

Estudio respirométrico sobre las causas del bajo rendimiento y deterioro del fango en un proceso de fangos activos de una planta urbana

Emilio Serrano & Josep Xavier Sensada

SURCIS

NOTA IMPORTANTE

Por circunstancias imprevistas en el envío de muestras, este estudio de respirometría se tuvo que realizar durante los días 18 y 19 de Junio con muestras recibidas en esa misma semana. Con el fin de que el estudio se adecuara a las últimas muestras recibidas, Surcis solicitó directamente a la planta una nueva ficha técnica con datos del proceso que correspondieran al periodo del mes de Junio en que se recogieron las muestras enviadas.

En esta última ficha técnica se observa que algunos valores relevantes han sufrido cierta variación con respecto a la ficha técnica anterior con datos del mes de Abril Y Mayo (2014) No obstante, aprovechando esta circunstancia, se ha podido realizar alguna aplicación relacionada con la influencia del oxígeno y la carga másica en dos situaciones distintas.

Tabla comparativa de los datos relevantes

Parámetro (valor medio)	MAYO	JUNIO	Comentario
DQO (mg/l) media de agua de entrada a biológico	634	582	
DBO ₅ (mg/l) media de agua de entrada a reactor biológico (mg/l)	280	310	
DQO (mg/l) media en efluente	174	107	
DBO ₅ (mg/l) media efluente	54	32	
MLSS (mg/l)	3714	2408	La reducción de los sólidos incrementó el nivel de la carga másica.
F/M: Carga másica	0,3	0,5	
IVF (mg/l)	343	89.30	Al incrementar la carga másica el IVF mejoró drásticamente.
Oxígeno disuelto (mg/l)	0.4	0.85	El incremento importante en el oxígeno se verá reflejado en la tasa de utilización del sustrato y en la salud de la biomasa en general.

Datos relevantes del proceso (extraídos de la ficha técnica)

Fecha: Junio, 2014

Parámetro (valor medio)	Modo / Valor	Descripción / Comentario
* Tipo de proceso	MEZCLA COMPLETA	
* DQO (mg/l) media de agua de entrada a biológico	582	
* DBO ₅ (mg/l) media de agua de entrada a reactor biológico (mg/l)	310	
* DQO (mg/l) media en efluente	107	
* DBO ₅ (mg/l) media efluente	32	
% Caudal fango Recirculación vs. caudal influente	90 %	
Volumen (m ³) zona aerobia del reactor biológico		
* MLSS / MLVSS (mg/l) medio del fango actual	2408 / 2119 mg/l	
* % de Volátiles en el fango	88 %	
Tiempo (h) medio de Retención Hidráulica total <u>de la zona aerobia</u>	6 h	6 h = 0.25 d
* Θ media: Edad del Fango (d)	7 días	
* CM: Carga Másica	0.51	$310 * 24 / 6 * 2408 = 7440 / 14448 = 0.51$
* IVF (mg/l) media	89,30	
* Oxígeno Disuelto en biológico inicio – medio – final	0.85	Es la media de la semana correspondiente al envío de la muestra
Tipo de aireación	TURBOCOMPRESORES	
* Nitrógeno total (mg/l) medio en efluente	59 mg/l	
* Fósforo total (mg/l) soluble en efluente	3.1 mg/l	

Datos de las muestras obtenidos en Surcis

Dato	Parámetro	Valor (mg/l)	Comentario
DQO influente a biológico	DQO	520	
DBO estimada influente a biológico	DBO	277	
DQO soluble influente a biológico	DQOs	222	Relación DQOs/DQO = 0,42
DQO estándar orgánico (Acetato sódico)	DQO _{ac}	300	

Aspecto del fango

- Flóculos finamente dispersos con grumos en la superficie.
- Al decantar se forman fangos más densos en el fondo con finas partículas suspendidas.

Objetivo del estudio

El presente estudio se refiere exclusivamente al proceso de fangos activos del reactor biológico.

Puesto que al iniciar el estudio se detecta una baja actividad tanto a nivel endógeno como en fase de degradación de sustrato orgánico, los puntos del objetivo se orientan a conocer la razón de esta baja actividad y rendimiento del proceso.

