Eliminación de nutrientes mediante la adición de propianato en la EDAR de Beniel

Pedro J. Simón Andreu ingeniero industrial, Entidad Regional de Saneamiento y Depuración de Murcia (Esamur)
Carlos Lardín Mifsut licenciado en Ciencias Biológicas, Entidad Regional de Saneamiento y Depuración de Murcia (Esamur)
Antonio V. Sánchez Betrán licenciado en Ciencias Biológicas, Red Control
Raquel González Herrero licenciada en Biología, Red Control
Claudia Llosá Llácer ingeniera química, Red Control
Lucas Benac Vegas ingeniero químico, Red Control

Se investiga el tratamiento de un agua residual real mediante un sistema de fangos activados con eliminación de fósforo, mejorado por vía biológica (EPBR) mediante la adición de un reactivo/sustrato (propionato sódico). El objetivo es determinar el efecto del propionato en la eliminación de fósforo de los influentes de EDAR, al favorecer la proliferación y estabilidad de la población de bacterias acumuladoras de fosfato (bacterias PAO). Para la investigación se empleó una planta piloto instalada en la EDAR de Beniel (Murcia), alimentada con agua de salida de pretratamiento. El estudio se llevó a cabo durante un periodo ininterrumpido de 26 semanas, dosificándose diferentes concentraciones de propionato y analizándose los rendimientos de eliminación en DQO, SS, Nt y Pt del sistema, así como la producción de fangos en exceso. El sistema obtuvo buenos rendimientos depurativos, comprobándose que la dosificación de propionato sódico mejora de forma efectiva el rendimiento de eliminación de fósforo por vía biológica. Se demuestra así la mejora del tratamiento propuesto en la eliminación del fósforo y su posible aplicación en vistas a la reutilización de los efluentes de EDAR. Adicionalmente, se observa que en plantas que eliminan fósforo por vía biológica la dosificación podría suponer una menor producción de lodo (30%).

Palabras clave
Agua residual, bacterias PAO, eliminación de fósforo mejorada, propionato.

Removal of nutrients by the addition of propionate at the Beniel's WWTP (Murcia, Spain)

An activated sludge traditional treatment improved by the addition of propionate for the removal of phosphorous has been investigated. The aim of the survey is to determine the effect of the propionate due to its capacity of promoting the growth and stability of the PAO bacteria population, which storage the phosphorous. In a first approach, water taken from the outlet of the pre-treatment step of the WWTP of Beniel (Murcia), from the South East of Spain, has been treated by a pilot plant. During 26 weeks, different concentrations of propionate were used in order to analyse the removal rate of COD, SS, Nt and Pt of the system, as well as the sludge production. Results indicate that the addition of propionate improve efficiently the phosphorous removal by the biological way and could be an important post-treatment in municipal wastewater treatment plants. In addition to this, according to the survey, in plants where the phosphorous removal is due to the biological way, a 30% reduction of the sludge rate was observed.

Keywords
Waste Water, PAO bacteria, phosphorous removal, propionate.

ta 18 at beniel.indd 58 25/04/2016 11:35:27

1. Introducción

La concentración de fósforo en un agua residual urbana suele estar comprendida entre 5 y 20 ppm. Las fuentes principales de fósforo que contribuyen a dicha concentración son las heces fecales y los detergentes.

De la misma forma que el nitrógeno, una concentración demasiado baja de fósforo provoca una inhibición del proceso biológico, ya que se impide el desarrollo de nuevas células. La experiencia indica que la relación DBO_5/P debe ser de aproximadamente 100/1.

Algunas bacterias tienen la propiedad de almacenar P (bacterias acumuladoras de P, en adelante PAO). Como principal representante se encuentra *Acinetobacter calcoaceticus*. Otras son *Pseudomonas, Klebisella, Microthrix, Aeromonas*, etc.

El fenómeno de la alta captación de P se observó por primera vez en 1976 en una instalación con eliminación biológica de nitrógeno. Allí se dedujo que un cambio entre condiciones anaerobias y aerobias activa el almacenamiento de fósforo. Por tanto, la eliminación de P se produce anteponiendo un reactor anaerobio a uno aerobio. En el reactor anaerobio han de trabajar conjuntamente dos tipos de bacterias:

- Bacterias anaerobias facultativas, que descomponen polímeros fácilmente biodegradables en ácidos orgánicos, principalmente acético.
- PAO, que utilizan el acético y otros ácidos grasos volátiles como el propionato como sustrato para sintetizar sustancias de reserva como el ácido hidroxi-β-butírico, obteniendo la energía de la liberación de fosfatos que poseen de reserva.

