

Respirometría BM en los procesos de fangos activos

SURCIS S.L.

Procesos de fangos activos



Respirometría

SURCIS S.L

Concepto general de la Respirometría

Es una tecnología basada en la velocidad de consumo de oxígeno que es capaz de controlar, diseñar y proteger el proceso de depuración biológica de las aguas residuales.



SURCIS S.L

Introducción

Las medidas solamente relacionadas con la naturaleza del agua o comportamiento físico no combinan suficientes datos decisivos para una completa caracterización del proceso biológico de depuración por fangos activos.

Necesitamos tener en cuenta que el fango activo es un proceso vivo con respiración propia y una falta de información sobre esta bioactividad puede causar una seria confusión a la hora de establecer criterios coherentes de valoración, control y protección del proceso de depuración.

Necesitamos parámetros de la propia biomasa (fango activo) y del efecto que el agua residual provoca en la misma, y esto solo se consigue con la Bioindicación y Respirometría

Principios básicos de la Respirometría

1. Desde la Respirometría podemos conocer la salud y capacidad actual del PFA (Proceso de Fangos Activos) y el carácter contaminante del agua residual para los fangos activos.
2. La contaminación es proporcional a la tasa de respiración y consumo de oxígeno.
3. Para una misma contaminación el aumento progresivo de la tasa de respiración es indicativo de un aumento de la actividad biológica del fango, y viceversa.
4. La ausencia o reducción drástica del consumo de oxígeno es síntoma de la presencia de toxicidad específica al fango activo.
5. La integración de las tasas de respiración nos determinan el consumo de oxígeno.

Respirómetría BM

SURCIS S.L

¿Qué es la Respirimetría BM?

Es una tecnología que combina la Respirimetría tradicional con una avanzada técnica diseñada por SURCIS que permite realizar un elevado número de aplicaciones, de forma sencilla , rápida y práctica.

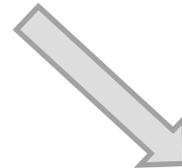
La Respirimetría BM, bajo un potente software lleva a cabo la medida automática y cálculo de parámetros decisivos para el diseño, control y protección del PFA.

Es la única Respirimetría del mercado dotada de tres diferentes modos de trabajo (Estático, Cíclico, Dinámico) con el fin de adquirir la capacidad de adaptarse a diferentes tipos de situaciones y procesos.

Los Respirómetros BM Multifunción

Los Respirómetros BM son analizadores de laboratorio especialmente diseñados para el control, diseño, investigación y formación en la depuración biológica de aguas residuales

BM-Software



BM-EVO



BM-Advance



BM-T+

La Respirimetría BM es referencia importante en entidades de tratamiento de aguas residuales



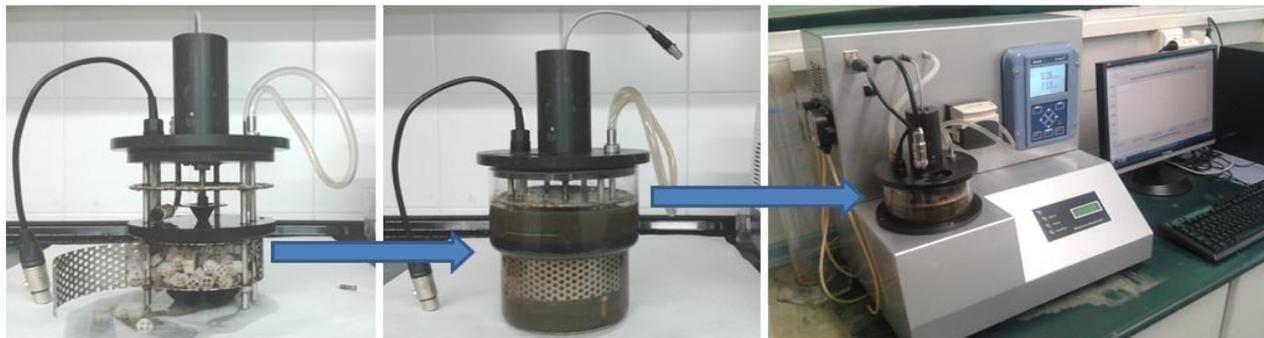
Unidad de trabajo de Respirimetría BM en el CIEMAT
(Centro nacional de España de investigación sobre ciencias ambientales)

Características más importantes en Respirómetros BM

- Analizador compacto de muy bajo mantenimiento y fácil manejo
- Medida directa del oxígeno disuelto desde un sensor de oxígeno sin mantenimiento
- Sin restricciones de oxigenación ni tiempo en la ejecución de cualquiera de los ensayos
- Actualización automática del software en curso desde Internet
- Capacidad para la programación de las condiciones del ensayo y su posible modificación durante su ejecución
- Medidas automáticas: OUR, SOUR, CO, DQOb, U (tasa de utilización de sustrato) y q (U específica)
- Último, mínimo, máximo y media móvil de cada medida siempre que se desee
- Presentación de todos los resultados seleccionados durante la ejecución del ensayo, en cualquier momento, de forma tabular o gráfica
- Opción para la apertura de varios ensayos almacenados y comparar los resultados de forma gráfica de los parámetros seleccionados, por superposición o por distintos modos de presentación de pantallas
- Control automático de la temperatura integrado en los modelos EVO & Advance; y fuera del analizador en el modelo BM-T+
- Monitorización y control automático del pH en el modelo BM-Advance
- Su aplicaciones pueden utilizarse en los programas de simulación y modelación
- Opción para utilizar un reactor especialmente diseñado para contener los portadores (biomass carriers) de procesos tipo MBBR

Opción de reactor para lechos bacterianos (MBBR)

Los respirometros BM ofrecen la posibilidad de hacer uso de un reactor especial (diseñado por Surcis) para llevar a cabo los ensayos de respirometría en procesos de lechos bacterianos móviles tipo MBBR o de biomasa granular.

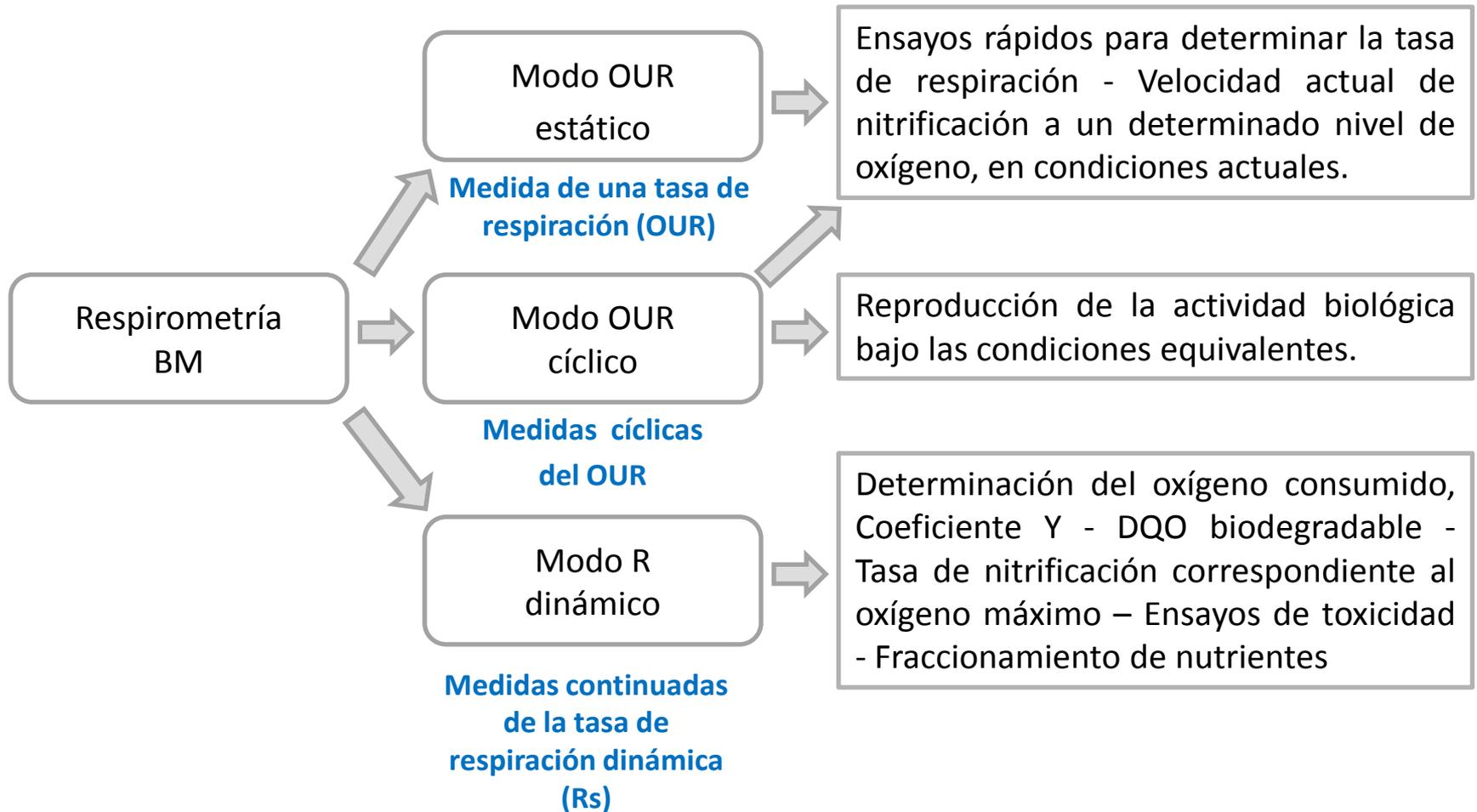


¿Qué tiene de especial la Respirometría BM?

- Puede utilizar unos pocos ml de muestra de agua residual para realizar ensayos muy rápidos.
- Puede utilizar las mismas condiciones de T, pH y OD que las del proceso real.
- Los ensayos son abiertos y, durante los mismos, se pueden variar las condiciones de T, pH y OD. También se puede añadir más cantidad de muestra u otro tipo de sustrato. De este modo, en un mismo ensayo, se pueden realizar estudios de comportamiento del fango a distintas condiciones y distintas concentraciones de DQO.
- No tiene límite de oxigenación, ni tiempo determinado.
- Se pueden superponer diferentes Respirogramas, en modo comparativo.
- Se pueden diseñar aplicaciones específicas por el propio usuario.
- Es el sistema del mercado que más aplicaciones puede abarcar.

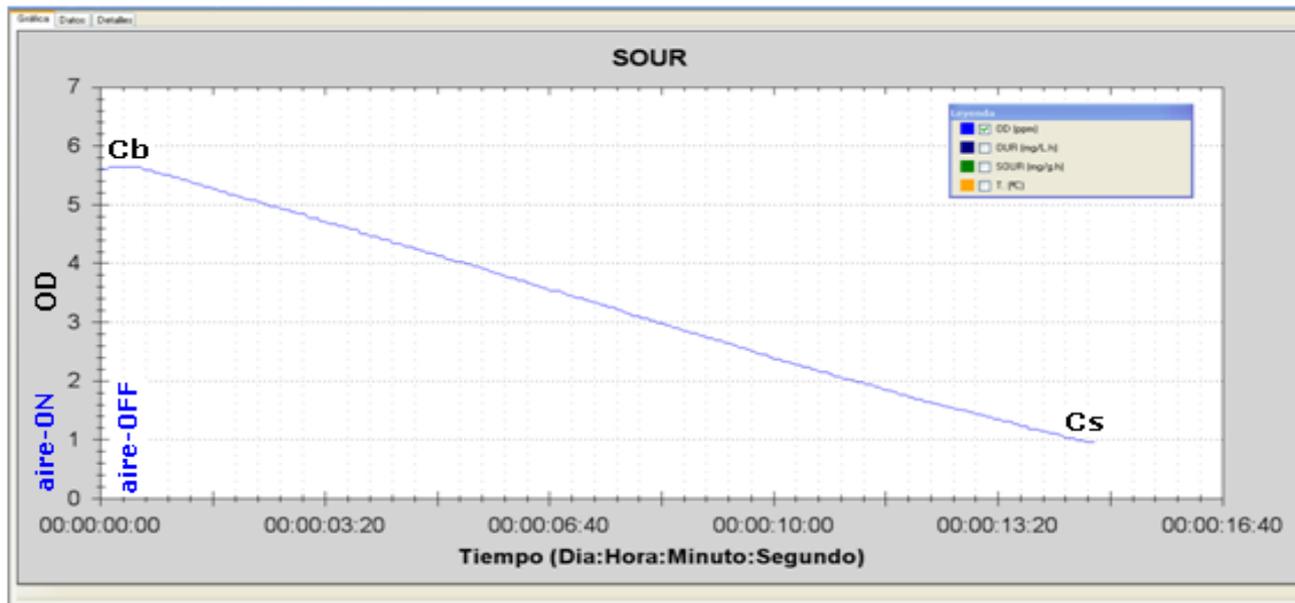
Modos de trabajo de la Respirometría BM

La respirometría BM opera bajo un potente software que le permite operar con diferentes tipos de modos de trabajo.



Medidas en OUR estático

Desde el licor mezcla del reactor biológico se determinan los parámetros OUR & SOUR en el tiempo y sección que hayamos seleccionado en el Respirograma.



Respirograma del oxígeno disuelto

Tasa de respiración total estática

$$\text{OUR (mg/l.h)} = (C_b - C_s) / t$$

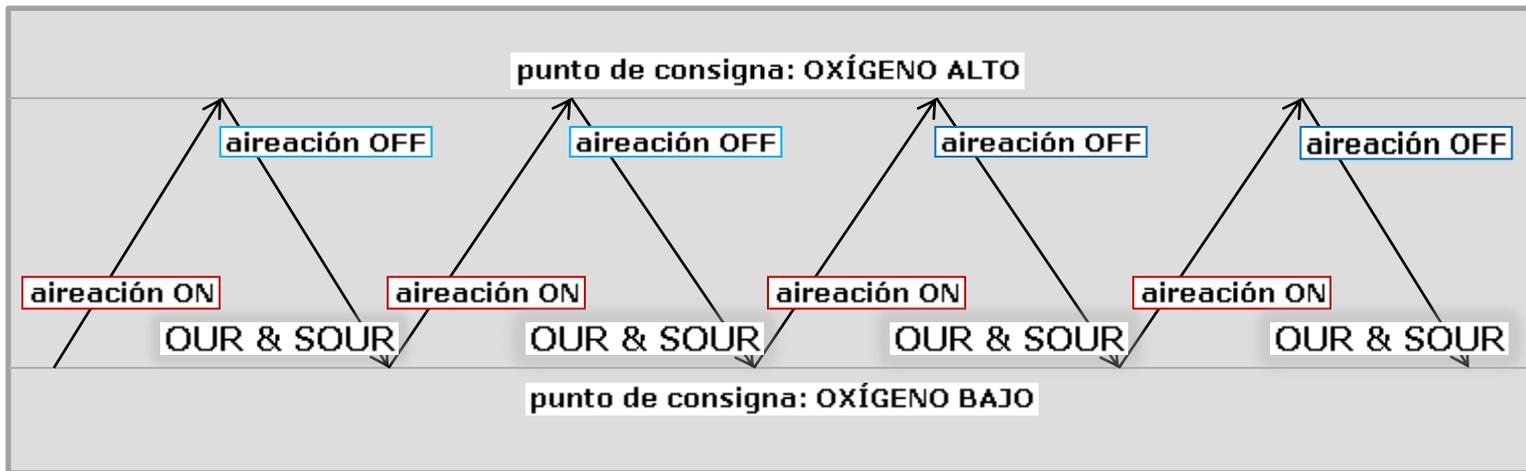
OUR específico

$$\text{SOUR (mg/g.h)} = \text{OUR} / \text{SSV}$$

Modo OUR cíclico (I)

En este modo, el analizador lleva a cabo un respirograma dentro de la ventana de trabajo establecida por dos puntos de consigna en el oxímetro, determinando de forma automática y secuencial una serie continuada de medidas **OUR & SOUR**.

