



Análisis de los efectos de una elevada DQO lentamente biodegradable por medio de la Respirometría y Bioindicación microscópica en el fango activo de una EDAR urbana

J. Emilio Serrano Soliveres

Ingeniero T. Industrial - Administrador solidario de Surcis, S.L.

Surcis, S.L. – Encarnació, 123 – 08024 Barcelona

Email: eserrano@surcis.com – Tel. 652 893 255

www.surcis.com

Elvira Reina Salgado

Licenciada en Farmacia – Responsable de Los Interlaboratorio del Grupo Bioindicación Sevilla (GBS)

Asociación Grupo Bioindicación Sevilla (GBS) - Apto. Correos: 7279 - 41080 - Sevilla

Email: ereina@asociaciongbs.com – Tel. 677869407

www.bibliotecagbs.com

El concepto de la DQO lentamente biodegradable se debe aplicar exclusivamente a la fracción de la DQO que se degrada muy lentamente.

Normalmente el agua residual que acomete una EDAR urbana suele incluir un porcentaje de DQO lentamente biodegradable que se sitúa entre el 35 y 65% de la DQO total, pero cuando este porcentaje se dispara a valores por encima del rango habitual, normalmente es debido a la presencia de un vertido industrial (farmacéutica, papelera, tenería, aceitera, alimenticia, etc.) que puede perjudicar al proceso y que se le suele denominar DQO recalcitrante.

Los efectos de esta elevada DQO lentamente biodegradable muchas veces derivan en el efecto bulking y foaming con presencia de bacterias filamentosas específicas y con una floculación dispersa en el fango. Por esta razón, a menudo, estos efectos son erróneamente calificados como efecto tóxico cuando lo más probable es que no llega a serlo.

La Respirometría BM y Bioindicación microscópica se erigen como una eficaz combinación para analizar esta situación de forma precisa y sacar las conclusiones que pueden permitir dar paso a la toma de medidas correctoras que pueden paliar los efectos perjudiciales que se han provocado.

Analysis of a high slowly biodegradable COD through BM Respirometry and microscopic Bioindication in the activated sludge of a urban WWTP

The concept of slowly biodegradable COD is only applied to the COD fraction that it is very slowly oxidized by the bacteria of the activated sludge.

Normally the wastewater entering in a municipal WWTP tends to include a percentage of slowly biodegradable COD in the range of 35 to 65% of the total COD; but when this percentage goes up of the habitual range normally it is due to the presence of any industrial waste (pharmaceutical, pulp, tannery, oil, grease, etc.) that can adversely affect the process and which is usually called recalcitrant COD.

The effects of this high slowly biodegradable COD often are the responsible of specific bulking and foaming, accompanied by specific filamentous bacteria and a sludge of dispersed flocculation. For this reason, often these effects are erroneously classified as toxicity, when in fact chances are it is not.

BM Respirometry and microscopic Bioindication stand as an effective combination to analyze this situation accurately and figure out some conclusions that could afford to take the corrective actions that can alleviate the harmful effects from it.

Key words

Respirometry, Bioindication, slowly biodegradable , recalcitrant, activated sludge,

1. Introducción

Explicado de forma llana: el daño que infringe un elevado porcentaje de DQO lentamente biodegradable a la biomasa del fango activo proviene principalmente del acusado empobrecimiento de la calidad de alimentación de materia orgánica que los microorganismos perciben.

Hay que tener en cuenta que las bacterias responsables de la metabolización del sustrato a degradar necesitan un tipo de DQO soluble fácilmente asimilable para su crecimiento y, cuando el perfil de la DQO se caracteriza por la presencia de una elevada fracción lentamente biodegradable, pueden no llegar a satisfacer sus necesidades metabólicas; de este modo, su reproducción y capacidad de floculación se ven sensiblemente mermadas.

En el caso de que la planta incluya el proceso biológico de nitrificación-desnitrificación, por tratarse de la misma familia de biomasa heterótrofa, el perjuicio suele ser más acusado en el proceso anóxico de la desnitrificación; en donde además puede suceder que el porcentaje de DQO soluble rápidamente biodegradable necesario para la desnitrificación sea excesivamente pequeño.

Tal y como se mencionó, uno de los métodos más eficaces para analizar esta compleja situación en que un proceso de fangos activos se puede encontrar es la Respirometría y la Bioindicación microscópica. Sin embargo, también es importante remarcar que la eficacia de los ensayos respirométricos y conclusiones va a depender en gran medida del tipo de respirometría utilizada, ya que el respirómetro a utilizar debe tener la capacidad de poder determinar el coeficiente estequiométrico de crecimiento de la biomasa, medir de forma automática las principales fracciones de la DQO en un tiempo relativamente corto, así como la velocidad específica de remoción de la DQO.