Las PAO son bacterias aerobias. La propiedad estudiada les da una ventaja competitiva de supervivencia frente a otras bacterias aerobias.

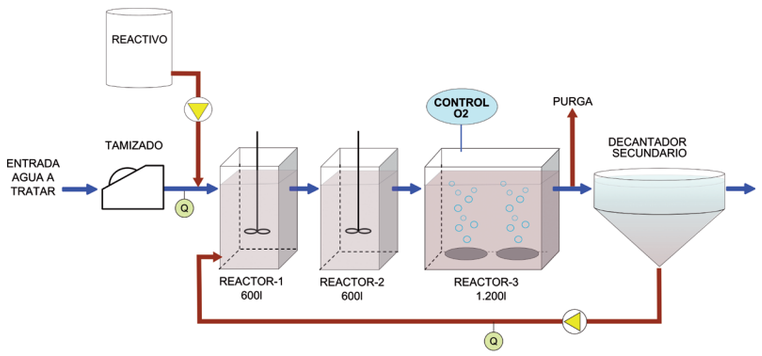
En el reactor aerobio comienzan las PAO con ayuda de las sustancias de reserva y sustrato externo a llenar el 'almacén' de polifosfatos. En esta operación captan más fosfatos de los liberados.

Sin embargo, en los últimos años se han observado en ocasiones deficiencias en el proceso, de forma que los rendimientos de eliminación de P son menores que los esperados. Algunos estudios han achacado dicho deterioro a la proliferación de bacterias que acumulan glucógeno en vez de P en las condiciones del proceso (bacterias acumuladoras de glucógeno, en adelante GAO) (Saunders *et al.*, 2006).

Por consiguiente, para la correcta eliminación de P, la competencia entre PAO y GAO deberá decantarse por las PAO. Ello dependerá del tipo de sustrato rápidamente biodegradable con el que cuenten, es decir, fundamentalmente del tipo de ácidos grasos volátiles (AGV). Otros factores a considerar son el pH, la temperatura y la relación P/AGV (López-Vázquez *et al.*, 2009).

Recientes estudios han demostrado que la fuente de carbono en el influente, el pH y la temperatura son factores importantes que determinan el predominio relativo de bacterias PAO y GAO en un sistema de eliminación de fósforo por vía biológica (EBPR en sus siglas en inglés). Así, las bacterias acumuladoras de fosfatos (PAO) crecerían de manera preferente sobre a sus competidoras las bacterias acumuladoras de glucógeno (GAO) en condiciones de presencia simultánea de acetato y propionato como fuente de carbono (preferencia de las PAO por el propionato). Unas mayores garantías en el proceso de eliminación de fósforo por vía biológica podrían hacer innecesaria la adición de sales de hierro para el afino de la concentración de fósforo en el efluente, de manera que el mayor coste introducido con la adición de propionato al proceso se vería compensado con la eliminación de la adición de sales de hierro.

Figura 1. Esquema de funcionamiento planta piloto.



2. Materiales y métodos

Para la realización del estudio, además del material de laboratorio para análisis, se ha contado con una planta piloto de campo para tratamiento de aguas residuales, lciyo esquema de funcionamiento se muestra en la **Figura 1**.

2.1. Planta piloto

La planta piloto empleada en esta investigación, diseñada por Red Control, cuenta con un reactor bio-

ta 18 at beniel.indd 59 25/04/2016 11:35:30

lógico compartimentado, sonda de oxígeno óptica y PLC central para el control de los equipos. La planta se ubicó en la parcela de la depuradora de Beniel (Murcia), siendo alimentada en modo continuo con influente real de dicha EDAR.