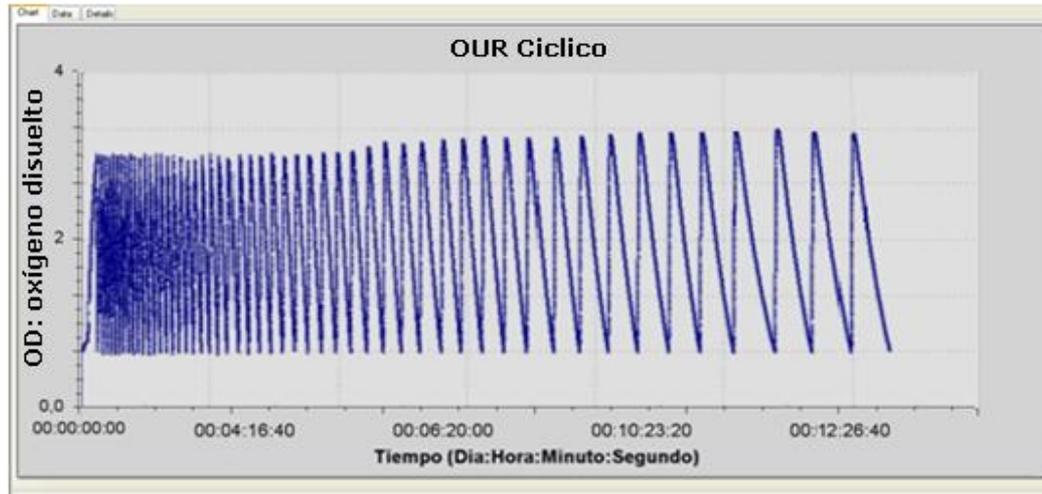
OD (ppm)



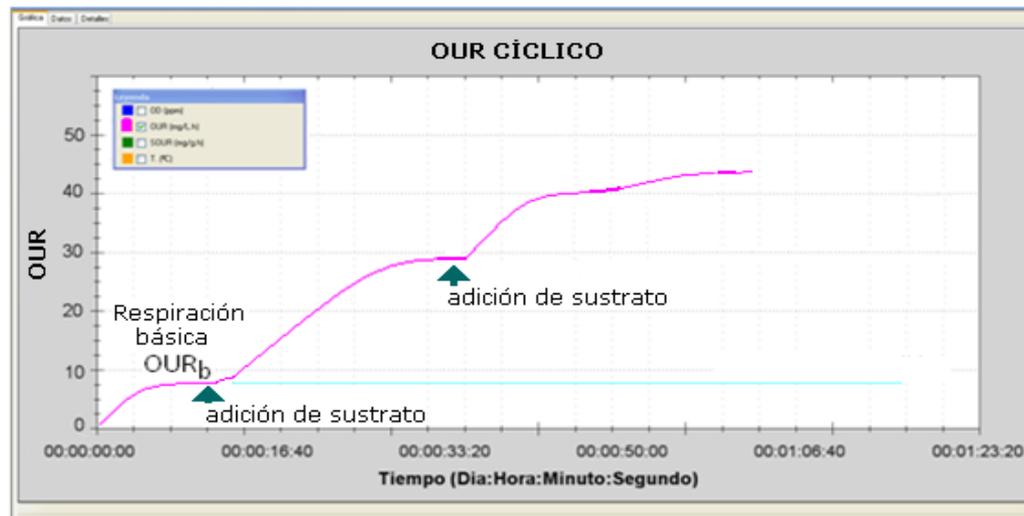
Trayectoria del oxígeno modo cíclico

Tiempo

Modo OUR cíclico (II)



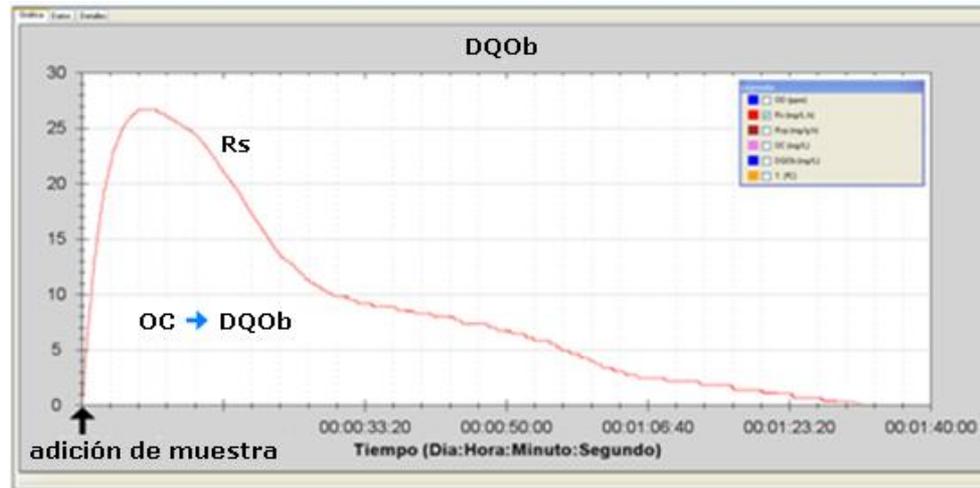
Respirograma del oxígeno disuelto



Respirogram del OUR

Medidas en R dinámico

El programa genera un respirograma formado por medidas de **Rs** para, por integración de medidas, ir calculando **OC** y **DQOb**.



Respirograma Rs

Tasa de respiración dinámica	$R_s \text{ (mg/l.h)} = f (C_b - C_s)$
Oxígeno consumido acumulado	$OC \text{ (mg/l)} = f d \int R_s . dt$
Fracción biodegradable de la DQO	$DQOb \text{ (mg/l)} = OC_b / (1 - Y_H)$
Fracción rápidamente biodegradable de la DQO	$DQOrb \text{ (mg/L)} = OC_{rb} / (1 - Y_H)$
Tasa de utilización de la DQO	$U \text{ (mg DQO/l.h)}$
Tasa específica de utilización de la DQO	$q \text{ (mg DQO / mg SS.d)}$

Aplicaciones

SURCIS S.L

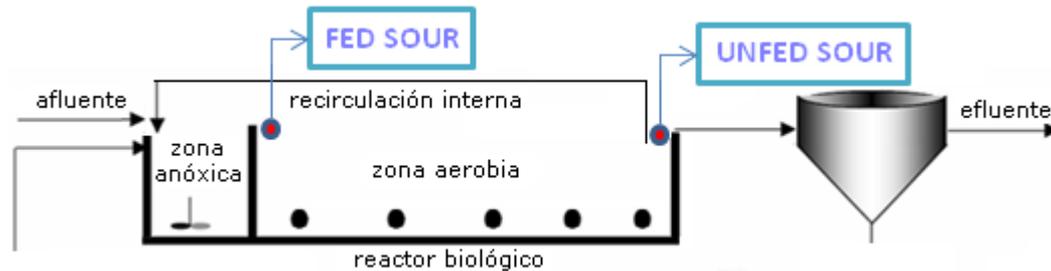
Valoración primaria del proceso y salud del fango activo

SURCIS S.L

Pulso al proceso: UNFED SOUR

Para ello, se colecta fango fresco del efluente del reactor biológico, desde un mismo punto de muestreo y a la misma hora, y se realiza un test SOUR.

También se puede confeccionar un licor-mixto con una muestra compuesta de efluente y fango de recirculación en proporción equivalente.

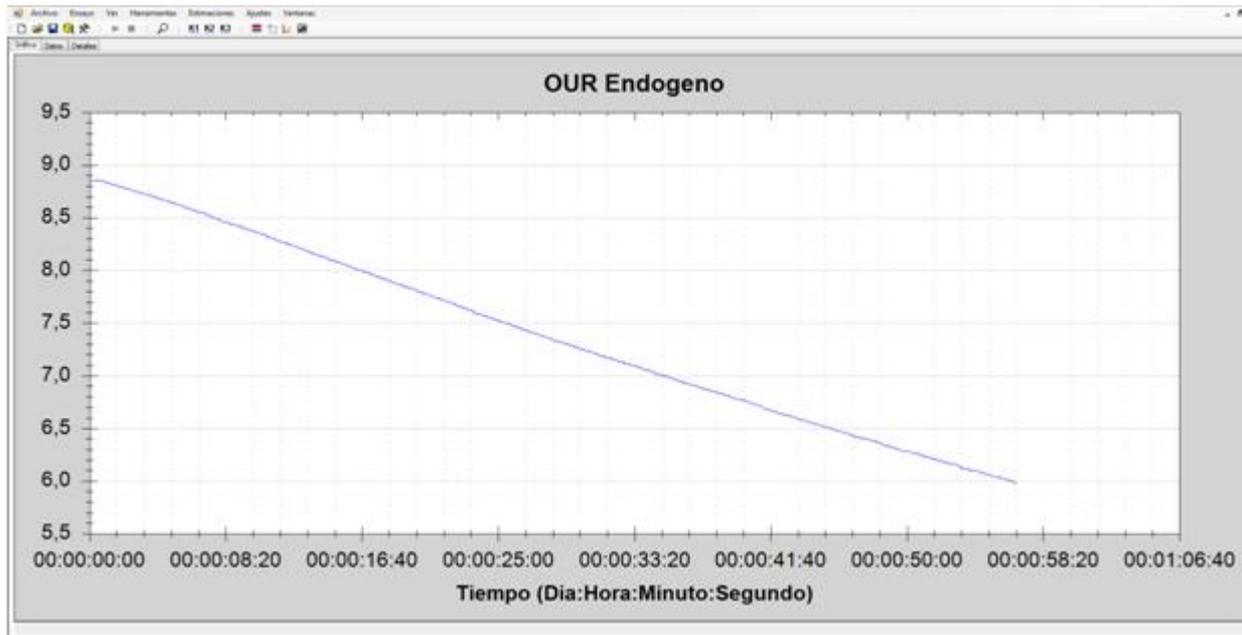


Valoración	UNFED SOUR actual vs. referencia	UNFED SOUR Referencia (mgO ₂ /g.h)	Carga Másica F/M (DBO/SS.d)	TRC (d)
Sobrecarga	>> referencia	6 - 18	> 0.4	2 - 4
Buen rendimiento	En rango	4 - 15	0.2 < F/M < 0.4	4 - 10
Buen rendimiento Baja carga	< referencia	3 - 12	0.07 < F/M < 0.2	10 - 30
Muy baja carga Síntoma de toxicidad	<< referencia	2 - 6	< 0.7	10 - 35

COMPARACIÓN

Valoración del fango activo desde la respiración endógena (SOUR_{end}) (I)

Se obtiene mediante un ensayo en modo OUR de un fango activo recogido desde el final del proceso y después de haberse sometido a una aireación prolongada durante un tiempo > 12 horas, haciendo uso de una sistema de aireación y vasija externos al respirómetro.



$$\text{SOUR}_{\text{end}} \text{ (mg O}_2\text{/gSSV.h)} = \text{OUR}_{\text{end}} / [\text{SSVLM}]$$

Valoración de la biomasa activa desde la respiración endógena (II)

La biomasa heterótrofa activa se puede valorar a partir del coeficiente K_d correspondiente a la fracción de MLVSS oxidada durante la respiración endógena (tasa de decaimiento)

Pasaremos $SOUR_{end}$ a $Kg\ O_2/Kg.d$: $SOUR_{end} (mg/g.h) \times 24/1000 = SOUR_{end} (Kg\ O_2/ Kg.d)$

$$K_d (d^{-1}) = SOUR_{end} / f_{vc}$$

$$f_{vc} = 1.42$$

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

Tabla de referencia

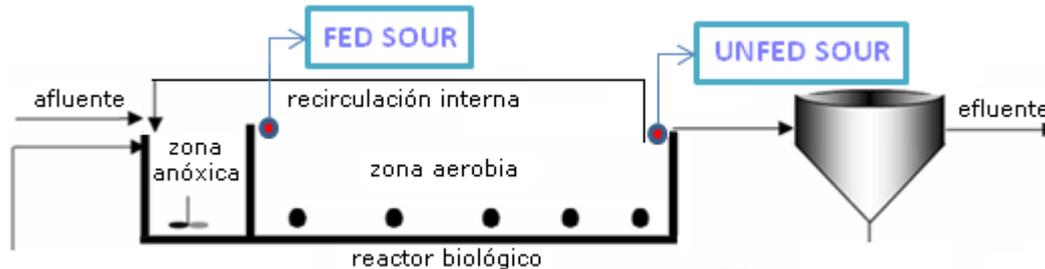
F/M	0,03	0,05	0,1	0,15	0,20	0,25	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	1,00
K_d	0,024	0,041	0,067	0,080	0,092	0,1	0,109	0,118	0,123	0,128	0,131	0,133	0,136

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

El valor calculado de K_d debe ser coherente con la tabla de referencia. En caso de que sea sensiblemente inferior, significaría que existe una baja concentración de biomasa activa o que la biomasa está afectada por algún efecto inhibitorio.

Valoración rápida de la eficiencia del proceso

Esta valoración se lleva a cabo mediante dos SOUR tests: uno con fango del inicio (FED SOUR) y otro con fango del final del proceso (UNFED SOUR)



Factor de Carga (FC) es la relación entre FED SOUR y UNFED SOUR.

$$FC = \text{FED SOUR} / \text{UNFED SOUR}$$

FC	Diagnóstico
$FC \geq 1$	Carga inhibitoria o tóxica
$1 < CF < 2$	Bajo rendimiento o muy baja carga
$2 < FC < 5$	Buen rendimiento & Carga normal
$FC > 5$	Sobrecarga

Biomasa heterótrofa & Remoción del sustrato orgánico

SURCIS S.L.

