

# Procesos avanzados de eliminación de nitrógeno: ANITA™ Mox de AnoxKaldnes, Configuración IFAS

A. Santamaria <sup>1</sup>, J. Albizuri <sup>2</sup>, B. Nussbaum <sup>2</sup>, H. Zhao <sup>3</sup> and R. Lemaire <sup>4</sup>

<sup>1</sup> AnoxKaldnes AB, Portuetxe 23, 20.018 San Sebastián, España

<sup>2</sup> AnoxKaldnes AB, Klosterängsvägen 11A, 226 47 Lund, Suecia

<sup>3</sup> Kruger Inc. 4001 Weston Parkway, Cary, NC 27513

<sup>4</sup> Veolia Water Technical Department, 1 rue Giovanni Battista Pirelli, 94.417 St-Maurice, Francia

## Introducción

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: (1) se reduce la demanda de oxígeno en un 60%; (2) no es necesario añadir una fuente externa de C y, (3) la producción de fangos es significativamente menor.

Existen diversos procesos para eliminación de N basados en las bacterias anammox, especialmente concebidos para aguas residuales con elevado contenido en N y baja DQO (p.ej.: lixiviados de vertedero, mataderos, conserveras, etc.).

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 adecuada 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 dos 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 nitrificación 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 amonificación 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 (JWPCP), Los Angeles, EEUU.

## **Nueva configuración IFAS ANITA™ Mox**

Tal y como se ha indicado anteriormente, el proceso ANITA™ Mox es un proceso de amonificación en una sola etapa, basado en la tecnología de lecho móvil MBBR. Aunque la estructura multi-capa 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 multi-capa de la biopelícula.

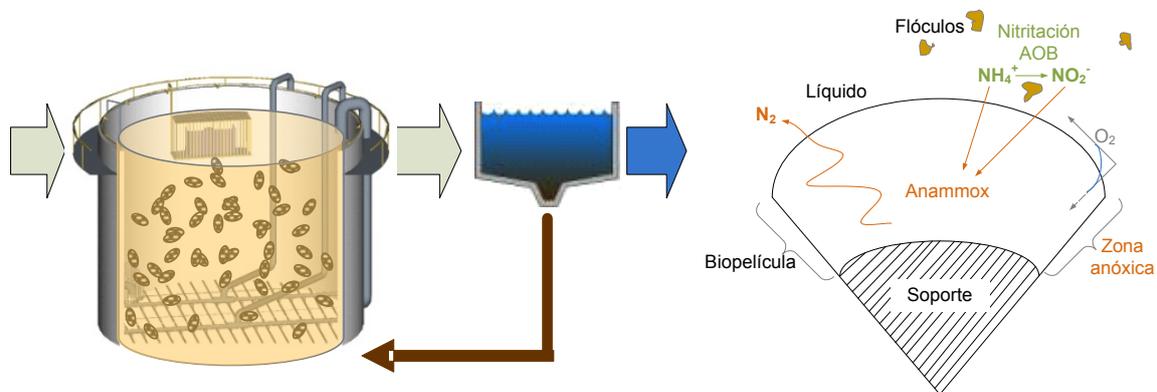
En la configuración IFAS ANITA™ Mox, las reacciones de nitrificación y de las bacterias anammox se dan en diferentes espacios físicos, ya que las AOB crecen en suspensión haciendo mejor uso del oxígeno disuelto, mientras que la biopelícula se especializa en las bacterias anammox. Así, la nitrificación 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. Las bacterias anammox, ubicadas en la biopelícula, consumen el  $\text{NO}_2$  producido por las bacterias AOB junto con el exceso de  $\text{NH}_4$  (Figura 1). 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 éstas 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 AOBs 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.



**Figura 1** Representación esquemática de la configuración del reactor IFAS ANITA™ Mox (izq.) y del proceso biológico nitrificación/anammox en una única etapa que tiene lugar en los flóculos y en la biopelícula generada sobre los soportes plásticos.

## Resultados IFAS a escala real

En enero 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  $5,5 \text{ m}$  y un diámetro de  $3 \text{ m}$ . 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 2). Se utilizó soporte plástico del tipo K5 de AnoxKaldens (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 2** Reforma de reactor MBBR ANITA™ Mox existente en 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 3 se muestran el nitrógeno influente y efluente. Se obtuvo un efluente estable con un N-NH<sub>4</sub> medio de 90 mg/l y N-NO<sub>3</sub> medio de 70 mg/l.