2.2. Fases del estudio

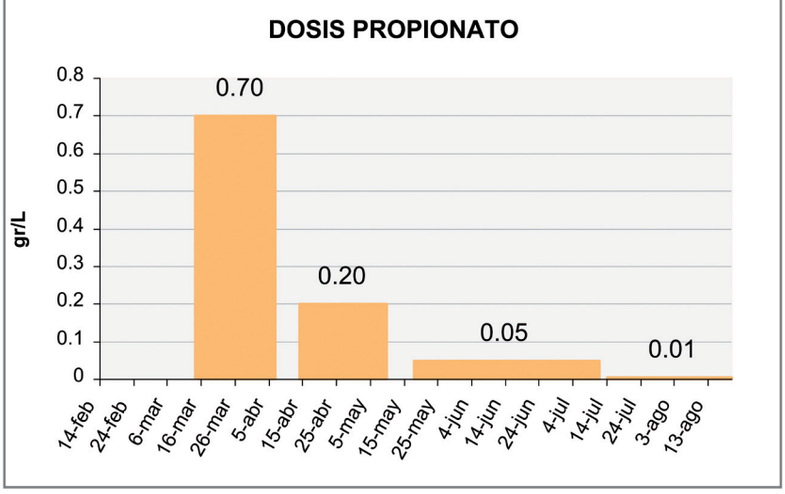
2.2.1. Fase 1: aclimatación

En esta fase el objetivo es lograr unas condiciones de partida estables. La planta piloto se 'sembró' inicialmente con fango activo proveniente de la EDAR de Beniel. A continuación se operó la planta sin dosificación durante cuatro semanas.

Se ajustó un caudal constante de entrada de 100 L/h, caudal de recirculación del 135% y SSLM en los reactores biológicos aproximadamente en 2.500 mg/L, realizando las purgas oportunas.

La consigna de oxígeno en el reactor aerobio se mantuvo en 2 mg/L. El aire necesario se aporta al sistema mediante un sistema de difusores alimentados por una soplante.

Figura 2. Dosis de propionato aplicada a lo largo del estudio (año 2011).

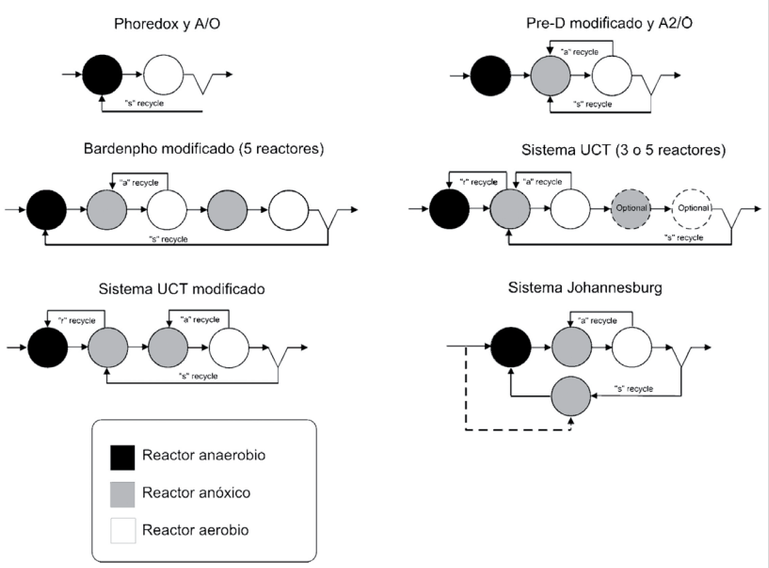


2.2.2. Fase 2: estudios con dosificación de propionato

Una vez puesta la planta piloto en operación estable, se iniciaron los experimentos con dosificación de propionato.

Tal y como se observa en la **Figura 2**, se ensayaron un total de cuatro dosis: 0,7 mg/L, 0,1 mg/L, 0,05 mg/L y 0,01 mg/L. Entre cada ensayo, con objeto de evitar sesgos en los resultados, se mantuvo la planta piloto una semana sin dosificación. Cada dosis fue estudiada durante un mínimo de 2 semanas.

Figura 3. Esquemas de funcionamiento de sistemas con eliminación de fósforo por vía biológica.



3. Resultados y discusión

3.1. Verificación de condiciones anaerobias

Condición indispensable para el funcionamiento del ciclo de eliminación de fósforo por vía biológica es la existencia de un reactor anaerobio previo al reactor aerobio, razón por la cual todos los esquemas propuestos hasta la fecha con este objetivo lo incluyen.

En el esquema de depuración elegido en este estudio, tipo A/O, la recirculación de fango del reactor biológico aireado se conduce directamente al reactor anaerobio previo. Esta corriente puede afectar a las condiciones anaerobias del reactor de cabecera (**Figura 3**).

A modo de comprobación de las condiciones de los reactores anaerobios de la planta piloto se realizó una medida en continuo del potencial Redox en el reactor anaerobio nº 1. La medición se llevó a cabo durante cuatro días consecutivos. Los valores Redox observados se sitúan por debajo del límite de -100 mV (respecto

ta 18 at beniel.indd 60 25/04/2016 11:35:32

al electrodo de hidrógeno), confirmándose las condiciones anaerobias de este reactor (**Figura 4**).

3.2. Caracterización del agua influente

Las **Figuras 5, 6** y **7** muestran los datos analíticos del influente a lo largo de todo el estudio. Se superpone en todas ellas como referencia la gráfica de dosis de propionato aplicadas.