En el presente artículo se describe un protocolo basado en una serie de ensayos de Respirometría de forma relativamente rápida, que pueden demostrar la presencia de la DQO lentamente biodegradable y sus consecuencias, seguido de una análisis de bioindicación que confirma y complementa las conclusiones del análisis respirométrico.

2. Respirometría BM

2.1. Respirómetros BM

Tal y como hemos comentado anteriormente, el análisis de este tipo de situación se debe realizar por medio de la Respirometría.

Los analizadores que utilizan la Respirometría BM, fabricados por Surcis, S.L. son sistemas exclusivos que, en la programación previa del ensayo, durante la ejecución del mismo e incluso una vez finalizado, permiten un amplio programa de posibilidades para su adaptación a distintas condiciones de pH, Temperatura, Oxígeno, relación muestra / fango..

En la configuración se pueden seleccionar tres modos distintos de trabajo: OUR, OUR Cíclico y R (**Tabla 1**) Cada modo de trabajo desarrolla un paquete de medidas específico y, dependiendo de la aplicación a acometer se seleccionaría el modo correspondiente.

Tabla 1. Modos de trabajo y medidas automáticas en la Respirimetría BM

		Tipos de ensayo	Medidas automáticas	Descripción
MODOS DE TRABAJO	OUR		OUR (mg O ₂ /L.h)	Tasa de respiración global
			SOUR (mg O ₂ /VSS.h)	OUR específico
	OUR cíclico		OUR (mg O ₂ /L.h)	Cadena de medidas secuenciales de OUR
			SOUR (mg O ₂ /VSS.h)	Cadena de medidas secuenciales de OUR
	R		Rs (mg O ₂ /L.h)	Medida continuada de la tasa de respiración exógena bajo condiciones de oxigenación ininterrumpida
			OC (mg O ₂ /L)	Consumo de oxígeno en la oxidación de un sustrato
			DQOb (mg/L)	DQO biodegradable (soluble o total)
			q _H (mg DQO/mgSS.d)	Tasa de remoción específica de la DQOb
			U (mg DQO/L.h)	Tasa de remoción de la DQOb

2.2. La importancia del coeficiente estequiométrico Y_H

Este coeficiente estequiométrico referido a la demanda de oxígeno, representa el tanto por uno de la DQO biodegradable destinada al crecimiento de la biomasa heterótrofa.

El análisis del Y_H , tal y como se verá en el protocolo de trabajo, representa un parámetro fundamental a la hora de valorar la salud de la biomasa de un fango activo a través de su capacidad de crecimiento.

La Respirimetría BM determina el valor de Y_H a partir de la medida automática del oxígeno consumido (OC) de un sustrato soluble con un valor conocido de su DQO.