En la Figura 4 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<sub>3</sub><sup>-</sup> producidos/NH<sub>4</sub> 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 5 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  $N\text{-NO}_3\text{-producido} / N\text{-NH}_4\text{-eliminado}$  medida en el reactor indica que la baja concentración de OD aplicada en el reactor IFAS es suficiente para limitar el crecimiento de NOBs en el licor mezcla.

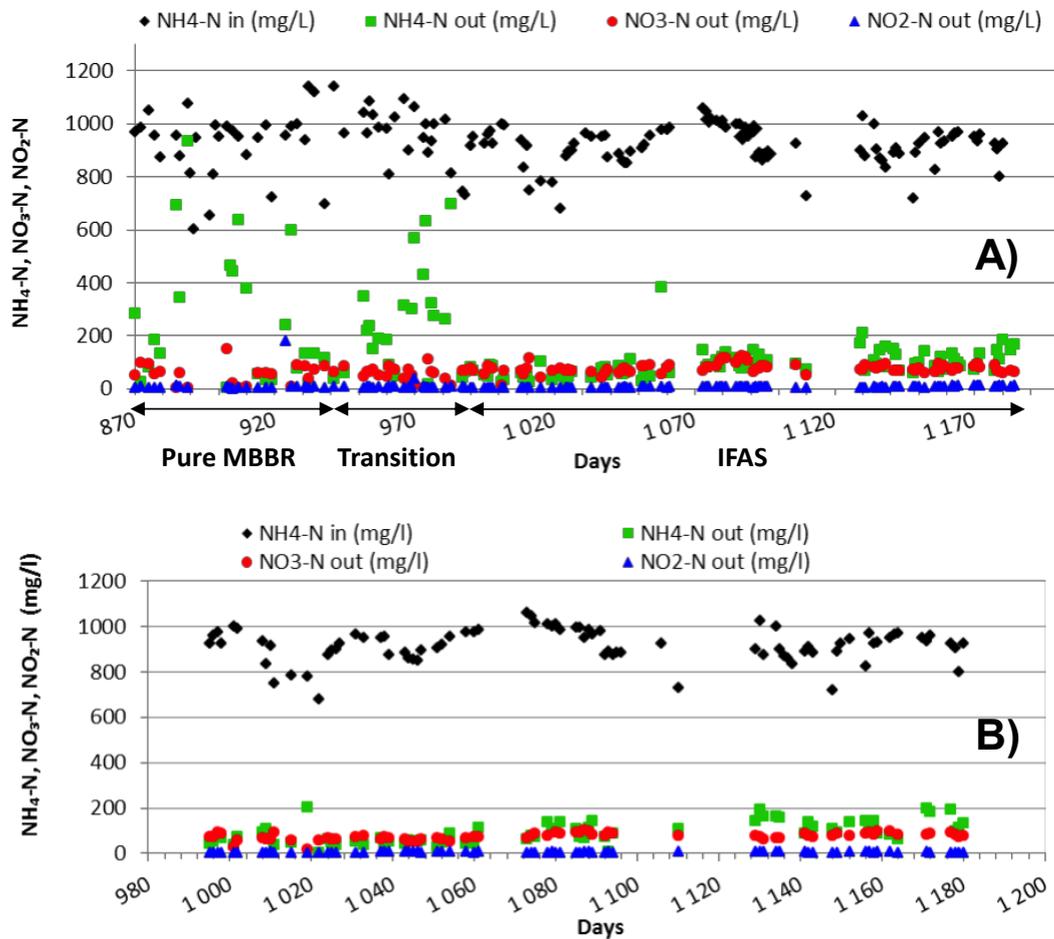


Figura 3 Nitrógeno influente y efluente: IFAS ANITA™ Mox (A) y MBBR ANITA Mox puro (B).