Las variaciones en los valores de contaminación influente son notables, circunstancia que es de esperar dado que se trata de un influente real de una EDAR en funcionamiento, sujeto a las variaciones de carga habituales en este tipo de instalación.

Los valores promedio de contaminación influente se muestran a continuación:

- DQO: 506 mg/L.
- SS: 289 mg/L.
- Nitrógeno total: 42,76 mg/L.
- NH_4: 23,75 mg N-NH_4/L.
- Nitratos: 1,19 mg N-NO_3/L.
- Fósforo total: 6,48 mg/L.

3.3. Rendimientos de depuración obtenidos

A continuación se muestran los rendimientos de eliminación obtenidos para cada dosis ensayada.

3.3.1. Rendimiento de eliminación de DQO

Los rendimientos de eliminación de DQO son elevados en todos los casos (**Figura 8**). No obstante, existe cierta tendencia a mayores rendimientos para dosificaciones bajas. Esta circunstancia puede explicarse por el aporte de DQO adicional asociado al propionato. Este descenso en los rendimientos de eliminación no compromete el cumplimiento de los valores límite habituales en el efluen-

Figura 4. Registro sonda Redox en el reactor nº1 (anaerobio).

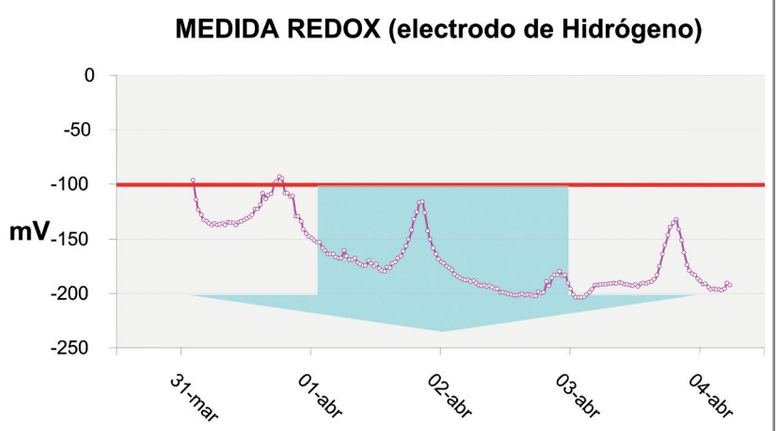


Figura 5. Evolución de la DQO y los SS en el influente.

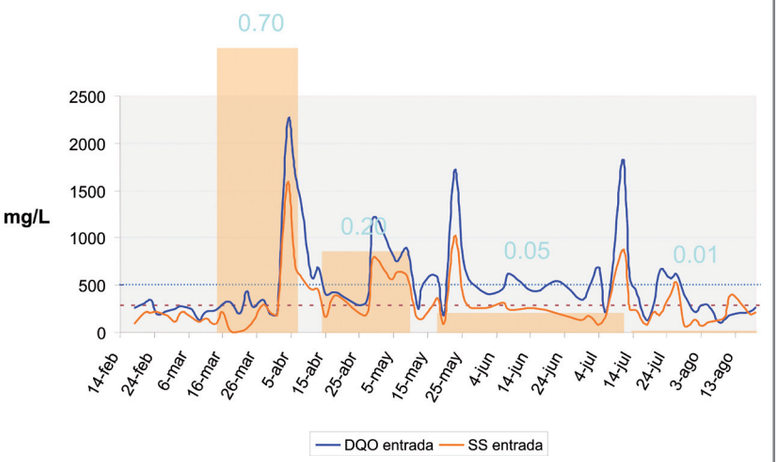
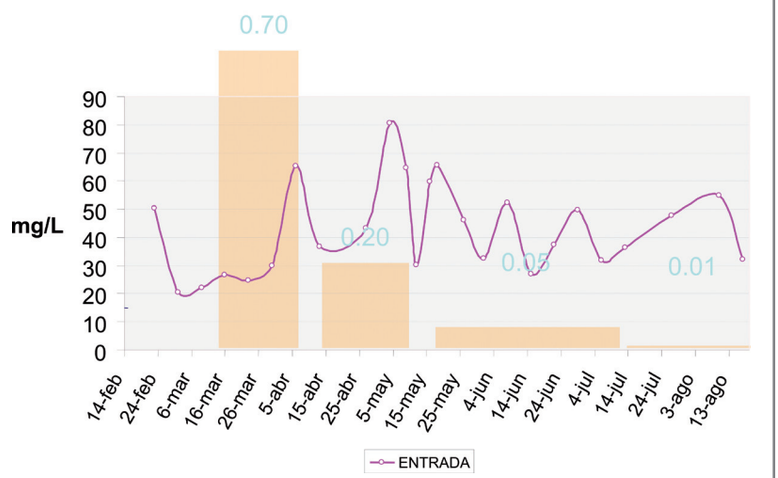


Figura 6. Evolución del nitrógeno total en el influente.



ta 18 at beniel.indd 61 25/04/2016 11:35:35

Figura 7. Evolución del fósforo total en el influente.

