



UNIVERSITAT DE
BARCELONA

Departament d'Enginyeria Química
Facultat de Química
Universitat de Barcelona
Martí i Franquès, 1, 6ª planta
08028 Barcelona
Tel. 93 402 13 05
Fax. 93 402 12 91

**Seguimiento reactores a escala laboratorio para la reducción
de fangos de depuradora.**

Grup de Biotecnología Ambiental
Profesor Joan Mata Álvarez

Barcelona, 22 de Febrero de 2016

1. Antecedentes

MANCAR dispone de un bioestabilizante compuesto por oligoelementos naturales, que según exponen reduce en un % muy elevado la producción de lodos en cualquier proceso biológico, que reduce la suciedad de la instalación y que mejora las propiedades de sedimentación del lodo y la calidad de salida del efluente. Para demostrar la efectividad de este aditivo, se han operado en paralelo dos reactores de lodos activos a escala laboratorio en el Departament d'Enginyeria Química de la Universitat de Barcelona. A uno de dichos reactores se le ha añadido el aditivo. Se han mantenido en condiciones idénticas y se han analizado los parámetros más importantes de operación y de eliminación de materia orgánica y nitrógeno.

Los resultados que se reportan en este informe están referidos a estos dos reactores y corresponden a los análisis que se realizaron en el laboratorio del Departament d'Enginyeria Química de la Universitat de Barcelona.

2. Descripción de los reactores y su operación

Se han empleado dos reactores (Figura 2.1) de igual volumen útil (alrededor de 3.5L), con agitación mecánica y que se han operado con la misma estrategia. Se trata de reactores semi-continuos tipo SBR ("Sequencing Batch Reactor") operados en ciclos de 3h (8 ciclos completos al día) en los cuales la mayor parte del tiempo el reactor se encuentra alimentando, agitando y aireando (2,25h). La alimentación se lleva a cabo por medio de bombas peristálticas con un caudal constante (9-10 mL/min) tal que el tiempo de retención hidráulico (TRH) en ambos reactores se mantuvo en torno a 0,30-0,35 d. El vaciado se llevó a cabo en cada ciclo después del tiempo de sedimentación (0,5h) por medio de otra bomba peristáltica. La aireación se llevó a cabo por medio de bombas de pecera conectadas a difusores de tipo cerámico. Todo el control de los ciclos de operación se llevó a cabo por medio de programadores analógicos (Coatí/Simon Brico). La temperatura se mantuvo constante a 20 °C por medio de un baño termostático (Huber K. GmbH) cuya agua se hizo circular por las camisas de los reactores.

Los reactores se alimentaron con agua residual bruta suministrada semanalmente por MANCAR en garrafas de plástico y tomada después del pretratamiento en la EDAR de

Rubí. Las primeras muestras fueron tomadas por personal de la Universtiat de Barcelona. Los dos reactores se pusieron en marcha sin bioestabilizante (13 de enero).



Figura 2.1. Dispositivo experimental.

La dosificación única del bioestabilizante (al interior del reactor B) tuvo lugar el día 26 de enero, aproximadamente dos semanas después de la puesta en marcha de los dos reactores. Este período se empleó como tiempo de arranque y estabilización de la operación. La dosificación la realizó personal de MANCAR, supervisado por personal de la UB (Figura 2.2).



Figura 2.2. Dos fotografías de la adición del bioestabilizante al reactor B el 26/01/2016.

3. Metodología Analítica

En este informe se muestran los resultados de los análisis efectuados al influente y efluente de los dos reactores descritos.

Los análisis y frecuencias de muestreo de los principales parámetros se muestran en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1. Estrategia de muestreo.

| Muestra | SST/SSV | pH | T | OD ¹ | DQO | N _{inorgánico} ² | V _{ciclo} ³ |
|------------------|------------|------------|------------|-----------------|------------|--------------------------------------|---------------------------------|
| Influente | Semanal | Semanal | - | - | Semanal | Semanal | - |
| Efluente | 3 x semana | 3 x semana | - | - | 3 x semana | 3 x semana | 2 x semana |
| Interior reactor | Semanal | - | 2 x semana | 2 x semana | - | - | - |

Nota: Se muestran frecuencias mínimas de muestreo. En algunos casos fueron mayores.

¹Oxígeno Disuelto; ²Compuestos inorgánicos de nitrógeno, NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- ; ³Volumen alimentado por ciclo

Todos los análisis se realizaron de acuerdo con Standard Methods for Water and Wastewater (APHA, AWWA, WEF, 2012. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22nd ed. Washington DC, 2012). Los análisis de compuestos de nitrógeno se llevaron a cabo por cromatografía iónica (Metrohm 861 Advanced Compact IC), el oxígeno disuelto y la temperatura en el interior de los reactores se midieron con un medidor portátil (WTW Oxi 340i). La única purga de lodos que se realizó del interior de los reactores a partir de la adición del producto (26/01) fue la necesaria para la medida de sólidos suspendidos. Además de estos análisis, se tomaron 2 muestras de cada reactor para medir su toxicidad (equitox).