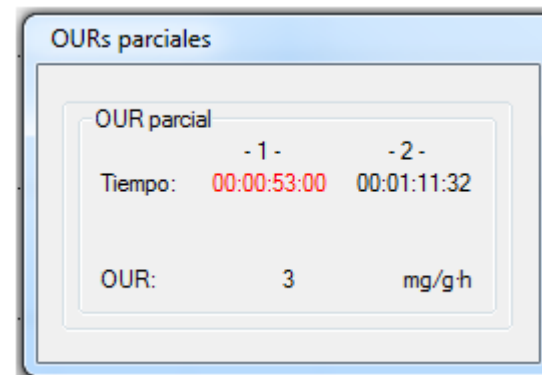
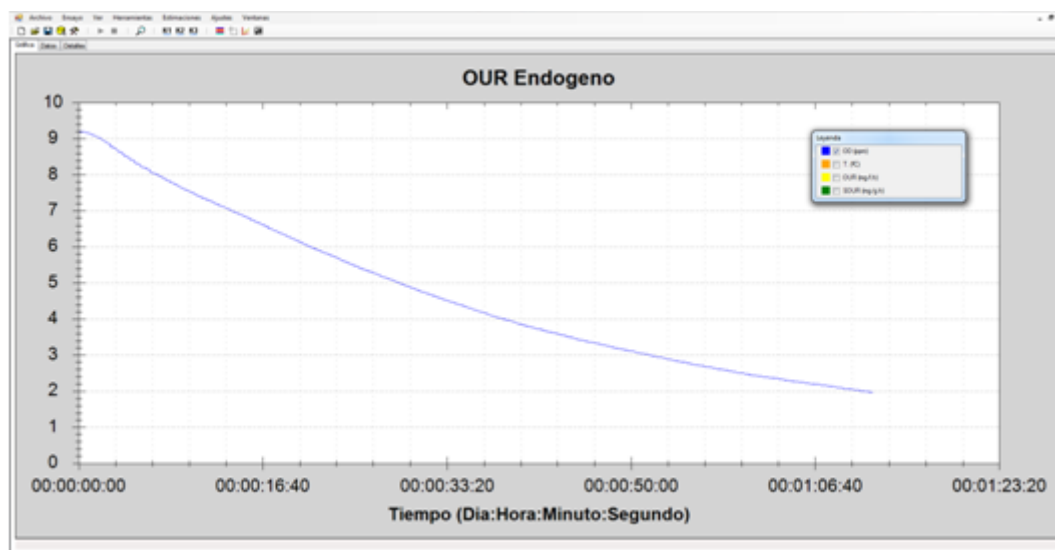
Partes del estudio

1. Actividad biológica en fase endógena
2. Concentración de biomasa activa
3. Coeficiente estequiométrico Y_H
4. Porcentaje de las fracciones de la DQO
5. Análisis de la carga másica actual
6. Parámetros operacionales para calibración del proceso
7. Conclusiones

1. Actividad biológica en fase endógena

1.1. Tasa de respiración endógena (OUR_{end})

Utilizando fango del final del reactor biológico después de haberse sometido a una sobreaireación durante un periodo > 12 horas, se determina la tasa de respiración de la respiración endógena mediante un ensayo OUR, en la zona del respirograma más representativa y estable.



Parámetro	Aplicación	Resultado	Rango (proceso actual)	Valoración
OUR_{end}	Concentración de biomasa activa	3 (mg O ₂ /l.h) 72 (mg O ₂ /l.d)	5.29 – 9.53 (mg O ₂ /l.h)	Bajo

Valor medio habitual del OUR_{end} : $(0,0025 \text{ a } 0,0045) * MLVSS$

Valor que debería tener el OUR_{end} en el fango actual: entre $0,0025 * 2119 = 5,29 \text{ mg/l.h}$ y $0,0045 * 2119 = 9,53 \text{ mg/l.h}$

Fuente: Respirometry for Environmental Science and Engineering – James G. Young & Robert M. Cowan. 2004

1.1.1. Análisis del resultado de la respiración endógena

El valor del OUR_{end} de 3 mg/l.h está por debajo del rango normal. Por lo tanto, la actividad de la biomasa es baja para la concentración de MLVSS actual.

2. Concentración de biomasa activa

2.1. Concentración de la biomasa activa heterótrofa (X_H)

Analizamos la concentración de la biomasa activa real a partir del valor del OUR del fango active en condiciones endógenas.

$$X_H = \text{OUR}_{\text{end}} / (f_{\text{cv}} * b)$$

$$\text{OUR}_{\text{end}} (\text{mg/l.d}) = 72$$

$$f_{\text{cv}} (\text{O}_2/\text{X}): \text{Demanda de oxígeno por unidad de biomasa} = 1.42$$

$$b_H (\text{d}^{-1}): \text{Tasa de decaimiento} = 0,24 \cdot 1,04^{(t-20)} \approx 0,25$$