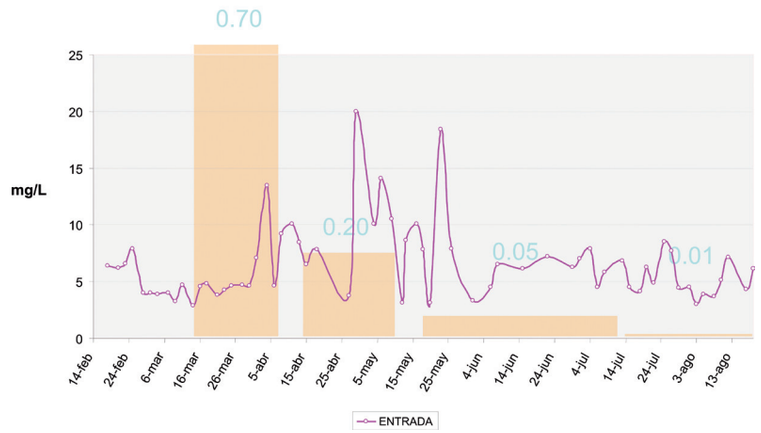


Figura 8. Rendimientos de eliminación de DQO obtenidos.

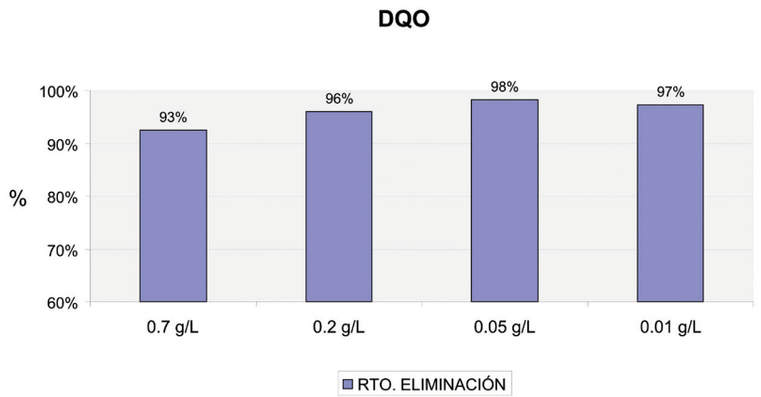
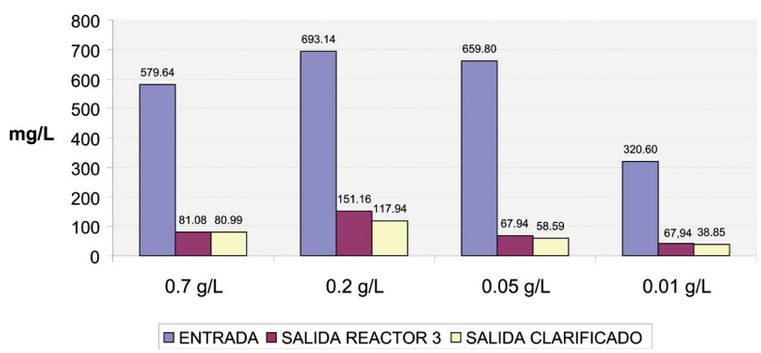


Figura 9. Valores de DQO promedio en distintos puntos del proceso.



te. En la **Figura 9** se muestran los valores de DQO promedio para las distintas corrientes del proceso. Puede observarse cómo no se supera el valor límite habitual de 125 mg/L.

3.3.2. Rendimiento de eliminación de sólidos suspendidos

Nuevamente los rendimientos son algo inferiores para los niveles de dosificación más elevados (**Figura 10**). Esto es especialmente cierto para la dosis de 0,7 g/L, en la que los rendimientos de eliminación son inferiores al 90%. Este efecto podría comprometer el cumplimiento del límite de vertido habitual para sólidos suspendidos, de 35 mg/L, en escenarios de dosificación elevada (**Figura 11**). Así, niveles de dosificación superiores a 0,2 gr/L estarían desaconsejados en plantas con dificultades para cumplir con los valores límite en sólidos suspendidos.

