratamiento biológico. Incluir un tratamiento de corrientes ricas en nitrógeno mediante las bacterias autótrofas anaerobias Anammox ofrece claras ventajas. La tecnología Anita Mox de AnoxKaldnes es un proceso de deamonificación en una etapa basado en la tecnología de lecho móvil MBBR. Su rendimiento puede mejorar operando el sistema mediante una configuración IFAS, integrando los procesos de fangos activos y de biopelícula en un único reactor.

#### Palabras clave

EDAR, nitrógeno, Anammox, nitrificación, lecho móvil MBBR, Anita Mox, IFAS.

#### **Advanced nitrogen removal processes: Anita Mox with IFAS configuration**

*Minimising energy consumption in waste water treatment plants (WWTP) is crucial. By using anaerobic digestion of sludge, organic matter is transformed into biogas and eventually converted into energy, but secondary streams with a high content of nitrogen are produced. When redirecting this reject water to the head of the biological treatment, to be treated together with the mainstream, the performance of the biological treatment drops. Including a side treatment of nitrogen-rich streams by anaerobic autotrophic bacteria (Anammox) offers clear advantages. The AnoxKaldnes Anita Mox technology is a one-stage deamonification process based on the moving bed MBBR technology. Its performance may improve by operating the system with an Integrated Fixed-Film Activated Sludge (IFAS) configuration, combining activated sludge and biofilm processes in one single reactor.*

#### **Keywords**

*WWTP, nitrogen, Anammox, nitrification, MBBR, Anita Mox, IFAS.*



## 1. Introducción

La minimización del consumo energético de las estaciones depuradoras de aguas residuales (EDAR) resulta prioritaria a la hora de reducir los costes operacionales. Un punto clave reside en la digestión anaerobia de fangos primarios y secundarios, a través de la cual la materia orgánica se transforma parcialmente en biogás y, finalmente, se convierte en energía. Esta mejora en la producción de energía conlleva la generación de corrientes secundarias con un alto contenido en nitrógeno, que tradicionalmente han sido dirigidas a la cabeza de la planta y tratadas junto con la corriente principal, y que a menudo han supuesto un detrimento en el rendimiento del tratamiento biológico debido a la disminución de la relación C/N. En muchos casos, esto hace que sea necesario incrementar los requerimientos de aireación y los volúmenes anóxicos/aerobios, y añadir una fuente externa de C en una etapa de postdesnitrificación, lo que puede ser muy costoso e incluso imposible si el espacio es limitado.

En este sentido, en los últimos años, la inclusión de un tratamiento de corrientes secundarias ricas en nitrógeno mediante las bacterias autótrofas anaerobias Anammox (*anaerobic ammonium oxidation*) ha resultado ser una solución idónea al problema de los retornos de digestión. En comparación con los procesos tradicionales de nitrificación/desnitrificación, los procesos de eliminación autótrofa de nitrógeno tipo Anammox ofrecen claras ventajas: se reduce la demanda de oxígeno en un 60%; no es necesario añadir una fuente externa de C; y la producción de fangos es significativamente menor.

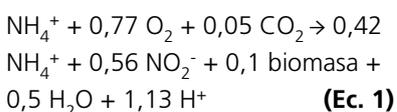
Existen diversos procesos para la eliminación de N basados en las bac-

## La tecnología Anita Mox de AnoxKaldnes es un proceso de deamonificación en una sola etapa basado en la tecnología de lecho móvil MBBR, que ha demostrado ser adecuado para tratar efluentes ricos en amonio

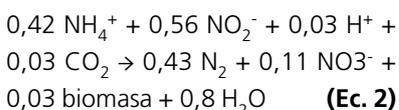
terias Anammox, especialmente concebidos para aguas residuales con elevado contenido en N y baja DQO (por ejemplo lixiviados de vertedero, mataderos, conserveras, etc.).

Independientemente de la tecnología empleada, la eliminación autótrofa de N se basa en las siguientes dos reacciones biológicas:

- Nitritación parcial del amonio llevada a cabo por las bacterias AOB amonioxidantes (reacción en condiciones aerobias):



- Oxidación de amonio llevada a cabo por las bacterias Anammox (reacción en condiciones anóxicas con  $\text{NO}_2^-$ ):



Así, los principales retos de los procesos Anammox pueden resumirse en:

- Necesidad de temperatura elevada (20-35 °C).

- Baja tasa de crecimiento de las bacterias Anammox lo que conlleva largos periodos de puesta en marcha (aproximadamente 18 meses).

- Necesidad de un preciso control de la aireación que favorezca la formación de  $\text{NO}_2^-$ , evitando la formación de  $\text{NO}_3^-$ .

La tecnología Anita Mox de AnoxKaldnes es un proceso de deamonificación en una sola etapa basado en la tecnología de lecho móvil MBBR, que ha demostrado ser adecuado para tratar efluentes ricos en amonio. La biopelícula del soporte MBBR está constituida por varias capas. Las bacterias Anammox crecen en las capas más internas, mientras que las bacterias oxidantes de amonio (AOB) crecen en las capas más externas. Introduciendo en el reactor una pequeña parte de soporte plástico previamente colonizado con bacterias Anammox, los tiempos de puesta en marcha de las instalaciones Anita Mox han podido reducirse desde los 18 meses a menos de 6 meses.

En la actualidad, hay en funcionamiento un total de 8 plantas Anita Mox y 2 más están a punto de arrancar. Recientemente, el rendimiento del proceso Anita Mox ha sido mejorado, operando el sistema mediante una configuración IFAS, en la que la nitritación parcial del nitrógeno amoniacal ocurre principalmente en los flóculos en suspensión, quedando la biopelícula reservada para las bacterias Anammox. La integración de los procesos de fangos activos y de biopelícula ha demostrado ser una manera efectiva de mejorar el proceso de deamonificación en biopelícula en una sola etapa.

