

En este número:

Selección técnico-económica del sistema de depuración de aguas residuales

Página 22

Utilización de humedales construidos de flujo superficial en el tratamiento de aguas residuales de origen urbano-industrial

Página 32

Efecto del Manganeseo sobre la actividad bacteriana en procesos de fangos activos

Página 42

La gestión de las aguas subterráneas (segunda parte)

Página 54

La evaporación al vacío, una tecnología para la reducción de residuos y utilización de agua

Página 68

Biofiltración innovadora para el tratamiento de aguas residuales producidas por poblaciones e industrias

Página 76

Procesos y sistemas: Eléctrica china supera las dificultades del agua salada para usarla en procesos industriales

Página 86

DEPURACIÓN Y REGENERACIÓN DE AGUAS RESIDUALES



OFICINAS
Papa Pius XI, 84-88 bjs.
08208 Sabadell - Barcelona - Spain
Tel. +34 937 279 141 - 902 314 318
Fax +34 937 266 701
biotrit@biotrit.com - www.biotrit.com

FÁBRICA
Avda. Principal 21 E
Pol. Ind. Can Clapers
08181 Setmenat - Barcelona - Spain

S.A.T.
Tel. 937 152 778

Resumen

Con el estudio se pretende ver la incidencia del manganeso [Mn(II)] sobre la actividad metabólica de las bacterias implicadas en el proceso biológico. Por un lado se quiere observar su función como Cofactor Enzimático con vistas a provocar un incremento en la capacidad oxidativa de las bacterias. Por otro lado se estudiará su efecto como Desacoplador Enzimático, observando su efecto en la reducción de biomasa generada y, por lo tanto, en una menor producción de fango.

Palabras clave:

Agua residual, manganeso, planta piloto, fangos activos, activador enzimático.

Abstract***Manganese effect over the bacterian activity on the active mires process***

With this assay, it has been determined the incidence of manganese (Mn (II)) in the metabolic activity of bacteria involved in biological processes in a WWTP. It has been observed the function of Mn (II) as an enzymatic cofactor and its influence on the increase of bacteria oxidative capacity. Besides, it has been studied the effect of Mn (II) as a metabolic uncoupler and its influence on biomass production decreases.

Keywords:

Sewage, manganese, pilot plant, active mires, enzyme activator.

Efecto del Manganeso sobre la actividad bacteriana en procesos de fangos activos

Por **Pedro J. Simón Andreu**¹, ingeniero industrial y director técnico; **Carlos Lardín Mifsud**¹, lcto. ciencias biológicas y técnico explotación; **Miguel Ángel Martínez Muro**², doctor ciencias químicas y director general; **Juan Antonio Vicente González**², lcto. ciencias del mar y jefe dpto. explotaciones; **Antonio Vte. Sánchez Betrán**², lcto. ciencias biológicas y jefe dpto. control EDAR; **Raquel González Herrero**², lcta. ciencias biológicas y técnico dpto. control EDAR; **Claudia Llosá Llácer**², ingeniera química y jefa de planta EDAR de Beniel

¹Esamur, Entidad Regional de Saneamiento y Depuración de Murcia

Avenida Juan Carlos, s/n - Edificio Torre Jemeca
30009 Murcia
Tel.: 968 879 520
Fax: 968 721 047
Internet: www.esamur.es

²Red Control Valencia

Parque Tecnológico
Calle Leonardo da Vinci, 8
46980 Paterna, Valencia
Tel.: 961 366 490
Fax: 961 318 049
Correo-e: explotacion@redcontrol.com
Internet: www.redcontrol.com

1. Introducción

El presente estudio pretende ver la influencia del Manganeso (II) sobre el metabolismo de las bacterias implicadas en procesos de depuración mediante fangos activos. Los dos puntos a estudiar han sido las eventuales variaciones sobre la oxidación de la materia orgánica, determinada a partir de la medición de la SOUR, y la afección sobre la producción de biomasa, determinada a partir del cálculo del coeficiente cinético Y_h, ambos mediante respirometría.

2. Fundamentos

El estudio se ha planteado desde dos puntos de vista: incidencia del ión Manganeso (Mn(II)) como activador enzimático y ver el efecto del Ión Manganeso como desacoplador químico.

2.1. Mn(II) como activador enzimático

El Manganeso (II) es un metal pesado que, en concentraciones traza actúa como activador enzimático al comportarse como un cofactor enzimático. Los cofactores son iones metálicos o moléculas orgánicas que participan junto con las enzimas en la aceleración de reacciones metabólicas. Una de las principales funciones de los cofactores es sufrir las transformaciones químicas necesarias (oxidación y reducción entre otras) para llevar a cabo la catálisis enzimática.

El manganeso es un cofactor de enzimas catalizadoras de reacciones tales como la hidrólisis, hidratación y descarboxilación. La descarboxilación es una reacción metabólica fundamental durante la oxidación de las moléculas orgánicas y clave

Por otra parte, dado que el reactor biológico está compartimentado, la planta puede simular un gran número de procesos biológicos de lecho líquido y lecho sumergido con soporte fijo.

Para la realización del estudio, la planta se ha posicionado en la parcela de la propia depuradora de Beniel (Murcia), siendo alimentada en modo continuo con el influente real de dicha EDAR.



Figura 4. Planta Piloto junto al pretratamiento de la EDAR de Beniel.



Figura 5. Planta Piloto instalada.

4. Planteamiento del estudio

4.1. Configuración de la planta piloto

Tal y como se ha comentado, la planta piloto se situó en el mismo recinto de la EDAR de Beniel, alimentándose con el influente real de dicha depuradora tomado justo a continuación del desbaste y antes del desarenado-desengrasado.