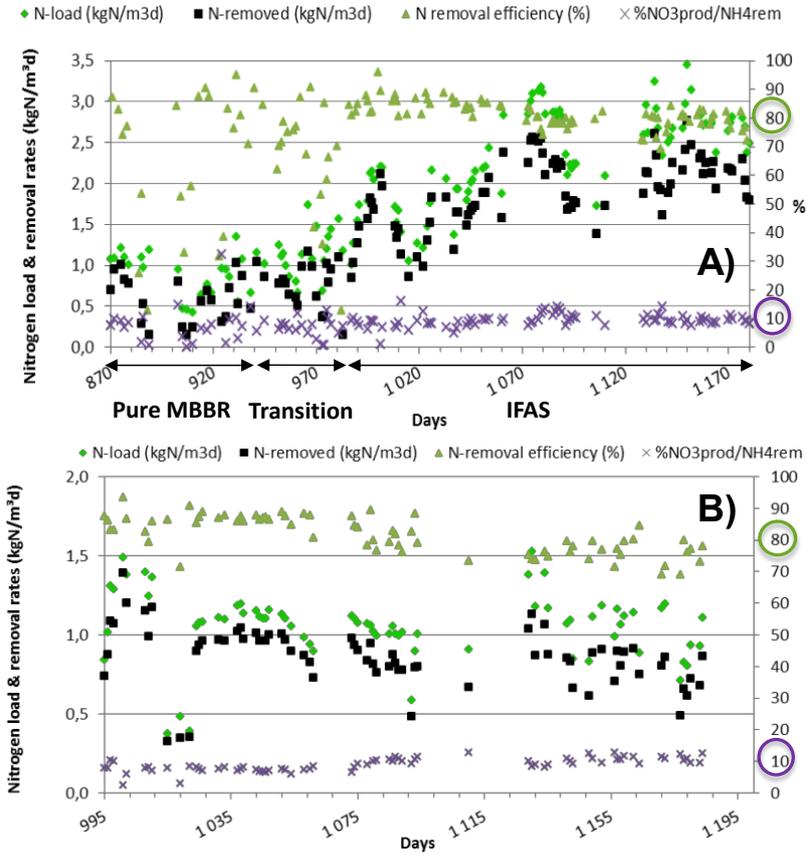


Figura 4 Cargas volumétricas de N, tasas de eliminación de NIT, rendimiento eliminación NIT y %  $\text{NO}_3\text{prod}/\text{NH}_4\text{elim}$  para reactor IFAS (A) y reactor MBBR (B).

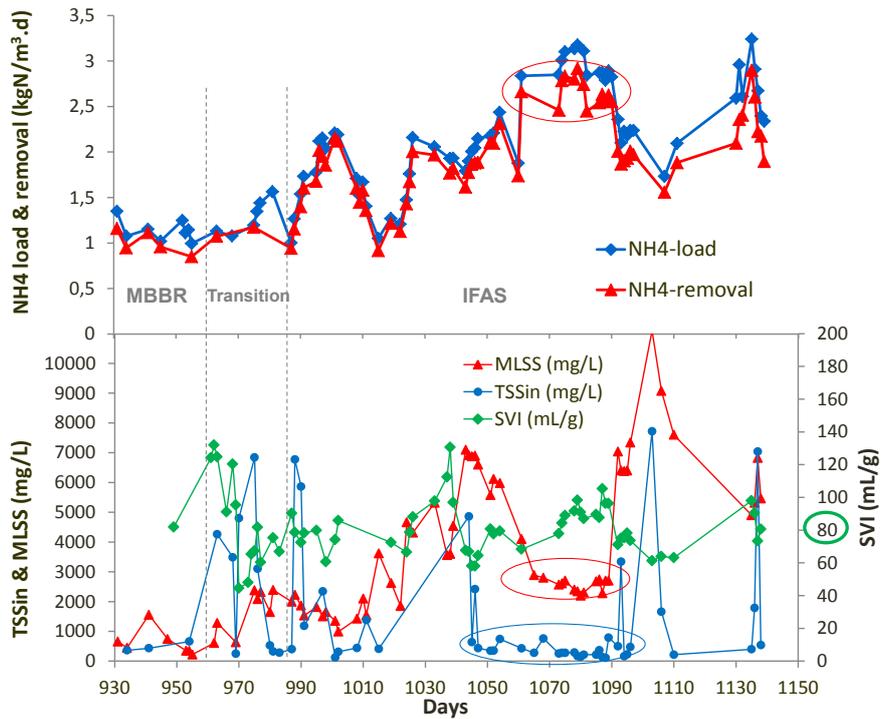


Figura 5 TEV  $\text{NH}_4$  vs SSLM, SST influente, y IVF en reactor IFAS.