4. Resultados y discusión

Los dos reactores se pusieron en marcha y se operaron durante aproximadamente dos semanas en las condiciones de la Tabla 4.1. En este período de arranque se alcanzaron los valores de calidad del efluente reflejados también en la Tabla 4.1.

Tabla 4.1. Operación de los reactores en el período de puesta en marcha (valores medios).

| | Reactor A | Reactor B |
|---|-------------|-------------|
| pH | 7,94 ± 0,13 | 7,68 ± 0,27 |
| SSV _{ef} (mg/L) | 12,0 ± 8,0 | 7,0 ± 3,4 |
| N-NH ₄ ⁺ _{ef} (mg/L) | 49,0 ± 11,1 | 37,5 ± 20,6 |
| N-NO ₂ ⁻ _{ef} (mg/L) | 30,2 ± 14,4 | 36,4 ± 6,4 |
| N-NO ₃ ⁻ _{ef} (mg/L) | 3,3 ± 2,9 | 4,0 ± 2,6 |
| DQO _{ef} (mg/L) | 191 | 175 |
| Eliminación DQO (%) | 78 | 80 |
| OD (mg O ₂ /L) | 4,9 ± 1,6 | 4,2 ± 1,9 |
| T (°C) | 19,6 ± 0,4 | 19,9 ± 0,1 |

Como se puede observar, la operación de los dos reactores fue análoga, tal y como se pretendía, a fin de que el Reactor A sirviera de referencia operando en las mismas condiciones que el B. Una vez finalizado este período de puesta en marcha y estabilización, se realizó la adición del bioestabilizante al Reactor B de acuerdo con lo señalado en la Sección 2.

La operación de los reactores se llevó a cabo durante aproximadamente tres semanas más, del 26 de enero al 16 de febrero. En la Tabla 4.2 pueden verse los valores medios de pH, sólidos suspendidos volátiles, compuestos de nitrógeno y DQO del alimento durante esta fase de la operación.

Tabla 4.2. Características del alimento durante el experimento con bioestabilizante (valores medios).

| Alimento | | |
|---------------------------------------|----------|---------------------|
| Parámetro y unidades | Promedio | Intervalo confianza |
| pH | 7,45 | ± 0,23 |
| SSV (mg/L) | 4,7 | ± 1,3 |
| N-NH ₄ ⁺ (mg/L) | 56,5 | ± 2,6 |
| N-NO ₂ ⁻ (mg/L) | 17,8 | ± 3,2 |
| N-NO ₃ ⁻ (mg/L) | 0,2 | ± 0,4 |
| DQO (mg/L) | 633 | ± 490 |

Los valores medios del influente corresponden típicamente a un agua residual municipal de carga media después del pretratamiento, con importante variabilidad en la concentración de materia orgánica, como se observa en el intervalo de confianza de la DQO, que es del mismo orden que su promedio. La única peculiaridad de esta agua ha sido la presencia de nitrito, posiblemente debida a una oxidación parcial del amonio durante el pretratamiento en la depuradora y/o en el muestreo, transporte y almacenamiento. En cualquier caso no se considera que esta presencia de nitrito haya afectado en nada a los resultados finales.

La operación de ambos reactores fue satisfactoria durante las tres semanas de operación (Tabla 4.3) y se lograron eliminaciones aceptables de DQO y de NH₄⁺ (Tabla 4.3, Figura 4.1) y, sobre todo, en lo que más importa a este trabajo, condiciones análogas en ambos reactores, que permiten comparar la operación con y sin aditivo.

Tabla 4.3. Operación de los reactores durante el experimento con bioestabilizante (valores medios).

| | Reactor A | Reactor B |
|---|-------------|-------------|
| pH | 7,49 ± 0,12 | 7,40 ± 0,10 |
| SSV _{ef} (mg/L) | 9,8 ± 5,9 | 5,5 ± 2,1 |
| N-NH ₄ ⁺ _{ef} (mg/L) | 17,8 ± 2,7 | 17,9 ± 5,7 |
| N-NO ₂ ⁻ _{ef} (mg/L) | 49,7 ± 3,1 | 50,4 ± 4,3 |
| N-NO ₃ ⁻ _{ef} (mg/L) | 4,3 ± 1,9 | 4,3 ± 1,8 |
| Eliminación NH ₄ ⁺ (%) | 69 ± 5 | 68 ± 10 |
| DQO _{ef} (mg/L) | 309 ± 145 | 394 ± 179 |
| Eliminación DQO (%) | 51 ± 23 | 38 ± 28 |
| OD (mg O ₂ /L) | 5,4 ± 0,6 | 5,3 ± 0,9 |
| T (°C) | 20,5 ± 0,6 | 20,6 ± 0,7 |