Para llevar a cabo el estudio, la configuración de la planta piloto ha sido adaptada de forma que se está trabajando mediante dos líneas idénticas en paralelo, dotadas de reactor aireado de 1.200L de volumen y decantador secundario cada una, con

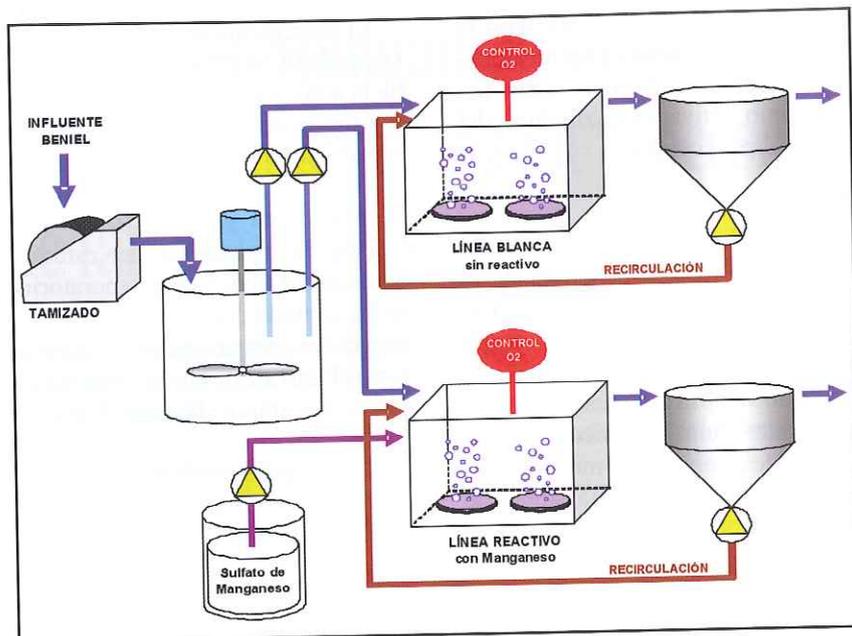


Figura 6. Esquema del sistema de funcionamiento de la planta piloto.

purga y recirculación independientes (Figura 6).

El estudio se ha planteado en modo dinámico, alimentando de forma constante ambas líneas simultáneamente, con un TRH en ambos reactores de 24h.

4.2. Dosificación de reactivo

El reactivo utilizado ha sido Sulfato de Manganeseo ($MnSO_4$) comercial, siendo aplicado en el mismo punto de entrada del influente. La dosis de producto comercial empleada ha sido de 1,573 mg($MnSO_4$)/litro de agua influente (equivalente a 0,51 mgMn(II)/litro).

En uno de los reactores se dosificó de forma continua una concentración constante de reactivo de forma que se pueda observar la evolución del proceso a medida que el Mn (II) se acumula en el fango. El otro se mantuvo sin reactivo, a modo de "blanco".

4.3. Condiciones de trabajo

El TRH, Tiempo de Retención Hidráulico, se mantuvo en torno a 24h, de forma que se cumplieran los datos de proyecto de la EDAR de Beniel.

Respecto a la aireación del sistema, dado que se pretendía que el oxígeno disuelto no fuera un factor limitante, se mantuvo una tasa constante en ambas líneas entre 1,00 y 2,00 ppm de O_2 .

Se realizaron mediciones regulares y simultáneas en ambos reactores, comprobando que la evolución del oxígeno era muy semejante en las dos líneas. En ningún momento se han observado diferencias significativas entre la línea con manganeseo y la que no tenía reactivo.

En lo que se refiere al licor mezcla, la concentración de SSLM en ambas líneas se ha mantenido en torno a 3.000 mg/l (Figura 7).

4.4. Control analítico

Respecto al control analítico, éste se planteó con tomas de muestras diarias y semanales, realizando sobre las mismas los análisis siguientes:

DIARIO:

- Manganeseo en ambos reactores (mgMn/kgSSLM)
 - SSLM de ambos reactores
- SEMANAL:
- Ensayo respirométrico de ambas líneas

- pH, Conductividad, SS, DBO, y DQO influente/efluente

Regularmente se observaron muestras de ambos fangos biológicos mediante microscopio óptico de contraste de fases, con la finalidad de determinar variaciones en la estructura de flóculos o en la fauna protozoaria de ambos procesos.

5. Resultados obtenidos

Tal y como se ha señalado, la planta ha sido configurada de forma que trabajen dos líneas completas (reactor biológico + clarificador) en paralelo, a idénticas condiciones de caudales-TRH, cargas influentes y dosificación de oxígeno. En una de ellas se dosificó Sulfato de Manganeso a una concentración constante de 1,573 mg(MnSO₄)/litro de agua influente, equivalente a 0,51 mgMn(II)/litro.

En todas las gráficas que se presentan, la línea sin manganeso aparecerá nombrada como "blanco" y en color azul, mientras que la línea con reactivo se denominará "manganeso" y se coloreará en rosa.

El ensayo se ha realizado durante un periodo continuado de 24 semanas, desde el 3 de julio de 2008 hasta el 22 de diciembre del mismo año de forma ininterrumpida, con tres fases en cuanto a la dosificación de reactivo.

- Inicialmente, desde el 3 de julio hasta el 3 de octubre, se dosifica Sulfato de Manganeso de forma constante.
- Entre el 3 de octubre y hasta el 3 de noviembre, se detiene la dosificación de reactivo.
- A partir del 3 de noviembre, se reanuda la dosificación de reactivo en la misma dosis que el primer periodo, la cual se mantiene constante hasta la finalización del estudio el 22 de diciembre.