2.3. Protocolo de trabajo

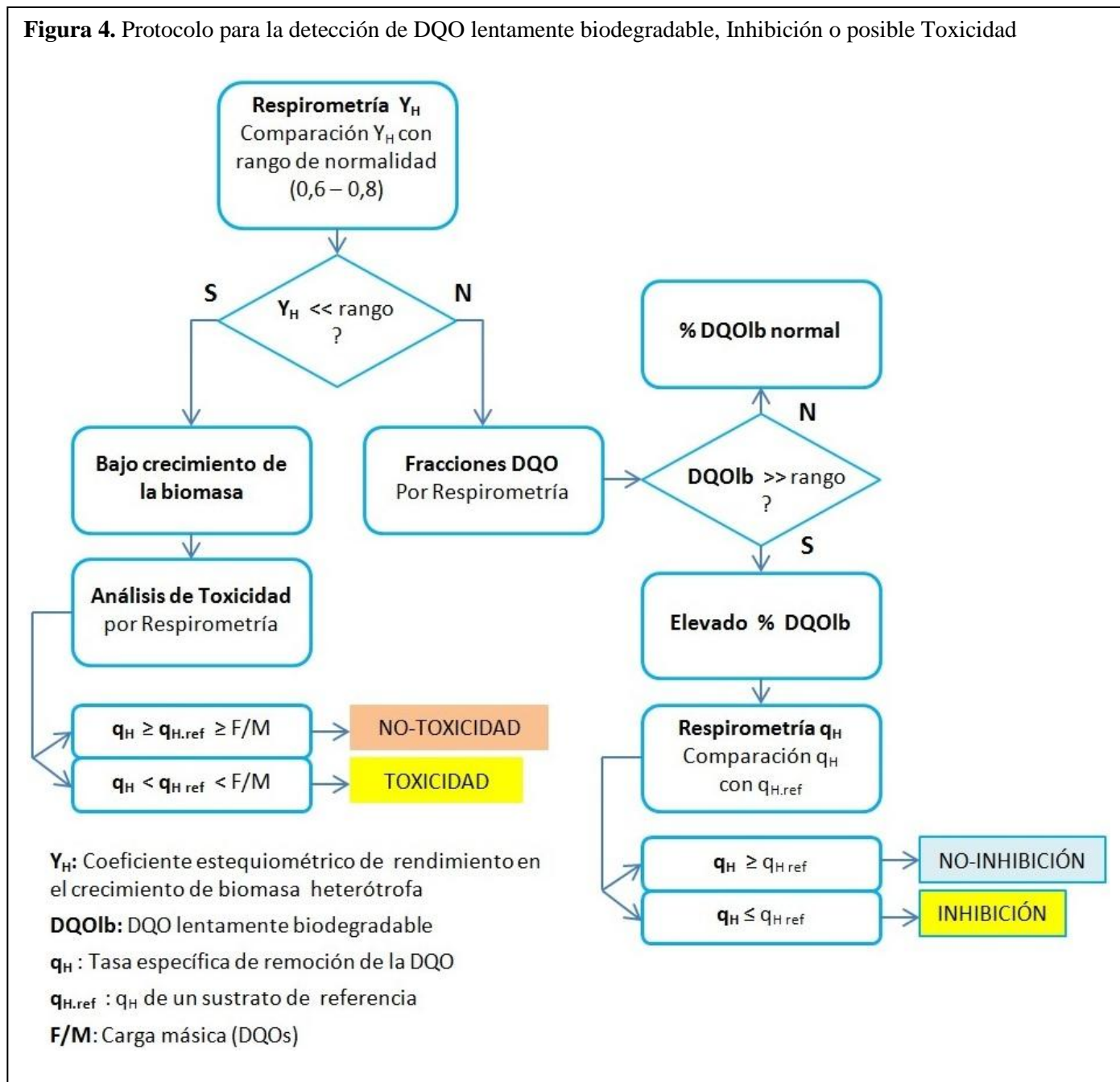
Dependiendo de las posibles variantes del caso a analizar, las posibilidades de confección de un protocolo de trabajo pueden ser varias. Aquí, nos hemos inclinado hacia un protocolo básico no muy complicado que prácticamente se puede llevar a cabo con no más de tres o cuatro ensayos de respirometría relativamente cortos (**Figura 4**).

En este protocolo comenzamos por la determinación del coeficiente estequiométrico Y_H a partir de una sustrato soluble de referencia de DQO conocida.

Al analizar la Y_H , comparamos el resultado obtenido con su rango de normalidad con el fin de discernir si la biomasa puede tener o no un crecimiento normal cuando se le alimenta con una DQO soluble de referencia conocida.

En el caso de que el valor del Y_H se sitúe sensiblemente por debajo del rango, podemos asegurar que el crecimiento de la biomasa es bajo, Entonces, debemos confirmar que realmente no nos encontramos ante una toxicidad y para ello seguiríamos un procedimiento basado en el análisis de la velocidad de utilización de la DQO de referencia vs la F/M actual y la velocidad de utilización del agua vs la de referencia.

Figura 4. Protocolo para la detección de DQO lentamente biodegradable, Inhibición o posible Toxicidad



Cuando el Y_H se sitúa en rango, independientemente del estado físico del fango, podemos afirmar que no existe toxicidad alguna en el mismo y pasaríamos a determinar las fracciones más representativas de la DQO: DQO biodegradable total, DQO soluble rápidamente biodegradable, DQO lentamente biodegradable y DQO inerte (refractaria: no-degradable)

Con un porcentaje de DQOlb por encima de su rango de normalidad se confirmaría la delicada situación en el proceso y, por medio del análisis de la velocidad de remoción de la DQO comparada con la velocidad experimental por un sustrato de referencia en el fango activo, pasaría a ver si esta elevada DQO lentamente biodegradable está provocando una sensible reducción de la actividad biológica en el proceso (inhibición) o no.

3. Caso de estudio: elevado porcentaje de DQO lentamente biodegradable y deterioro del fango

Este estudio proviene de la serie de trabajos que la empresa Surcis realiza periódicamente dentro del programa anual de Inter-laboratorios organizado por la Asociación GBS

Se trata de un caso en donde se va a ver perfectamente la presencia de una DQO lentamente biodegradable que por su naturaleza (grasas) y por el daño infringido al proceso normal de floculación del fango se puede calificar como recalcitrante.

Los datos más representativos de este proceso de fangos activos se exponen en la siguiente tabla.