## Resultados IFAS piloto

Entre octubre 2013 y febrero 2014 se realizó un estudio piloto en la Joint Water Pollution Control Plant (JWPCP) situada en Los Angeles, California. En la Figura 6 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 ft (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.

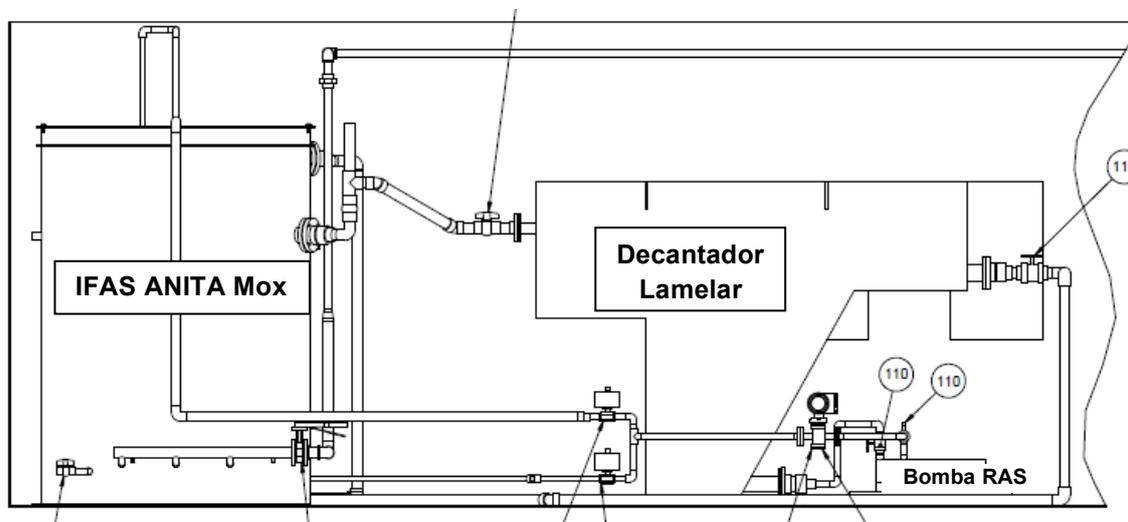


Figura 6 Piloto ANITA™ Mox IFAS– Vista lateral.

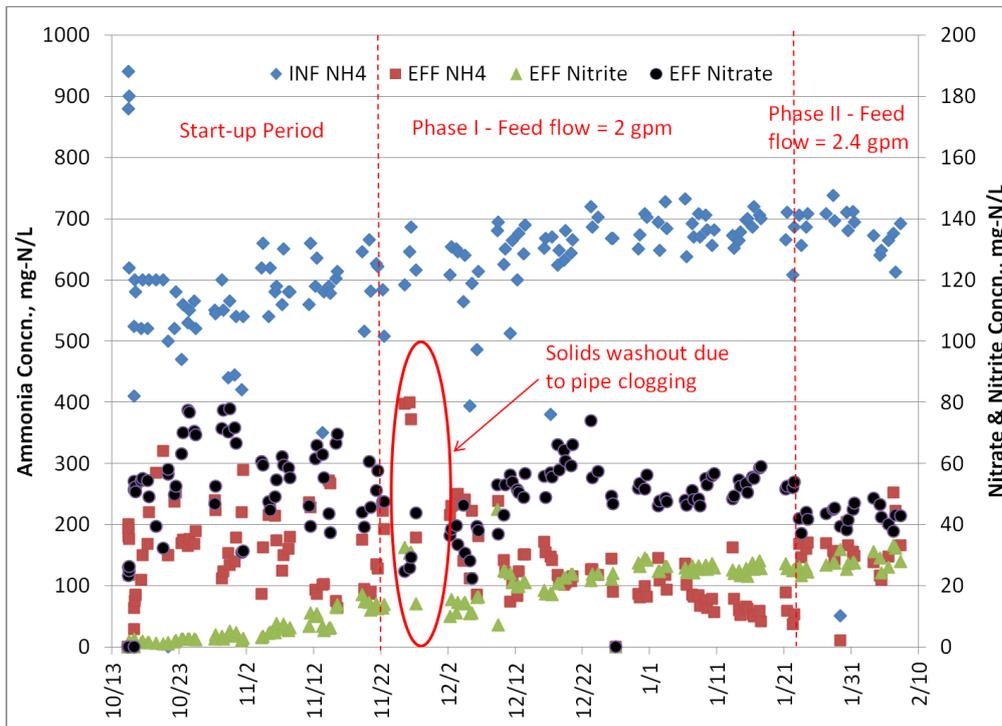
La alimentación al piloto IFAS ANITA™ Mox consistió en el agua de rechazo de la deshidratación del fango digerido anaeróbicamente en la JWPCP.