5.1. Dosificación de Manganeso

El estudio se inició dosificando el manganeso (en forma de Sulfato de Manganeso) a razón de 0,51 mgMn(II)/litro.

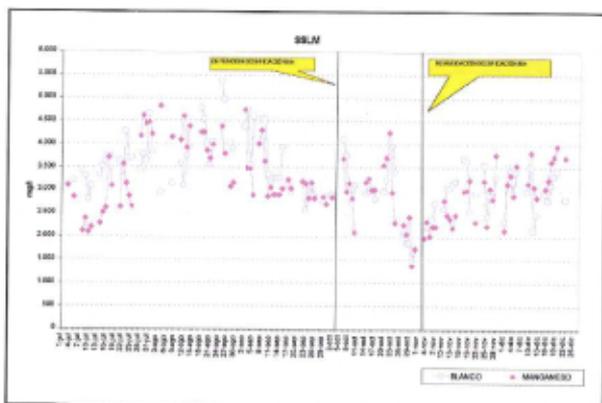


Figura 7. Evolución de los SSUM.

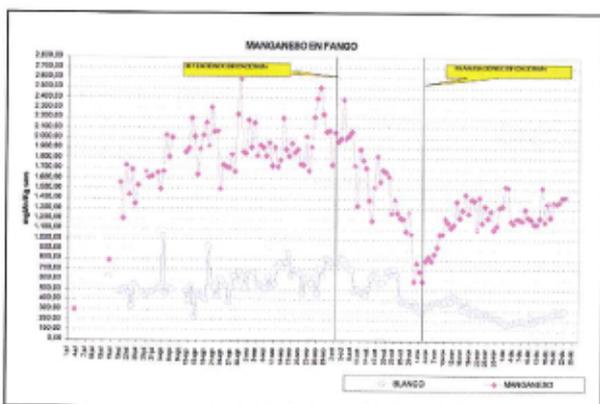


Figura 8. Evolución de la concentración de Mn en fango.

Con dicha dosificación se observó que en las primeras semanas, se daba un fenómeno de acumulación constante en el fango biológico, dándose un incremento paulatino del valor de Mn s.m.s. en el fango hasta alcanzar una concentración en torno a 2000 mgMn/kgFango s.m.s.

A partir de esa concentración, y pese a que la dosificación de reactivo se mantuvo de forma constante, el valor de acumulación del Manganeso en el fango no aumentó (Figura 8).

Dado que, tal y como se verá más adelante, los mejores resultados res-

pecto al incremento de la SOUR y la reducción de la Yh se dieron durante la fase de acumulación de Mn, a partir del 3 de octubre se detiene la dosificación de reactivo con la finalidad de reproducir nuevamente la fase inicial.

Una vez alcanzadas concentraciones de Mn similares a las iniciales, se reanuda la dosificación de Manganeso a partir del 3 de noviembre, manteniéndose constante en 0,51 mgMn(II)/litro hasta la finalización del estudio el 22 de diciembre.

En esta segunda fase (Figura 8) se reproduce nuevamente la fase de

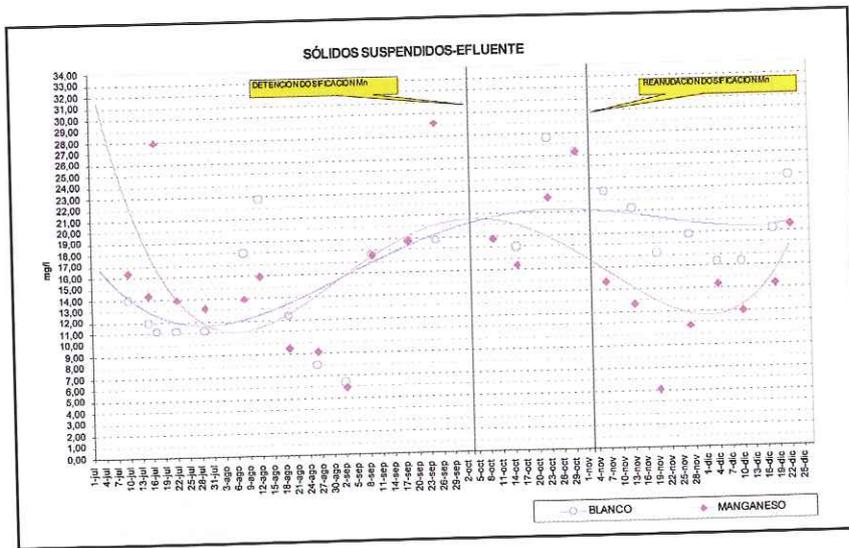


Figura 9. Evolución de los SS de los efluentes.

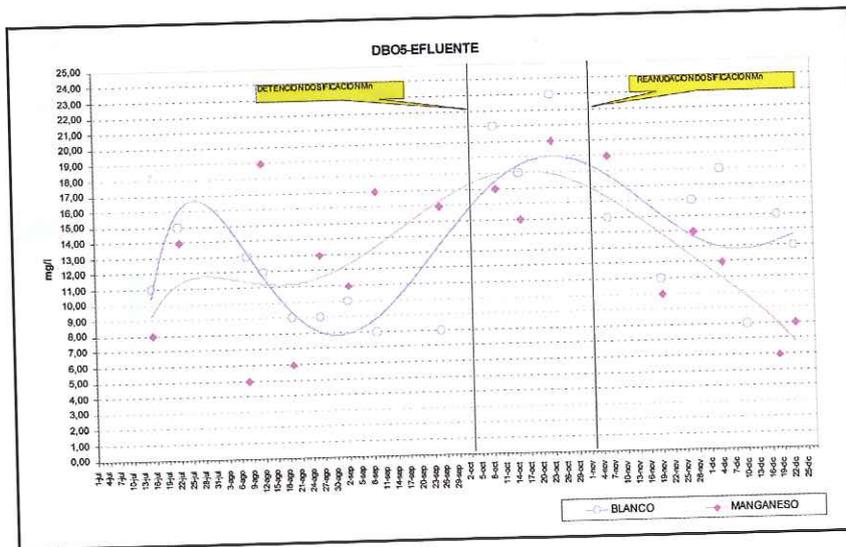


Figura 10. Evolución de la DBO5 de los efluentes.