Parámetros clave en la biomasa heterótrofa & remoción del sustrato orgánico

Coeficiente del rendimiento de la biomasa heterótrofa: Y_H

Tasa media de utilización de la DQO: q

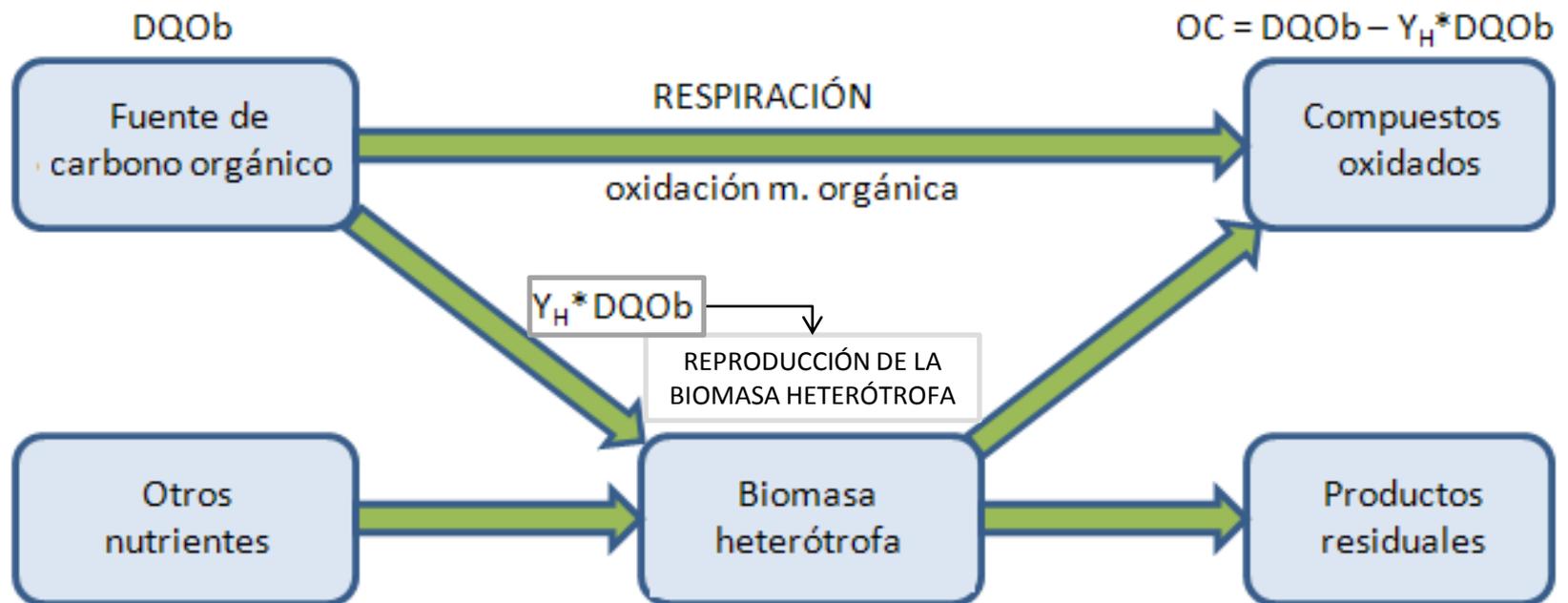
Fracciones de la DQO: DQO_{rb} , DQO_{ob} , DQO_{lb} , DQO_i

Coeficiente Y_H

SURCIS S.L

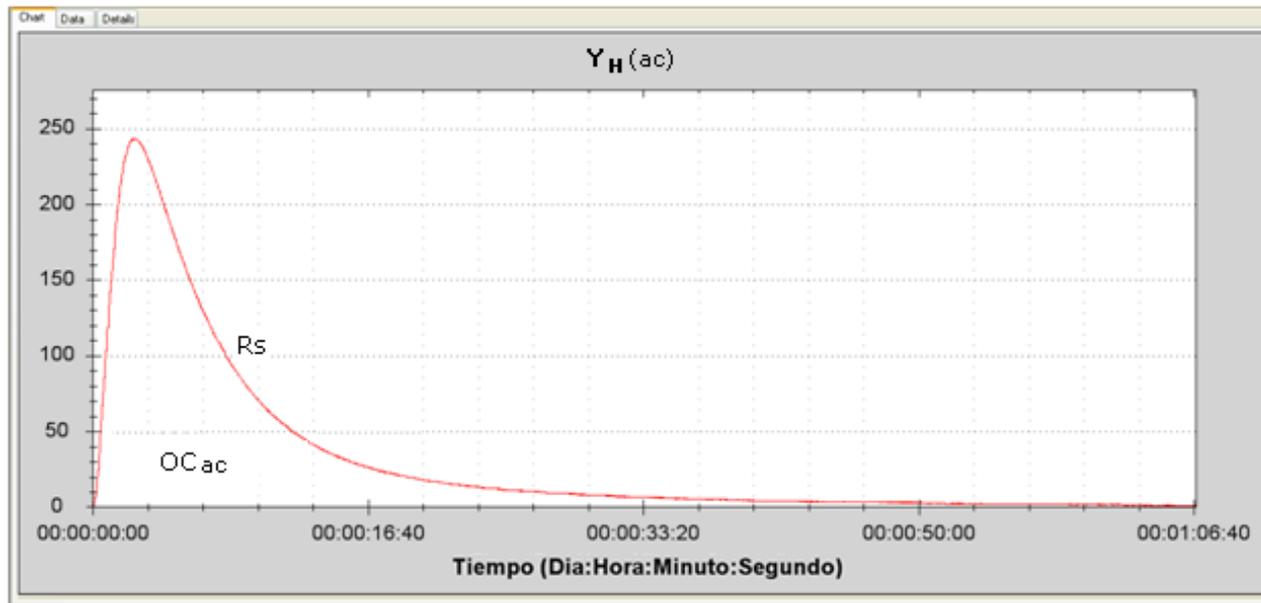
Diagrama del significado del coeficiente de rendimiento de biomasa heterótrofa

Y_H representa el porcentaje de oxígeno de la DQO biodegradable utilizado en el crecimiento de la biomasa heterótrofa



Determinación del Y_H referido al consumo de oxígeno ($Y_{H.O_2}$)

Se hace uso de una solución estándar de acetato sódico de DQO conocida (DQO_{ac}) y se determina el oxígeno consumido (OC) correspondiente a la remoción del mismo por el fango activo.



Respirograma

$$Y_{H.O_2} (OC/DQO) = 1 - OC / DQO_{ac}$$

DQO_{ac} : DQO del acetato sódico añadido

Variantes de la Y_H

Y_H referida al consumo de oxígeno: $Y_{H.O_2}$ (OC/DQO) = $Y_{H.O_2} / 1.42$

Se utiliza en el cálculo de la DQOrb & DQOb y la valoración del estado del fango activo

Y_H referida a los SSVLM: $Y_{H.SSV}$ (SSVLM/DQO) = $Y_{H.O_2} / 1.42$

Se utiliza en el cálculo de parámetros biocinéticos

Y_H observada: $Y_{H.obs}$ (MLVSS/DQO) = $[Y_{H.VSS} * U_{(DQO)} + K_d * SSVLM] / U_{(DQO)}$

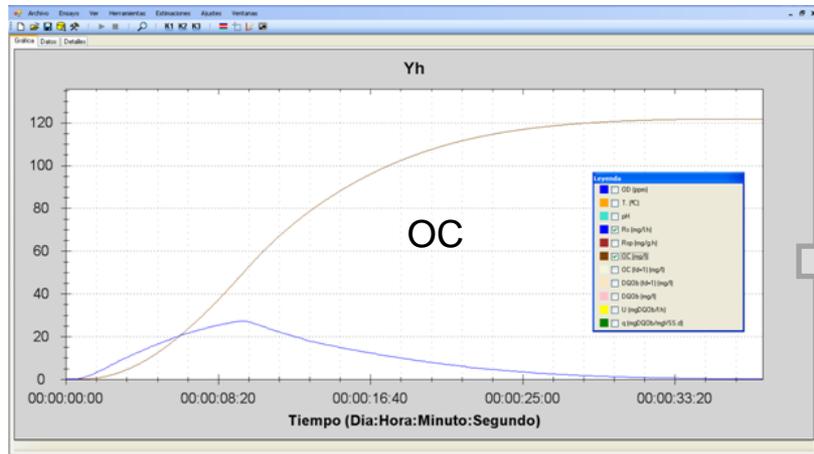
Se utiliza en el cálculo de la producción de fango

Tasa de decaimiento de la biomasa habitual : $K_d \approx 0.05$

Tasa de eliminación actual de la DQO: $U_{(DQO)} = DQO_{eliminada} / TRH_{(días)}$

Pulso al proceso desde la $Y_{H.O_2}$

La determinación de la Y_H por respirometría, además de formar parte del cálculo de la DQOb, complementa la toma del pulso al proceso valorando la salud de la biomasa heterótrofa.



$$Y_{H.O_2} = 1 - OC / DQO_{ac}$$

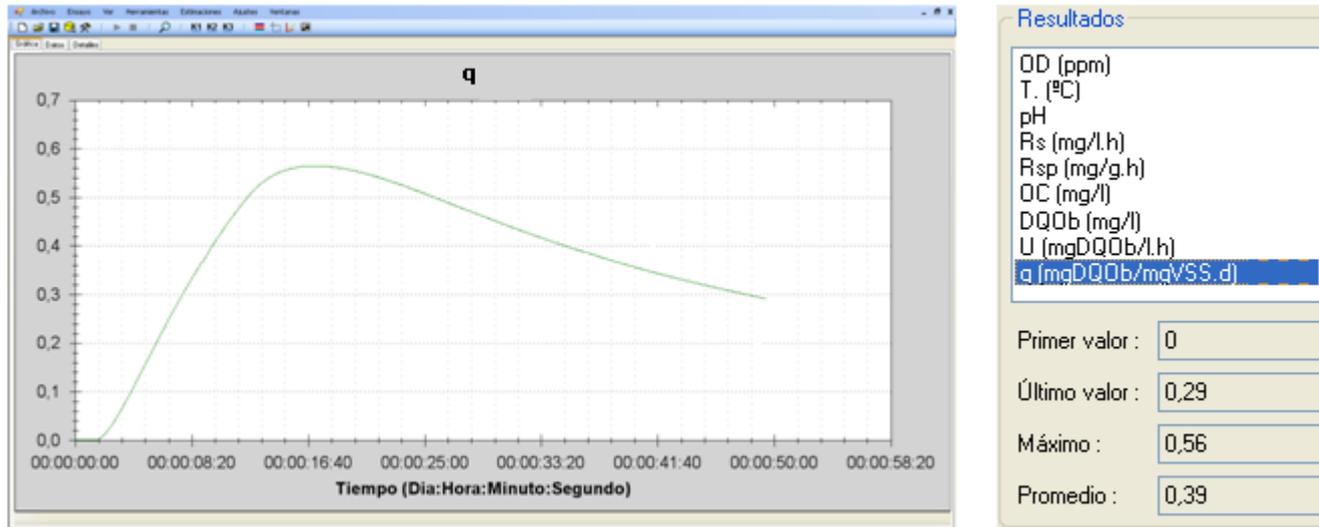
Y_{H,O_2}	Valoración
$Y_H > 0.8$	Elevado % de DQOrb Elevada producción de fango
En rango	Crecimiento normal
$0.4 < Y_H < 0.6$	Elevado % de DQOIb Baja biodegradabilidad del agua residual Bajo crecimiento por falta de DQO soluble
$Y_H < 0.4$	Muy bajo crecimiento Posible inhibición / toxicidad

Tasa de utilización de la DQO

SURCIS S.L

Tasa de utilización de la DQO (q)

Se refiere a la velocidad específica con que el proceso está oxidando el sustrato orgánico degradable, en concepto de DQO por unidad de SS. El software BM calcula este parámetro cinético a lo largo del test, determinando los valores último, medio y máximo



Respirograma del valor de la q

Tasa de utilización de la DQO: q (mg DQO/mgSS.d)

Normalmente utilizaremos el valor q medio (promedio)

Simultáneamente, el software BM también calcula los valores correspondientes de la velocidad de remoción de la DQO: U (mg DQO/l.h)

Aplicaciones de la tasa de utilización de la DQO (q)

Salud de la biomasa heterótrofa

Los valores de q tienen que ser coherentes con el tipo de proceso

Tipo de proceso	q medio (DQO/VSS.d)	Edad del fango (d)
Flujo pistón	0.3 – 0.7	4 - 15
Mezcla completa	0.3 - 1.0	5 - 15
Aireación prolongada	0.08 – 0.17	10 - 30
Canales de oxidación	0.08 – 0.17	10 - 30

Capacidad de remoción de la DQO biodegradable

$$C_{DQO} \text{ (mg/l)} = q * SS * TRH$$

Revisión carga másica

CONDICIÓN: $q > F/M_{DQO}$

Fraccionamiento de la DQO

SURCIS S.L

¿Para que sirve el fraccionamiento de la DQO en un proceso de fangos activos ?

1. Para calcular la biodegradabilidad específica a ese proceso:

$$\text{Biodegradabilidad DQOb (\%)} = 100 * \text{DQOb} / \text{DQO}$$

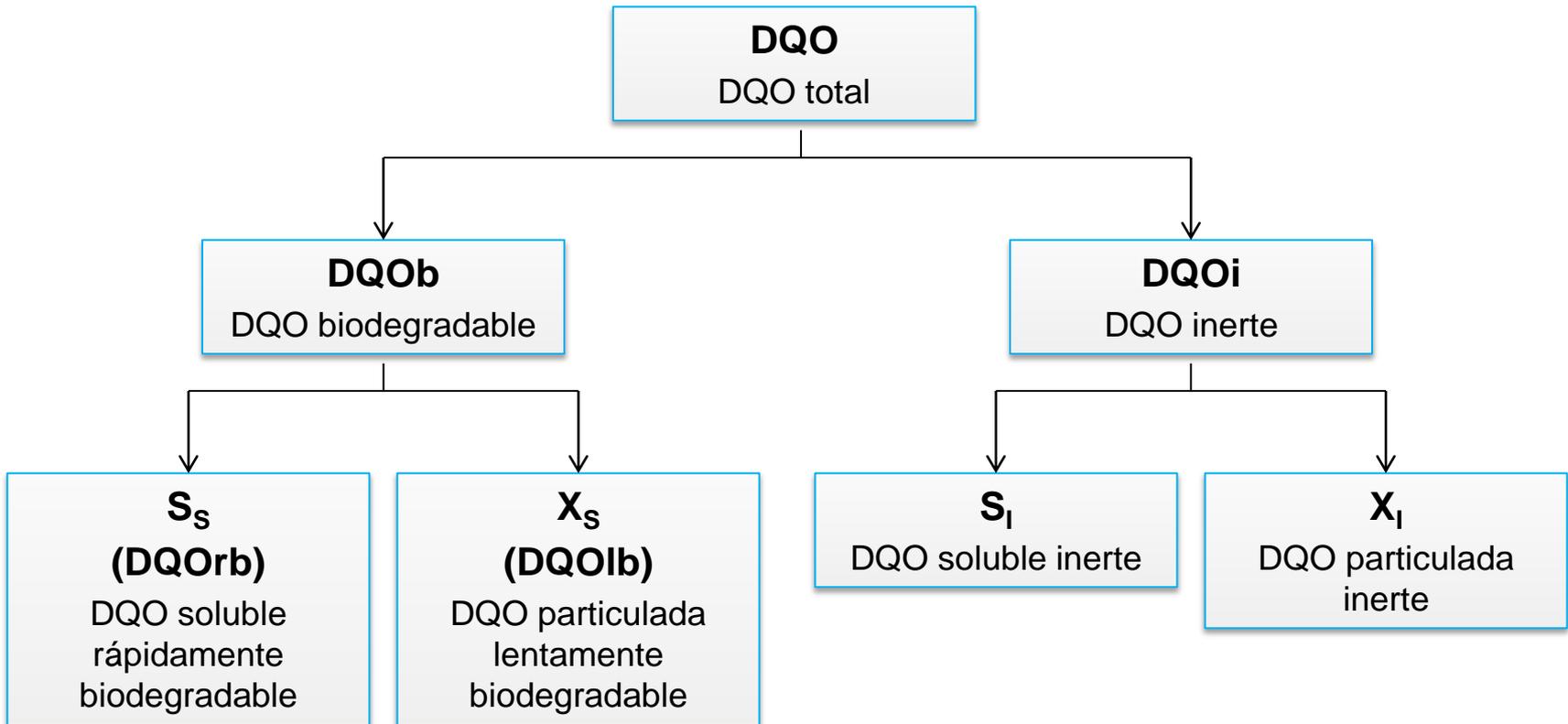
$$\text{Biodegradabilidad DQOrb (\%)} = 100 * \text{DQOrb} / \text{DQO}$$

2. Para calcular la fracción DQO inerte (refractaria, no degradable) y ver si existe una bajo rendimiento de la DQO como consecuencia de un valor alto de la DQO inerte (DQOi)

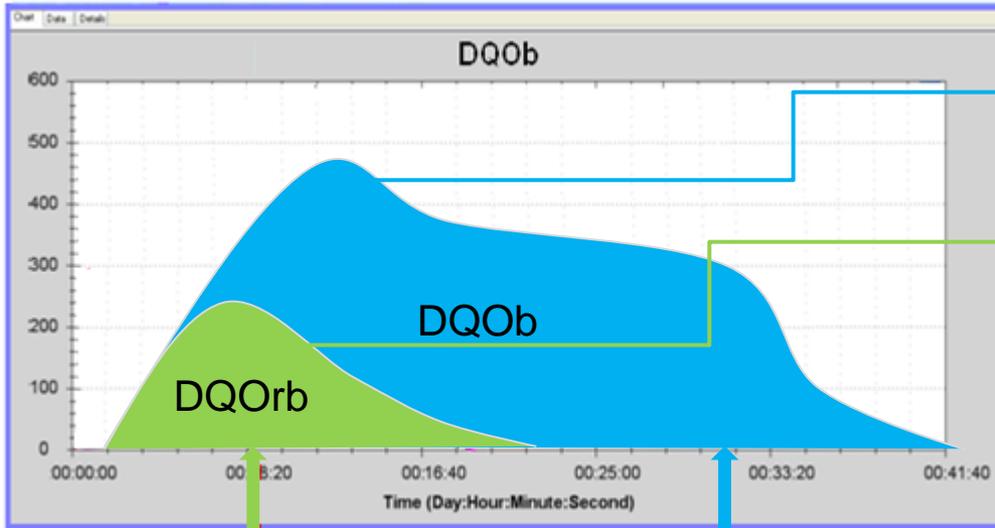
2. Para calcular la fracción DQO lentamente biodegradable (DQOl_b) y ver si existe una bajo rendimiento de la DQO como consecuencia de un valor alto de esta fracción.