Tabla 2. Datos más representativos para el estudio

Parámetro (valor medio)	Modo / Valor
Tipo de proceso	4 balsas paralelas con turbinas. Flujo pistón
Nitrificación	No
Zona anóxica	37% - sólo agitación para evitar sedimentación
Temperatura actual media	15 °C
DQO media de entrada	444 mg/L
MLSS / MLVSS	1800 mg/L / 1422 mg/L
Θ media: Edad del Fango (d)	5 d
IVF (mg/l) media	160 mg/l
Oxígeno Disuelto en biológico	3 ppm (al final de la balsa)
Grasas - Aceites	Sí
Foaming	Sí - Color marrón

3.1. Respirometría

3.1.1. Coeficiente estequiométrico del rendimiento en el crecimiento de biomasa heterótrofa

La Y_H se determina mediante un ensayo de respirometría (**Figura5**) utilizando una solución estándar de acetato sódico de 300 mg/l de DQO (DQO_{ac}) y fango activo libre de sustrato. En nuestro caso se utilizó fango de recirculación en respiración endógena preparado para el caso.

Figura 5. Respirogramas simultáneos de tasa de respiración - oxígeno consumido para la determinación del coeficiente Y_H

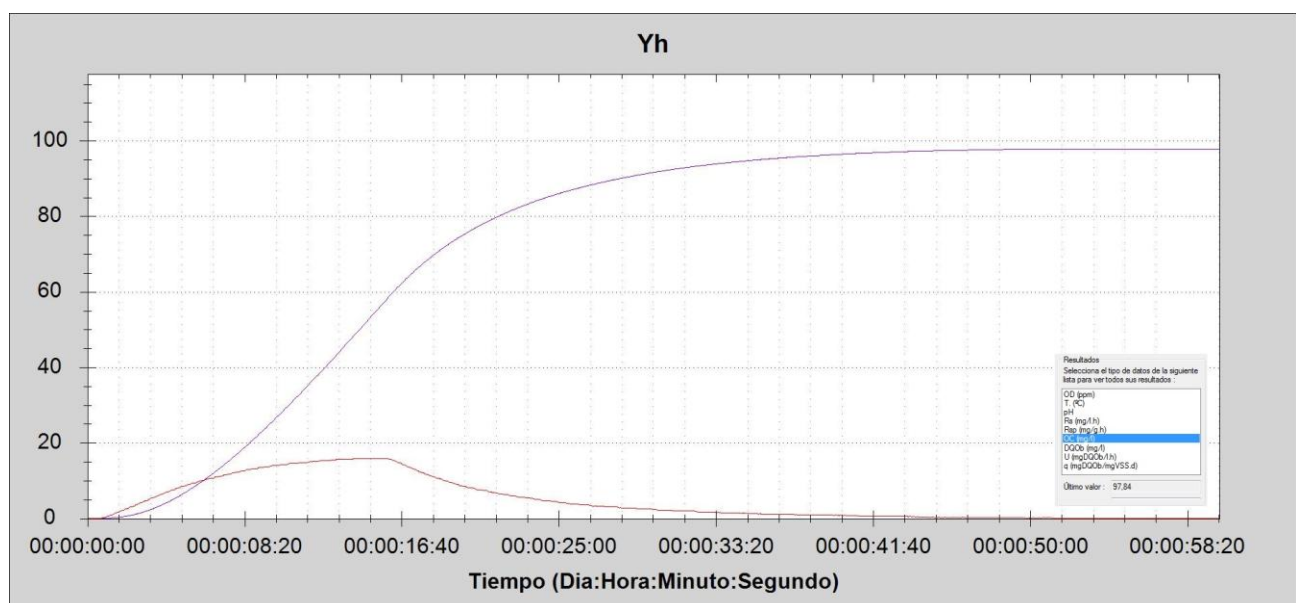


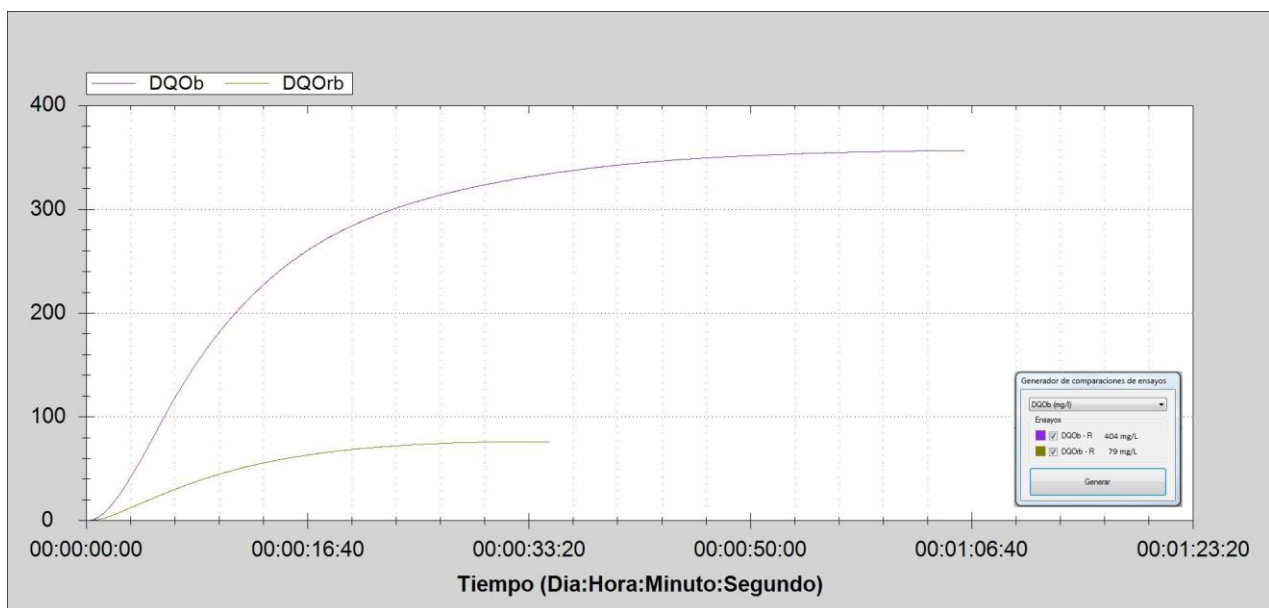
Tabla 3. Resultados de los parámetros para el cálculo de la Y_H

Parámetro	Descripción	Cálculo	Valor
OC	Oxígeno consumido	Automático	98 mg/L
Y_H	Coefficiente de rendimiento	$1 - OC/DQO_{ac}$	0,67 mg mgO_2 /mgDQO