3.3.3. Rendimiento de eliminación de nitrógeno

Los rendimientos de eliminación no muestran una tendencia significativa a lo largo del estudio, observándose rendimientos de eliminación entre 75-88% (**Figura 12**). Estos valores son habituales para un proceso de depuración con eliminación de nitrógeno por vía biológica.

3.3.4. Rendimiento de eliminación de Fósforo

Los rendimientos de eliminación de fósforo muestran el efecto favorable de la dosificación de propionato, con mejores rendimientos a mayores dosis de reactivo (**Figura 13**). Cabe resaltar, no obstante, que a partir del nivel de 0,2 g/L el rendimiento ya no aumenta, e incluso decrece. Dosificaciones por encima de este nivel podrían no aportar mejoras en el rendimiento.

Los valores de salida promedio observados fueron inferiores al nivel límite habitual de 2 mg/L para todas las dosis. Adicionalmente, estos niveles de salida mostraron una buena estabilidad, manteniéndose prácticamente constantes pese a las oscilaciones en la concentración influente.

3.4. Producción de lodos

Los volúmenes de fango purgado para mantener constante la concen-

ta 18 at beniel.indd 62 25/04/2016 11:35:37

tración de sólidos suspendidos en el reactor biológico fueron registrados. En cada extracción, se determinó la concentración de sólidos suspendidos del fango purgado y en base a este valor los kilogramos de materia seca eliminados del sistema.

La producción de lodos, expresada como gramos de materia seca por litro de agua tratada, se determinó para los periodos con y sin dosificación de reactivo. Los resultados muestran una menor producción de lodos en los periodos con dosificación (**Figura 14**).

Este resultado sugiere que la dosificación de propionato podría tener un efecto beneficioso, redundando en una menor producción de fangos respecto de un sistema similar en que no se empleara dosificación. No obstante, dada la escasa duración y condiciones del estudio realizado, se considera este resultado como preliminar.

4. Conclusiones

A raíz de los resultados obtenidos se extraen las siguientes conclusiones:

- La dosificación de propionato sódico mejora de forma efectiva el rendimiento y estabilidad de la eliminación de fósforo por vía biológica, permitiendo un control efectivo del fósforo en el efluente con dosis entre 10 y 50 ppm.

- Para los niveles de dosificación ensayados, se observa una mejora en los rendimientos de eliminación de fósforo directamente proporcional a la dosis aplicada. Dosificaciones más elevadas suponen un mayor rendimiento en la eliminación de fósforo en el sistema. No obstante, la dosificación tiene un efecto negativo en los rendimientos de eliminación de los parámetros de DQO y SS. Para sistemas similares al del presente estudio, no se considera recomendable dosificar propionato por encima de los 200 ppm. Por debajo de estos niveles la reducción de rendimiento para estos parámetros es muy leve.

- En plantas que eliminan fósforo por vía biológica, la dosificación podría suponer una menor producción de lodo. En las condiciones del estudio, se observó una disminución en la producción de lodos durante la dosificación de aproximadamente un 30%.

Figura 10. Rendimientos de eliminación de sólidos suspendidos obtenidos.

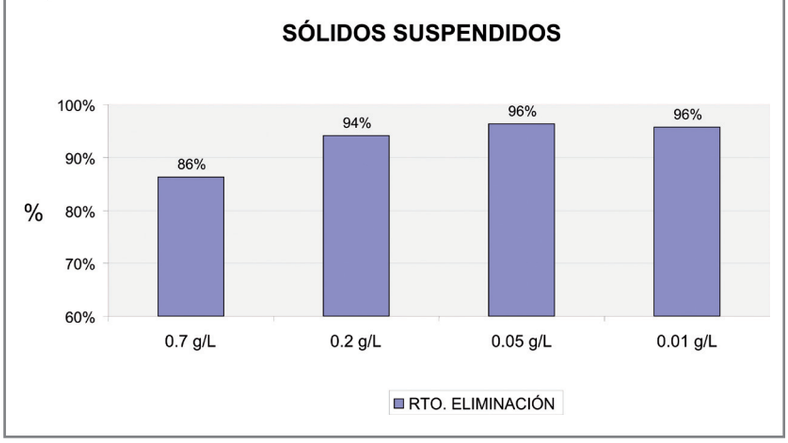


Figura 11. Valores de SS promedio en influente y efluente.