Un valor elevado de DQOl_b implica un valor excesivamente bajo de la DQOrb, que puede representar un desequilibrio en la relación de nutrientes en cuanto a la parte del Carbono (C) como material orgánico fácilmente asimilable.

Fraccionamiento de la DQO (I)



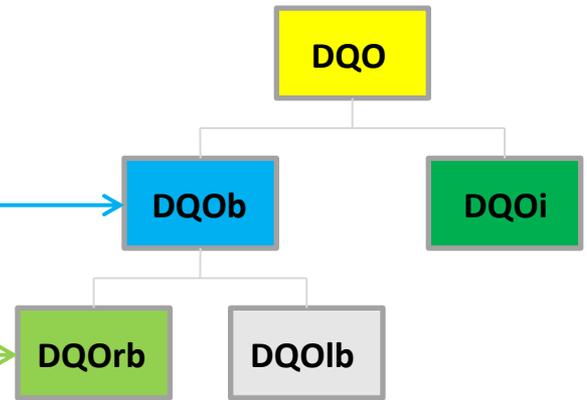
Fraccionamiento de la DQO (II)



fango activo
(endógeno)
+
agua r. filtrada

fango activo
(endógeno)
+
agua r. sin filtrar

Ensayos R de Respirometría



DQOb: DQO biodegradable total

DQOi: DQP inerte (refractaria)

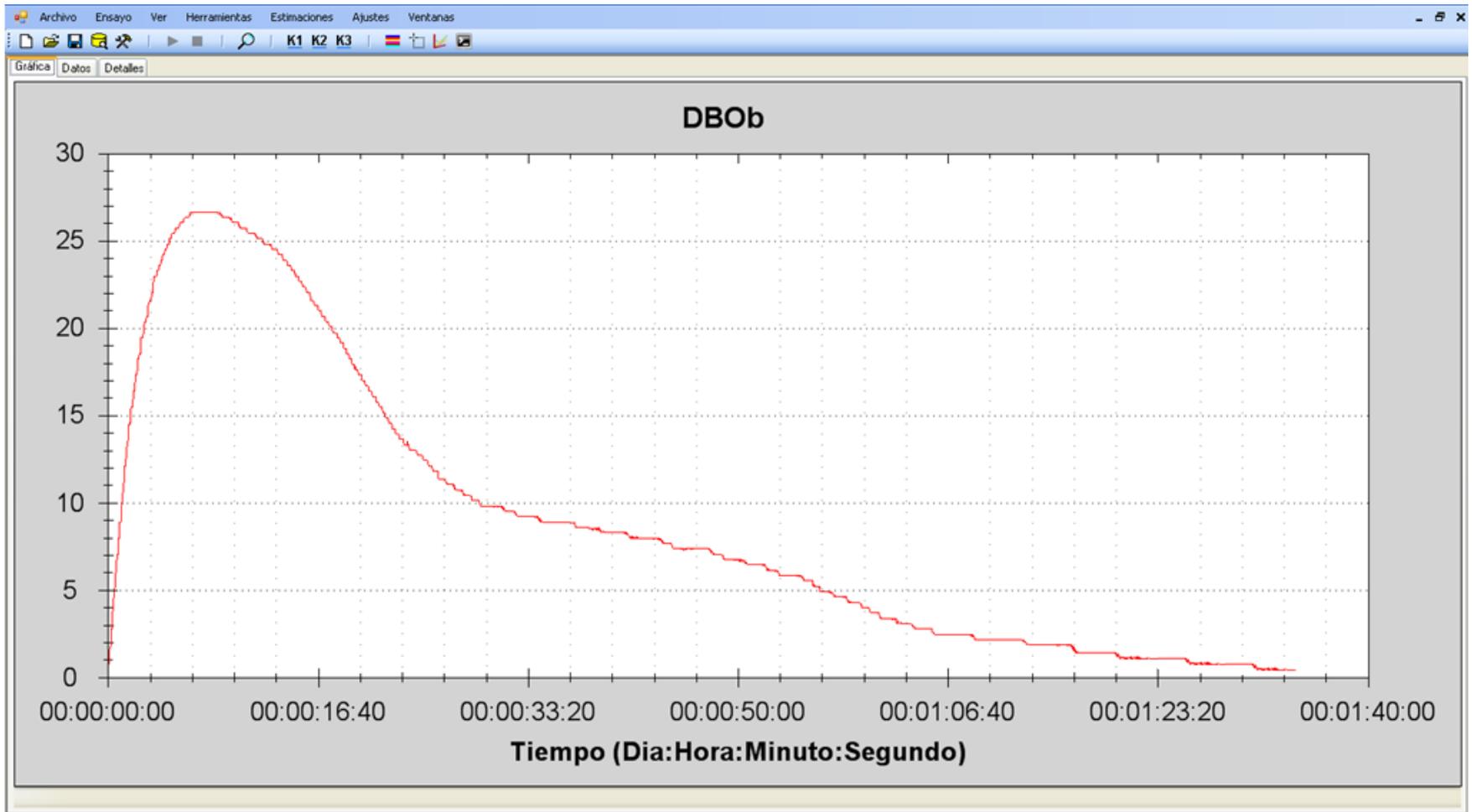
DQOrb: DQO rápidamente biodegradable

DQOIb: DQO lentamente biodegradable

$$\text{DQO} - \text{DQOb} = \text{DQOi}$$

$$\text{DQOb} - \text{DQOrb} = \text{DQOIb}$$

Fraccionamiento de la DQO – DQOb (I)



Respirograma Rs de la DQOb

Fraccionamiento de la DQO – Valores de DQOb (II)

Archivo Ensayo Ver Herramientas Estimaciones Ajustes Ventanas

Gráfica Datos Detalles

Ensayo:
Nombre: DBOb Colector PQ
Operario:
Fecha: 29/06/2011
Línea de base: 6,58 ppm
Sólidos 3 g/l
Vf: 1000 ml
Vm 50 ml
s: 1
Y: 0,67
Estimación : 0 mg/l
Duración(hh:mm:ss): 00:01:23:18

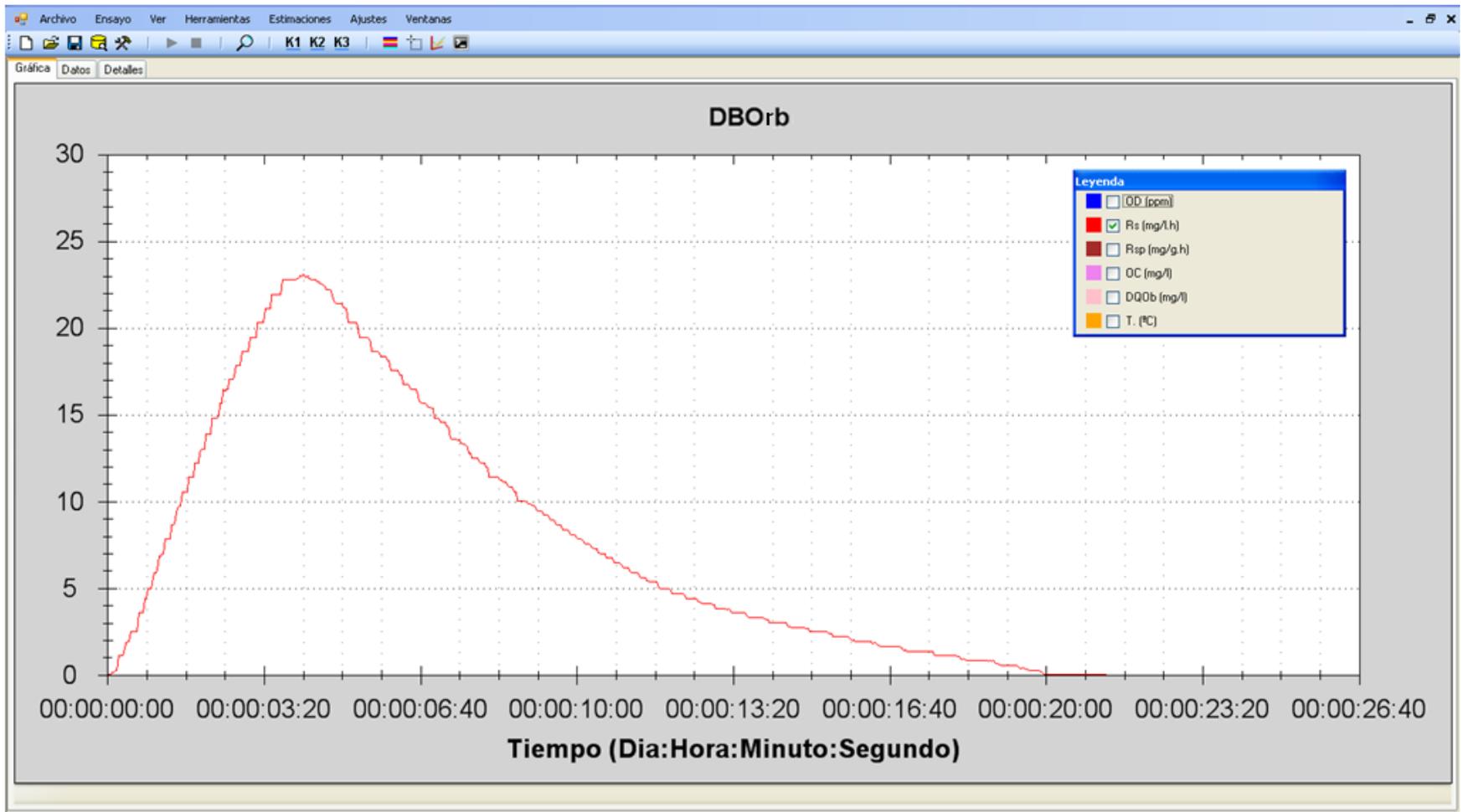
Resultados
Selecciona el tipo de datos de la siguiente lista para ver todos sus resultados :

OD (ppm)
Rs (mg/l.h)
Rsp (mg/g.h)
OC (mg/l)
DQOb (mg/l)
T. (°C)

Observaciones
1000 ml fango recirculación
aireado 50 ml muestra efluente
Colector Petroquímica (1.190 mg/l
de DQO)

Primer valor : 0
Último valor : 887,96
Mínimo : 0
Máximo : 887,96
Promedio : 625,13

Fraccionamiento de la DQO – DQOrb (I)



Respirograma R_5 de la DQOrb

Fraccionamiento de la DQO – Valores de DQOrb (II)

Archivo Ensayo Ver Herramientas Estimaciones Ajustes Ventanas

Gráfica Datos Detalles

Ensayo:
Nombre: Yh 290611
Operario:
Fecha: 29/06/2011
Línea de base: 6,85 ppm
Sólidos 3 g/l
Vf: 1000 ml
Vm 50 ml
s: 2
Y: 0,67
Estimación : 0 mg/l
Duración(hh:mm:ss): 00:00:21:18

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

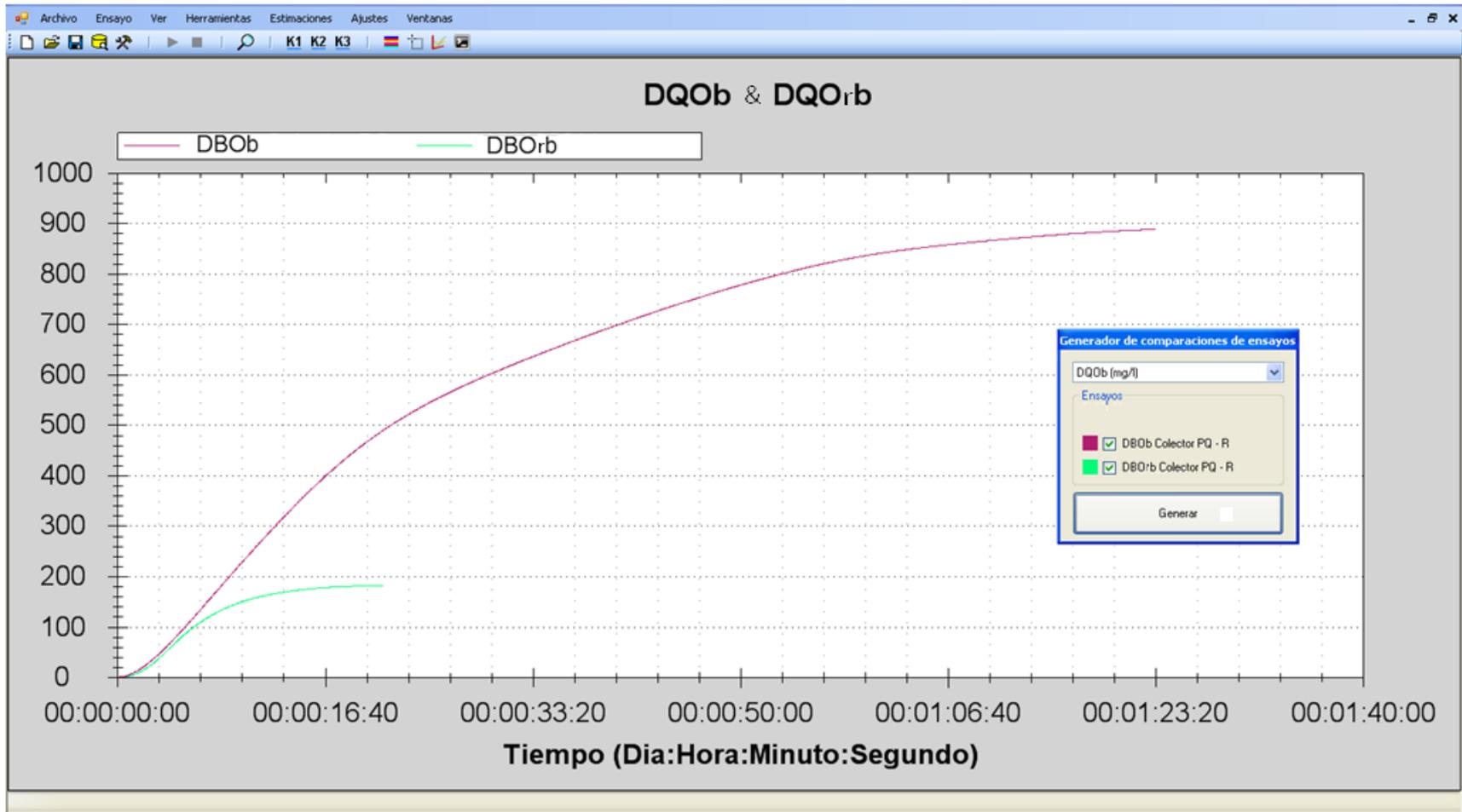
- OD (ppm)
- Rs (mg/l.h)
- Rsp (mg/g.h)
- OC (mg/l)
- DQOb (mg/l)**
- T. (°C)