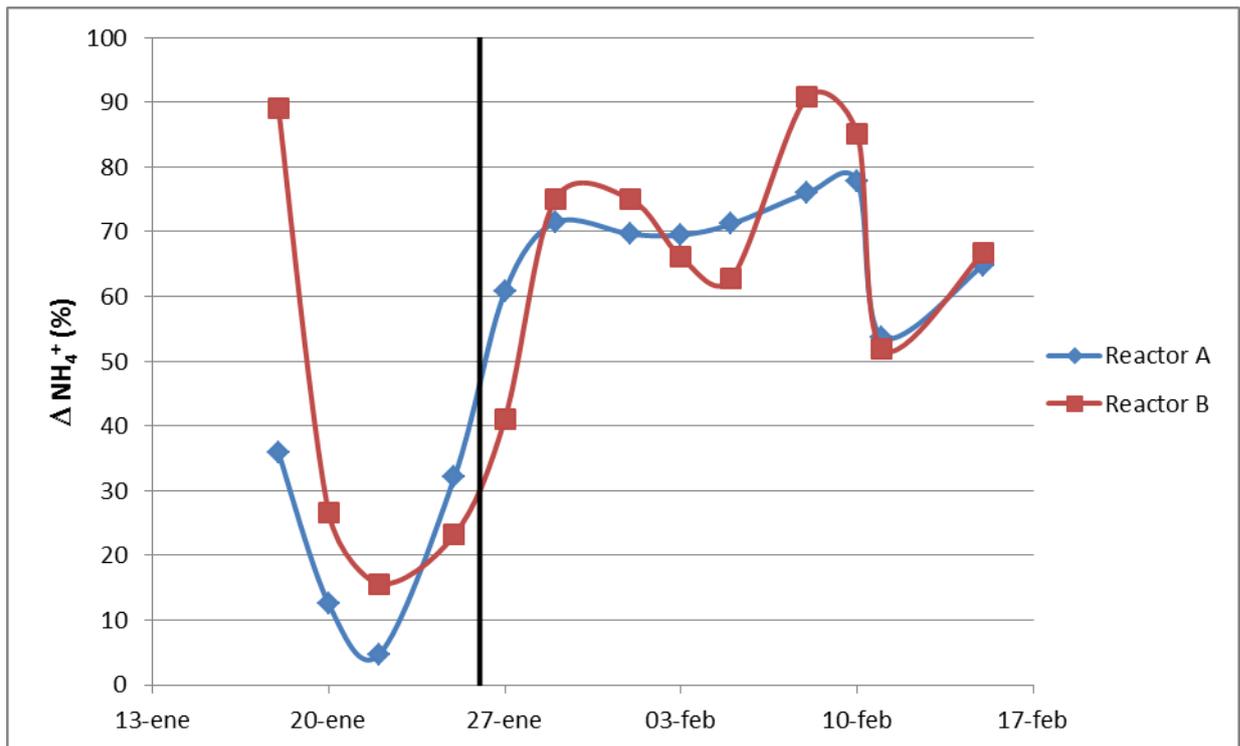


Figura 4.1. Perfiles de eliminación de NH_4^+ en los dos reactores. La línea vertical marca la adición del producto al reactor B.

De acuerdo con los valores de la Tabla 4.3 y lo observado en la Figura 4.1 no hubo diferencias significativas en lo que respecta a los compuestos de nitrógeno. Los dos reactores lograron alrededor de un 70% de eliminación de NH_4^+ , que se mantuvo bastante estable durante la operación.

Las principales diferencias entre ambos reactores se han dado en la eliminación de DQO y la salida de sólidos en el efluente. Sin embargo, si se tiene en cuenta la variabilidad de la concentración de DQO en el influente y, consecuentemente, la variabilidad en dicha concentración en el efluente (Figura 4.2) en realidad puede considerarse la eliminación de DQO también como equivalente en ambos casos, excepto en los días inmediatamente posteriores a la adición del producto en el Reactor B. En esos días la eliminación de DQO empeoró claramente, aunque fue un efecto transitorio que desapareció en menos de una semana. A partir de ese momento y hasta el final de la operación, la eliminación de DQO en ambos reactores se mantuvo aproximadamente en torno a 50-60%.