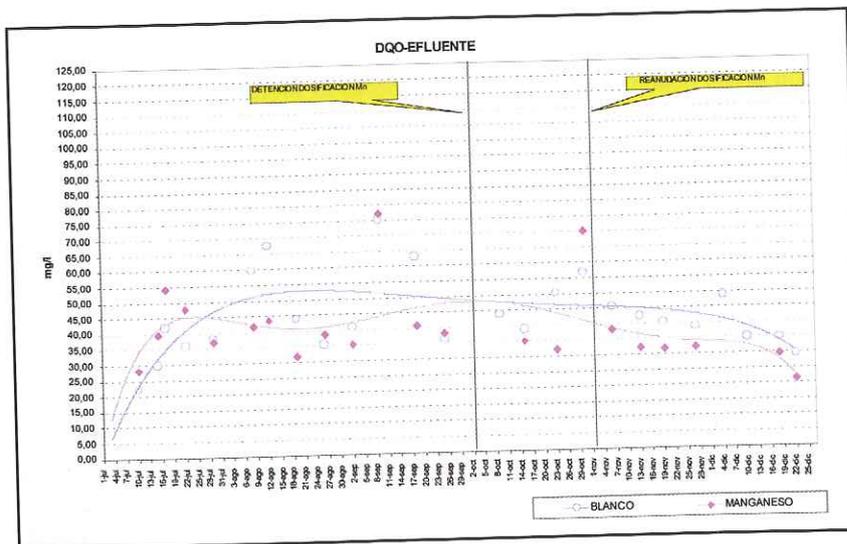


Figura 11. Evolución de la DQO de los efluentes.

acumulación y la fase de estabilización del reactivo en el fango, si bien, los valores alcanzados son sensiblemente inferiores a los del primer periodo. En esta ocasión, el Mn(II) se estabiliza en torno a 1.300 mgMn/kgFango s.m.s.

5.2. Efecto del Manganeso sobre los ss

Durante todo el ensayo, los resultados obtenidos acerca de los sólidos suspendidos no han presentado diferencias achacables a la presencia del manganeso entre las dos líneas. (Figura 9).

En ambos casos, los valores obtenidos (siempre por debajo de los límites del RD 509/96) han sido semejantes, con líneas de tendencia prácticamente iguales.

5.3. Efecto del Manganeso sobre la eliminación de carga (DBO y DBO₅)

En la primera parte del estudio, desde el inicio en la dosificación de manganeso hasta su detención el 3 de octubre se aprecia una sensible mejoría de los valores de DBO₅ de la línea con reactivo frente a la otra. (Figura 10). Sin embargo, al reproducir la fase de acumulación del Mn(II) a partir del 3 de noviembre, este efecto positivo ya no ha sido observado, manteniéndose los resultados de ambas líneas muy semejantes.

En lo que respecta al valor de la DQO (Figura 11), los resultados obtenidos para ambas líneas han sido muy parecidos a lo largo del estudio, sin que se aprecien variaciones significativas en las diferentes fases del mismo.

En todos los casos, los valores obtenidos en ambas líneas y para ambos parámetros han estado siempre por debajo de los límites de la legislación (RD 509/96).

5.4. Efecto del Manganeso sobre el proceso biológico

En lo que se refiere a la afección del manganeso sobre el proceso biológico de los fangos activos, no

se han observado claras diferencias entre los licores mezcla de ambas líneas. En ambos casos, tanto la capacidad de sedimentación del fango, la estructura flocular o la actividad de las bacterias filamentosas han sido muy parecidos en ambos reactores.

Una buena medida de las características del flóculos la da la medida del IVF, Índice Volumétrico de Fangos, el cual nos da un valor de la capacidad de sedimentación del mismo. Tal y como se aprecia en el **Figura 12**, dicho valor ha sido prácticamente idéntico en ambas líneas hasta el final.

Así pues, la capacidad de sedimentación del fango no parece haberse visto afectada por la presencia de manganeso.

Respecto a la estructura flocular, a lo largo de todo el estudio, ésta ha sido semejante en ambas líneas. En

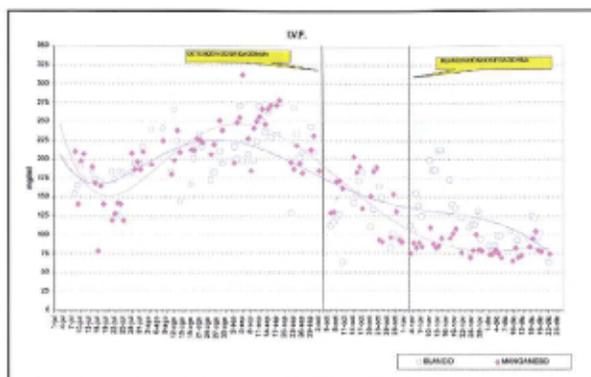


Figura 12. Evolución del Índice Volumétrico de Fangos (IVF).