El valor de la Y_H (**Tabla 3**) está en el rango de normalidad (0,6 – 0,8). Esto quiere decir que la reproducción de la biomasa es normal y confirma que la biomasa activa no se encuentra afectada por toxicidad alguna.

3.1.2. Fraccionamiento de la DQO

Por medio de dos ensayos R determinamos la DQO biodegradable y DQO rápidamente biodegradable (DQOrb) utilizando fango activo en respiración endógena y muestras de agua residual influente a reactor biológico sin filtrar y soluble (**Figura 6**). Desde sus resultados se determinan el resto de fracciones de la DQO más representativas y su porcentaje en la DQO (**Tabla 4**)

Figura 6. Superposición de respirogramas DQOb y DQOrb desde sus respectivos ensayos de Respirometría.**Tabla 4.** Resultados del fraccionamiento de la DQO

Fracción de la DQO	Descripción	Valor	% en DQO total
DQOb	DQO biodegradable	404 mg/L	91 %
DQOrb	DQO rápidamente biodegradable	79 mg/L	17 %
DQOlb	DQO lentamente biodegradable	325 mg/L	74 %
DQOi	DQO inerte	40 mg/L	9 %

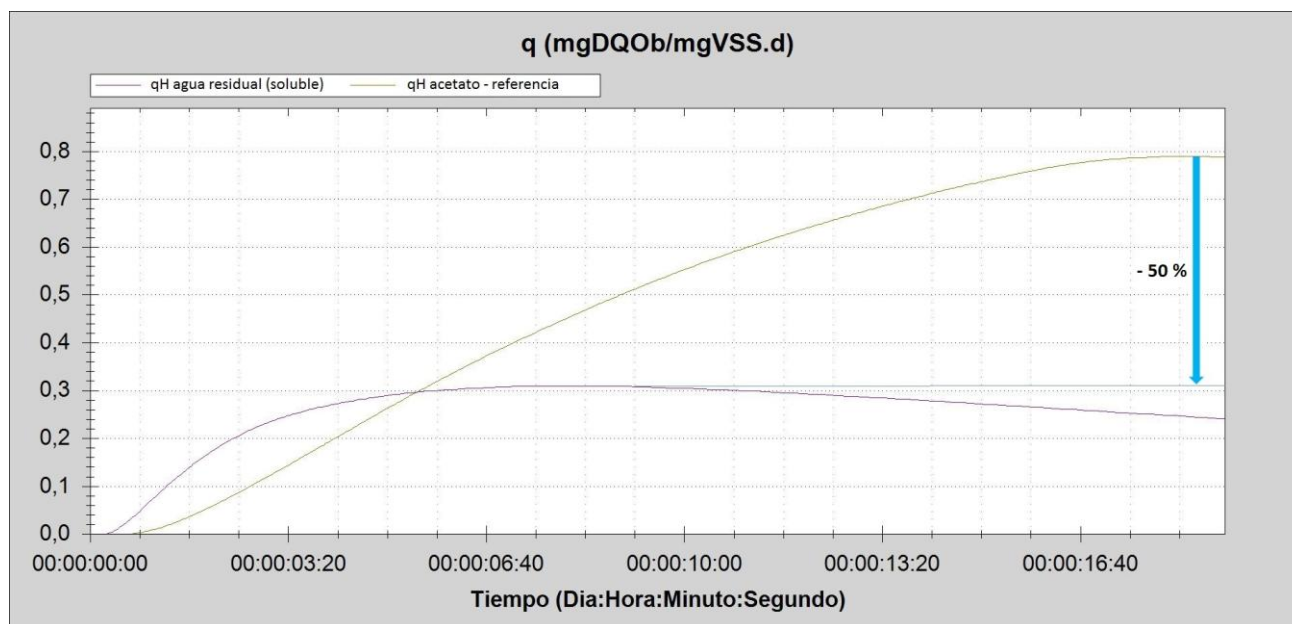
El 74 % de DQOlb en la DQO total se sitúa por encima del rango habitual en aguas residuales urbanas (40 – 65 % de la DQO) En este caso, este elevado valor de DQO lentamente biodegradable proviene con toda probabilidad de la presencia de grasas en el proceso..