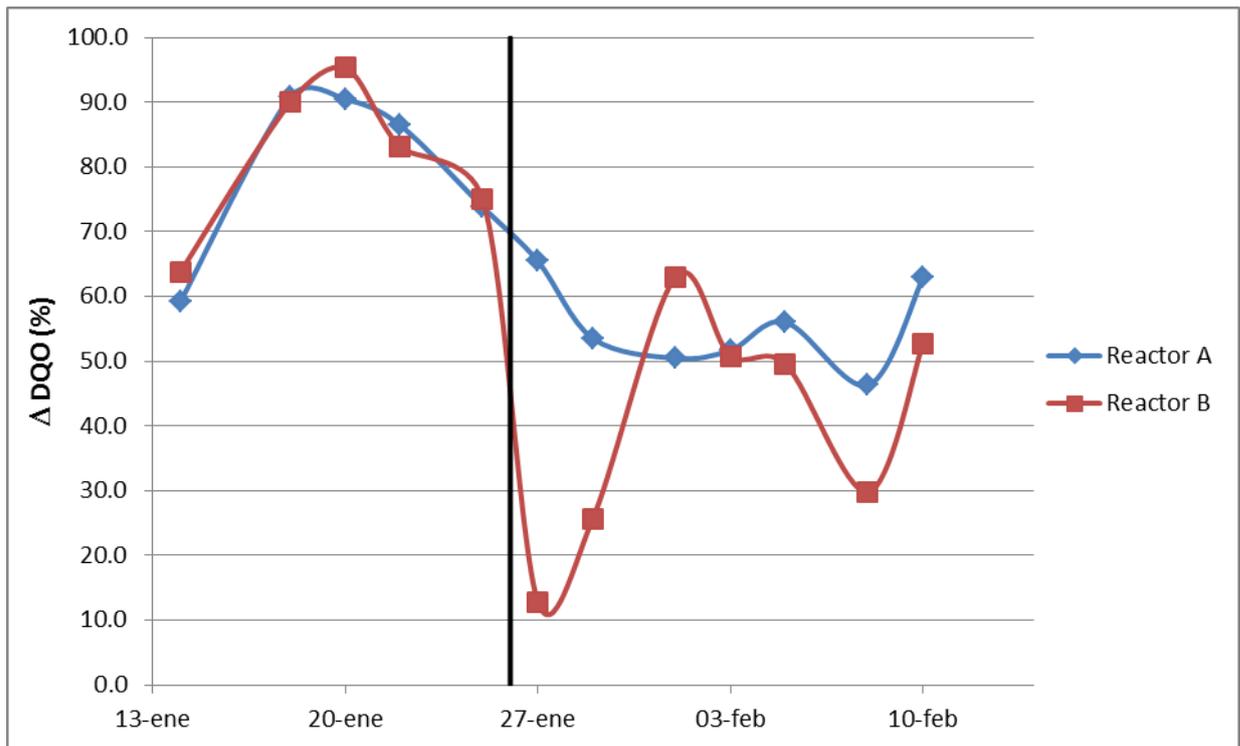


Figura 4.2. Perfiles de eliminación de DQO en los dos reactores. La línea vertical marca la adición del producto al reactor B.

En lo que respecta a la salida de sólidos volátiles en el efluente, a pesar de tratarse de concentraciones muy bajas en ambos reactores, la concentración media en el efluente del reactor B (con aditivo) fue significativamente menor. Esto se observa también en el perfil de SSV en los efluentes de ambos reactores (Figura 4.3). Como se ve, todas las medidas realizadas una semana después de añadir el producto al reactor B dan una mayor concentración de SSV en el reactor de referencia (A) que en dicho reactor B.