Figura 13. Estructura flocular. Muestra correspondiente al 24-10-08 (inicio del estudio).



Figura 14. Estructura flocular. Muestra correspondiente al 20-dic-08 (final del estudio).

*Han abundado
los ciliados
sésiles de los
géneros Epistylis,
Opercularia
y Vorticella*

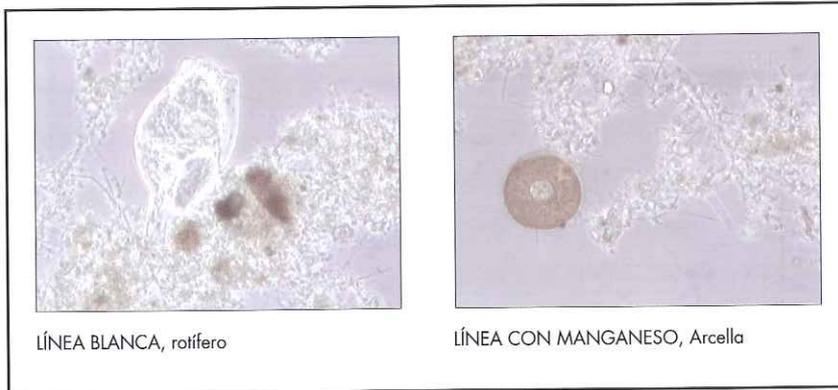
ambos casos se ha tratado de un fango irregular, con un grado de cohesión medio y sin presencia significativa de bacterias filamentosas.

Tal y como se aprecia en las **Figuras 13 y 14**, la estructura flocular es muy semejante en ambas líneas. Así mismo, desde el inicio del estudio, hasta la finalización del mismo, las características han sido prácticamente idénticas.

Respecto a la fauna protozoaria, las especies presentes en el fango tampoco han mostrado grandes diferencias entre ambas líneas ni a lo largo del estudio.

Han abundando como grupos más representativos los ciliados sésiles de los géneros Epistylis, Opercularia y Vorticella, ciliados reptadores como Aspidisca y numerosos ciliados holotricos pre-

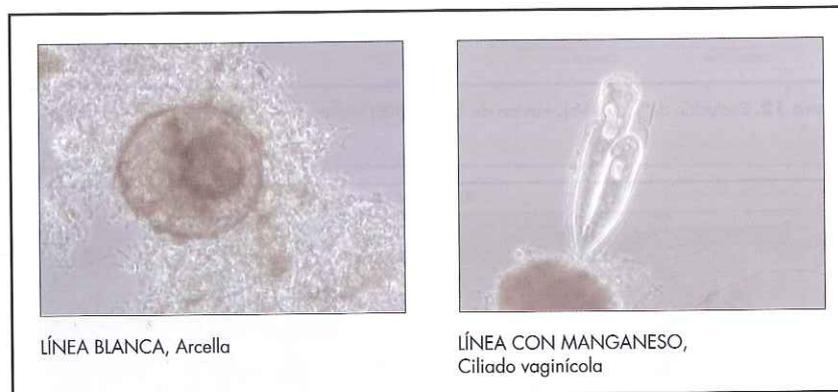
dominando el género Acinertia. Así mismo, los rotíferos de los géneros Philodina y Cephalodella han sido habituales, así como abundantes tecamebas del género Arcella.



LÍNEA BLANCA, rotífero

LÍNEA CON MANGANESO, Arcella

Figura 15. Fotografías de la fauna protozoaria 24-jul-08 (inicio del estudio).



LÍNEA BLANCA, Arcella

LÍNEA CON MANGANESO, Ciliado vaginícola

Figura 16. Fotografías de la fauna protozoaria 5-ago-08.



LÍNEA BLANCA, Ciliado peritrico

LÍNEA CON MANGANESO, Ciliados peritricos

Figura 17. Fotografías de la fauna protozoaria 3-sep-08.



LÍNEA BLANCA, Ciliado peritrico del género Vorticella

LÍNEA CON MANGANESO, Tectameba del gén. Euglypha

Figura 18. Fotografías de la fauna protozoaria 10-oct-08.

Tal y como se aprecia en las Figuras 15 a 20, que muestran algunas fotografías ilustrativas tomadas en ambos fangos a lo largo del estudio, las características y grupos protozoarios han sido muy semejantes.

5.5. Efecto del Manganeso sobre la SOUR

El parámetro de la SOUR (tasa específica de consumo de oxígeno) mide la capacidad de respiración de un fango expresada en $\text{mgO}_2/\text{kgSSVLM}\cdot\text{día}$. La obtención de éste parámetro se ha realizado mediante técnicas respirométricas.

El porcentaje señalado muestra la diferencia de la SOUR de la línea con Manganeso respecto a la SOUR de la línea blanca. Tal y como se puede apreciar, en los dos periodos estudiados se alcanzan tasas máximas de hasta un 54% en el primer periodo y de hasta un 23% en el segundo (Figura 21).

Los resultados obtenidos se muestran en la Figura 22, comparándolos con la concentración de manganeso en el fango. En dicha gráfica se aprecia como los valores de la SOUR de ambos lodos son semejantes inicialmente, aumentando rápidamente la del fango de la línea con reactivo a medida que éste empieza a acumularse en el fango.

Dado que el mayor incremento en la SOUR se produjo durante la fase de acumulación de Mn(II) , el 3 de octubre se cesó en la dosificación de reactivo a efectos de reproducir la fase de acumulación del mismo una vez su concentración en el fango hubiera llegado al mínimo. El reinicio en la dosificación se hizo a partir del 3 de noviembre, llegándose a la fase estacionaria en torno al 15 del mismo mes. En esta ocasión, la fase estacionaria se alcanza a menores valores de concentración de Mn(II) que en la primera ocasión.