Rango de valores habituales de X: entre 14 y 25 % de MLVSS

Fuente: *Respirometry for Environmental Science and Engineering* – James G. Young & Robert M. Cowan. 2004

$$X_H = 72 / (1.42 * 0.25) = 202 \text{ mg/l}$$

$$F_X: \text{Porcentaje de } X_H \text{ en MLVSS} = 100 * 202 / 2119 = 9.53 \%$$

Parámetro	Aplicación	Resultado	Rango habitual	Valoración
X F _X	Concentración de biomasa activa % de biomasa activa en MLVSS	202 (mg O ₂ /l.h) 9.53 (%)	14 – 25 (%)	Baja

2.1.1. Análisis del resultado ee la concentración de biomasa activa

El valor del 9.53 % queda muy por debajo del rango normal. Este bajo porcentaje de biomasa activa debe haberse producido por una baja reproducción (Y_H) y va a provocar una baja actividad biológica para la carga másica a la que el proceso está siendo sometido.

2.2. Fracción de biomasa por día, oxidada durante la respiración endógena (K_d)

$$\text{SOUR}_{\text{end}} = 24 * \text{OUR}_{\text{end}} / \text{MLVSS} = 24 * [3 / 2119] = 0.0339 (\text{Kg O}_2 / \text{Kg SSV.d})$$

$$K_d = \text{SOUR}_{\text{end}} / f_{\text{vc}} = 0.0339 / 1.42 = 0.024$$

$$f_{\text{vc}} = 1.42$$

Fuente: "Tratamiento de Aguas Residuales" R.S. Romalho 1991

2.2.1. Análisis del resultado del K_d

El valor del K_d no concuerda con la tabla de referencia :

F/M	0,03	0,05	0,1	0,15	0,20	0,25	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	1,00
K_d	0,024	0,041	0,067	0,080	0,092	0,1	0,109	0,118	0,123	0,128	0,131	0,133	0,136

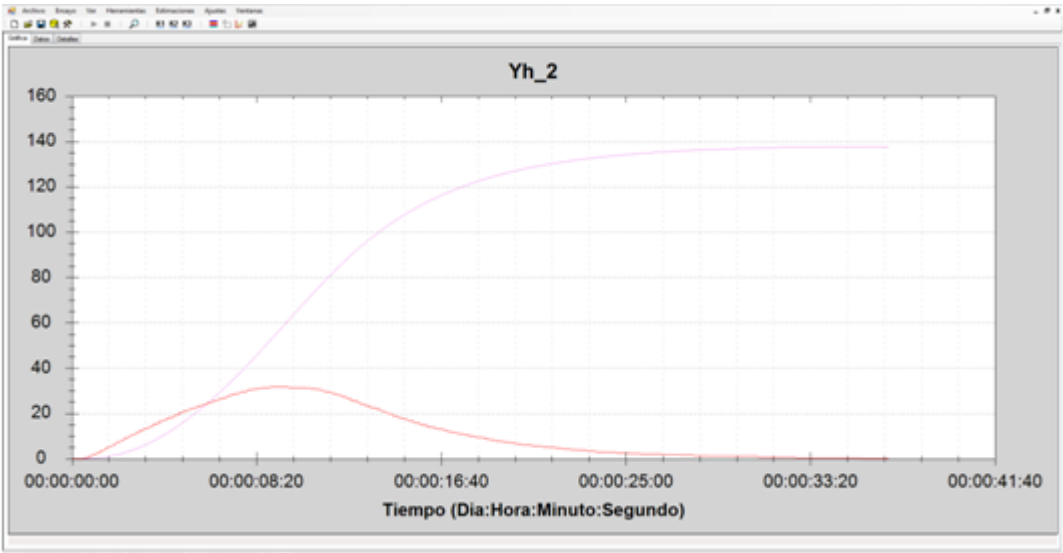
Fuente: Curso de Tratamiento Biológico Aguas Residuales (CSIC) – Dr. Fco. Colmenarejo Morcillo

Podemos comprobar que la fracción de biomasa oxidada en la respiración endógena es muy inferior a la que le correspondería por carga másica (para la carga másica actual de 0.5 debería tener un K_d de 0.123) Ello es una confirmación de la baja concentración de la biomasa.