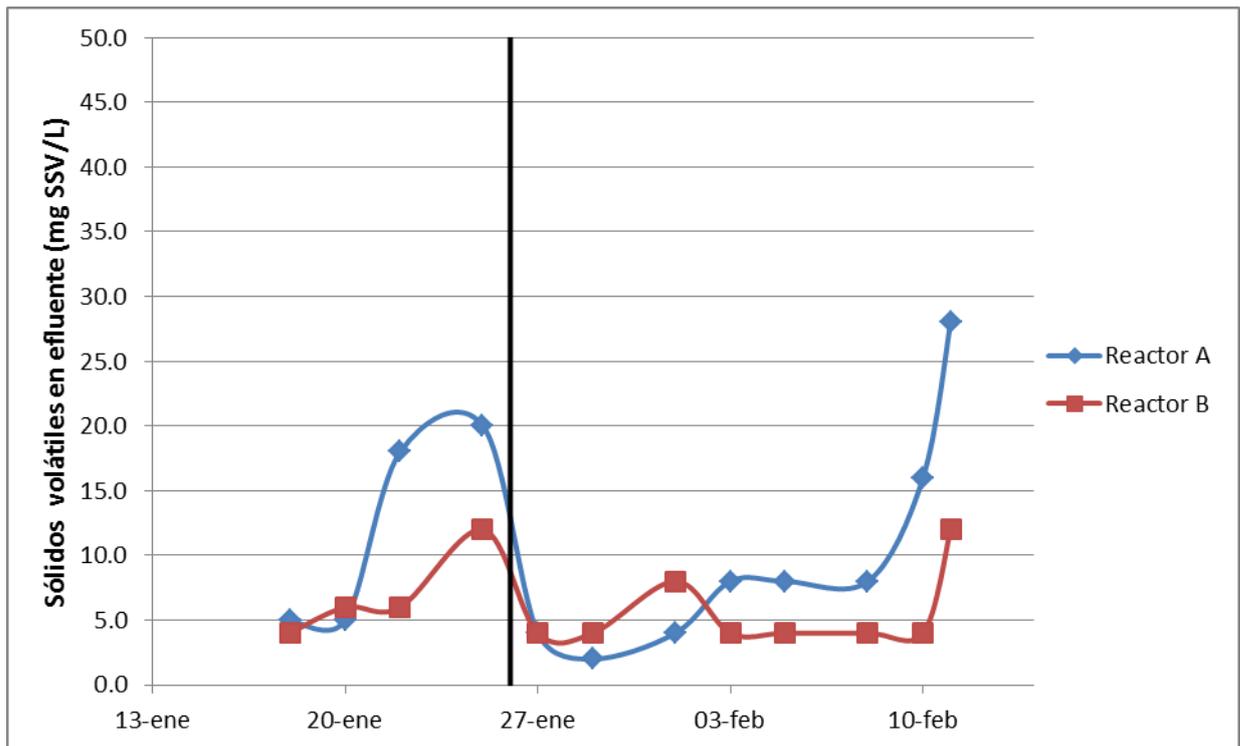


Figura 4.3. Concentración de sólidos volátiles en el efluente de ambos reactores. La línea vertical marca la adición del producto al reactor B.

Con respecto a la acumulación de biomasa (en términos de SSV) en los reactores (Figura 4.4), dicho crecimiento fue también mayor en el reactor de referencia (A) que en el que tenía el bioestabilizante (B). De hecho, desde el 27 de enero, día posterior a la adición del producto, la concentración de biomasa en el reactor B se mantuvo prácticamente constante entre 300 y 400 mg SSV/L, mientras que la concentración de biomasa en el reactor A ascendió claramente desde algo menos de 100 mg SSV/L hasta alrededor de 350 mg SSV/L. Como ya se señaló en la sección 3.1., la única purga de lodos que se realizó durante la operación con bioestabilizante (después del 26 de enero) fue la extracción de muestras para medir los sólidos suspendidos, la cual se hizo siempre al mismo tiempo en ambos reactores y con iguales volúmenes. Dicha purga no se tuvo en cuenta para la realización de la Figura 4.4. El gran descenso en la concentración de biomasa observado durante la puesta en marcha es el esperable por el lavado de una parte importante del lodo que se inoculó en los reactores.

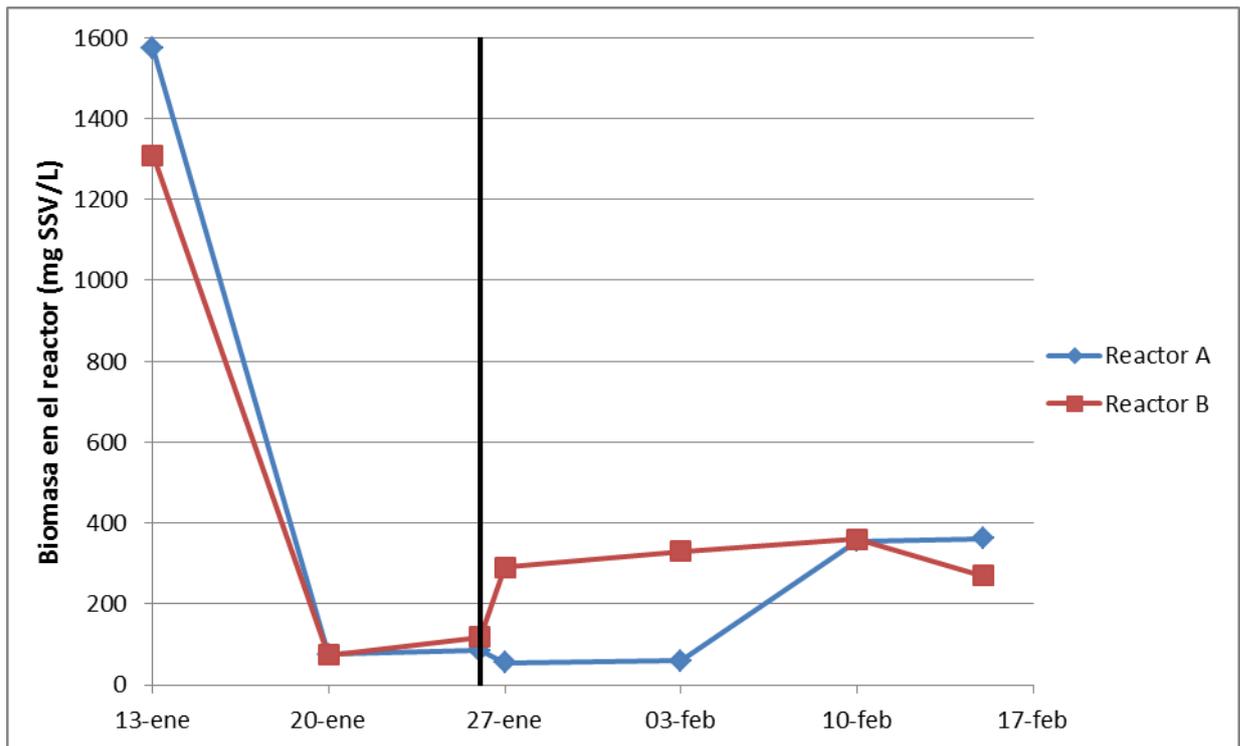


Figura 4.4. Concentración de biomasa en ambos reactores, medida en SSV. La línea vertical marca la adición del producto al reactor B.

