

SERVICIO DE RESPIROMETRÍA

**Estudio de la tratabilidad específica
de una corriente al fango activo**

SURCIS

Índice

Descripción	Página
Sistema de Respirometría utilizado	3
Modos de trabajo de un respirómetro BM	4 - 5
Descripción básica de parámetros y términos utilizados en el estudio	6 - 7
Objetivos y descripción del desarrollo del estudio	8
Resumen de resultados	9
Conclusiones	10
Análisis Respirométrico	11
1. Estado del fango	12
1.1. OUR endógeno (OUR_{end})	13
1.2. Coeficiente de crecimiento de la biomasa heterótrofa (Y_H)	14
2. Tratabilidad para relación Volumen muestra/Volumen fango de 1/1000	15
2.1. DQO biodegradable total (DQOb)	16
2.1.1. DQO soluble rápidamente biodegradable (DQOrb)	17
2.2. Tasa máxima de eliminación de la DQO (U)	18
2.3. Inhibición de la DQOb	19
2.4. Síntoma de Toxicidad	19
3. Tratabilidad para relación Volumen muestra/Volumen fango de 2/1000	20
3.1. DQO biodegradable total (DQOb)	21
3.2. Tasa máxima de eliminación de la DQO (U)	22
3.3. Inhibición de la DQOb	23
3.4. Síntoma de Toxicidad	23
4. Tratabilidad para relación Volumen muestra/Volumen fango de 5/1000	24
4.1. DQO biodegradable total (DQOb)	25
4.2. Tasa máxima de eliminación de la DQO (U)	26
4.3. Inhibición de la DQOb	27
4.4. Síntoma de Toxicidad	27

Sistema de respirometría utilizado: BM-Advance



Características principales del analizador de respirometría BM-Advance

- 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.
- Control completo del funcionamiento y resultados por medio de potente software cargado en ordenador del sistema.
- 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 el mismo analizador.
- Monitorización y control automático del pH desde el software.
- Zoom de cualquier zona seleccionada en el Respirograma
- Las medidas de los respirómetros BM y aplicaciones derivadas (parámetro cinético y operativo) 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, biofiltros y biomasa granular.

Modos de trabajo de un respirómetro BM de Surcis

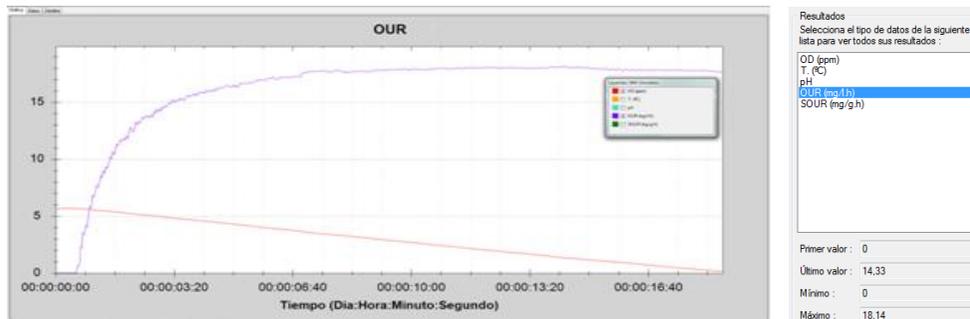
Los respirómetros BM de Surcis están dotados de tres modos de trabajo distintos, Con ello, se abre un importante abanico de posibilidades que permiten abordar un amplio número de aplicaciones.

Todos los modos incluyen un control automático de temperatura programable.

El modelo BM-Advance, incluye además el control automático del pH.

Modo OUR

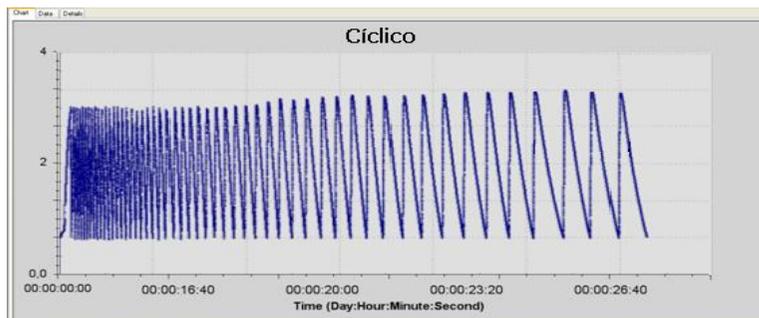
Se trata de una respirometría batch tradicional, optimizada por un perfecto aislamiento de la atmósfera de la cámara en donde se ejecuta el ensayo, y con la capacidad para calcular valores parciales del OUR & SOUR a distintos niveles de oxígeno disuelto.