3. Coeficiente estequiométrico Y_H

3.1. Coeficiente de rendimiento del crecimiento de la biomasa heterótrofa: Y_H

La Y_H se determina mediante un ensayo de respirometría utilizando una solución estándar de acetato sódico de 300 mg/l de DQO (DQO_{ac})



Respirograma del OC y Rs

Gráfica

Datos

Detalles

Ensayo:

Nombre:

Yh_2

Operario:

Fecha:

18/06/2014

Línea de base:

8,17

ppm

Sólidos

1

g/l

Vf:

1000

ml

Vm

51,3

ml

s:

2

Y:

0,67

Estimación :

0

mg/l

Duración(hh:mm:ss):

00:00:36:52

Resultados

Selecciona el tipo de datos de la siguiente lista para ver todos sus resultados :

OD (ppm)

T. (°C)

Rs (mg/l.h)

Rsp (mg/g.h)

OC (mg/l)

DQOb (mg/l)

DQOb (fd=1) (mg/l)

OC (fd=1) (mg/l)

q (mgDQOb/mgVSS.d)

U (mgDQOb/l.h)

Primer valor :

0

Último valor :

137,7

Mínimo :

0

Máximo :

137,7

Promedio :

95,56

Observaciones

Detalle de resultados

$Y_{H,DQO} = 1 - CO / DQO_{ac} = 1 - 137 / 300 = 0.54 \text{ (O}_2\text{/DQO)}$

$Y_{H,VSS} = Y_{H,DQO} / 1,42 = 0,54 / 1,42 = 0.38 \text{ (VSS/DQO)}$

Parámetro	Aplicación	Resultado	Rango	Valoración
Y _{H,DQO}	Reproducción biomasa	0.54 (O ₂ /DQO)	0.60 – 0.80	Bajo
Y _{H,VSS}		0.38 (VSS/DQO)	0.42 – 0.55	Baja producción de biomasa

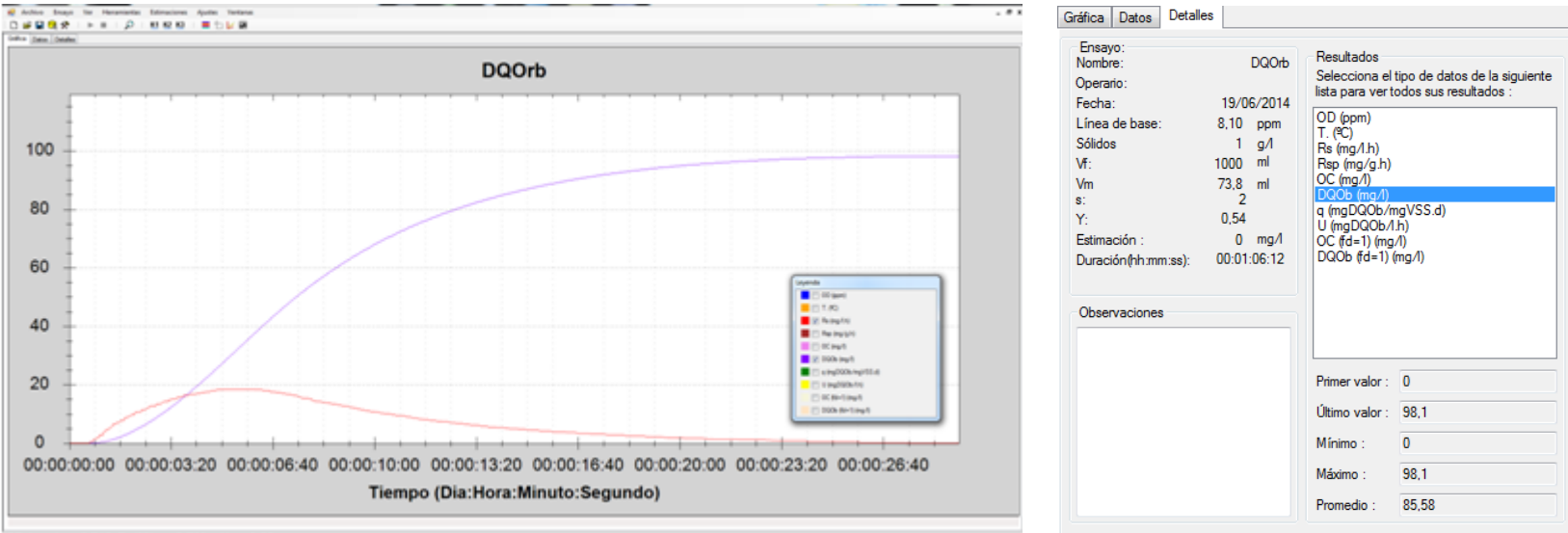
3.1.1. Análisis del resultado de la Y_H

Los valores de 0.54 de la Y_{H,DQO} y 0,38 de la Y_{H,VSS} se sitúan por debajo del valor mínimo del rango normal. Ello significa que el crecimiento de la biomasa es bajo y confirma la causa del reducido valor de biomasa activa (X_H)

4. Porcentaje de las fracciones de la DQO

4.1. Porcentaje de la DQO soluble rápidamente biodegradable (rb) en la DQO total

La DQOrb se determina mediante un ensayo de respirometría utilizando un volumen determinado de agua residual soluble (floculada y filtrada a 0,45 micras) y fango activo libre de sustrato.