En la Figura 7 se muestran el nitrógeno influente y efluente.

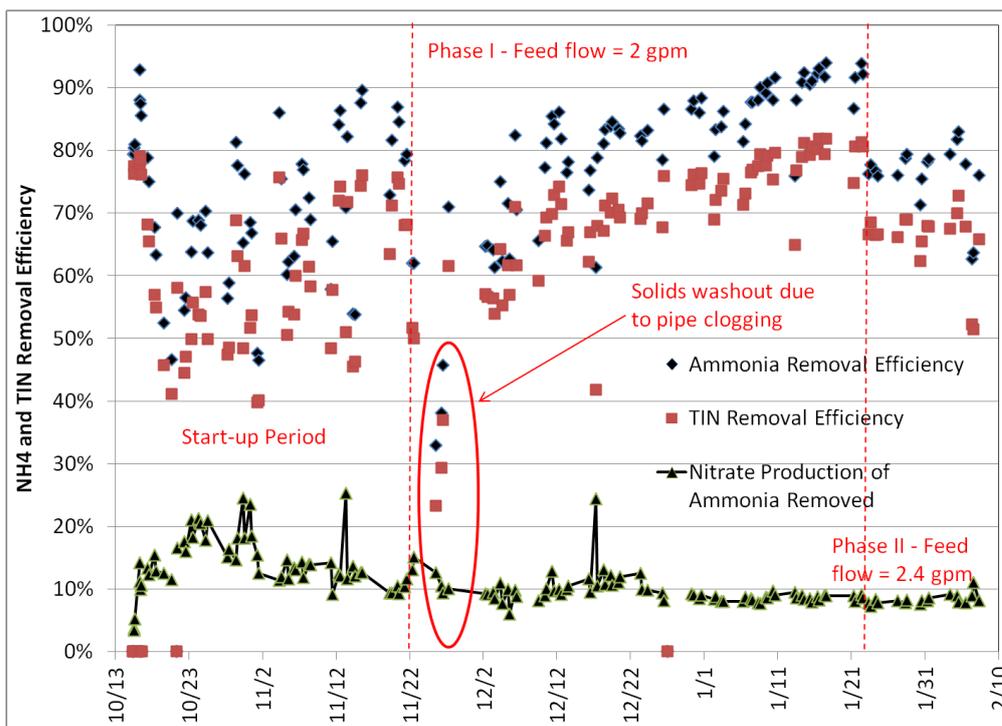
En la Figura 8 se representan el rendimiento de eliminación y el porcentaje de  $\text{NO}_3^-$  producidos/ $\text{NH}_4^-$  eliminado.

La Figura 9 muestra la carga superficial de  $\text{NH}_4^-$  y la tasa de eliminación superficial (TES) de amonio y nitrógeno inorgánico.