En este artículo se presentan los resultados de dos estudios sobre la configuración IFAS Anita Mox: el primero correspondiente a un planta a escala real en Malmö (Suecia) en el

que se comparan los resultados Anita Mox IFAS y MBBR puro; y el segundo correspondiente a un estudio en planta piloto desarrollado en Joint Water Pollution Control Plant (JWP-CP), en Los Ángeles (Estados Unidos).

## 2. La tecnología Anita Mox - MBBR

En el proceso Anita Mox, la nitrificación parcial por parte de las bacterias AOB y la eliminación autótrofa de N por las bacterias Anammox se dan de forma simultánea en una misma biopelícula, desarrollada sobre un soporte plástico de gran superficie específica, que se mantiene en suspensión en el reactor mediante la aireación y la acción de agitadores mecánicos. Operando el reactor a concentraciones bajas de oxígeno disuelto, se consigue una limitación en la transferencia másica del oxígeno a través de la biopelícula, obteniendo así una zona anóxica en la parte interna de la biopelícula (reacción Anammox) y otra zona aerobia en la parte externa (reacción nitrificación parcial) (Figura 1).

Mientras que la aplicación generalizada de los procesos tipo Anammox se ha visto limitada debido en gran parte a la baja tasa de crecimiento de las bacterias Anammox y la sensibilidad de las AOB frente a elevadas concentraciones de oxígeno disuelto, nitritos, ácido nítrico libre y amoníaco libre, el proceso Anita Mox hace frente a estas limitaciones de la siguiente manera:

- El empleo en el proceso Anita Mox de soporte plástico con elevada superficie específica protegida resulta clave para el éxito del proceso, ya que permite retener en el reactor grandes cantidades de biomasa. Además, por tratarse de un proceso de biopelícula, es un proceso estable y robusto capaz de hacer frente a variaciones



de carga y sólidos suspendidos, sin perder la capacidad de eliminación de nitrógeno. Actualmente, el proceso Anita Mox utiliza los soportes K3, BiofilmChip M y K5 (Figura 2).

- En las instalaciones Anita Mox una pequeña parte del soporte plástico necesario ha sido previamente colonizado con bacterias Anammox, lo que permite reducir los tiempos de puesta en marcha desde los 18 meses a periodos por debajo de los 6 meses. Actualmente, la instalación Anita Mox a escala real ubicada en la EDAR de Sjölanda, en la localidad sueca de Malmö, se utiliza para abastecer de soporte con biopelícula madura de Anammox las nuevas instalaciones (BioFarm).

- Gracias al patentado control en tiempo real del sistema de aireación, se consigue evitar la oxidación de los  $\text{NO}_2$  producidos a  $\text{NO}_3$  en la zona aerobia de la biopelícula, al mismo tiempo que se ajusta la cantidad disponible de nitrito para las bacterias Anammox.

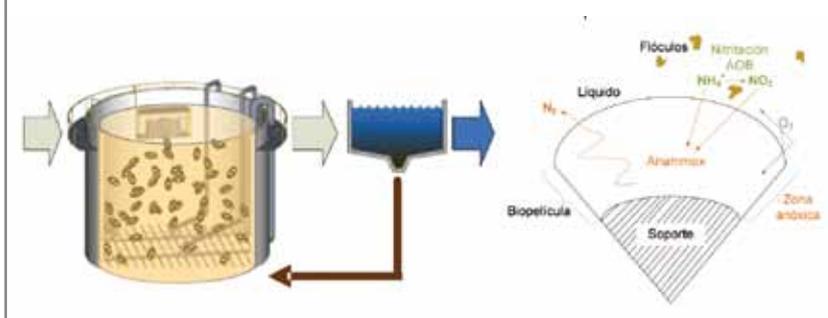
## 3. Nueva configuración IFAS Anita Mox

Tal y como se ha indicado anteriormente, Anita Mox es un proceso de amonificación en una sola etapa, basado en la tecnología de lecho móvil MBBR. Aunque la estructura multicapa ofrece un entorno adecuado para el crecimiento de las bacterias AOB y Anammox, puede presentar limitaciones en la transferencia de sustratos tales como el oxígeno disuelto, nitritos o amonio. De hecho, la capacidad de la configuración MBBR está siempre limitada por la primera etapa del proceso, es decir por la nitrificación. Aumentar la aireación para mejorar esta primera etapa no es una opción válida, ya que promovería el aumento de bacterias NOB (oxidantes de nitritos). Por tanto, a fin de mejorar el rendimiento de la configuración MBBR hay que reducir las limitaciones en el transporte de sustratos, es decir, hay que eliminar o al menos reducir la estructura multicapa de la biopelícula.





**Figura 3.** Representación esquemática de la configuración del reactor IFAS Anita Mox (imagen izquierda) y del proceso biológico nitrificación/Anammox en una única etapa (imagen derecha) que tiene lugar en los flóculos y en la biopelícula generada sobre los soportes plásticos.



En la configuración IFAS Anita Mox, las reacciones de nitrificación y de las bacterias Anammox se dan en diferentes espacios físicos, ya que las AOB crecen en suspensión haciendo mejor uso del oxígeno disuelto, mientras que la biopelícula se especializa en las bacterias Anammox. Así, la nitrificación parcial del nitrógeno amoniacal ocurre principalmente en los flóculos en suspensión, es decir, las bacterias AOB oxidan el  $\text{NH}_4$  a  $\text{NO}_2$  en la fase líquida del reactor, quedando la biopelícula reservada para las bacterias Anammox. Estas

bacterias, ubicadas en la biopelícula, consumen el  $\text{NO}_2$  producido por las bacterias AOB junto con el exceso de  $\text{NH}_4$  (Figura 3). El crecimiento de biomasa en suspensión es capaz de enriquecer la población de nitrificantes y mejorar las tasas de nitrificación a niveles incluso más bajos de oxígeno disuelto que el MBBR puro, debido a la menor limitación en la transferencia. Todo ello permite operar el proceso a menores valores de oxígeno disuelto que en la configuración MBBR, con el consiguiente ahorro energético.