Observaciones

Primer valor :	0
Último valor :	180,81
Mínimo :	0
Máximo :	180,81
Promedio :	125,41

Fraccionamiento de la DQO

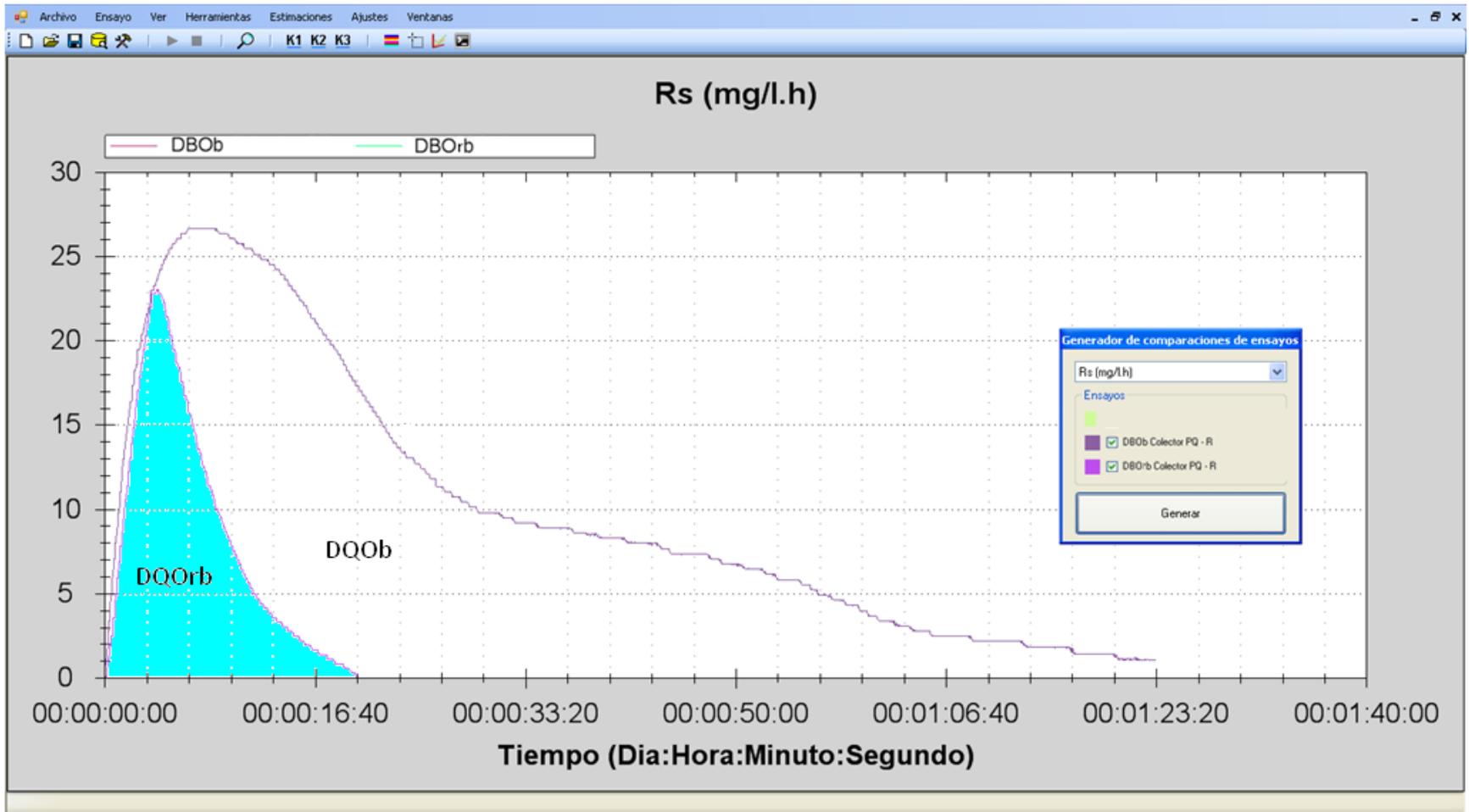
Superposición de la DQOb con la DQOrb (I)



Respirogramas de la DQOb & DQOrb superpuestos

Fraccionamiento de la DQO

Superposición de Rs de DQOb con Rs de DQOrb (II)



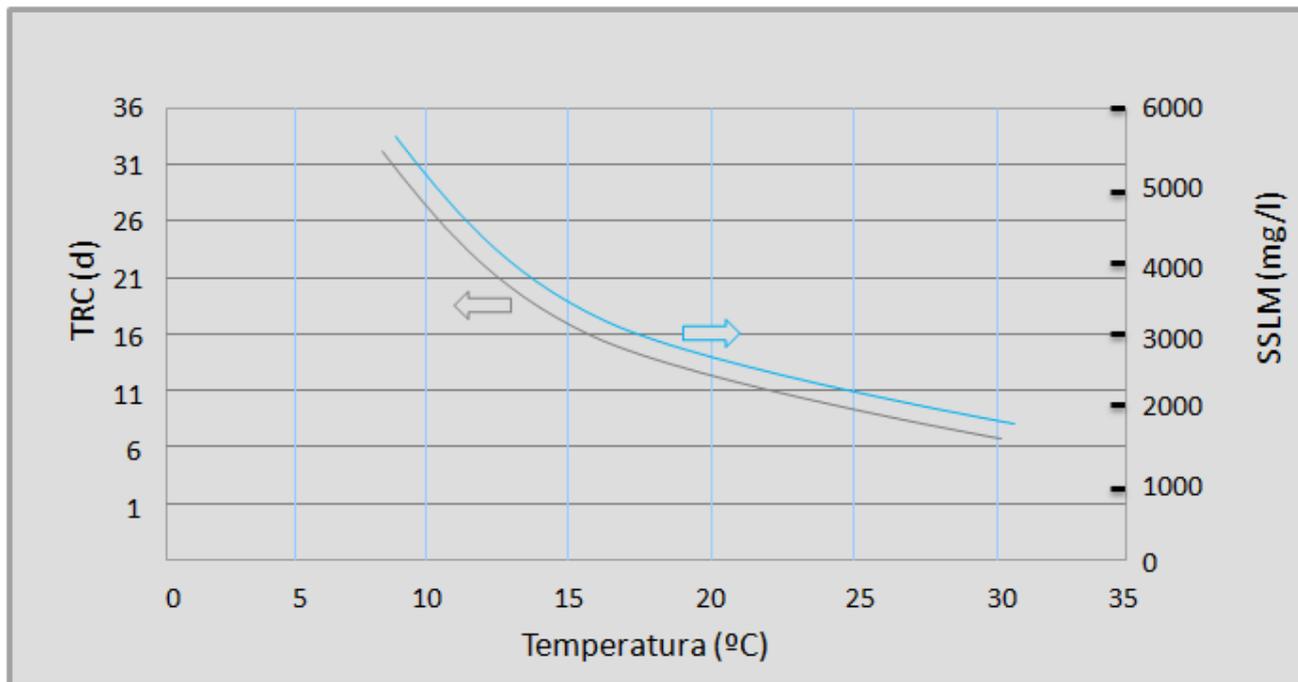
Respirogramas de las Rs de las DQOb & DQOrb superpuestos

Biomasa autótrofa & Nitrificación

SURCIS S.L

Condiciones iniciales para la nitrificación

Condiciones	
pH	7.5 a 8 (óptimo)
T	> 15 a 28 °C
OD	1 a 3 ppm
Reactor con suficiente capacidad de nitrificación	
Sin inhibidores ni compuestos tóxicos	



Parámetros clave en la biomasa autótrofa & nitrificación

Concentración de amonio a nitrificar (S_N) y tasa de nitrificación media actual (AUR)

Concentración de la biomasa autótrofa activa (X_A)

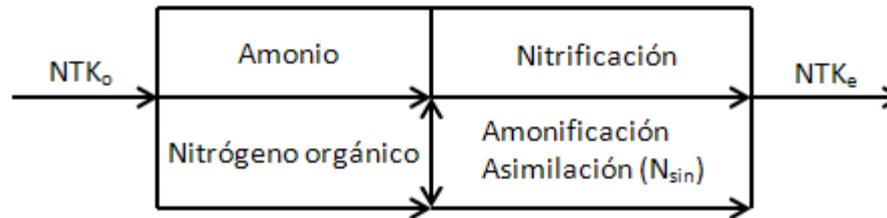
Valores de la tasa de nitrificación a oxígeno máximo (AUR')

Coefficiente de semi-saturación de oxígeno (K_{OD})

Valores de la tasa de nitrificación (AUR_{OD}), edad del fango (TRC_{OD}) y capacidad de nitrificación ($C_{N,OD}$) para los distintos niveles de OD en que el proceso puede operar

Concentración de amonio a nitrificar (S_N) y tasa de nitrificación actual (AUR) en el proceso

Debido al proceso de la amonificación, parte del nitrógeno orgánico pasa a la forma de nitrógeno amoniacal. Por lo tanto, el amonio a nitrificar se calcula desde el NTK eliminado del que sustraemos el nitrógeno que corresponde a la síntesis celular.



$$S_N \text{ (mg N-NH}_4\text{/l)} = \text{NTK}_o - \text{NTK}_e - N_{\text{sin}}$$

$$N_{\text{síntesis}} = 0.04 * (\text{DBO eliminado})$$

S_N : Concentración de amonio típica a nitrificar (mg N-NH₄/l)

N_{sin} : Nitrógeno dirogido a la síntesis celular (mg/l N) $\approx 0.04 * \text{DBO utilizada}$

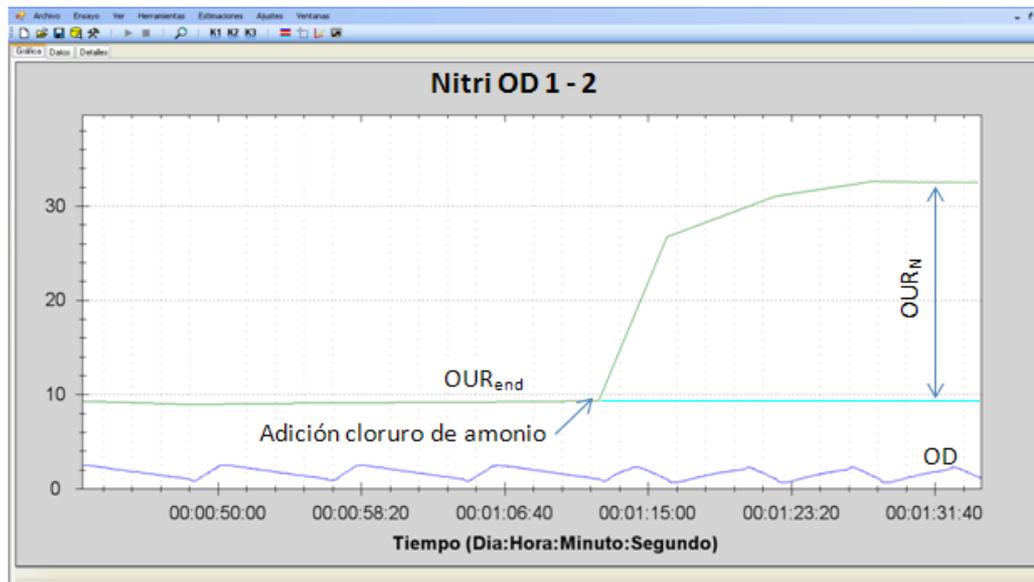
Fuente: Activated sludge treatment of industrial wastewater – W.W. Eckenfelder. 1995

$$\text{AUR (mg N-NH}_4\text{/l.h)} = S_N / \text{TRH}_N$$

TRH_N (h): Tiempo de residencia hidráulica aerobio destinado a la nitrificación

Determinación de la tasa de nitrificación actual (AUR) por respirometría

Se lleva a cabo mediante un ensayo en modo OUR cíclico, desde respiración endógena entre valores OD del proceso, añadiendo una dosis de cloruro de amonio con una concentración de nitrógeno amoniacal equivalente ($1 \text{ mg ClNH}_4 = 0.26 \text{ mg N-NH}_4$)



Respirograma del OUR cíclico para la tasa de nitrificación

$$\mathbf{AUR} \text{ (mg N-NH}_4\text{/l.h)} = \mathbf{OUR_N} / 4.57$$

4.57: mg O_2 que necesita 1 mg de amonio para su nitrificación

Concentración de la biomasa autótrofa (X_A)

Para un TRC dentro del rango normal, el valor de la concentración de biomasa autótrofa actual (X_A) debe ser coherente con el calculado según la tabla de referencia ($X_{A.ref}$)

$$X_A = TRC * 0.1 * AUR * 24$$

Rango de normalidad del TRC: 4 a > 35 días

$$X_{A.ref} = F_N * [SSVLM]$$

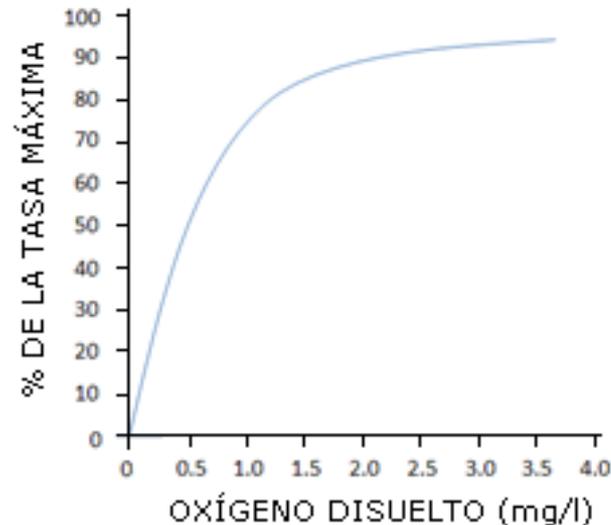
Tabla de referencia

BOD/TKN	0.5	1	2	3	4	5	6	7	8	9
F_N	0.35	0.21	0.12	0.083	0.064	0.054	0.043	0.037	0.033	0.029

En el caso de que X_A sea sensiblemente inferior a $X_{A.ref}$, es muy probable que la biomasa autótrofa tenga una concentración inferior a la normal o que se encuentre con síntomas de inhibición.

Tasa de nitrificación según nivel de oxígeno

Se puede asumir que, a partir de 3 mg/l de oxígeno, la tasa de la tasa de respiración máxima por nitrificación y tasa de nitrificación máxima se mantienen prácticamente sin variaciones significativas y se pueden considerar como constantes.