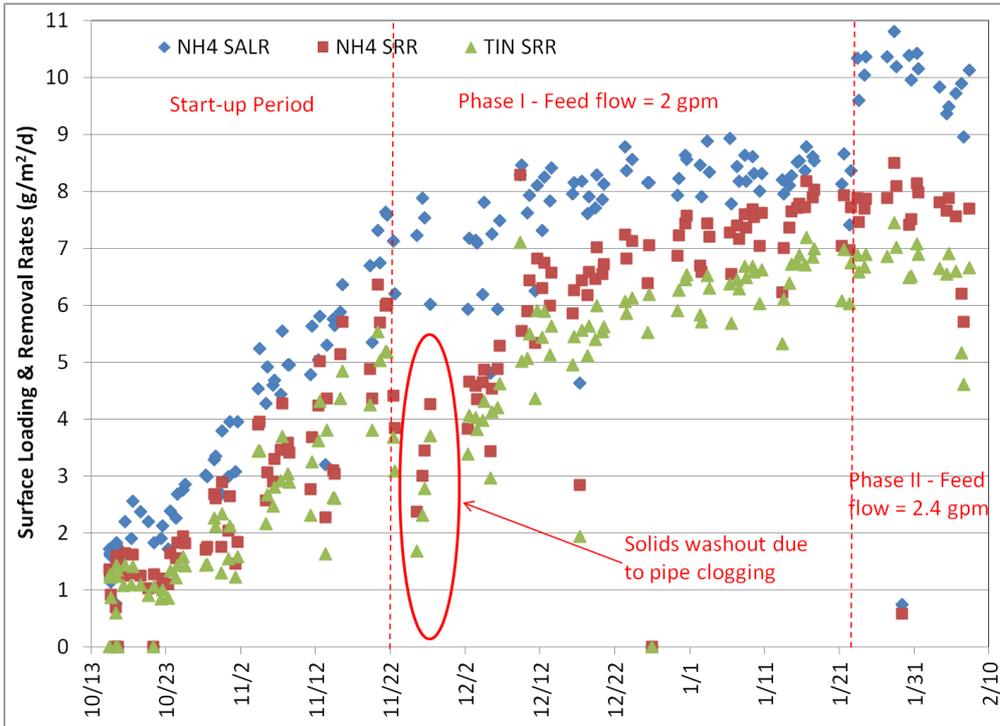
En la Figura 10 se representan los SSLM en el reactor, los SST en la recirculación RAS, los SST en el efluente del decantador y la concentración del fango durante el estudio piloto.



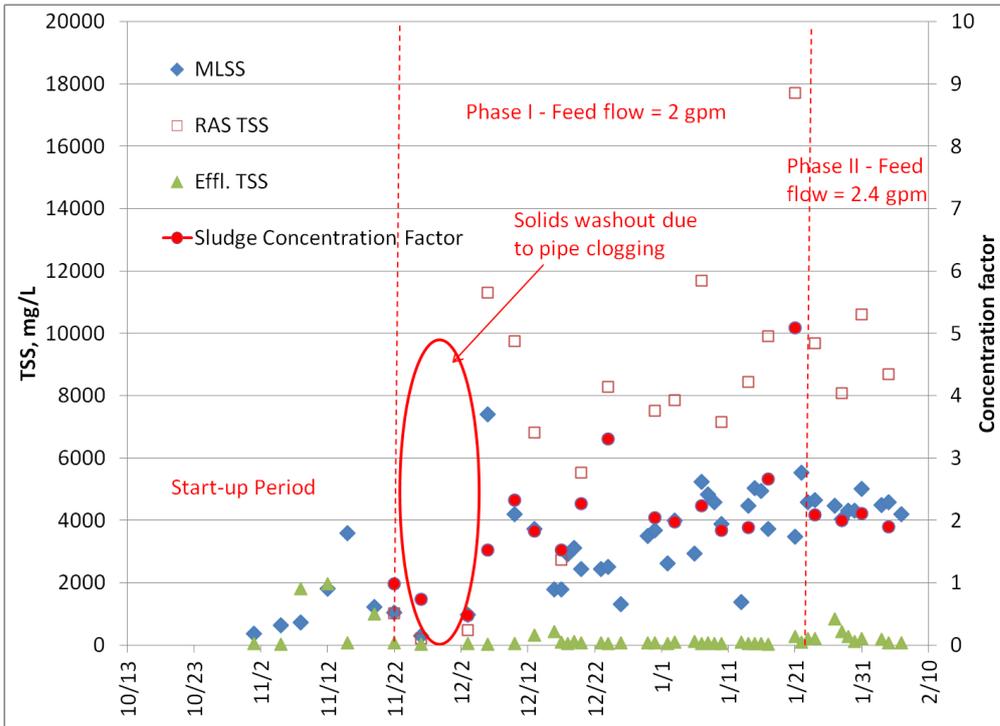
**Figura 7** Concentraciones de nitrógeno influente y efluente durante el estudio piloto IFAS ANITA™ Mox.



**Figura 8** 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 9** Carga superficial de NH<sub>4</sub> y tasa de eliminación superficial de NH<sub>4</sub> y NIT durante el estudio piloto IFAS ANITA™ Mox.



**Figura 10** SSLM, SST efluente, SST fango recirculado y factor de concentración del fango 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 obtuvieron un porcentaje de eliminación de amonio de 80-90% y de 70-80% para el NIT.

Por otra parte, se observó que el fango decantado en el fondo del sedimentador tenía un aspecto aerobio, marronáceo 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 en base a 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.