DQOrb = 98 mg/l

$$rb = 100 * DQOrb / DQO = 100 * 98 / 520 = 18 \%$$

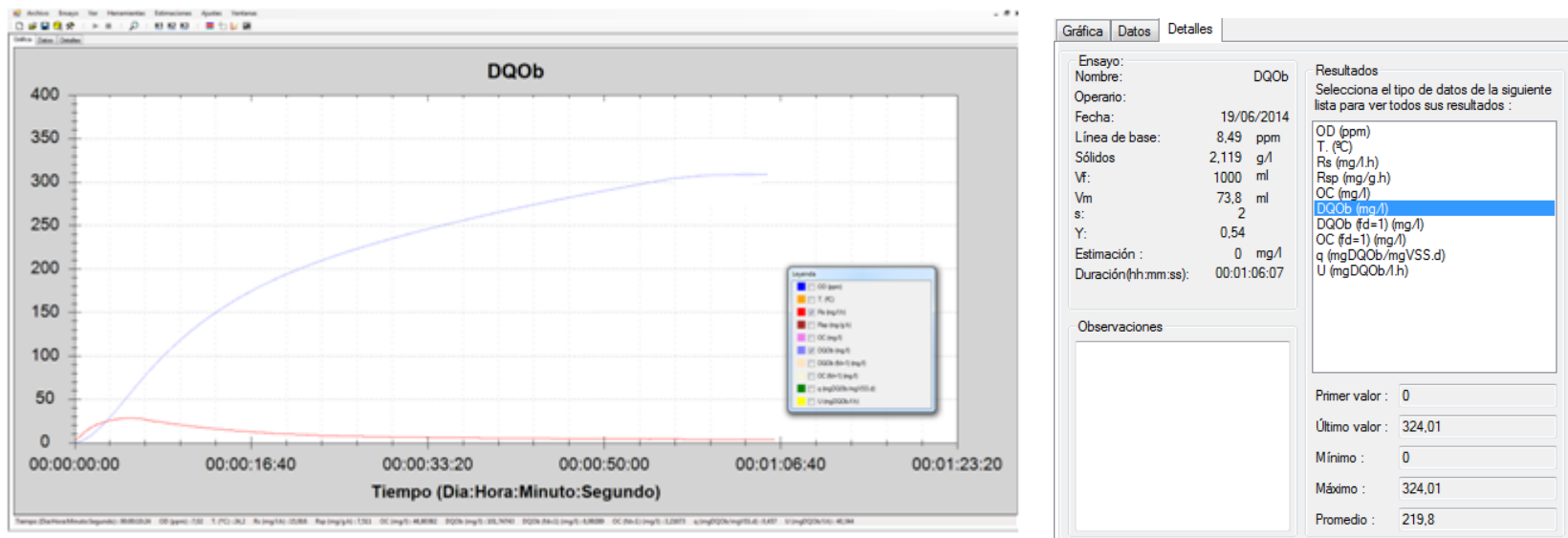
Parámetro	Aplicación	Resultado	Rango habitual	Valoración
rb	% de DQOrb en DQO total Carga másica por DQOrb	18 (%)	20 – 35 (%)	Bajo

4.1.1. Análisis del resultado

El porcentaje del 18 % queda en la parte baja del rango habitual (algunos autores sitúan el rango mínimo en 20%) Sin embargo, debido al bajo porcentaje de DQO biodegradable y elevado porcentaje de DQO inerte, este porcentaje de DQOrb se debe considerar como bajo en el contexto global del farccionamiento de la DQO. Por esta razón la biomasa se puede ver sensiblemente afectada por escaso alimento soluble inmediato y la carga másica por DQOrb se puede clasificar como baja.

4.2. Porcentaje de la DQO biodegradable (b) en la DQO total

La DQOrb se determina mediante un ensayo de respirometría utilizando un volumen determinado de agua residual (sdin filtrar) afluente al reactor y fango activo libre de sustrato.



DQOb = 324 mg/l

b = 100 * DQOb /DQO = 100 * 324 / 520 = 62 %

Parámetro	Aplicación	Resultado	Rango	Valoración
b	% de DQOb en DQO total	62 (%)	80 – 95 (%)	Bajo

4.2.1. Análisis del resultado

El valor de 62 % queda por debajo del rango normal. Ello implica una fracción relativamente elevada de DQO inerte no degradable. Por esta razón, el rendimiento se va a ver afectada.