Para mantener los flóculos dentro del sistema esta nueva configuración lleva incorporado un sedimentador y una recirculación. El decantador no se utiliza para retener las bacterias Anammox, ya que estas crecen en la biopelícula adherida a los soportes plásticos, sino para mantener una biomasa en suspensión rica en bacterias AOB. La concentración de sólidos en suspensión totales (SST) en el efluente del sedimentador no es un parámetro crítico en el diseño del mismo, porque el efluente es enviado a cabecera de planta.

A través del control de la edad del fango en suspensión (TRF) y del oxígeno disuelto (OD) se pretende retener la población de AOB y mejorar la nitrificación.

Mediante la nueva configuración IFAS desarrollada por AnoxKaldnes se ha conseguido mejorar el rendimiento del proceso Anita Mox. Las tasas de eliminación de nitrógeno obtenidas son 2-2,5 veces superiores que las obtenidas en la configuración MBBR puro.

#### 4. Resultados IFAS a escala real

En enero de 2013 uno de los reactores Anita Mox de la EDAR de Sjölanda (Malmö, Suecia) fue convertido a la configuración IFAS. Se trata de un reactor cilíndrico de  $50 \text{ m}^3$ , con una lámina de agua de 5,5 m y un diámetro de 3 m. Se instaló un decantador de  $7,5 \text{ m}^3$  y superficie de  $2,5 \text{ m}^2$  en el interior del propio reactor (Figura 4). Se utilizó soporte plástico del tipo K5 de AnoxKaldnes (superficie específica de  $800 \text{ m}^2/\text{m}^3$ ) con un porcentaje de llenado del 50%. Se utilizaron parrillas de aireación de acero inoxidable de burbuja media, agitadores mecánicos y medidores *on line* tales como oxímetros, sondas de amonio, nitratos y pH y medidores de caudal de aire.

**Figura 4.** Reforma del reactor MBBR Anita Mox existente en el reactor IFAS Anita Mox.



La alimentación al reactor IFAS Anita Mox consistió en el agua de rechazo de los digestores de fango anaerobios mesófilos. La concentración de sólidos en suspensión de licor mezcla (SSLM) se mantuvo entre 2 y 2,5 mg/L.

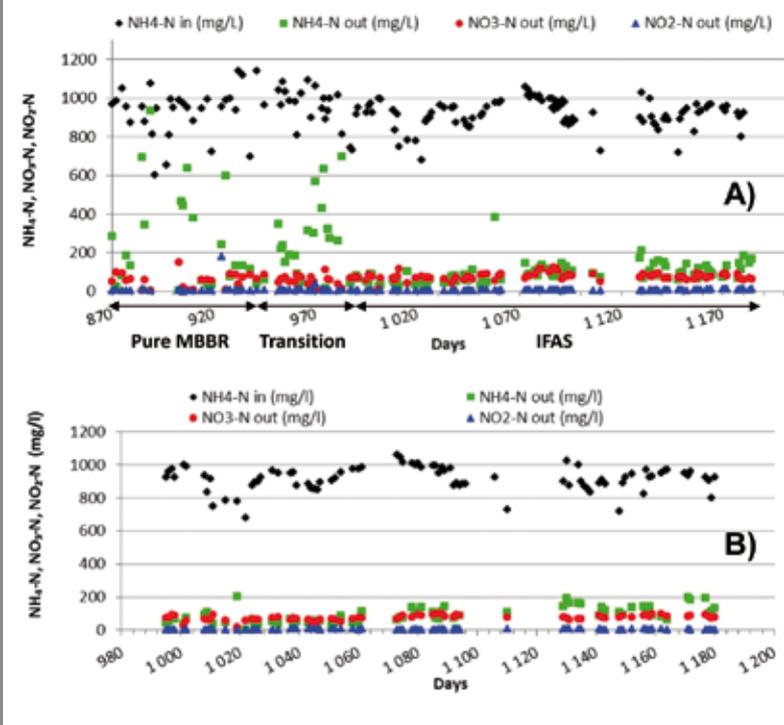
En la **Figura 5** se muestran el nitrógeno influente y efluente. Se obtuvo un efluente estable con un  $N-NH_4$  medio de 90 mg/L y  $N-NO_3$  medio de 70 mg/L.

En la **Figura 6** se representan la carga volumétrica (CV) de N y la tasa de eliminación volumétrica (TEV) de nitrógeno inorgánico (NIT), el rendimiento de eliminación de N y el % de  $NO_3$ -producidos/ $NH_4$  eliminado. Se alcanzó una TEV de 2-2,5 kg/m<sup>3</sup>/día.

En cuanto a la decantabilidad del fango y el rendimiento del decantador del sistema IFAS, en la **Figura 7** se muestra el efecto de los SSLM, los SST influentes y el índice volumétrico del fango (IVF) obtenido. Las mejores tasas de eliminación de amonio se obtuvieron cuando los SST influentes fueron bajos y los SSLM moderados y estables. El IVF obtenido osciló entre 70 y 100 mL/g, indicando una muy buena decantabilidad del fango. Tomando como base la concentración de sólidos en el licor mezcla (SSLM) y en la recirculación (RAS), se calculó un factor de concentración del fango de 2, lo que demuestra una buena capacidad de espesamiento del fango en el decantador.