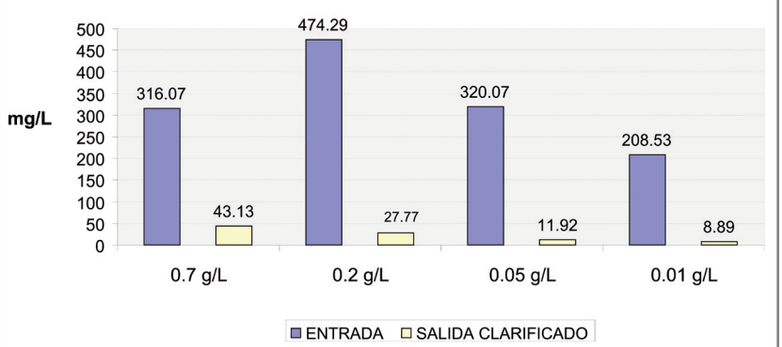
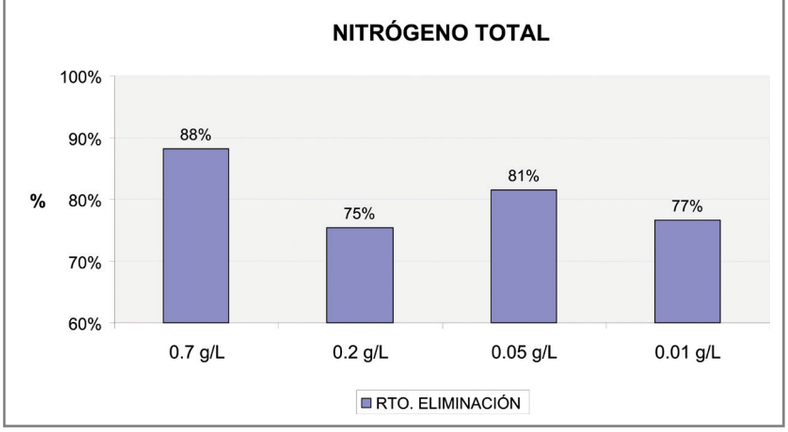


Figura 12. Rendimientos de eliminación de nitrógeno total obtenidos.



ta 18 at beniel.indd 63 25/04/2016 11:35:39

Bibliografía

[1] He, S.; Gu, A.Z.; McMahon, K.D. (2007). Progress toward understanding the distribution of accumulibacter among full-scale enhanced biological phosphorus removal systems. Microbial Ecology, vol. 55, núm. 2, págs. 229-236.

[2] Hollender, J.; Van der Krol, D.; Kornberger, L.; Gierden, E.; Dott. W. (2002). Effect of different carbon sources on the enhanced biological phosphorus removal in a sequencing batch reactor. World Journal of Microbiology and Biotechnology, vol. 18, núm. 4, págs. 359-364

[3] Oehmen, A.; Saunders, A.M.; Vives, M.T.; Yuan, Z.; Keller, J. (2006). Competition between polyphosphate and glycogen accumulating organisms in enhanced biological phosphorus removal systems with acetate and propionate as carbon sources. Journal of Biotechnology, vol. 123, núm. 1, págs. 22-32.

[4] Oehmen, A.; Vives, M.T.; Lu, H.; Yuan, Z.; Keller, J. (2005). The effect of pH on the competition between polyphosphate-accumulating organisms and glycogen-accumulating organisms. Water Research, vol. 39, núm. 15, pág. 3.727-3.737.

[5] Van Loosdrecht, M.C.M.; Oehmen, A.; Hooijmans, C.M.; Brdjanovic, D.; Gijzen, H.J.; Yuan, Z.; López Vázquez, C.M. (2009). Response to the comment on Modelling the PAO-GAO competition: Effects of carbon source, pH and temperature by Dwight Houweling *et al*. Water Research, vol. 43, núm 11, págs. 2.950-2.951

[6] Wang, Y.; Jiang, F.; Zhang, Z.; Xing, M.; Lu, Z.; Wu, M.; Yang, J.; Peng, Y. (2010). The long-term effect of carbon source on the competition between polyphosphorus accumulating organisms and glycogen accumulating organism in a continuous plug-flow anaerobic/aerobic (A/O) process. Bioresource Technology, vol. 101, núm. 1, págs. 98-104.

[7] Zeng, R.J.; Yuan, Z.; Keller J. (2004). Improved understanding of the interactions and complexities of biological nitrogen and phosphorus removal processes. Reviews in Environmental Science and Biotechnology, núm. 3, págs. 265-272.

[8] Mudrack, K.; Kunst, S. (1994). Biologische Abwasserreinigung. Fischer, Stuttgart Jena, New York.

Figura 13. Rendimientos de eliminación de fósforo total obtenidos.