4.3. Porcentaje de DQO lentamente biodegradable (lb) en la DQO total

$$lb = b - rb = 62 - 18 = 44 \%$$

Parámetro	Aplicación	Resultado	Rango	Valoración
lb	% de DQOlb en DQO total	44 (%)	40 – 80 (%)	Normal

4.4. Porcentaje de DQO inerte no-biodegradable (i) en la DQO total

$$i = 100 - b = 100 - 62 = 38 \%$$

Parámetro	Aplicación	Resultado	Rango	Valoración
i	% de DQOi en DQO total	38 (%)	5 – 20 (%)	Alto

4.4.1. Análisis del resultado

El valor del 38 % queda por encima del rango normal. Por ello, durante periodos de carga alta, el proceso puede tener una bajo rendimiento de eliminación de la DQO.

5. Parámetros operacionales

5.1. Carga másica

Con una baja biodegradabilidad frente al fango activo DQO ($DQOb / DQO = 0.62$) y un elevado porcentaje de DQO inerte (38%), es importante calcular la carga másica de la DQOb y valorarla según un rango habitual de normalidad.

Carga másica de la DQOb en el mes de Mayo

$$DQOb = 0.62 * 634 = 393 \text{ mg/l}$$

$$F/M (DQOb) = 24 * DQOb / (SSLM * TRH) = 24 * 393 / (3714 * 6) = 9432 / 22284 = 0.42 \text{ DQOb/SS.d}$$

Carga másica de la DQOb en el mes de Junio

$$DQOb = 0.62 * 582 = 360 \text{ mg/l}$$

$$F/M (DQOb) = 24 * DQOb / (SSLM * TRH) = 24 * 360 / (2408 * 6) = 8640 / 14448 = 0.59 \text{ DQOb/SS.d}$$

Parámetro	Mayo	Junio	Rango habitual	Valoración
F/M (DBO)	0.3	0.51	0.3 – 0.6	En Mayo la F/M (DBO) está en el mínimo.
F/M (DQOb)	0.42	0.59	0.48 – 0.96	En Mayo la F/M (DQOb) está por debajo del mínimo. En Junio sube el valor de F/M, pero se sitúa en la franja baja del rango normal y tiene una correspondencia con la F/M (DBO) muy inferior a la normal.

5.1.1. Análisis de los resultados

Mayo

La F/M (DBO) en el mínimo y la F/M (DQOb) por debajo del mínimo, junto con un OD medio = 0.4 mg/l, trae como consecuencia in infra-carga en el proceso que repercute en el bajo crecimiento de la biomasa y en el alto IVF

Junio

Los valores de F/M suben, pero la F/M (DQOb) se sitúa en la franja baja y la correspondencia con la CM (DBO) está baja: A la CM (DBO) = 0.51 normalmente le debería corresponder una F/M (DQOb) ≈ 0.81 y sin embargo su valor es de 0.59. La razón de todo ello es el relativamente elevado % de DQO inerte en la DQO total. Sin embargo, con la subida de la CM y el oxígeno disuelto (0.85 mg/l) el valor del IVF bajó sensiblemente,

5.2. Edad del fango mínima ($\text{TRC}_{\min}$)

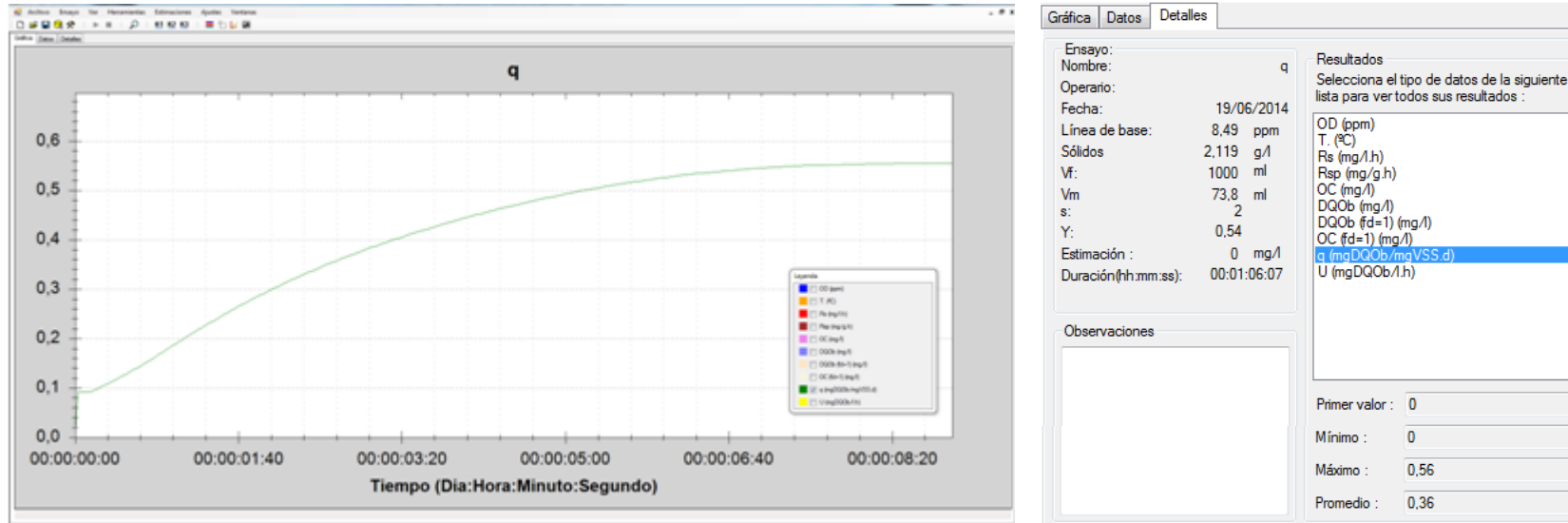
$$\text{TRC}_{\min} = 1 / (q_{\max} * Y_{\text{SSV}} - K_d)$$