La nitrificación en la fase líquida funcionó correctamente con concentraciones de OD entre 0,2 y 0,5 mg/L. La baja relación  $N-NO_3$ -producido/ $N-NH_4$  eliminado medida en el reactor indica que la baja concentración de OD aplicada en el reactor IFAS es suficiente para limitar el crecimiento de NOB en el licor mezcla.

**Figura 5.** Nitrógeno influente y efluente: IFAS Anita Mox (A) y MBBR Anita Mox puro (B).



**Figura 6.** Cargas volumétricas de N, tasas de eliminación de NIT, rendimiento eliminación NIT y %  $NO_3$ prod/ $NH_4$ elim para reactor IFAS (A) y reactor MBBR (B).

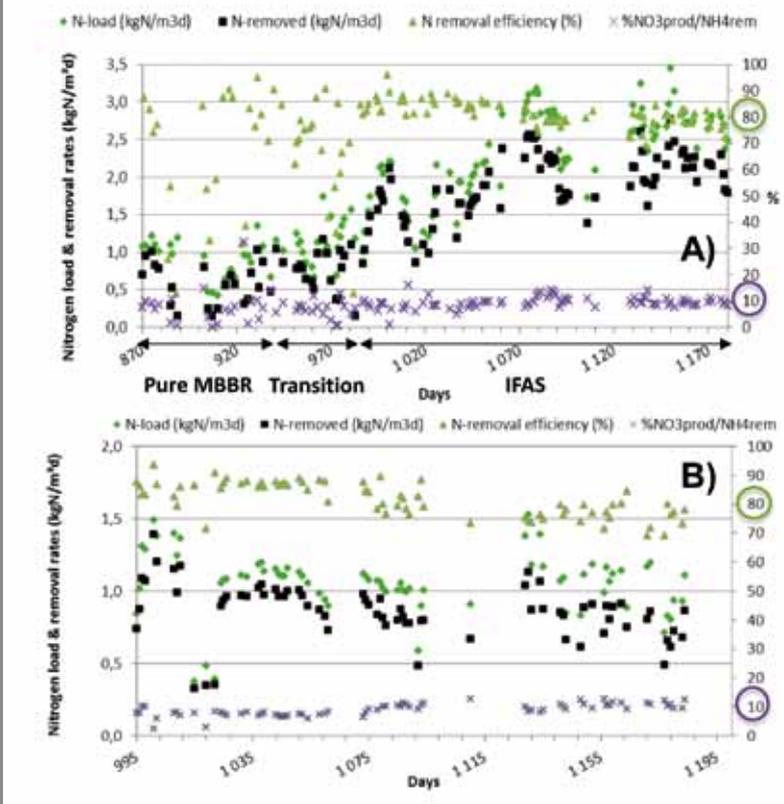




Figura 7. TEV NH<sub>4</sub> vs. SSLM, SST influente y IVF en reactor IFAS.

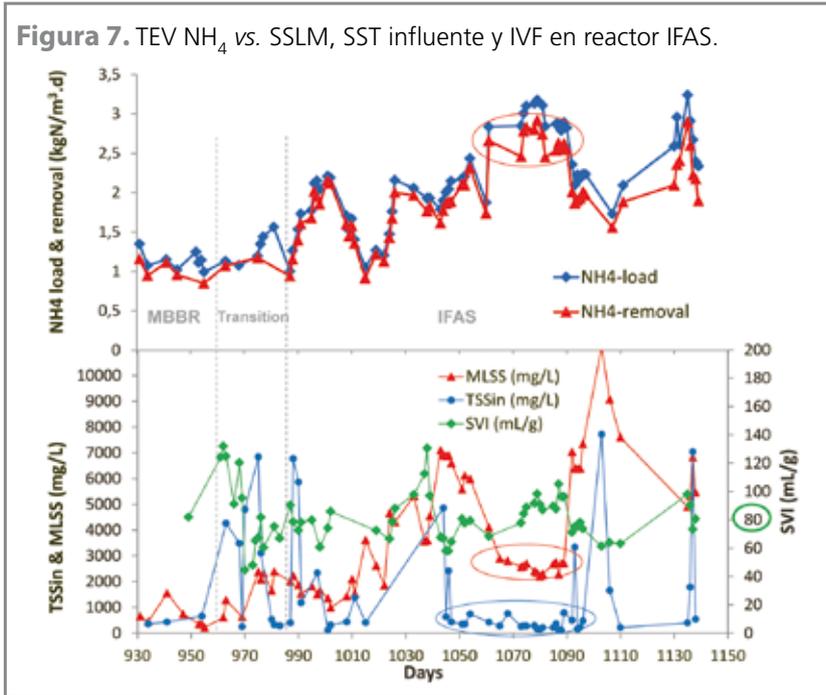


Figura 8. Piloto Anita Mox IFAS. Vista lateral.