3.1.3. Análisis de la Inhibición por comparación de la tasa de utilización máxima de la DQO del agua residual con la de la DQO de un sustrato estándar

Siguiendo el protocolo de trabajo, pasamos a determinar la tasa específica de utilización o remoción de la DQO (q_H) que nos indica la velocidad con la que la DQO biodegradable está siendo eliminada referida a los SSLM.

Con el fin analizar y valorar esta velocidad de degradación de la DQO, se llevan a cabo dos ensayos R dinámicos con una misma carga másica y condiciones: uno con agua residual y el de referencia con acetato sódico.

Figura 7. Superposición de respirogramas q_H para la valoración de la inhibición.



En la superposición de los respirogramas de las tasas de utilización de sustrato, se observa un descenso del 50% de la q_H máxima desarrollada por el agua residual respecto a la del compuesto estándar de referencia (acetato sódico). Por esta razón, se confirma que la causa de la baja actividad y ralentización de la degradación de la DQO proviene del agua residual y no de la biomasa del fango activo. Así mismo, se deduce que la baja actividad biológica que desarrolla el fango ante el agua residual es debida al elevado porcentaje de DQOlb, que sin duda proviene de la elevada concentración de aceites en la misma.

Por otro lado, el elevado valor de la q_H de referencia, cuyo valor es superior a la carga másica actual, sigue confirmando que el problema proviene de la naturaleza del agua residual. Ello nos dice que, aunque el fango presente un estado de flóculo disperso, la biomasa puede desarrollar una buena actividad biológica frente a otro tipo de sustrato y tiene potencial suficiente para su recuperación.

3.1.4. Conclusiones del estudio respirométrico

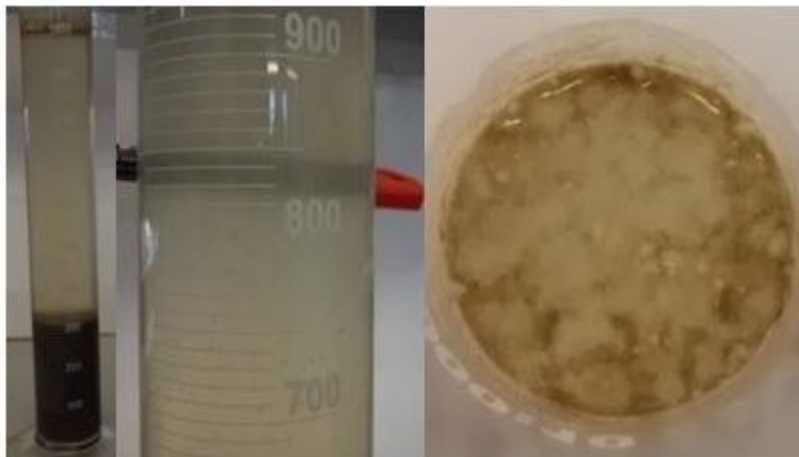
1. El valor normal de Y_H (0,67) y la buena respuesta del fango activo al compuesto estándar de referencia (acetato sódico) nos confirma que el fango no se encuentra bajo efectos tóxicos..
2. Se detecta una elevada fracción de DQO lentamente biodegradable (DQOlb) que por su naturaleza (grasas) puede considerarse como recalcitrante.
3. La inhibición detectada en esta situación llega al 50 % cuando se compara la actividad del agua residual vs la de un compuesto estándar bajo las mismas condiciones.
4. Las causas de la baja actividad biológica frente al agua residual y foaming residen en los siguientes puntos:
 - Elevado porcentaje de DQO lentamente biodegradable de naturaleza recalcitrante.
 - Relativamente bajo porcentaje de DQO soluble biodegradable.
 - La combinación de un elevado porcentaje de DQO recalcitrante con un bajo porcentaje de DQO soluble biodegradable trae como consecuencia una acusada reducción de la carga másica efectiva de sustrato asimilable por los microorganismos.
 - En las condiciones actuales, la zona anóxica de agitación perjudica la oxigenación de la biomasa.