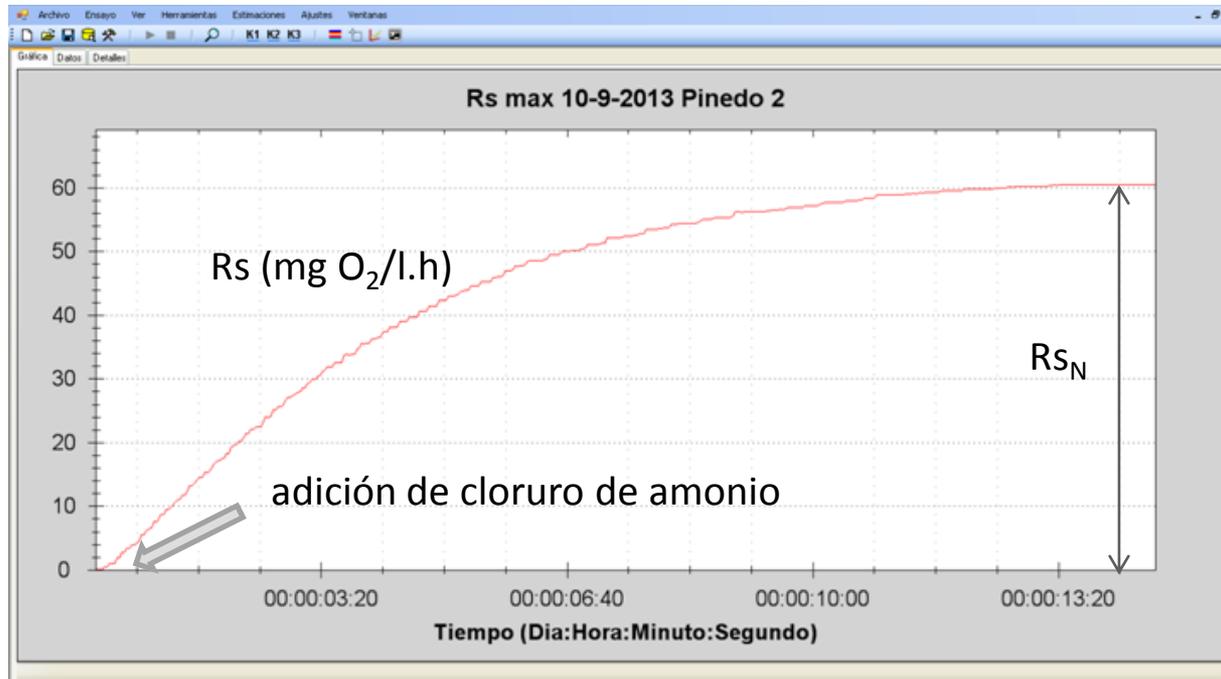


Puesto que el modo R trabaja bajo condiciones de oxígeno máximas, el mejor modo de obtener esta tasa de respiración y nitrificación máximas es por medio de un ensayo de este tipo.

Para llevar a cabo este ensayo R, haremos uso de 1 litro de fango activo en fase endógena y cloruro de amonio con una concentración de amonio equivalente a la que se quiere nitrificar.

Tasa de nitrificación a oxígeno máximo (AUR')

Se determina mediante un ensayo R de respirometría, utilizando cloruro de amonio con una concentración de amonio equivalente y a las mismas condiciones medias de temperatura y pH que las del proceso real.



Respirograma R por adición de cloruro de amonio

$$\mathbf{AUR'} \text{ (mg N-NH}_4\text{/l.h)} = \mathbf{Rs_N} / 4.57$$

4.57: mg O₂ que necesita cada mg de N-NH₄ para su nitrificación

El uso de la respirometría BM en el cálculo de la constante de semi-saturación de oxígeno (K_{OD})

El oxígeno disuelto en el que se desarrolla la nitrificación, depende en gran medida del oxígeno disuelto y, según bibliografía y programas de simulación, su cinética ésta ligada a la constante de semi-saturación del oxígeno disuelto: K_{OD}

El inconveniente está en que el valor de K_{OD} varía según la fuente:

Fuente	K_{OD} (mg/l)	Fuente	K_{OD} (mg/l)
EPA	1.3	ASM1	0.4
IAW	0.4	ASM2/3	0.5
BioWin	0.25	LISS	1
GPS-X	0.5	Otros	0.3 - 2



Con la respirometría BM solucionamos el problema de la ambigüedad de K_{OD} al calcularla de forma específica al proceso, y trabajar directamente con las condiciones actuales del mismo.

Coeficiente de semi-saturación (K_{OA})

Para determinar la tasa de nitrificación para un determinado nivel de oxígeno en el proceso, se necesita previamente calcular el coeficiente de saturación K_{OA} .

$$K_{OD} = OD_{act} (AUR' - AUR) / AUR$$

OD_{act} (mg/l): Valor medio del oxígeno disuelto con que el proceso está operando

Tasa de nitrificación (AUR_{OD}), Edad del fango (TRC_{OD}) y Capacidad de nitrificación ($C_{N.OD}$) para un nivel oxígeno (OD) inferior a 3 mg/l

$$AUR_{OD} \text{ (mg N-NH}_4\text{/l.h)} = AUR' * OD / (K_{OD} + OD)$$

OD (mg/l): Nivel de oxígeno disuelto para el que se quiere calcular la tasa de nitrificación

$$TRC_{OD} \text{ (d)} = X_A / (Y_A * 24 * AUR_{OD})$$

Y_A : Coeficiente del rendimiento de la biomasa ≈ 0.1

$$C_{N.OD} \text{ (mg N-NH}_4\text{)} = AUR_{OD} * TRH_N$$

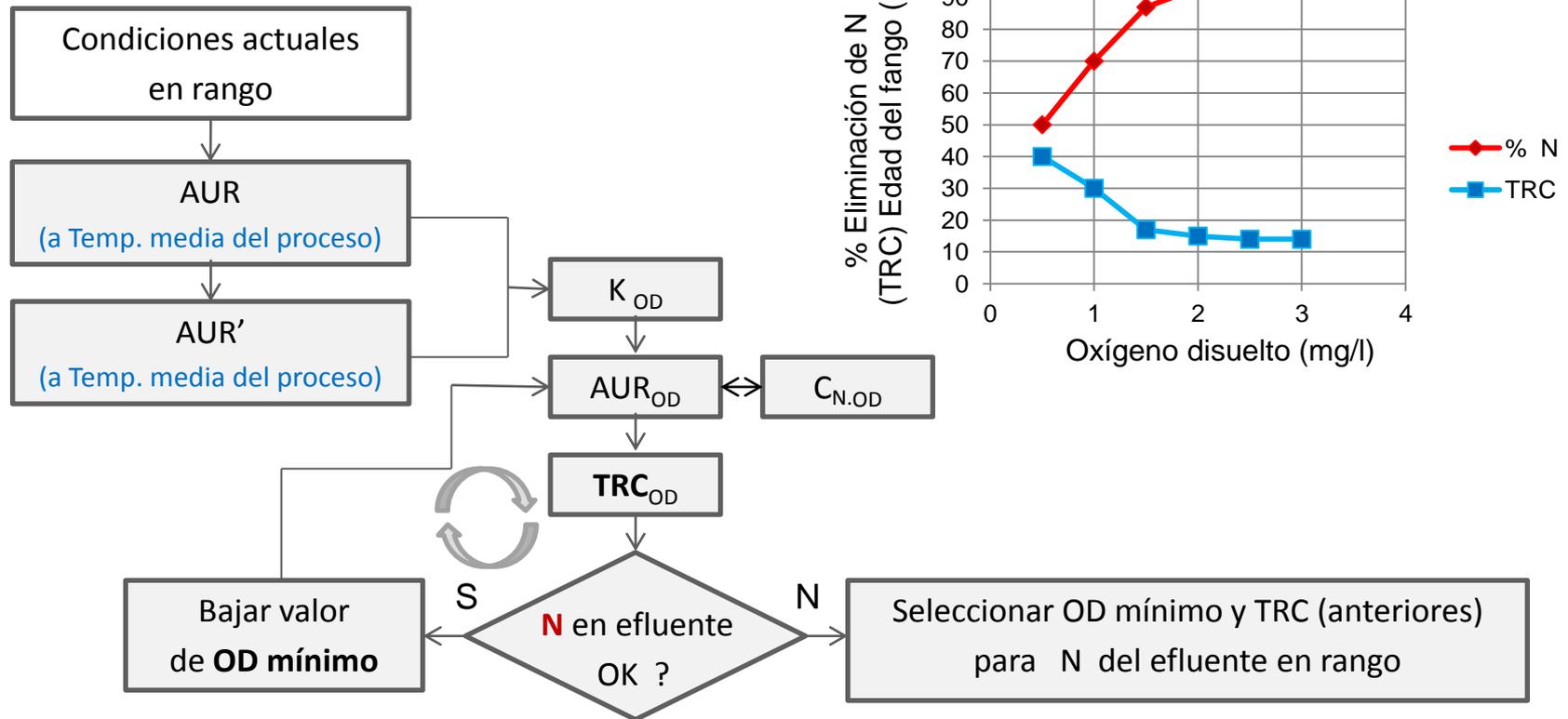
TRH_N : Tiempo de retención hidráulica disponible para la nitrificación

Optimización de la Nitrificación

SURCIS S.L

Optimización energética mediante la selección del OD Y TRC mínimos

La estrategia a seguir se basa en la determinación del AUR_{OD} para un OD mínimo que nos determine un TRC_{OD} suficiente para el rendimiento exigido al proceso.



Desnitrificación

SURCIS S.L

Parámetros clave en en proceso de desnitrificación

DQO soluble necesario para el proceso: $S_{S, DN}$

Tasa de desnitrificación: **NUR**

Capacidad de desnitrificación: C_{DN}

Volumen necesario para la desnitrificación en zona anóxica: V_{DN}

Condiciones iniciales para la desnitrificación

Condiciones	
pH	6.5 a 8 (óptimo)
DBO/NTK	2.5 a 5
1. DBO _S /N-NO _{3.DN}	≥ 2.83 
OD	< 0.3 ppm
Reactor con suficiente capacidad de desnitrificación 	
Sin inhibidores ni compuestos tóxicos	

Recirculación externa

$$Q_r + Q_n = Q_i (N\text{-NO}_{3.DN} / N\text{-NO}_{3e} - 1)$$

- 2.
- Q_r: Caudal fango de recirculación.
 - Q_n: Caudal de recirculación de Nitratos.
 - Q_i: Caudal del influente a planta.
 - N-NO_{3.DN}: Concentración de Nitratos a desnitrificar.
 - N-NO_{3e}: Concentración de Nitratos en efluente.

DQO soluble biodegradable ($S_{S, DN}$) y consumo de oxígeno (OC_{DN}) para la desnitrificación



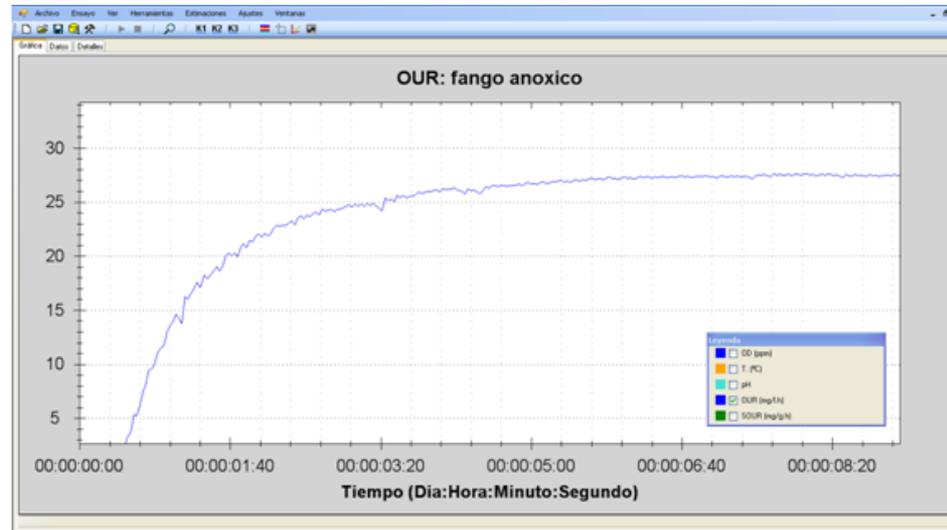
$$S_{S, DN} = OC_{DN} / (1 - Y_H)$$

$$OC_{DN} \text{ (mg/l)} = 2,86 * N\text{-}NO_{3, DN}$$

$N\text{-}NO_{3, DN}$ (mg/l): Nitrato a desnitrificar

Tasa estimada de desnitrificación (NUR)

Realizamos un ensayo OUR con el fango procedente de la zona anóxica de desnitrificación.

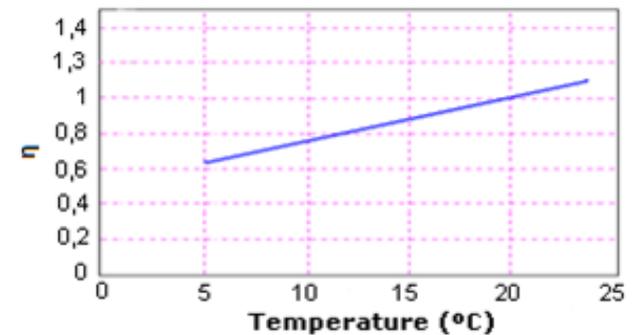


Respirograma OUR con fango anóxico

$$\text{NUR} [\text{mg N-NO}_3/(\text{l.h})] = \eta * \text{OUR}_{\text{DN}} / 2,86$$

Fuente1: E.CHOI and R.DAEHWAN. 2000. Korea University

Fuente2: W.W. Eckenfekder & J.L. Musterman – 1995



Tasa específica de la desnitrificación

Desde el valor de NUR calculamos el valor de la tasa específica de nitrificación (SDNR)

$$\text{SDNR [mg N-NO}_3\text{/(gSSV.d)]} = 0.024 * \text{NUR} / \text{SSVLM}$$

Valoramos la coherencia de los resultados por medio de una tabla de referencia

Estimated Specific Denitrification Rates

Temp ° C	Estimated SDNR	Temp ° C	Estimated SDNR
10	0.035	18	0.076
12	0.042	20	0.091
14	0.052	22	0.110
16	0.063	24	0.132

Fuente: EPA

Cálculo de la capacidad (C_{DN}) y volumen necesario (V_{DN}) para desnitrificación

Capacidad de desnitrificación

$$C_{DN} \text{ (mg N-NO}_3\text{/l)} = \text{NUR} * \text{TRH}_{DN}$$

TRH_{DN} (h): Tiempo de residencia hidráulica para la desnitrificación

Volumen necesario para la desnitrificación

$$V \text{ (m}^3\text{)} = Q_{in} * [\text{N-NO}_{3.DN}] / \text{NUR}$$

Q_{in} (m³/h): Caudal de entrada a zona anóxica de desnitrificación

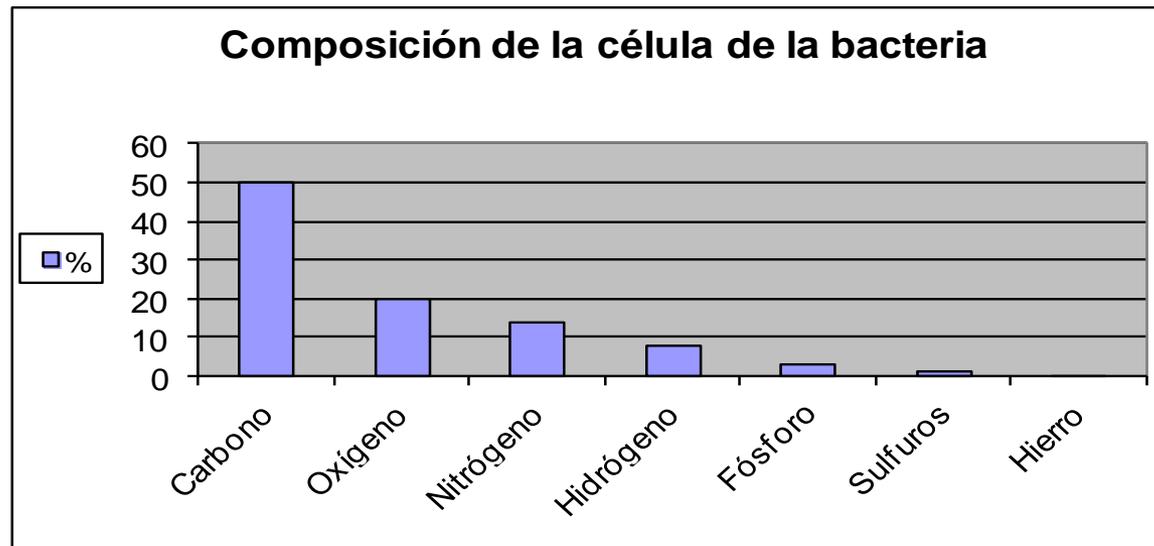
$\text{N-NO}_{3.DN}$: Nitrato a desnitrificar

Relación de nutrientes

SURCIS S.L

El Papel de los nutrientes en los procesos de fangos activos

Para el correcto desarrollo de la flora bacteriana de los fangos activos, la presencia de nutrientes como nitrógeno y fósforo es necesaria en adecuada proporción con el carbono.