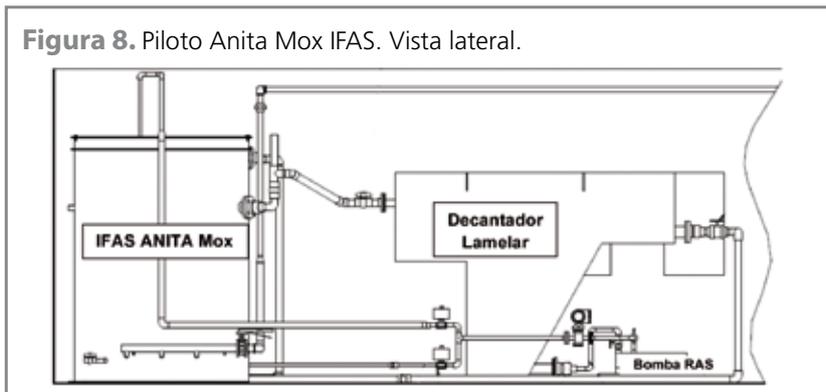
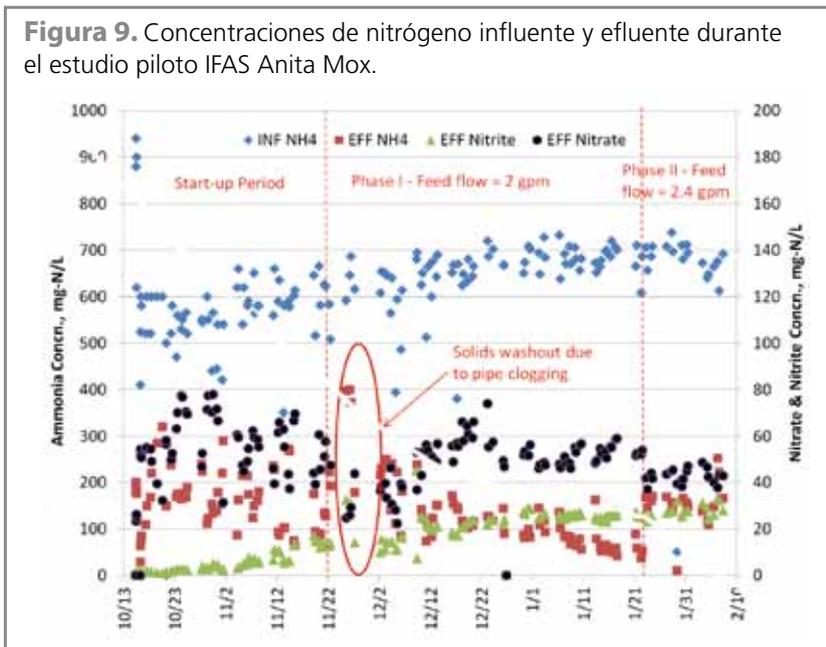


Figura 9. Concentraciones de nitrógeno influente y efluente durante el estudio piloto IFAS Anita Mox.

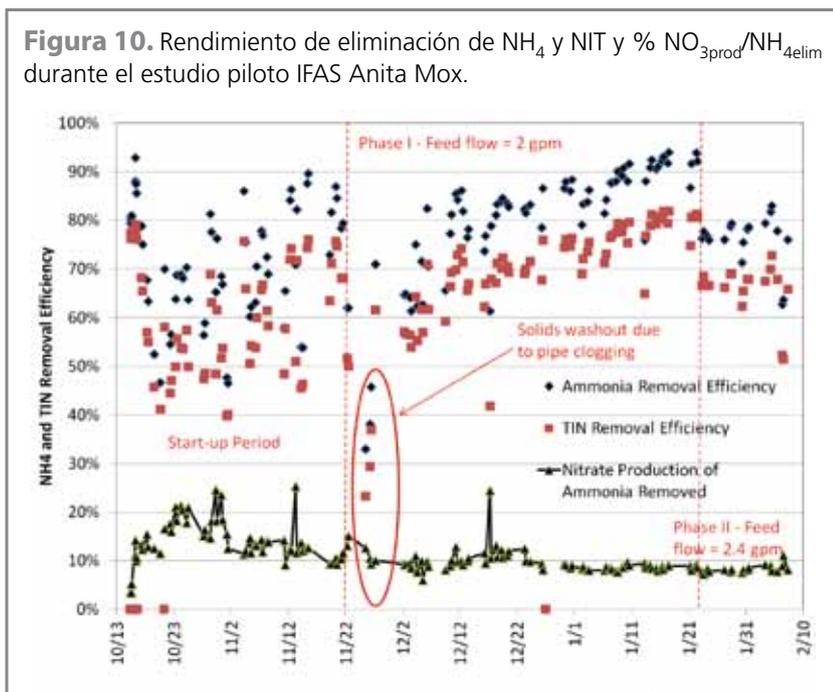


## 5. Resultados IFAS piloto

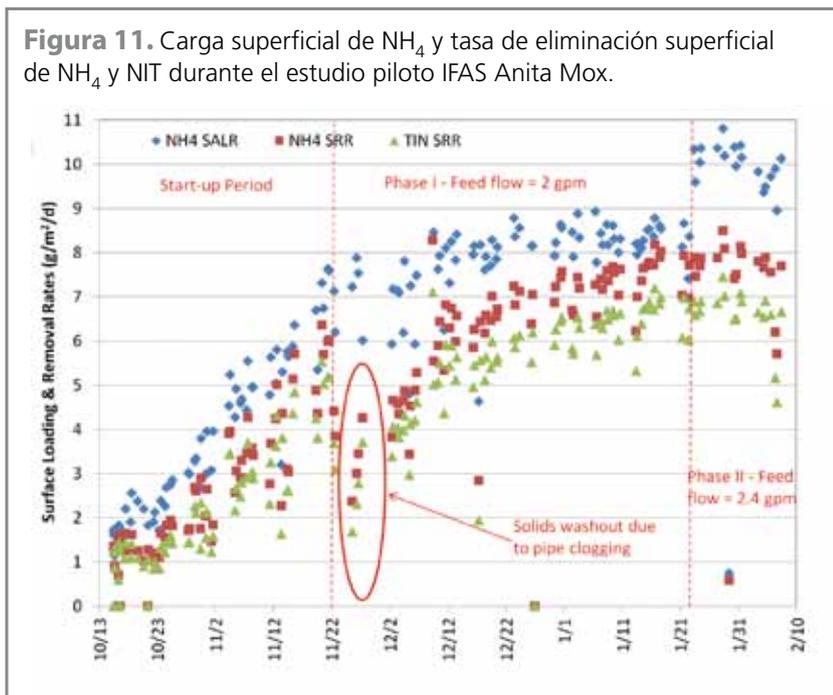
Entre octubre de 2013 y febrero de 2014 se realizó un estudio piloto en la Joint Water Pollution Control Plant (JWPCP) situada en Los Ángeles, California. En la **Figura 8** se representa la unidad piloto, que consiste en un tanque y un decantador lamelar. El volumen del reactor es de 803 galones (3.040 L) con una lámina de aproximadamente 5 pies (1,5 m). El volumen del clarificador era de 480 galones (1.820 L). Se utilizaron unos 295 galones (1.117 L) de carriers K5 de AnoxKaldnes colonizados procedentes de la BioFarm en Sjölanda (Suecia), lo que supone aproximadamente un 37% de llenado. No se realizó ninguna siembra del fango en suspensión. Al igual que en el caso anterior, se utilizaron parrillas de aireación de acero inoxidable de burbuja media, agitadores mecánicos y medidores *on line* tales como oxímetros, sondas de amonio, nitratos y pH y medidores de caudal de aire. Además del bombeo de alimentación, se instaló una bomba de recirculación del fango decantado con un rango de capacidad de 50-300% del caudal influente.