Respirograma de valores del OD y OUR

Modo OUR cíclico

En este modo de trabajo se ejecutan de forma automática una cadena medidas OUR & SOUR determinadas por una ventana de puntos de consigna (alto y bajo) de oxígeno disuelto previamente programados y que se pueden cambiar durante la ejecución del ensayo.



Respirograma de valores OUR

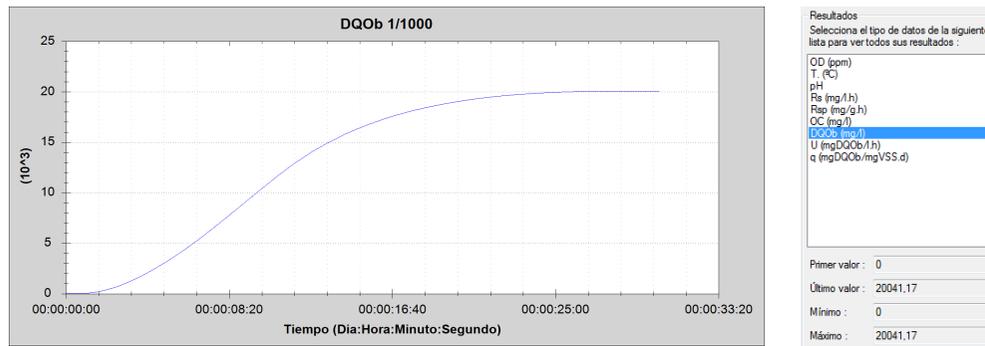
Tiempo	OUR (mg/L.h)	SOUR (mg/g.h)
00:00:53	4,08	2,27
00:00:54	4,67	2,59
00:00:55	4,58	2,54
00:00:56	4,5	2,5
00:00:57	4,42	2,46
00:00:58	4,97	2,76
00:00:59	4,88	2,71
00:01:00	4,8	2,67
00:01:01	4,72	2,62
00:01:02	5,23	2,91
00:01:03	5,14	2,86

Modo R

Se trata de un sistema optimizado de respirometría del tipo LFS, según clasificación del organismo Water Association (IWA): en donde se trabaja en fase líquida (L) en modo dinámico (F) en condiciones sistema abierto con oxigenación permanente (S), provisto de circuito de recirculación.

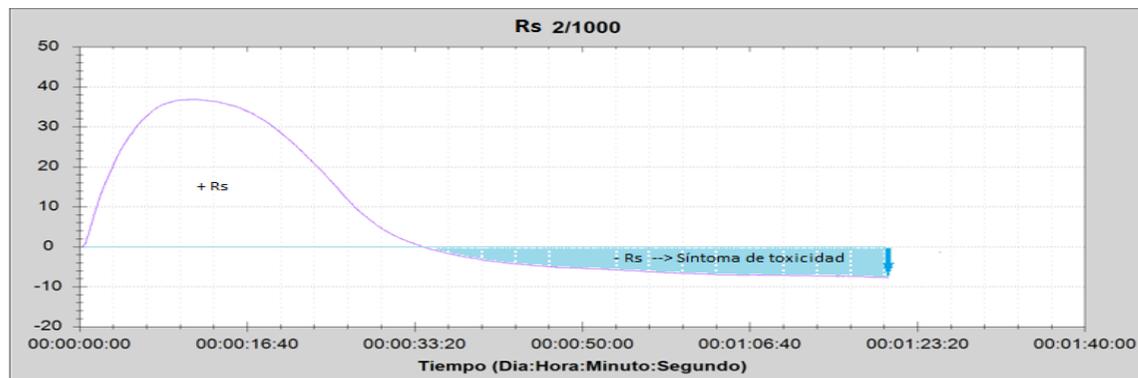
En líneas generales, el sistema de medida puede seguir considerándose como un sistema batch con reactor de mezcla completa en donde la aireación y recirculación se mantienen activas durante todo el ensayo.