Aún así, el incremento en la SOUR se repite nuevamente coincidiendo con la fase de acumulación, volviendo a reducirse al llegar a la fase estacionaria (Figura 23).



Figura 19. Fotografías de la fauna protozoaria 20-nov-06.

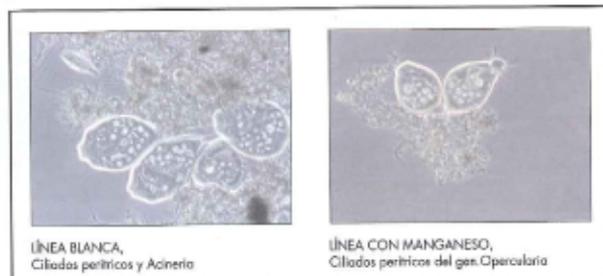


Figura 20. Fotografías de la fauna protozoaria 20-dic-06 [final del estudio].

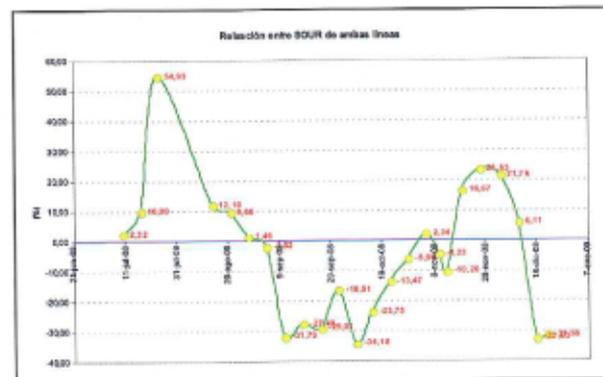


Figura 21. Relación porcentual entre la SOUR de ambas líneas.

Respecto a la reducción en el valor de la SOUR, éste coincide en ambos periodos con la fase de estabilización de Mn(II) en el lodo, si bien en el segundo es menos acusada (Figura 24).

5.6. Efecto del Manganeso sobre la Yh

El coeficiente Yh da el valor de producción de biomasa por parte de las bacterias heterótrofas implicadas en el proceso.

El porcentaje señalado en la columna "Relación (%)" muestra la diferencia del coeficiente Yh de la línea con Manganeso respecto al de la línea blanca.

Tal y como se ve en el Figura 25, en los dos periodos estudiados se alcanzan tasas mínimas de Yh de hasta un 17,91% en el primer periodo (1 julio a 3 octubre) y de hasta un 17,91% en el segundo (3 noviembre a 22 diciembre), lo que se traduce en una importante reducción en la producción de biomasa.

Sin embargo, hay que resaltar que esta reducción ocurre tan solo en la fase de acumulación de reactivo en el lodo.

La reducción en el valor de la sour coincide con la fase de estabilización de Mn(II) en el lodo

Los resultados obtenidos se muestran en la Figura 26 comparándolos con la concentración de manganeso en el fango.

Se puede apreciar de forma más visual cómo la reducción de la Yh coincide en ambos periodos con la fase de acumulación del Mn(II) en el lodo (Figura 27).

Esta reducción (que se traduciría en una disminución en la producción de fango) desaparece al alcanzarse la fase de estabilización del reactivo en el lodo.

En el segundo periodo de dosificación de reactivo, los valores de reducción de la Yh de las líneas con manganeso respecto a la línea blanca son algo menores. No obstante llega a haber una diferencia superior al 17%.

En ambos casos, la máxima reducción del Yh coincide con la fase de acumulación del manganeso, igualándose con la línea blanca cuando la concentración de reactivo se estabiliza en el fango.

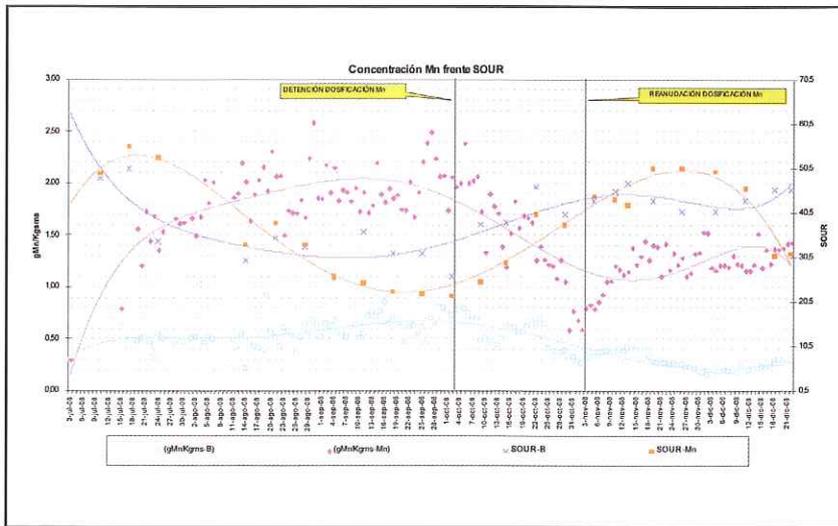


Figura 22. Evolución SOUR.