La alimentación al piloto IFAS Anita Mox consistió en el agua de rechazo de la deshidratación del fango digerido anaeróbicamente en la JWPCP. En la **Figura 9** se muestran el nitrógeno influente y efluente. En la **Figura 10** se representan el rendimiento de eliminación y el porcentaje de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> producidos/NH<sub>4</sub> eliminado. La **Figura 11** muestra la carga superficial de NH<sub>4</sub> y la tasa de eliminación superficial (TES) de amonio y nitrógeno inorgánico. En la **Figura 12** se representan los SSLM en el reactor, los SST en la recirculación RAS, los SST en el efluente del decantador y la concentración del fango durante el estudio piloto.

**Figura 10.** Rendimiento de eliminación de  $\text{NH}_4$  y NIT y %  $\text{NO}_{3\text{prod}}/\text{NH}_{4\text{elim}}$  durante el estudio piloto IFAS Anita Mox.



**Figura 11.** Carga superficial de  $\text{NH}_4$  y tasa de eliminación superficial de  $\text{NH}_4$  y NIT durante el estudio piloto IFAS Anita Mox.



Una vez superada la fase de arranque y estabilización del proceso, la concentración de SSLM se mantuvo en torno a 4,5-5 g/L, obteniéndose una TES de amonio entre 7 y 8 g/m<sup>2</sup>/día y una TES de NIT de 6-7 g/m<sup>2</sup>/día. Las TEV correspondientes fueron de aproximadamente 2,1-2,4 kg/m<sup>3</sup>/día para el amonio y de 1,8-2,1 kg/m<sup>3</sup>/d para el NIT. Además, se

obtuvo un porcentaje de eliminación de amonio de 80-90% y de 70-80% para el NIT.

Así mismo, se observó que el fango decantado en el fondo del sedimentador tenía un aspecto aerobio, marrónáceo y con flóculos bien formados. La biopelícula desarrollada sobre los carriers era rojiza y densa.

Se calcularon la edad del fango en suspensión TRC y el factor de concentración del fango según los valores de SST del efluente, SSLM y SST del RAS en un periodo estable. Los valores obtenidos se presentan en la **Tabla 1**, junto con el IVF correspondiente. Como puede observarse, los SSLM se mantuvieron en torno a 4.150 mg/L, el IVF medio fue de 93 mL/g y el factor de concentración del fango fue de 2,1, lo que indica una buena capacidad de espesamiento del fango en el decantador

## 6. Discusión

Zhao *et al.* (2013) y Veuillet *et al.* (2014) han propuesto una descripción de la distribución de la población bacteriana para los procesos Anita Mox MBBR puro e IFAS (**Figura 13**). En el sistema MBBR hay una alta proporción de Anammox y AOB en la biopelícula y un bajo crecimiento en suspensión, debido a:

- El bajo TRC en suspensión limita el crecimiento de organismos autótrofos, lo que promueve el crecimiento de bacterias autótrofas (AOB y Anammox) en biopelícula.

- La diferencia en las tasas máximas de crecimiento entre las bacterias Anammox (0,04-0,08 d<sup>-1</sup>) y las AOB (0,8-1,0 d<sup>-1</sup>) puede explicar la distribución espacial de la biopelícula, haciendo que las AOB se sitúen en las capas externas, mientras que las Anammox se concentran en las capas internas. De esta manera, las Anammox están protegidas del oxígeno, que es consumido por las AOB en las capas externas.

En la configuración IFAS, el TRC en suspensión, obtenido con las condiciones operacionales adecuadas, es más alto (2-10 días), lo que favorece el crecimiento de AOB en suspensión. Además, la limitación



de la difusión del sustrato es menor en los flóculos que en la biopelícula, lo que hace que el OD y el  $NH_4$  sean más accesible para las AOB en suspensión. Así, las AOB que pudieran existir en las capas externas de la biopelícula van desapareciendo gradualmente por la falta de oxígeno, que es ahora principalmente consumido por las AOB en la fase líquida. Por tanto, en la configuración IFAS, la biopelícula está casi exclusivamente compuesta por Anammox, protegidas por una fina capa de AOB o heterótrofas.