Aunque los micro-nutrientes pueden jugar un importante papel en la formación de la biomasa, los macro-nutrientes **Carbono, Nitrógeno y Fósforo son fundamentales.**

Relación de Nutrientes

C/N/P Aguas Urbanas \longrightarrow 100 : 5 – 10 : 1 - 5

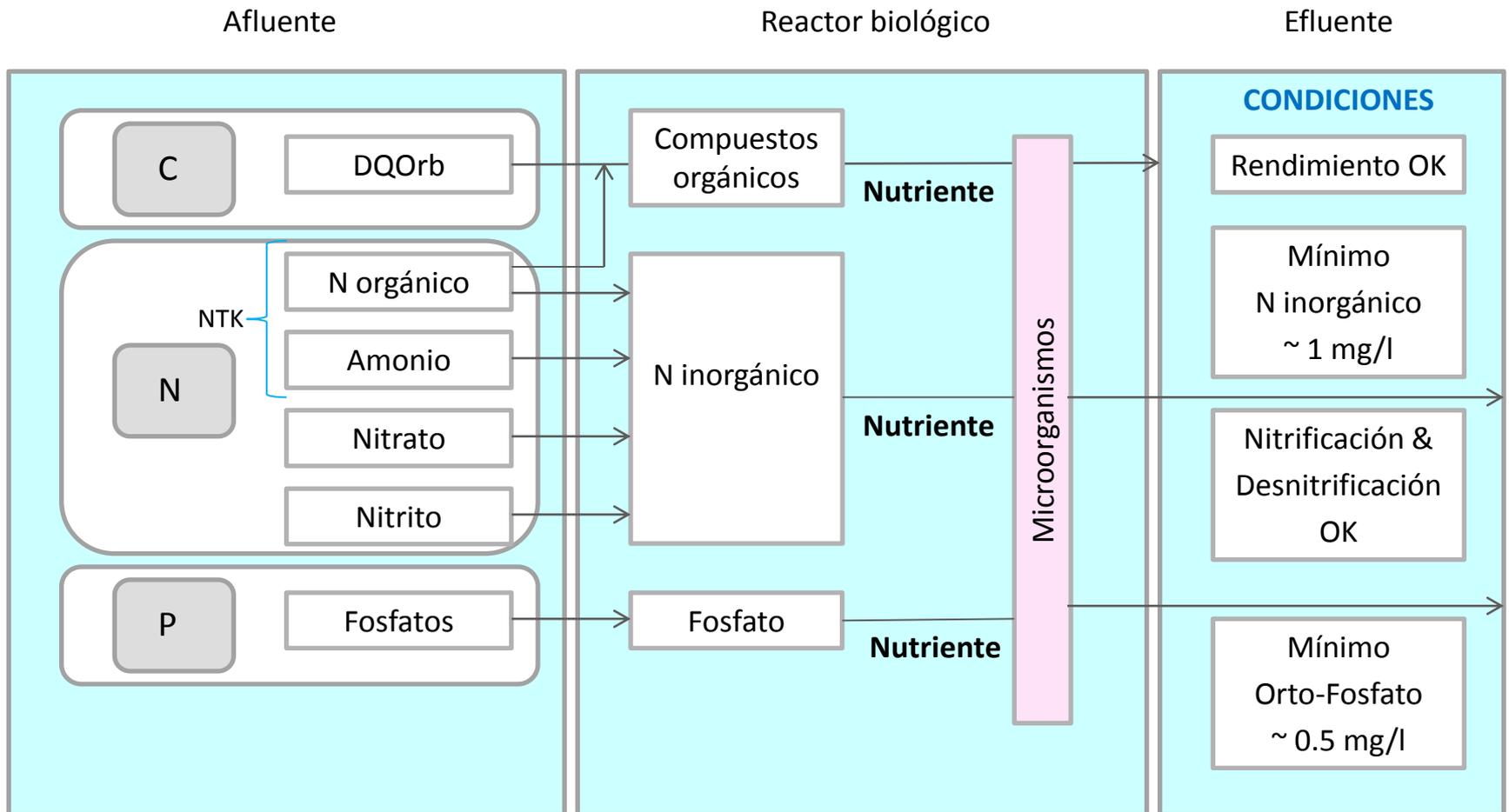
C/N/P Aguas Mixtas - Industriales \longrightarrow 100 : 2.5 - 5 : 0.5 - 1

Para una tendencia de máxima remoción de sustrato biodegradable,
la referencia inicial de control de nutrientes suele ser:

$$\mathbf{C/N/P = 100 : 5 : 1}$$

- C: DQO soluble biodegradable (DQOrb)
- N: Nitrógeno Total
- P: Fósforo Total

Flujo correcto de nutrientes en un proceso de depuración biológica



Indicadores que evidencian una falta de nutrientes

1. Nitrógeno inorgánico total ($\text{NH}_4 + \text{NO}_3 + \text{NO}_2$) por debajo de 1 mg/l

2. Orto-fosfato (PO_4) en efluente por debajo de 0.5 mg/l.

3. Presencia de bacterias filamentosas.

En este caso, como filamentosas representativas podemos citar la proliferación del tipo Thiothrix I y II, tipo 021N y N. Limicola.

Pueden coexistir también S. Natans, H. Hydrosis y Tipos 0041 y 0675.

4. Fango viscoso y/o con espumas: con contenido de polímero extracelular.

5. Y_H por debajo del rango normal (p.e. $Y_{H,O_2} \ll 0.5$)

6. Bulking

7. IVF > 150 ml/g

Presencia de bacterias filamentosas

Bioindicación microscópica

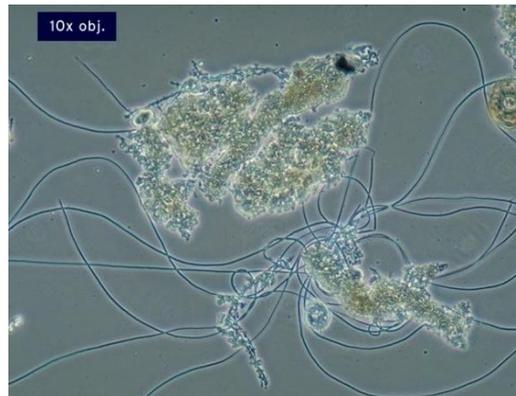
Las bacterias filamentosas más indicativas de una deficiencia de nutrientes son las siguientes:

Thiothrix



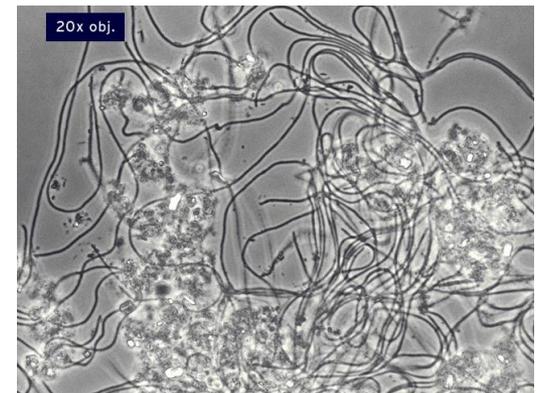
- Deficiencia de N y P
- Deficiencia de oxígeno
- $F/M > 0,1$

Tipo 021N



- Deficiencia de nutrientes
- Deficiencia de oxígeno
- Presencia ácidos grasos
- ...

Nostocoida Limicola



- Deficiencia de Carbono
- F/M excesivamente baja
- ...

Cálculo de la relación de nutrientes

Asumimos que, si establecemos una relación de nutrientes de referencia de 100:5:1 y un rendimiento del 100 %, el contenido de N en la biomasa es del 12,3%, el contenido en P es del 20% y la Y_{vss} es de 0.41.

Con ello, cuando el rendimiento es distinto del 100 % y $Y_{H.obs}$ es distinto de 0.41, el requerimiento de nutrientes se calcula del siguiente modo:

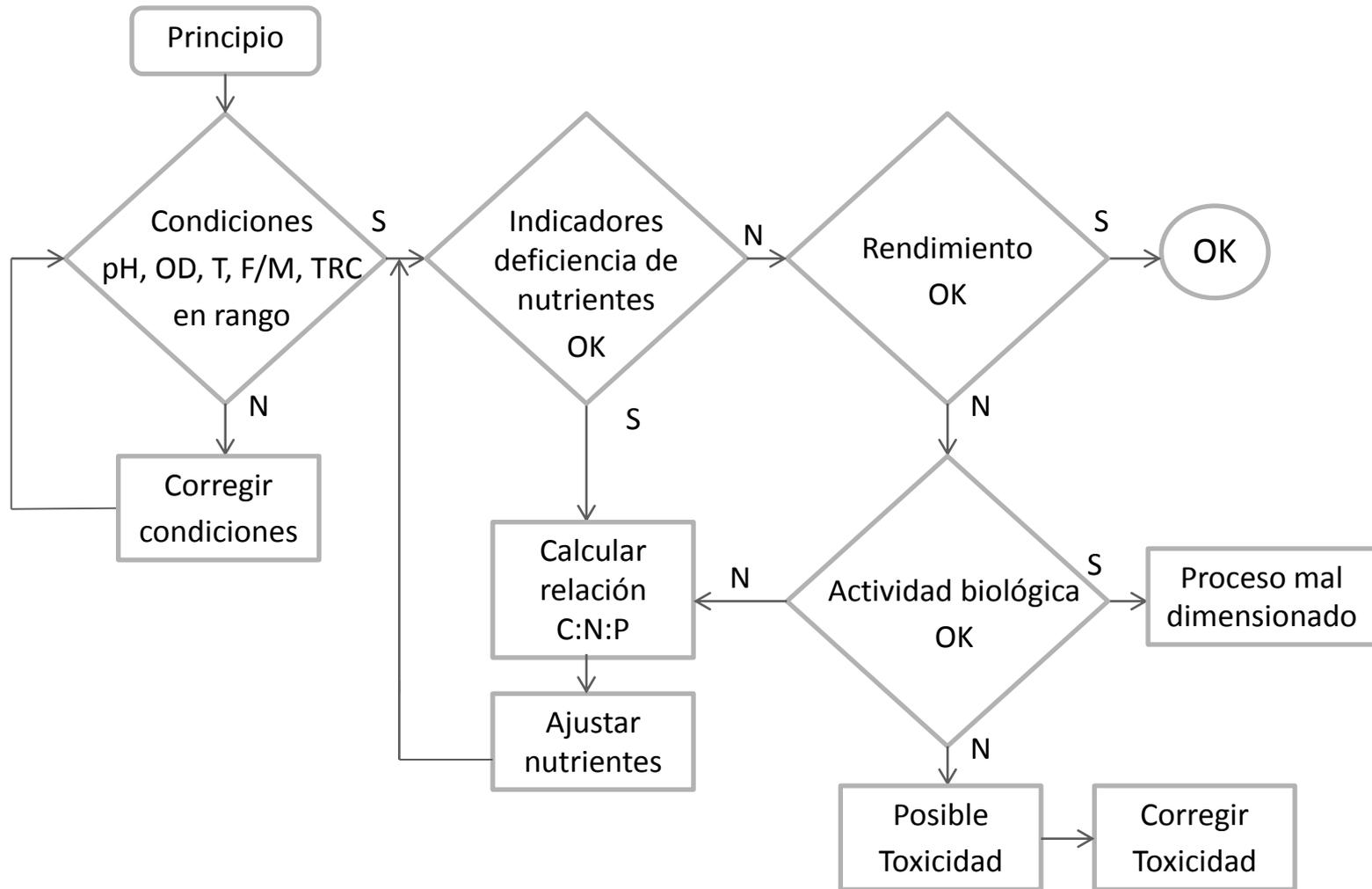
$$\mathbf{C : N : P = 41 / (E * Y_{H.obs}) : 5 : 1}$$

Fuente: [Nutrients Requirements in Biological Wastewater Treatment - Bashaar Y. Ammary – 2004](#)

E (%:100): Rendimiento del sustrato orgánico (DBO)

$Y_{H.obs}$: Coeficiente de rendimiento observado de crecimiento de la biomasa = mg de biomasa formada por mg de DQO soluble utilizada - DETERMINADO DESDE RESPIROMETRÍA

Protocolo de actuación en la relación de nutrientes



Fuentes de nutrientes

Fuente de nitrógeno

Normalmente se usa la **UREA**.

Se recomienda dosificarla en cabecera de planta, con el fin de permitir un tiempo suficientemente largo como para que la enzima Ureasa (presente en el licor-mezcla) la pueda hidrolizar y dar paso a la formación de aminas que subsecuentemente serán utilizadas por las bacterias.

1 g de Urea corresponde 0,47 g de N

Fuentes de fósforo

Los más utilizados son los siguientes:

- **Una mezcla 50/50 % de $\text{PO}_4\text{K}_2\text{H}$** (orto-fosfato dipotásico) / **PO_4KH_2** (orto-fosfato ácido potásico)
- **PO_4H_3** (ácido orto-fosfórico) - **con control de pH** -

1 g de orto P corresponde a 0,33 g de P

Toxicidad

SURCIS S.L

Podemos contemplar dos tipos de toxicidad

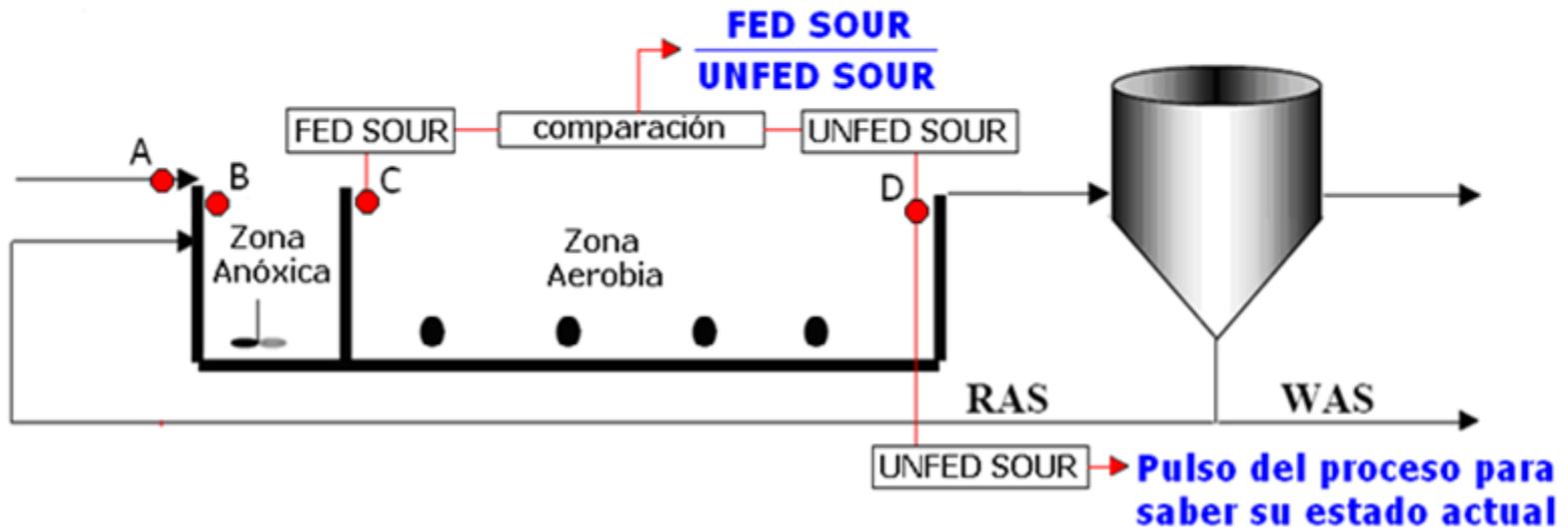
1. Toxicidad que ya está presente en el proceso de fangos activos