Es interesante señalar, que además de observarse la menor acumulación de biomasa en el reactor con bioestabilizante y la menor concentración de SSV en el efluente, la sedimentabilidad de la biomasa contenida en el reactor con bioestabilizante fue significativamente mejor. En la figura 4.5 puede verse una comparativa de los lechos de lodo en ambos reactores en dos días diferentes, 9 y 17 de febrero. En ambos casos, la altura del lecho del reactor B es claramente menor, unos 3 cm frente a un poco más de 1 cm el 9 de febrero, y unos 4 cm frente a 1,5 cm el 17 de febrero. Esta diferencia no se puede justificar por la diferencia de concentración de biomasa, porque como se puede ver en la Figura 4.4, las concentraciones de biomasa (SSV) en ambos reactores eran similares o incluso superior en el reactor B. Tampoco se justificaría por la diferencia de concentración de Sólidos Suspendidos Totales (ver Anexo), porque, a pesar de que la concentración de SST era mayor en el reactor A, lo era en un 45-60%, una diferencia mucho menor que la observada en las alturas de los lechos (del orden de 100-250%). Se puede inferir, por tanto, que efectivamente el bioestabilizante proporcionado por MANCAR es capaz de mejorar las propiedades de sedimentabilidad del lodo.

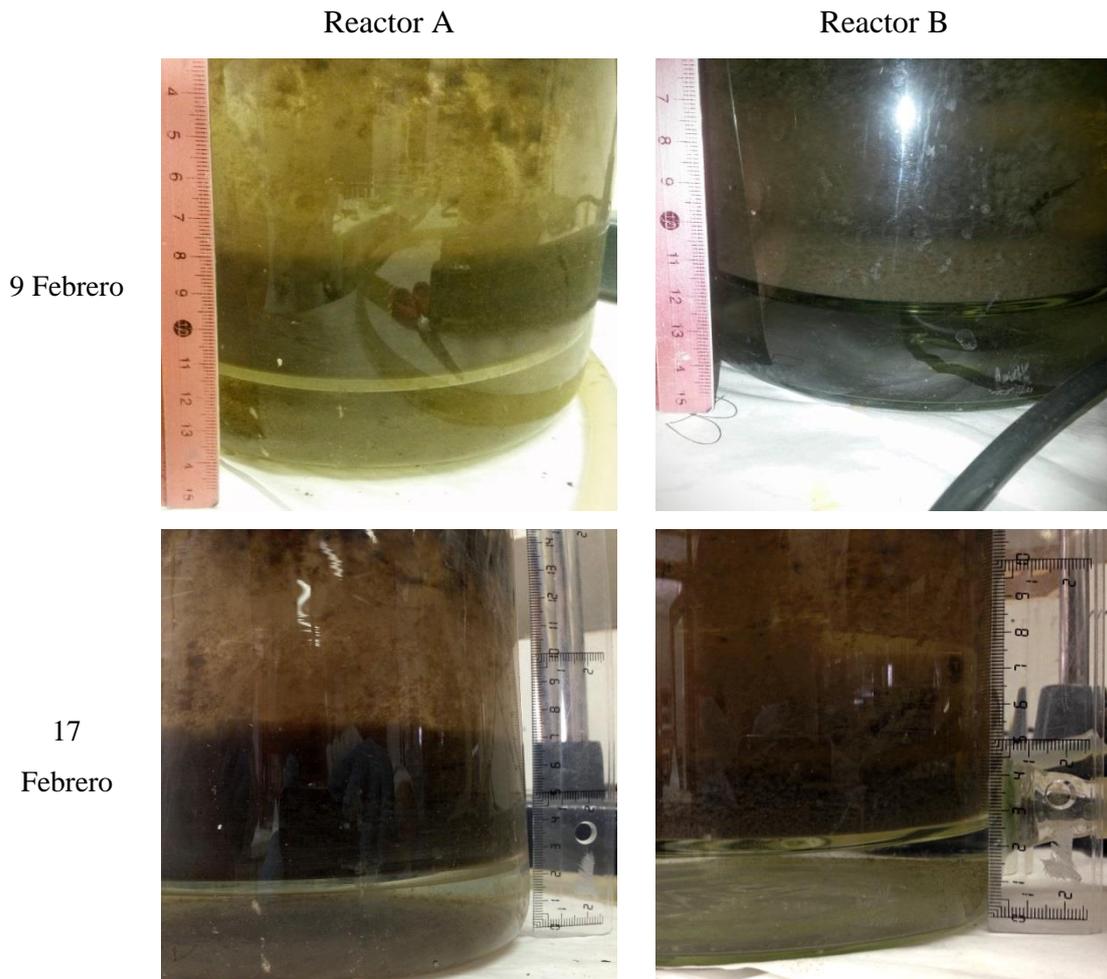


Figura 4.5. Lechos de lodo sedimentados en dos días de operación.