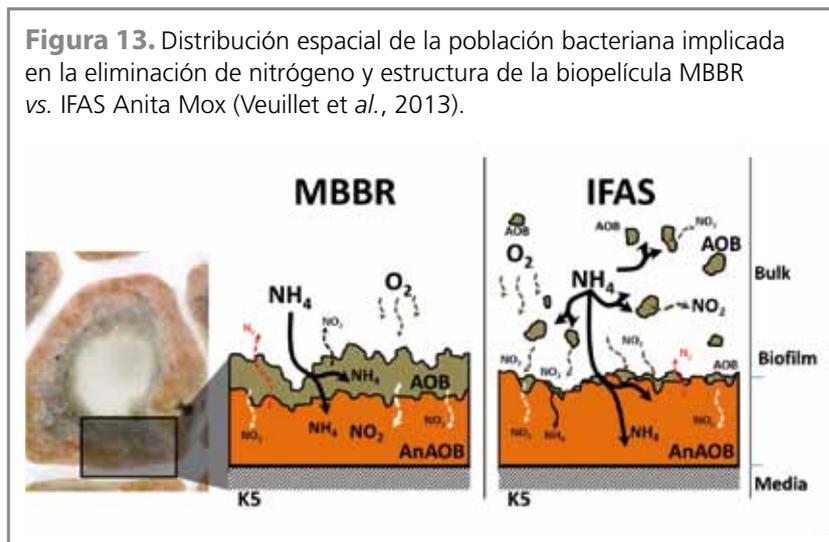
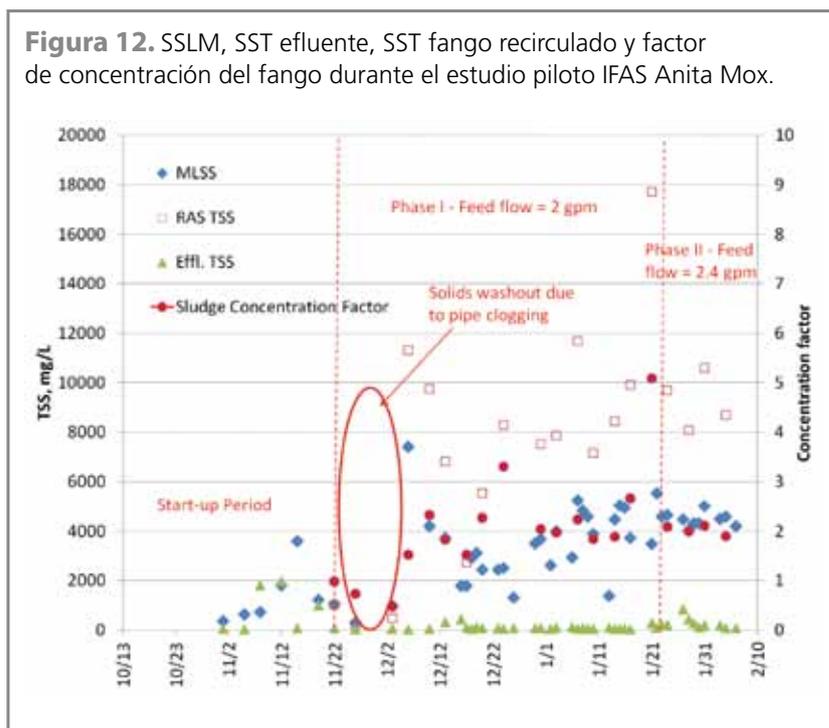
En los dos estudios aquí presentados, la configuración IFAS ha ofrecido mejoras en la tasa de eliminación superficial (TES), con valores de 7-8  $gN/m^2/día$  para el  $NH_4$  y de 6-7  $gN/m^2/día$  para NIT. Las condiciones para obtener estas tasas son:

- Mantener estable una concentración moderada de SSLM (2,5 a 5 g/L), evitando a ser posible los picos de SST en el influente.
- Mantener una baja concentración de OD (0,2 a 0,8  $mg/L$ ) en el licor mezcla.

### 7. Anita Mox IFAS vs. MBBR

Cada una de estas las tecnologías desarrolladas por AnoxKaldnes tiene su campo de aplicación y, por lo tanto, la selección del proceso óptimo depende directamente de las condiciones particulares de cada caso.

Gracias a la nueva configuración IFAS Anita Mox es posible reducir el volumen del reactor biológico y el consumo energético ligado al siste-



ma de aireación. A pesar de la necesidad de incorporar un decantador, el volumen ocupado por el tratamiento IFAS Anita Mox es menor. Sin embargo, desde el punto de

vista operacional, el proceso Anita Mox-MBBR, al no necesitar una etapa de sedimentación y recirculación, resulta más sencillo. En ambas configuraciones las bacterias Anammox

**Tabla 1.** Resumen de la concentración y características de decantabilidad del fango.

Características	SSLM (mg/L)	SST en RAS (mg/L)	SST en efluente (mg/L)	Factor concentración fango	IVF (mL/g)	TRC (días)
Promedio	4.169	8.955	151	2,1	93	13,3
Desviación estándar	887	1.460	171	0,2	9,8	10,9

## Las tasas de eliminación de nitrógeno en el proceso IFAS Anita Mox son 2-2,5 mayores que en el proceso MBBR, llegando la TES de nitrógeno incluso hasta 8 g/m<sup>2</sup>/día. La eliminación de nitrógeno se recupera fácilmente tras el arrastre de sólidos, confirmando la robustez del proceso estudiado

se desarrollan en biopelícula sobre los soportes plásticos. Estos se retienen en el sistema gracias a las rejillas de salida, haciendo imposible perder las bacterias Anammox y convirtiéndolos así en procesos estables y robustos.

Debido a la menor limitación en la transferencia másica de la configuración IFAS, las tasas de eliminación son mayores y, además, se obtienen concentraciones más bajas en el efluente, lo que puede ser importante cuando los límites de salida del tratamiento son más exigentes. En este sentido se está investigando la incorporación del tratamiento IFAS Anita Mox en la línea de agua.

En cuanto al efecto del agua influente, en la configuración IFAS existen heterótrofas en el licor mezcla, por lo que admite aguas con elevada relación C/N. Sin embargo, en la configuración MBBR las heterótrofas crecen en biopelícula y, por tanto, aumenta la competitividad con las nitrificantes y Anammox, lo que dificulta el tratamiento de este tipo de aguas.