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

	<b>SSLM (mg/l)</b>	<b>SST en RAS (mg/l)</b>	<b>SST en efluente (mg/l)</b>	<b>Factor Concentración Fango</b>	<b>IVF (ml/g)</b>	<b>TRC (días)</b>
<b>Promedio</b>	4.169	8.955	151	2,1	93	13,3
<b>Desviación Estándar</b>	887	1.460	171	0,2	9,8	10,9

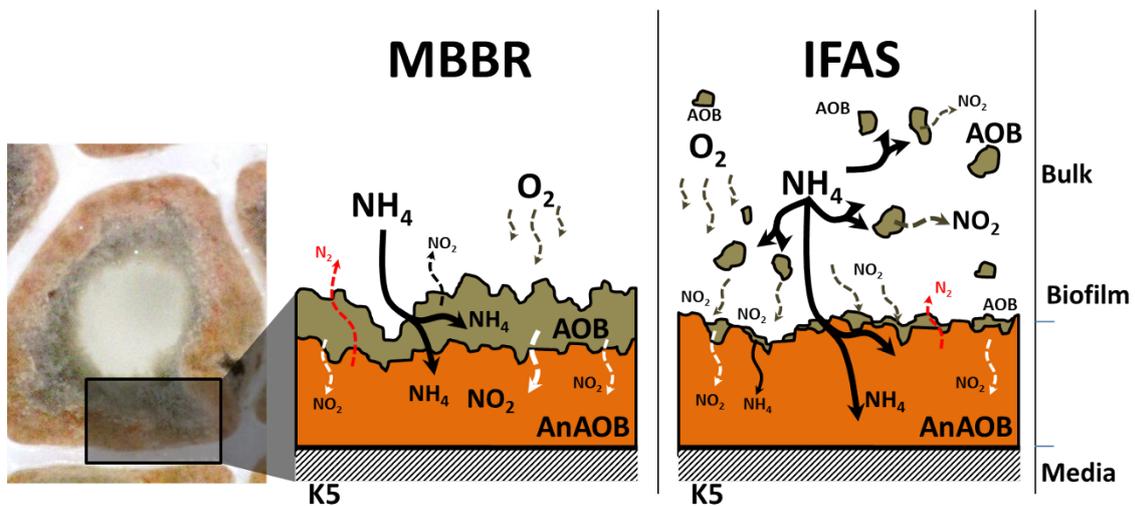
## Discusión

Zhao *et al* (2013) y Veillet *et al.* (2014). han propuesto una descripción de la distribución de la población bacteriana para los procesos ANITA<sup>TM</sup> Mox MBBR puro e IFAS (Figura 11).

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-1) y las AOB (0.8-1,0 d-1) puede explicar la distribución espacial de la biopelícula, haciendo que las AOB se sitúen en las capas externas mientras que las anammox se concentren en las capas internas. De esta manera las anammox están protegidas del oxígeno, que es consumido por las AOB en las capas externas.



**Figura 11** Distribución espacial de la población bacteriana implicada en la eliminación de nitrógeno y estructura de la biopelícula MBBR vs IFAS ANITA™ Mox (Veuillet et al, 2013).

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 AOBs 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  $\text{NH}_4$  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 AOBs 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  $\text{gN/m}^2/\text{d}$  para el  $\text{NH}_4$  y de 6-7  $\text{gN/m}^2/\text{d}$  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.

## **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 sistema 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 se desarrollan en biopelícula sobre los soportes plásticos. Éstos 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 éstos se acumulan en el licor mezcla, mientras que pasan a través del reactor MBBR sin perjudicar a la biopelícula.