$$\text{TRC}_{\min} = 1 / (0.56 * 0.38 - 0.024) \approx 6 \text{ d}$$

6. Influencia del oxígeno disuelto en la actividad del fango activo y rendimiento del proceso

6.1. Velocidad específica máxima de remoción de DQOb ($q_{\max}$) a oxígeno máximo

Por la misma razón que se expuso para la conveniencia del cálculo de la carga másica por DQOb, es igualmente importante que la velocidad de remoción de sustrato sea igualmente el de la DQOb (y no el de la DQOrb) Por ello, desde el ensayo R de la DQOb, el software BM calcula de forma automática el valor de la tasa máxima de remoción de la DQO biodegradable (q)



$$q_{\max} = 0.56 \text{ DQO}/(\text{SSV.d}) = 0.49 \text{ DQO}/(\text{SSL.M.d})$$

6.2. Velocidad específica actual de remoción de DQOb en Mayo

$$F/M \text{ (DQOb)} = 0,42$$

$$\text{Rendimiento: } R \text{ (DQO)} / 100 = 0.72$$

$$q_{\text{act}} \text{ (Mayo)} = 0.42 * 0.72 = 0.30 \text{ DQO}/(\text{SSL.M.d})$$

6.3. Velocidad específica actual de remoción de DQOb en Junio

$$F/M \text{ (DQOb)} = 0,59$$

$$\text{Rendimiento: } R \text{ (DQO)} / 100 = 0.81$$

$$q_{\text{act}} \text{ (Junio)} = 0.59 * 0.81 = 0.47 \text{ DQO}/(\text{SSL.M.d})$$

6.4. Constante de semi-saturación K_{OH} vs oxígeno disuelto y su influencia en el rendimiento

Aplicaremos ecuaciones basadas en el principio de Monod.

$$q_{act} = q_{max} * F_{OD}$$

$$F_{OD} = OD / (OD + K_{OH})$$

$$K_{OH} = DO (q_{max} - q_{act}) / q_{act}$$

$$K_{OH} \text{ (Mayo)} = 0.4 * (0.49 - 0.30) / 0.30 = 0.25$$

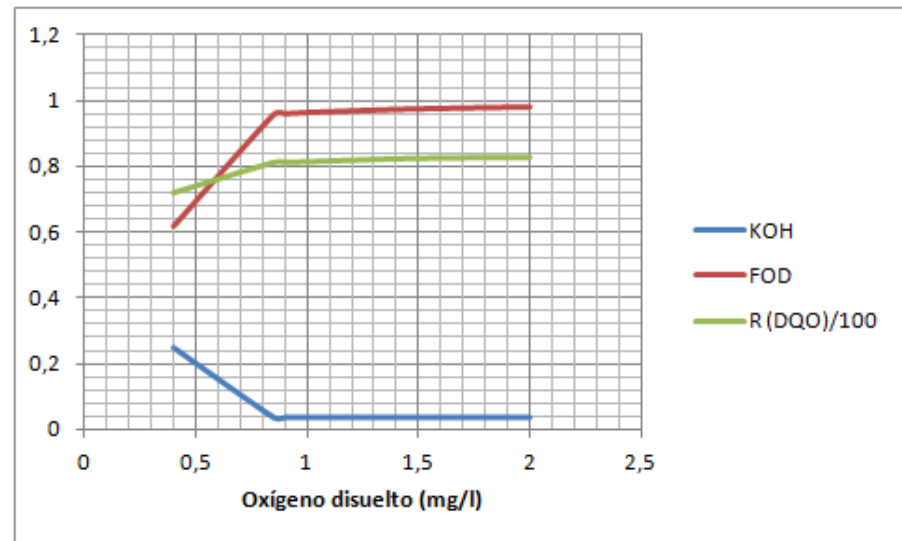
$$K_{OH} \text{ (Junio)} = 0.85 * (0.49 - 0.47) / 0.47 = 0.036$$