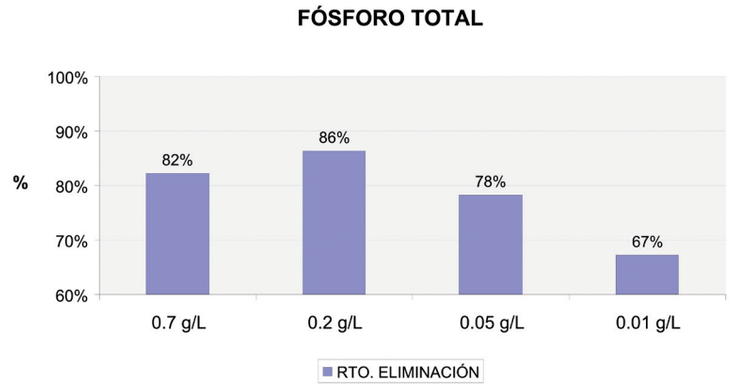
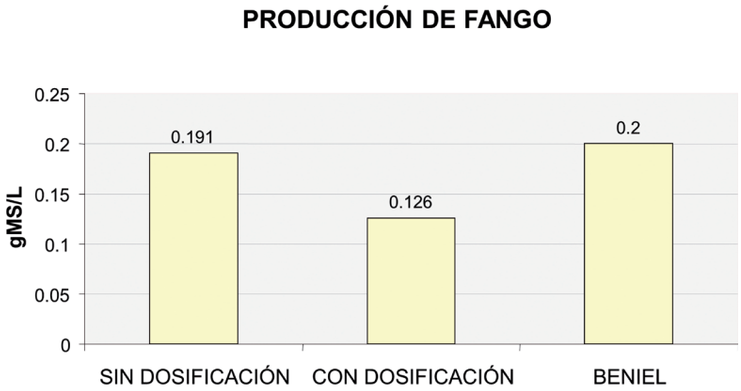
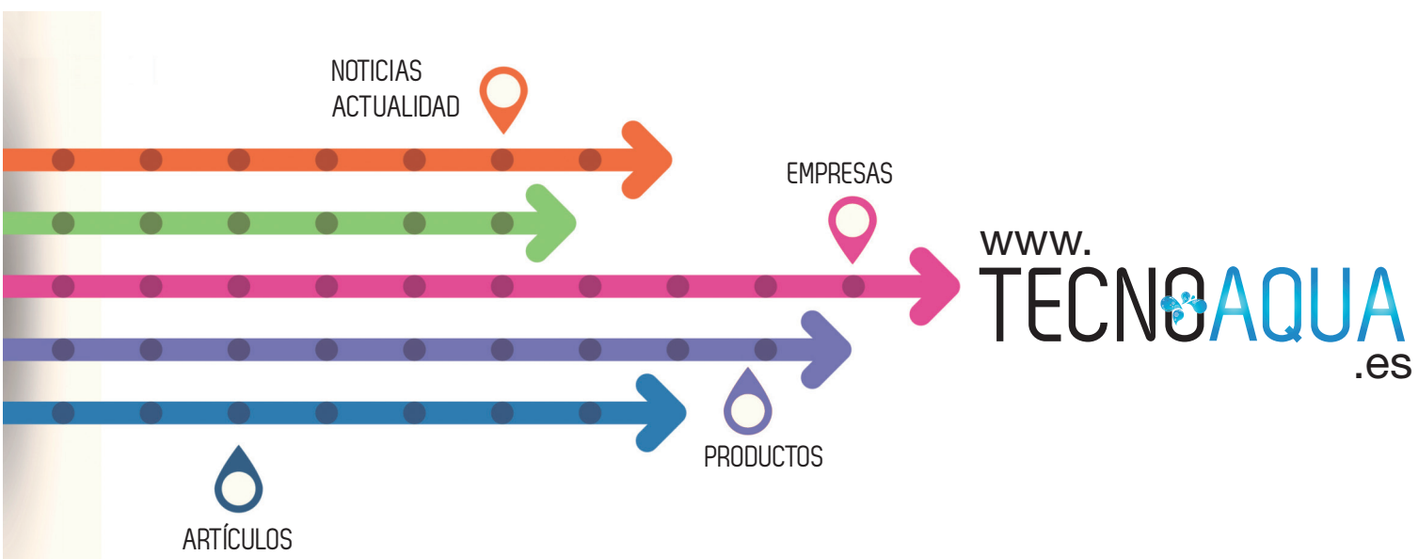



Figura 14. Ratio de producción de fango con y sin dosificación de propionato.