## 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 0,3-0,8 mg/l OD.
- La decantabilidad del fango producido en la configuración IFAS es muy buena con IVFs 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] B. Nussbaum, S. Piveteau, C. Rosén, M. Christensson, R. Lemaire, B. Bigot Deammonification MBBR (ANITA™ Mox), Increased Efficiency in IFAS Configuration (19<sup>th</sup> European Biosolids & Organic Resources Conference Manchester)
- [2] Hong Zhao, Justin Bell, Glenn Thesing, Simon Piveteau, Magnus Christensson, Frederic Veuillet, Juan Ochoa, Romain Lemaire One stage deammonification process-MBBR versus IFAS configurations- development updates and application considerations (2014 WEF Residuals and Biosolids Conference US)
- [3] G. Manterola, L. Otegi, G. Zalakain, M. Christensson and R. Lemaire (2014) Procesos avanzados de eliminación de nitrógeno: soluciones ANITA™ Mox de AnoxKaldnes Accedido 15/11/2015 [http://www.iagua.es/blogs/veolia-water/procesos-avanzados-de-eliminacion-de-nitrogeno-soluciones-anita%E2%84%A2-mox-de-anoxkaldnes?utm\\_source=Suscriptores+iagua&utm\\_campaign=af002e570a-&utm\\_medium=email&utm\\_term=0\\_8ff5bc1576-af002e570a-304802469](http://www.iagua.es/blogs/veolia-water/procesos-avanzados-de-eliminacion-de-nitrogeno-soluciones-anita%E2%84%A2-mox-de-anoxkaldnes?utm_source=Suscriptores+iagua&utm_campaign=af002e570a-&utm_medium=email&utm_term=0_8ff5bc1576-af002e570a-304802469)
- [4] Zhao, H., Lemaire, R., Christensson, M., Thesing, G., Veuillet, F., Ochoa, J., Lamarre, D., y GAdbois, A. (2013) Single-stage deammonification process performance – MBBR versus IFAS configurations. En: *WEF/IWA Nutrient removal and recovery conference*, Vancouver, Canada.
- [5] Veuillet F., Lacroix S., Bausseron A., Gonidec E., Ochoa J., Christensson M. and Lemaire R. IFAS ANITA™ Mox process – A new perspective for advanced N- removal. *Wat. Sci. Tech.* 2014;**69** (5) 915-22
- [6] Abma, W.R., Schultz, C.E., Mulder, J.W., van der Star, W.R., Strous, M., Tokutomi, T. y van Loosdrecht, M.C. (2007) Full-scale granular sludge Anammox process. *Wat. Sci. Tech.* **55** (8-9), 27-33.
- [7] Cema, G. (2009) Comparative study on different Anammox systems. *Tesis Doctoral*, KTH Stockholm.

- [8] Christensson, M., Ekström, S., Andersson Chan, A., Le Vaillant, E. y Lemaire, R. (2013) Experience from start-ups of the first ANITA Mox Plants. *Wat. Sci. Tech.* **67**(12), 2677-2684.
- [9] Lacroix, S., Veuillet, F., Bausseron, A., Gonidec, E., Lemaire, R., Zalakain, G. y 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. En: Conference Proceedings 13<sup>th</sup> 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. y Deleris, S. (2011) 1-stage Deammonification MBBR process for reject water sidestream treatment: investigation of start-up strategy and carriers design. En: Conference Proceedings WEF *Nutrient Recovery and Management*. 9-12 Julio, 1.321-1.332, Miami, EEUU.
- [11] Lemaire, R., Christensson, M., Zhao, H., Le Noir, M., y Voon, C. (2014) Experience from start-up and operation of deammonification MBBR plants, and testing of a new deammonification IFAS configuration. En: Conference Proceedings *OzWater'14*. 29 Abril-1 Mayo, Brisbane, Australia.
- [12] Paul, E., Wolff, D.B., Ochoa, J.C. y da Costa, R.H. (2007) Recycled and virgin plastic carriers in hybrid reactors for wastewater treatment. *Water Environ. Res.* **79** (7), 765-774.
- [13] Rosenwinkel, K. y Cornelius, A. (2005) Deammonification in the Moving-bed process for the treatment of wastewater with high ammonia content. *Chem. Eng. Tech.* **28** (1), 49-52.
- [14] Vázquez-Padín, J.R., Pozo, M.J., Jarpa, M., Figueroa, M., Franco, A., Mosquera-Corral, A. Campos, J.L. y Méndez, R. (2009) Treatment of anaerobic sludge digester effluents by the CANON process in an air pulsing SBR. *J. of Haz.Mat.* **166** (1), 336-341.
- [15] Vlaeminck, S., Cloetens, L., Carballa, M., Boon, N. y Verstraete W. (2008) Granular biomass capable of partial nitritation and anammox. *Wat. Sci. Tech.* **58**(5), 1113-1120.
- [16] Wett, B. (2007) Development and implementation of a robust Deammonification process. *Wat. Sci. Tech.* **56** (7), 81-88.