Al variar los valores de OD, CM y q_{act} entre Mayo y Junio, podemos considerar situaciones distintas en donde la actividad de la biomasa se encuentra en evolución. Por ello, en base a los datos obtenidos podemos confeccionar una tabla en donde se puede observar la influencia de distintos niveles de oxígeno disuelto sobre el proceso.

OD (mg/l)	K_{OH} (mg/l)	F_{OD}	% R/100	
2	0.036	0.982	0.825	
1.5	0.036	0.976	0.822	
1	0.036	0.965	0.812	
0.95	0.036	0.963	0.811	
0.9	0.036	0.961	0.81	
0.85	0.036	0.959	0.81	Junio
0.4	0.25	0.615	0.72	Abril ~ Mayo

% R /100: % Rendimiento / 100

Nota: es importante tener en cuenta que los datos obtenidos en la tabla se han calculado asumiendo que la actividad y el estado del fango activo sigue siendo el actual.



Análisis de los resultados

El hecho de que el valor del K_{OH} sea mucho mayor en Mayo que en Junio nos indica que el factor F_{OD} es inferior y, en su progresión al alza entre Abril y Mayo, va ejerciendo una sensible influencia negativa en la actividad biológica, por lo tanto en el estado de la biomasa y rendimiento del proceso. De este modo, obtenemos una serie de gráficas que no indican claramente la influencia de distintos niveles de oxígeno en el proceso de depuración.

7. Conclusiones

7.1. Conclusiones

1. El fango activo se encuentra algo deteriorado, con flóculos finamente dispersos.
Al decantar se forman fangos más densos en el fondo con finas partículas suspendidas que producen un cierto grado de turbidez en el sobrenadante.
2. El análisis de la respiración endógena, K_d y biomasa activa nos indica que la concentración de la biomasa es inferior a lo normal.
3. El análisis del coeficiente de reproducción de biomasa (Y_H) indica que existe una baja reproducción y confirma el dato de la baja concentración de biomasa activa.
4. El fraccionamiento de la DQO da como resultado un valor de DQO biodegradable (DQOb) con un porcentaje sobre la DQO total inferior a lo normal (62%). Ello trae como consecuencia una baja biodegradabilidad específica del agua residual en el proceso de depuración y una fracción elevada de DQO inerte (DQOi) no degradable (38%) (*)
5. (*) En un proceso de fangos activos, la biodegradabilidad del agua residual no depende exclusivamente de la naturaleza del agua sino además del estado y aclimatación del fango activo al agua residual
6. Con la la relativa baja concentración de DQOb, aunque los valores de F/M puedan parecer que se encuentran en rango, la realidad es que si se calcula el valor correspondiente en unidades de DQOb el panorama es distinto: en Mayo se sitúa muy por debajo de lo normal y en Junio mejora sensiblemente, pero sigue estando en la franja baja del rango habitual.
7. La baja F/M por DQOb conlleva automáticamente una baja F/M por DQO soluble degradable, que es la mayor responsable del crecimiento más inmediato de la biomasa.
8. Como consecuencia del estado del fango y la baja concentración de biomasa, existe una importante influencia del oxígeno del oxígeno disuelto y carga másica sobre la velocidad de remoción de la DQO biodegradable que se refleja claramente en el rendimiento del proceso entre Mayo y Junio. Así mismo, por esta misma razón, en Mayo el IVF se encontraba a un nivel muy alto (343) y en Junio mejoró sensiblemente (89)
9. Los puntos anteriores inducen a la conclusión de que el deterioro del fango proviene de la combinación de los siguientes factores:
 - a. Elevada DQO inerte, no degradable.
 - b. Baja carga másica de la DQOb
 - c. Bajo oxígeno disuelto: especialmente en Mayo.

Fecha: 10 de Julio, 2014

SURCIS, S.L.

Tel. +34 932 194 595 / +34 652 803 255

E-mail: surcis@surcis.com / eserrano@surcis.com

Internet: www.surcis.com