2. Toxicidad en agua residual o compuesto que hay que analizar

Síntomas de toxicidad ya presente en el proceso de fangos activos

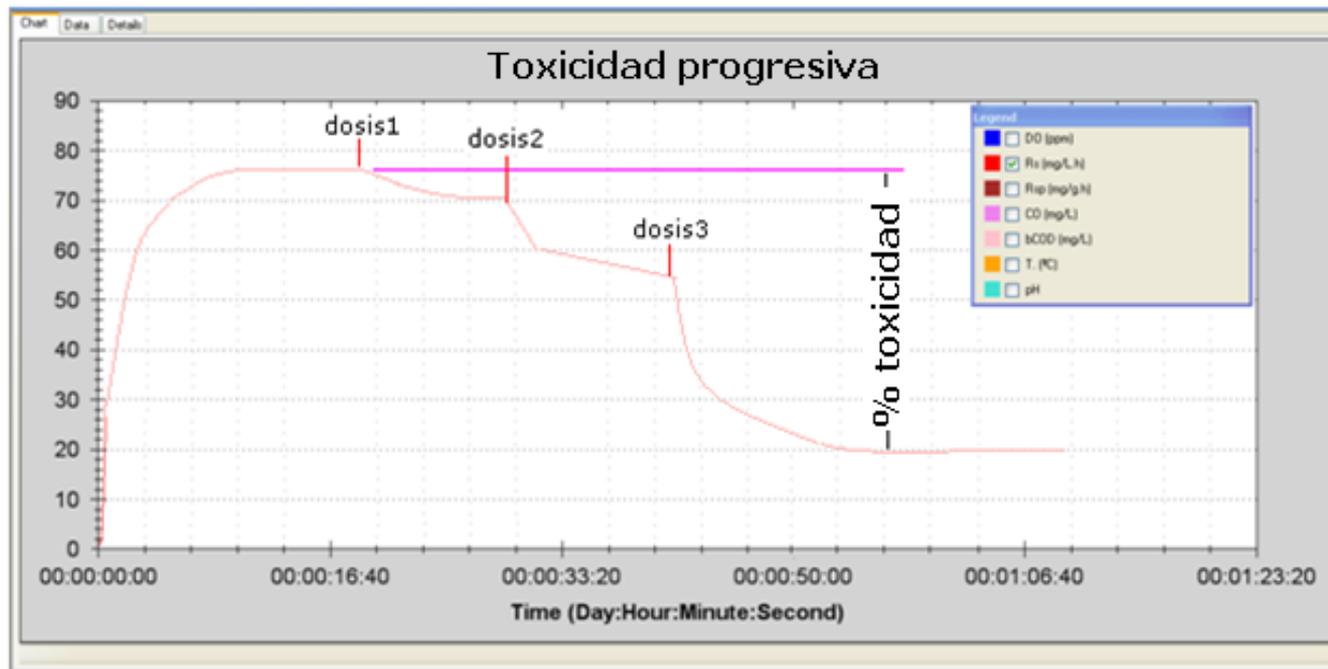
Parámetros	Síntomas
Fed SOUR	Unfed SOUR << valor referencia
Unfed SOUR	$\frac{\text{Fed SOUR}}{\text{Unfed SOUR}} < 1.3$



Toxicidad de efecto rápido

Método: dosis progresiva

El objetivo es analizar un efecto tóxico que se pudiera producir en el fango activo mediante la adición progresiva de dosis de muestra de agua residual sobre una tasa de respiración máxima provocada por la adición de un sustrato de referencia (acetato sódico, cloruro de amonio, o ambos)

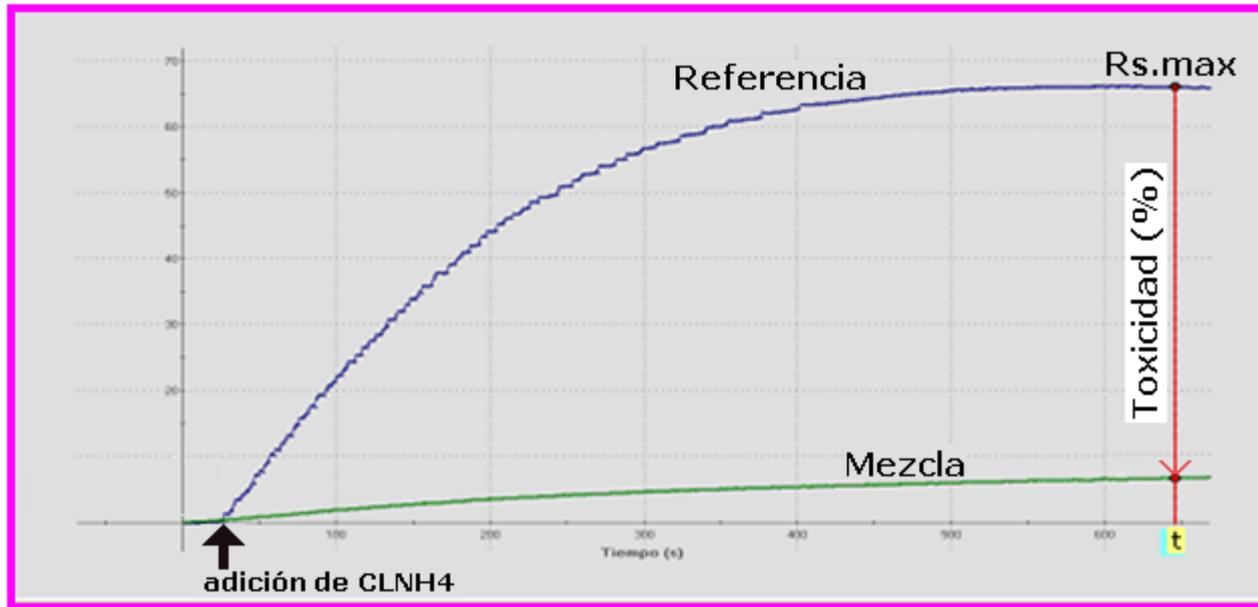


Respirograma por dosis periódica de sustrato

Toxicidad de un agua residual o compuesto

Método: comparación con Referencia

Comparamos la actividad de un compuesto estándar de referencia (cloruro de amonio) en dos fangos en fase de respiración endógena: Uno de referencia (sin agua residual) y otro con la mezcla de agua residual.



Respirograma combinado

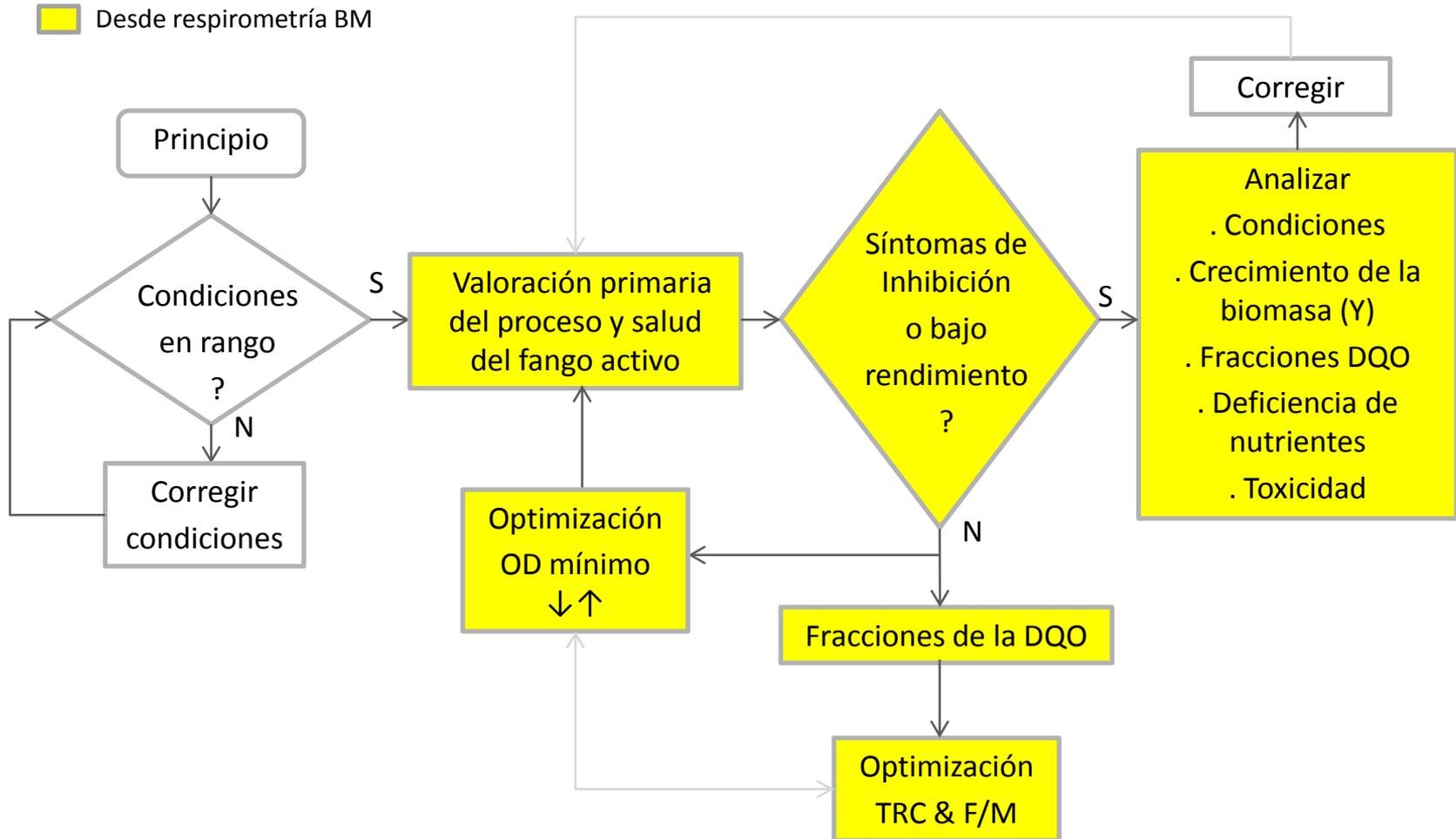
Referencia: Agua destilada + acetato + CLNH4 + Fango

Mezcla: Agua residual + Fango

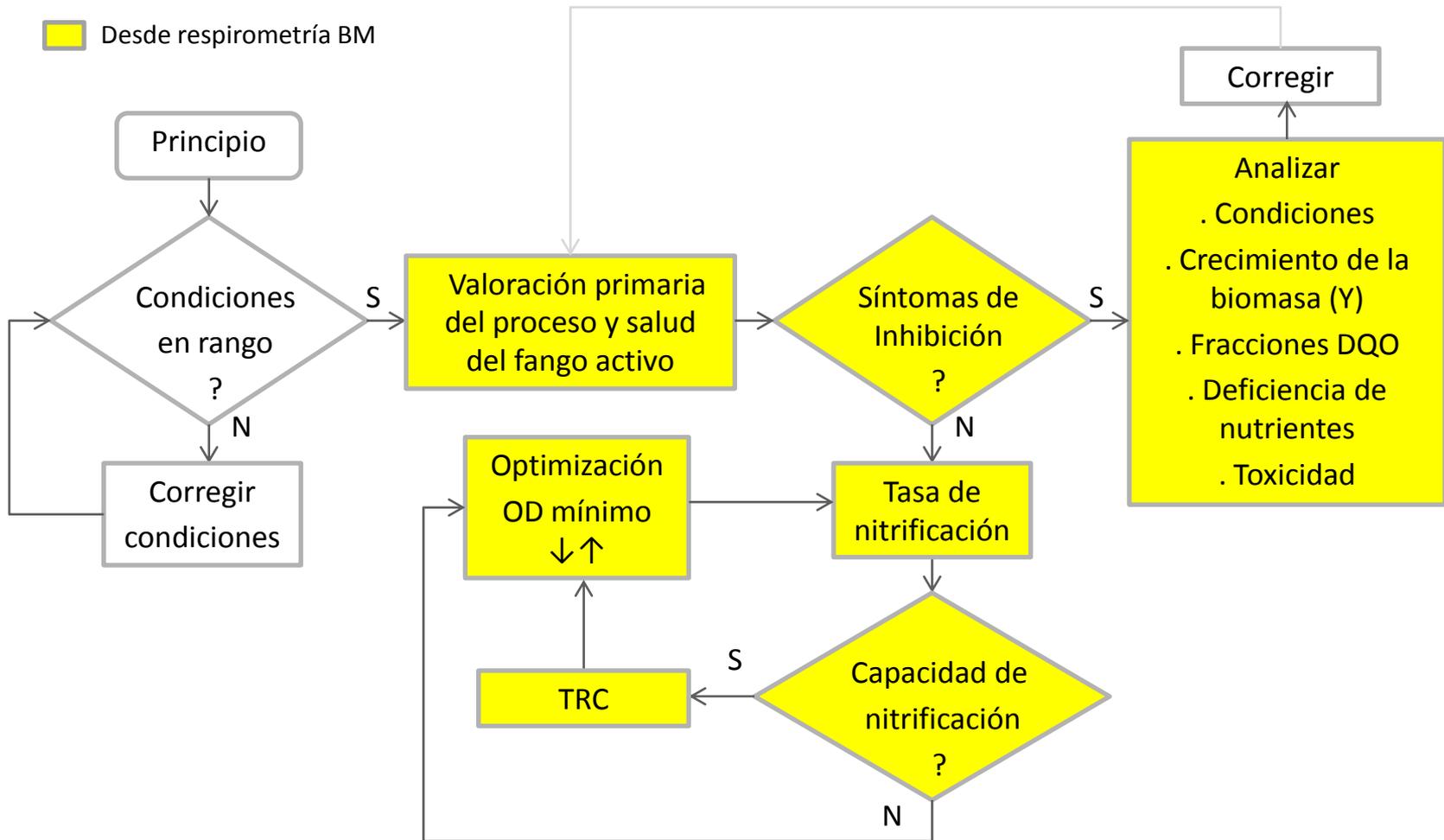
Protocolos operacionales

SURCIS S.L

Protocolo de respirometría para procesos sin nitrificación



Protocolo de respirometría para procesos con nitrificación



La Respirometría BM es mucho Más

SURCIS S.L

La Respirometría BM es mucho Más

Los Respirómetros BM son sistemas abiertos y por lo tanto pueden cubrir un número ilimitado de aplicaciones:

- Requerimiento actual de oxígeno
- Parámetros cinéticos para modelación
- Producción de fango
- Soporte a programas de simulación & modelación
- Diseño & Modificaciones del proceso de fangos activos
- I & D
- Aplicaciones diseñadas por el propio usuario
- ...

(En caso de interés, póngase en contacto con Surcis)

SURCIS

Encarnación, 125 – Barcelona (España)

Tel. +34 932 194 595 Fax. +34 932 104 30

E-mail: surcis@surcis.com Internet: www.surcis.com