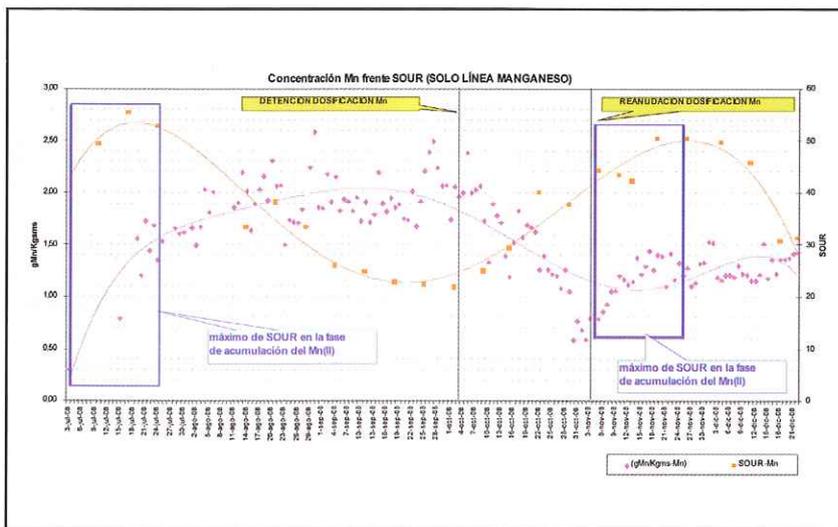


Figura 23. Valores máximos de la SOUR.

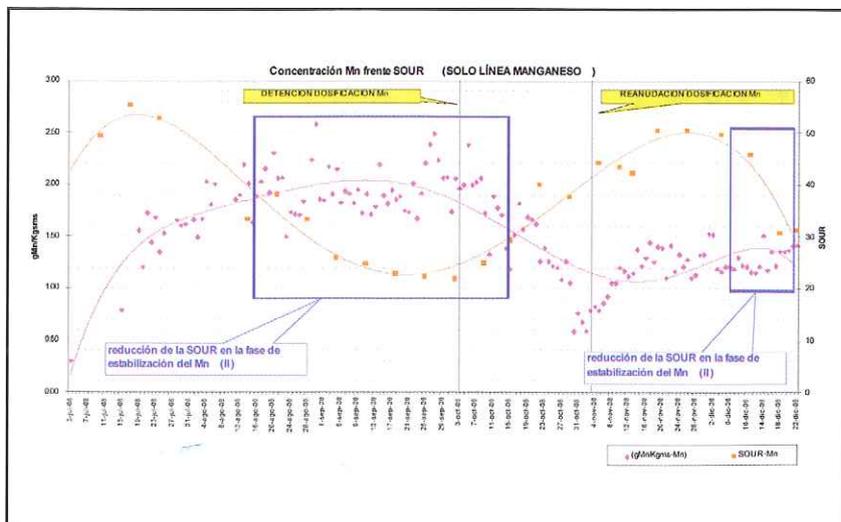
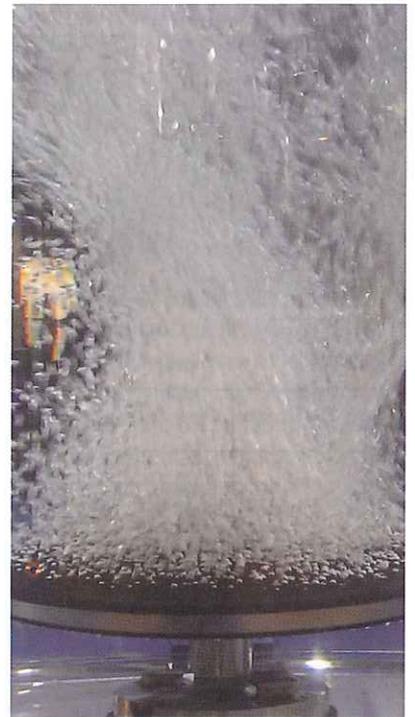


Figura 24. Valores mínimos de la SOUR.



Tanque para fangos activos | Fotografía: RBI-TA.

6. Conclusiones

Del trabajo realizado se extraen las conclusiones siguientes:

- Con las dosis de Mn(II) a las que se ha trabajado a nivel piloto, el reactivo se acumula en el fango hasta alcanzar un valor en torno a 2.000 mg/kgMS en la primera fase y 1.300 mg/kgMS en la segunda. Una vez alcanzados esos valores, la concentración de reactivo se estabiliza.
- La actividad del proceso biológico no se ve afectada por la presencia del Mn(II) en el fango a las dosis en las que se ha trabajado durante el pilotaje, así como con las concentraciones alcanzadas en el fango durante el estudio.
- La mayor influencia del Mn(II) sobre la SOUR y la Yh se observa en las primeras tres o cuatro semanas, durante la fase de acumulación del reactivo en el fango. Su influencia se ralentiza una vez se alcanza la fase estacionaria.
- En lo que se refiere a la SOUR (Tasa de respiración específica del fango), coincidiendo con la fase de acumulación del Mn(II) se