3.2. Bioindicación

3.2.1. Valoración macroscópica

En general nos encontramos ante un fango con unas características macroscópicas mediocres, con una acusada problemática de clarificado deficiente. Además presenta espumas, burbujas y una ligera capa cerosa en superficie.

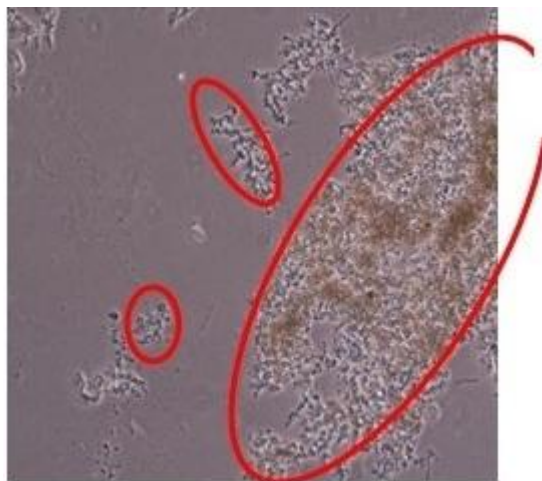
Figura 8. Valoración de las características macroscópicas del fango a los 30 minutos. Sedimentabilidad media, turbidez media, presencia de espumas y capa cerosa en superficie.



Con la observación microscópica, se constata que la alta cantidad de bacterias libres y la importante presencia de microflóculos son los causantes de la elevada turbidez.

Estos microfloculos son de muy diversos tamaño (Figura , y esta diversidad pone de manifiesto los efectos negativos que provocan la presencia de bacterias filamentosas presentes en el fango activo que provocan su disgregación y escasa compactación.

Figura 9. Valoración de las características microscópicas del fango. Tamaño de los flóculos.



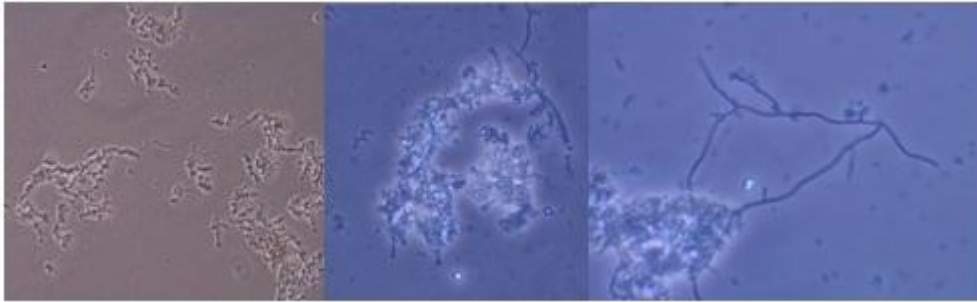
3.2.2. Componente biótico:

Filamentos: La dominancia de Nocardiformes define una situación de foaming controlado. Entre los filamentos secundarios se ha identificado *Nostocoida limícola* y el morfotipo 021N.

Otros organismos detectados en menor concentración han sido: T1701, *Thiothrix*, T1851, *Streptococcus*, *Haliscomenobacter hydrossis*, Hongos, *Beggiatoa*, T0041/0675, *Flexibacter* y T0961.

En general, la comunidad de organismos filamentosos presentes comparte unas pautas de desarrollo comunes que están vinculadas con deficiencia nutricional, niveles limitados de oxígeno y sobre todo con bajas cargas másicas (lo cual coincide con el análisis respirométrico)

Fig 10. Filamento mayoritario. *Nocardiformes*. In vivo, contraste de fases, 100x, 200x y 1000x.

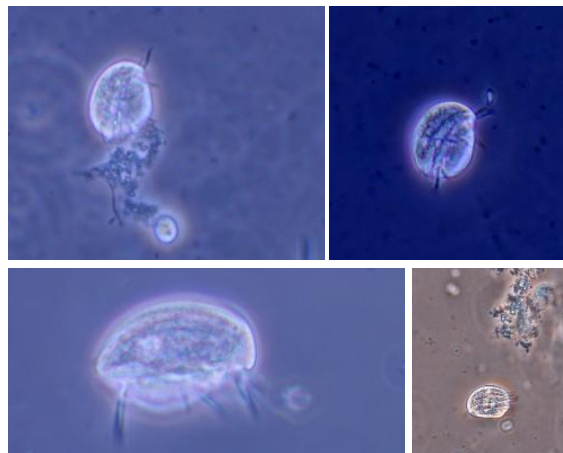


El desarrollo de las bacterias filamentosas está asociado fundamentalmente al flóculo, aunque aparecen también algunos fragmentos en los espacios interfloculares. Estas especies se encuentran en una abundancia relativa de 4 (de 5-20 filamentos por flóculo), que sin ser excesivamente alto, el papel predominante de los Nocardiformes genera la disgregación flocular.