Toxicidad

Tabla 4.4. Resultados de los ensayos de toxicidad realizados en el efluente de ambos reactores antes y después de la adición de bioestimulante.

| Fecha | Reactor A (control) | Reactor B (con Bioestab.) |
|--|--|---|
| Muestra 15 Febrero | No da toxicidad 0 Equitox | No da toxicidad 0 Equitox |
| Muestra 27 Febrero después de la adición | 2,03 Equitox , con intervalo de confianza, 1,02-4,05 | 1,26 Equitox , con intervalo de confianza, 0,96 -2,96 |

Como se puede observar la toxicidad del agua no se ve afectada por la adición del bioestimulante, siendo los valores en Equitox iguales o inferiores al control en las dos muestras analizadas.

5. Conclusiones

Los dos reactores mostraron comportamientos similares en cuanto a la eliminación de nitrógeno y DQO. Sin embargo, el reactor B (con el aditivo) mostró un comportamiento mejor en cuanto a sólidos suspendidos en el efluente y en cuanto a la sedimentabilidad que fue superior.

Se observó asimismo una mayor limpieza (menor cantidad de sólidos adheridos) en el reactor B y una cierta disminución de la cantidad de sólidos suspendidos volátiles en el licor mezcla.

Los resultados son pues positivos y clarifican los que se obtuvieron con anterioridad con la planta piloto instalada en la EDAR de Rubí. El efecto observado sobre la reducción de la cantidad de lodos es pequeña. Sin embargo hay que señalar que, en este sentido, la empresa MANCAR ya manifestó desde el inicio de la prueba que el efecto del Bioestimulante podría variar substancialmente tanto en la reducción de lodos como en su duración, debido a principalmente a dos razones; en primer lugar, por la pequeña escala de la prueba realizada y, en segundo, por la dificultad en la obtención de una alícuota representativa del mismo para introducirlo en el reactor B (debido a su pequeño volumen (3,5 L) en relación con el tamaño de los componentes que forman el referido Bioestimulante).

Siendo los resultados positivos y dado que esta adición no afecta la calidad del agua, por los parámetros analizados, se requiere la realización de una serie de ensayos en una planta real, para evaluar de forma definitiva las ventajas de la adición de este Bioestimulante.

Barcelona, 25 de Febrero de 2016

Isaac Fernández

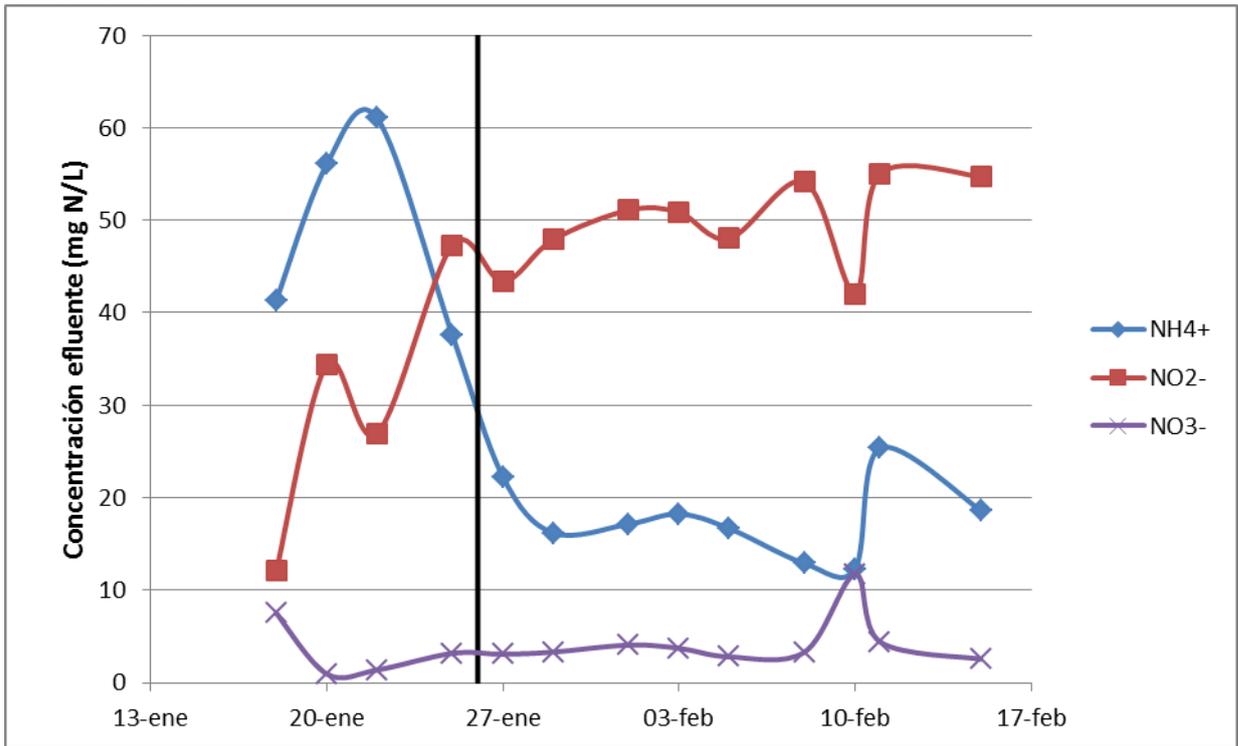
Joan Mata

ANEXO 1. Resultados analíticos a lo largo del trabajo.