Por el contrario, la configuración IFAS es más sensible a los SST influentes, ya que estos se acumulan en el licor mezcla, mientras que pasan a través del reactor MBBR sin perjudicar a la biopelícula.

### 8. Conclusiones

De los resultados de los estudios aquí presentados se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- Ambos estudios confirman que las tasas de eliminación en el proceso IFAS Anita Mox son 2-2,5 mayores que en el proceso MBBR. La TES de nitrógeno puede llegar hasta 8 g/m<sup>2</sup>/día.

- La configuración IFAS se adapta mejor a altas relaciones C/N en el agua influente, pero es más sensible a valores elevados de los SST en el influente.

- El control eficiente de los SSLM es un factor clave para mejorar la producción de nitritos por las AOB y aumentar la disponibilidad de sustrato para la biopelícula rica en Anammox. Las condiciones óptimas de operación de la configuración IFAS rondan los 2,5-5 g/L SSLM y los 0,3-0,8 mg/L OD.

- La decantabilidad del fango producido en la configuración IFAS es muy buena con IVF de 70-100 mL/g.

- La eliminación de N se recupera fácilmente tras el arrastre de sólidos, confirmando la robustez del proceso Anita Mox IFAS.

#### Bibliografía

[1] Nussbaum, B.; Piveteau, S.; Rosén, C.; Christensson, M.; Lemaire, R.; Bigot, B. Deammonification MBBR (Anita Mox): increased efficiency in IFAS configuration. 19th. European Biosolids & Organic Resources Conference, Manchester.

[2] Zhao, H.; Bell, J.; Thesing, G.; Piveteau, S.; Christensson, M.; Veuillet, F.; Ochoa, J.; Lemaire, R. (2014). One stage deammonification process-MBBR versus IFAS configuraciones-development updates and application considerations. WEF Residuals and Biosolids Conference, Estados Unidos.

[3] Manterola, G.; Otegi, L.; Zalakain, G.; Christensson, M.; Lemaire, R. (2014). Procesos

avanzados de eliminación de nitrógeno: soluciones Anita Mox de AnoxKaldnes. Accedido 15/11/2015 <http://www.iagua.es>.

[4] Zhao, H.; Lemaire, R.; Christensson, M.; Thesing, G.; Veuillet, F.; Ochoa, J.; Lamarre, D.; Gadbois, A. (2013). Single-stage deammonification process performance - MBBR versus IFAS configurations. WEF/IWA nutrient removal and recovery conference, Vancouver, Canadá.

[5] Veuillet, F.; Lacroix, S.; Bausseron, A.; Gonidec, E.; Ochoa, J.; Christensson, M.; Lemaire, R. (2014). IFAS Anita Mox process: A new perspective for advanced N-removal. Wat. Sci. Tech., núm. 69 (5), págs. 915-922.

[6] Abma, W.R.; Schultz, C.E.; Mulder, J.W.; van der Star, W.R.; Strous, M.; Tokutomi, T.; van Loosdrecht, M.C. (2007). Full-scale granular sludge Anammox process. Wat. Sci. Tech., núm. 55(8-9), págs. 27-33.

[7] Cema, G. (2009). Comparative study on different Anammox systems. Tesis Doctoral, KTH Stockholm.

[8] Christensson, M.; Ekström, S.; Andersson, A.; Le Vaillant, E.; Lemaire, R. (2013). Experience from start-ups of the first Anita Mox plants. Wat. Sci. Tech., núm. 67(12), págs. 2.677-2.684.

[9] Lacroix, S.; Veuillet, F.; Bausseron, A.; Gonidec, E.; Lemaire, R.; Zalakain, G.; Ochoa, J. (2013). Experience from start-up and operation of Anita Mox MBBR plants and development of a new advanced N-removal process-IFAS Anita Mox. Conference Proceedings 13th World Congress on Anaerobic Digestion, 25-28 junio, Santiago de Compostela, España.

[10] Lemaire, R.; Liviano, I.; Ekström, S.; Roselius, C.; Chauzy, J.; Thornberg, D.; Thirsing, C.; Deleris, S. (2011). 1-stage deammonification MBBR process for reject water sidestream treatment: investigation of start-up strategy and carriers design. Conference Proceedings WEF Nutrient Recovery and Management, 9-12 julio, Miami, Estados Unidos.

[11] Lemaire, R.; Christensson, M.; Zhao, H.; Le Noir, M.; Voon, C. (2014). Experience from start-up and operation of deammonification MBBR plants, and testing of a new deammonification IFAS configuration. Conference Proceedings OzWater'14, 29 abril-1 mayo, Brisbane, Australia.

[12] Paul, E.; Wolff, D.B.; Ochoa, J.C.; da Costa, R.H. (2007). Recycled and virgin plastic carriers in hybrid reactors for wastewater treatment. Water Environ. Res., núm. 79(7), págs. 765-774.

[13] Rosenwinkel, K.; Cornelius, A. (2005). Deammonification in the moving-bed process for the treatment of wastewater with high ammonia content. Chem. Eng. Tech., núm. 28(1), págs. 49-52.

[14] Vázquez-Padín, J.R.; Pozo, M.J.; Jarpa, M.; Figueroa, M.; Franco, A.; Mosquera-Corral, A.; Campos, J.L.; Méndez, R. (2009). Treatment of anaerobic sludge digester effluents by the Canon process in an air pulsing SBR. J. of Haz. Mat., núm. 166(1), págs. 336-341.

[15] Vlaeminck, S.; Cloetens, L.; Carballa, M.; Boon, N.; Verstraete W. (2008). Granular biomass capable of partial nitrification and Anammox. Wat. Sci. Tech., núm. 58(5), págs. 1.113-1.120.

[16] Wett, B. (2007). Development and implementation of a robust deammonification process. Wat. Sci. Tech., núm. 56(7), págs. 81-88.