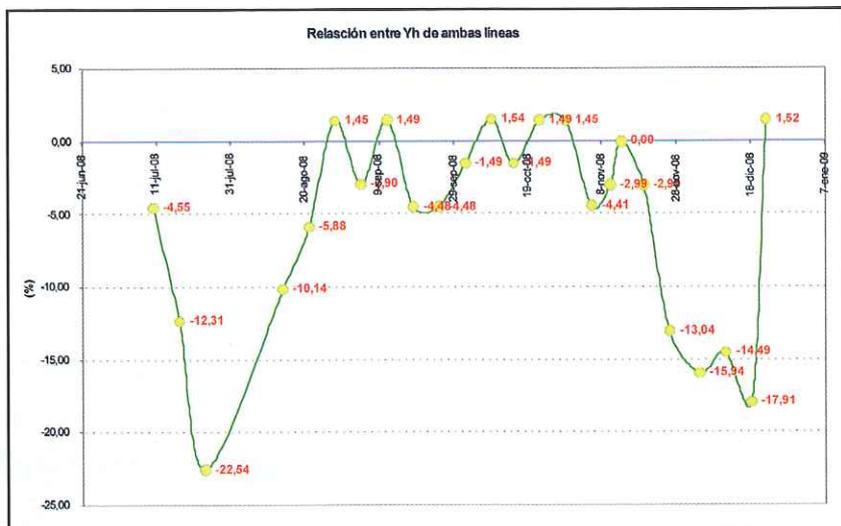
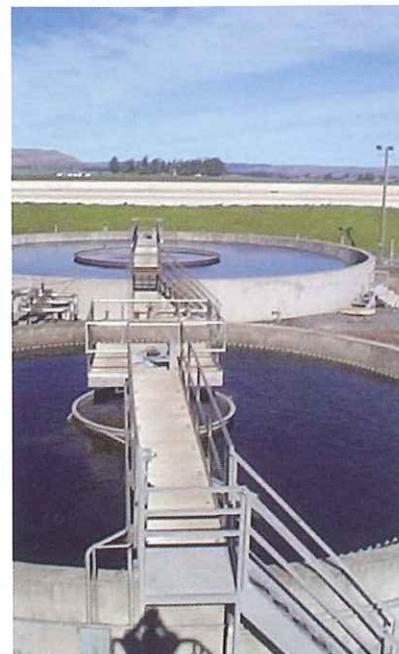


Figura 25. Relación porcentual entre la Yh de ambas líneas.



En la planta piloto, los ciclos de funcionamiento para conseguir el máximo incremento SOUR serían de tres a cuatro semanas | Fotografía: RBI-TA.

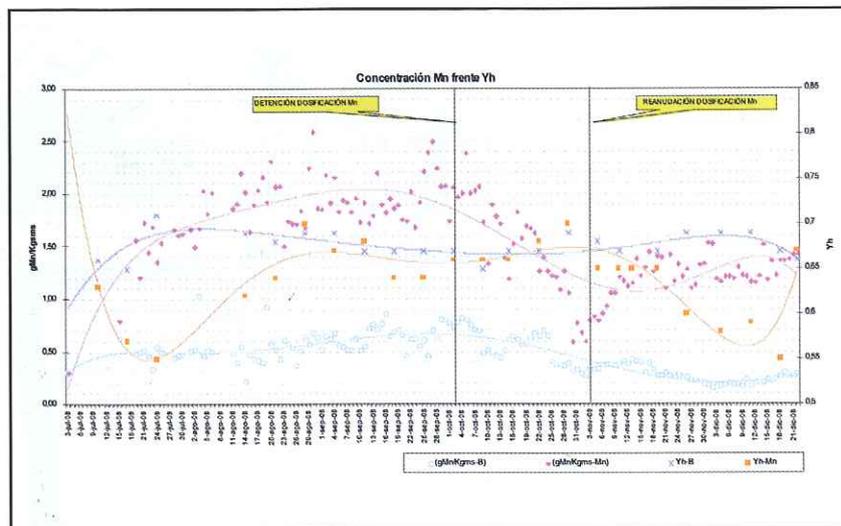


Figura 26. Evolución SOUR.

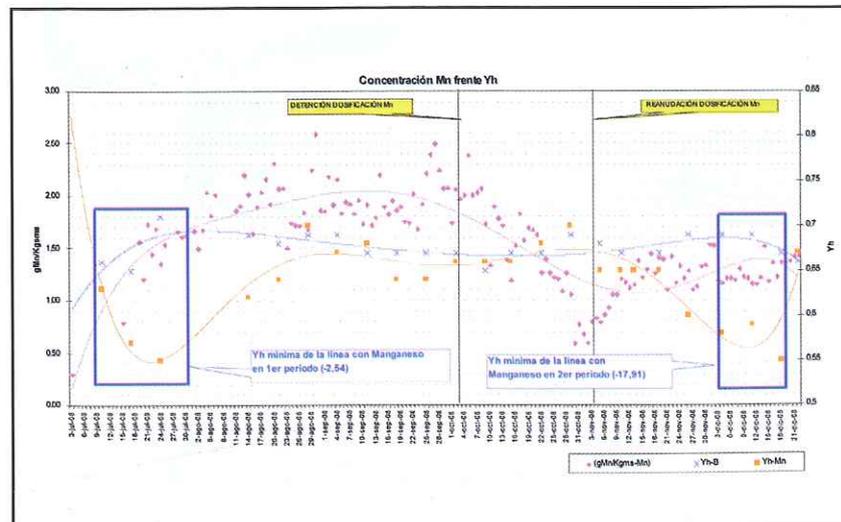


Figura 27. Valores mínimos del coeficiente Yh.

aprecia un significativo incremento de este valor en la línea con reactivo respecto a la línea blanca. Este hecho significa una mejora de la capacidad respiratoria del fango biológico coincidiendo con la fase de acumulación del reactivo.

- Respecto a la Yh (producción de biomasa), también se alcanzan los valores mínimos coincidiendo con la fase de acumulación del Mn(II) en el fango, de hasta un -22,54% en la primera fase y hasta un -17,91% en la segunda. Estos valores se traducirían como una reducción en la producción de fango durante la fase de acumulación de Mn(II).
- En base a los resultados obtenidos durante el estudio con planta piloto, los ciclos de funcionamiento para conseguir el máximo incremento de SOUR y la mínima YH (mínima producción de lodos) serían de tres a cuatro semanas. Éste parece ser el tiempo necesario hasta llegar a la fase de estabilización del reactivo, en la que su efecto parece ser mínimo.