| | pH | SST (mg/L) | SSV (mg/L) | SST _{ef} (mg/L) | SSV _{ef} (mg/L) | NH ₄ ⁺ (mg N/L) | NO ₂ ⁻ (mg N/L) | NO ₃ ⁻ (mg N/L) | DQO (mg O ₂ /L) | T (°C) | OD (mg O ₂ /L) | Vef (mL) |
|-----------|------|---------------|---------------|-----------------------------|-----------------------------|---|---|---|----------------------------------|-----------|---------------------------------|-------------|
| RA 13/01 | | 7832 | 1572 | | | | | | | 18,8 | 1,70 | |
| RB 13/01 | | 6548 | 1308 | | | | | | | 19,9 | 0,55 | |
| Inf 14/01 | | | | | | | | | 1580 | | | |
| RA 14/01 | | | | | | | | | 646 | | | |
| RB 14/01 | | | | | | | | | 573 | | | |
| Inf 18/01 | 7,06 | 61 | 10 | | | 64 | - | 8 | 597 | | | |
| RA 18/01 | 8,01 | | | 49 | 5 | 41 | 12 | 8 | 55 | 19,7 | 6,20 | 1300 |
| RB 18/01 | 7,28 | | | 51 | 4 | 7 | 28 | 8 | 60 | 19,8 | 6,06 | 1300 |
| Inf 20/01 | 7,16 | | | | | | | | | | | |
| RA 20/01 | 7,91 | 490 | 76 | 29 | 5 | 56 | 34 | 1 | 57 | 19,7 | 5,12 | 1300 |
| RB 20/01 | 7,71 | 602 | 74 | 27 | 6 | 47 | 39 | 3 | 28 | 19,7 | 5,20 | 1280 |
| RA 22/01 | 8,06 | | | 28 | 18 | 61 | 27 | 1 | 81 | 20,0 | 6,20 | 1220 |
| RB 22/01 | 7,88 | | | 26 | 6 | 54 | 35 | 2 | 102 | 20,0 | 4,50 | 1200 |
| Inf 25/01 | 7,48 | 70 | 20 | | | 56 | 16 | 1 | 443 | | | |
| RA 25/01 | 7,76 | | | 58 | 20 | 38 | 47 | 3 | 116 | 19,9 | 5,39 | |
| RB 25/01 | 7,86 | | | 24 | 12 | 43 | 44 | 3 | 111 | 19,9 | 4,50 | 1230 |
| Inf 26/01 | 7,43 | 94 | 6 | | | 56 | 16 | - | 327 | | | |
| RA 26/01 | | 1002 | 84 | | | | | | | 20,1 | 5,50 | |
| RB 26/01 | | 998 | 118 | | | | | | | 20,1 | 4,50 | |

| | pH | SST (mg/L) | SSV (mg/L) | SST _{ef} (mg/L) | SSV _{ef} (mg/L) | NH ₄ ⁺ (mg N/L) | NO ₂ ⁻ (mg N/L) | NO ₃ ⁻ (mg N/L) | DQO (mg O ₂ /L) | T (°C) | OD (mg O ₂ /L) | Vef (mL) |
|----------|------|---------------|---------------|-----------------------------|-----------------------------|---|---|---|----------------------------------|-----------|---------------------------------|-------------|
| RA 10/02 | 7,49 | 1880 | 355 | 40 | 16 | 12 | 42 | 12 | 418 | 19,8 | 4,40 | 1140 |
| RB 10/02 | 7,43 | 1265 | 360 | 40 | 4 | 8 | 47 | 11 | 533 | 19,8 | 3,70 | 900 |
| RA 11/02 | 7,29 | | | 64 | 28 | 25 | 55 | 4 | | | | 1200 |
| RB 11/02 | 7,24 | | | 44 | 12 | 26 | 56 | 5 | | | | 1160 |
| RA 15/02 | | 3063 | 362 | | | 19 | 55 | 3 | | | | |
| RB 15/02 | | 1904 | 270 | | | 18 | 54 | 2 | | | | |
| RA 16/02 | | | | | | | | | | 20,8 | 5,10 | |
| RB 16/02 | | | | | | | | | | 20,8 | 6,60 | |

**ANEXO 2. Gráficas de compuestos nitrogenados en los efluentes de los reactores.
REACTOR A**



REACTOR B