3.2.3. Protistas

El grupo dominante en este fango activo es el de los bacterívoros reptantes, con un único representante *Aspidisca cicada*, organismo que se desarrolla en una gama amplia de condiciones ambientales.

Fig 11. *Aspidisca cicada*, In vivo, contraste de fases, 100x, 200x y 400x.



3.2.3. Conclusiones de la Bioindicación

1. En general estamos ante un fango con un claro problema de desfloculación, debido a la presencia de filamentosas y del que mediante estrictos controles operacionales se obtiene calidad de agua de salida dentro de los parámetros legalmente establecido.
2. Tras solicitar información sobre la explotación del sistema a la EDAR, se aprecia que es destacable la alta fracción lentamente biodegradable que presenta el influente, lo que lleva a una situación de deficiencia nutricional y de déficit de aireación. Tras consultar a los gestores de la instalación refieren la reciente llegada a planta de aguas ricas en grasas, que sin duda son las responsables de la situación actual del sistema de fangos activos.

4. Propuesta de solución a la situación actual

La presencia de una DQO lentamente biodegradable de naturaleza recalcitrante trae consigo la lógica consecuencia de una baja carga másica de la DQO soluble biodegradable efectiva. De hecho, tanto el fraccionamiento de la DQO por Respirimetría BM como la comunidad de organismos filamentosos detectados en la Bioindicación demuestran claramente este hecho. En otras palabras, los microorganismos están faltos de alimento. Por lo tanto, es del todo lógico que para paliar esta situación se deba recurrir a lo siguiente:

1. A ser posible, reducir o eliminar las grasas del agua residual que son las causantes directas de la DQO lentamente biodegradable.
2. De forma temporal subir la carga másica global, bajando progresivamente la edad del fango. Ello puede traer consigo una reducción momentánea del rendimiento del proceso. Pero en realidad se trata de recuperar la salud de los microorganismos; y tan pronto ello ocurra, se podrá volver a los parámetros operativos normales. En principio el incremento de carga másica de la DQO soluble debería situarse a un valor equivalente que compense la inhibición que el proceso está sufriendo. Según bibliografía relacionada con el tema, son varios los autores que confirman esta medida correctora de bajar la edad del fango ante este tipo de situación.

Bibliografía

- [1] Michael Richard, Ph.D., The Sear-Brown Group, Fort Collins, CO Corporate Office: Rochester, NY
Practical Control Methods for Activated Sludge Bulking and Foaming
- [2] Álvaro Huete Chávez, Universidad Juan Carlos I(Madrid), Ingeniería T. Industrial
Microorganismos formadores de espumas – 2005
- [3] J. Drewnowski
The impact of slowly biodegradable organic compounds on the oxygen uptake rate in activated sludge systems – 2014
- [4] J. B. Copp, Henri Spanjers,
Respirometry in Control of the Activated Sludge Process - 2002
- [5] Ewa Lobos-Moysa, Faculty of Energy and Environmental Engineering, Silesian University of Technology
Effect of municipal wastewater containing oils on activated sludge under aerobic conditions – 2011
- [6] Wakelin N.G., Forster C.F.;
An investigation into microbial removal of fats, oils and greases, Bioresource Technology - 1997
- [7] Eikelboom, D. H
Filamentous organisms observed in activated sludge. Water Res. 9, 365-388. - 1975
- [8] Grupo Bioindicación Sevilla y A. Zornoza .
Coleccionable de fichas sobre Microbiología del Fango Activo. *Tecnología del Agua* 2005.
- [9] Jenkins, D., Richard, M. G. y Daigger, G. T.
Manual on the Causes and Control of Activated Sludge Bulking and Foaming – 2004
- [10] Madoni, P.
A sludge biotic index (SBI) for the evaluation of the biological performance of activated sludge plants based on the microfauna analysis. -1994.
- [11] Tandoi, V., Jenkins, D. y Wanner, J.
Activated sludge separation problems. Theory, Control Measures, Practical Experience. - Specialist Group on Activated Sludge Population Dynamics. Scientific and Technical Report No. 16. IWA - 2006.
- [12] Tandoi, V., Jenkins, D. y Wanner, J.
Activated sludge separation problems. IWA - 2006