Para el ensayo R se necesita fango activo en fase de respiración endógena (sin carga orgánica ni amónica) y una cantidad determinada de muestra. De este modo, con condiciones de temperatura y pH controladas automáticamente, se mide el oxígeno inicial del fango endógeno (línea base) y, una vez añadida la muestra, se miden las tasas de respiración dinámicas correspondientes (R_s). Así mismo, de forma simultánea, el software BM integra los valores de R_s en el tiempo calculando de forma automática el oxígeno, consumido, la DQO biodegradable y tasa de eliminación de la DQO (entre otros)



Respirograma de la DQOb

Cuando los valores de oxígeno y R_s cruzan sensiblemente la línea base, hacia la zona de valores negativos, se detecta una posible toxicidad que la muestra ha estado provocando en el fango activo durante la ejecución del ensayo.

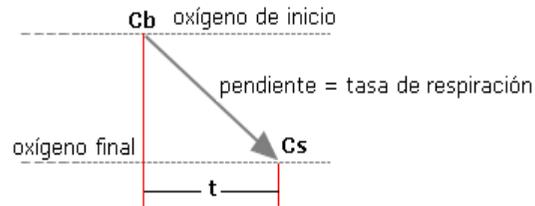


Respirograma de los valores R_s

Descripción básica de parámetros y términos utilizados en el estudio

Tasa de respiración (mg O₂/l.h)

La tasa de respiración no es otra cosa que la velocidad con que los microorganismos del fango activo están consumiendo oxígeno para su propia supervivencia (respiración endógena) y para la eliminación de sustrato biodegradable (respiración exógena)



La tasa de respiración es un indicativo de la actividad del fango tanto en lo que se refiere a su salud, como a la capacidad de degradación de un sustrato biodegradable. La tasa de respiración se suele medir en mg O₂/l.h y en kg O₂/m³.d

OUR_{end}: Tasa de respiración de la respiración endógena (mg O₂/l.h)

Se trata de la tasa de respiración de los microorganismos contenidos en el fango activo para su supervivencia, en ausencia de sustrato. En este estudio la denominamos OUR_{end}. El OUR_{end} es directamente proporcional a la concentración efectiva de microorganismos activos. Por esta razón, su medida puede servir para valorar la concentración de microorganismos activos que se encuentran actualmente en el fango.

Con ello, el OUR_{end} permite evaluar si una baja actividad del fango es debida a que hay pocos microorganismos como consecuencia de que el fango se pudiera encontrar bajos los efectos de una posible falta de nutrientes, condiciones inadecuadas, inhibición o toxicidad.

Rs: Tasa de respiración exógena (mg O₂/l.h)

Cuando la tasa de respiración se refiere exclusivamente al oxígeno que se consume para la degradación del sustrato, recibe el nombre de tasa de respiración exógena. En este estudio, la tasa de respiración exógena se representa por Rs y la unidades son las habitualmente utilizadas en la tasa de respiración.

Y_H: Coeficiente estequiométrico del crecimiento de la biomasa heterótrofa

Es el rendimiento (porcentaje) de oxígeno consumido destinado al crecimiento de la biomasa heterótrofa por unidad de DQO eliminada. A este coeficiente se le denomina Y_H y sus unidades habituales son mg O₂/mg DQO.

La Y_H también se puede relacionar con los sólidos volátiles efectivos (SSVLM) producidos, y en este caso sus unidades son mg SSV/ mg DQO

La aplicación que tiene la Y_H en el presente estudio es la de valorar si la biomasa heterótrofa tiene una actividad y crecimiento normal ante un sustrato orgánico estándar. De este modo, se aporta un parámetro que valora la salud de la biomasa activa y si el fango pudiera estar siendo afectado por algún tipo de toxicidad ya presente en el mismo.

DQOb: DQO biodegradable total (mg/l)

Fracción biodegradable total de la DQO

$$DQOb = (\text{Consumo de oxígeno de la DQO}) / (1 - Y_H)$$

DQOrb: DQO rápidamente biodegradable (mg/l)

Fracción biodegradable de la DQO filtrada a 45 micras.

$$DQOrb = (\text{Consumo de oxígeno de la DQO soluble}) / (1 - Y_H)$$

Biodegradabilidad referida al fango activo (%)

Es el porcentaje de DQOb en la DQO total

U: Tasa de eliminación de la DQO

Velocidad a la que se elimina la DQO en condiciones óptimas de oxígeno disuelto.

Tratabilidad

Análisis de la Biodegradabilidad, Inhibición, Toxicidad (o síntomas de Toxicidad)

Inhibición en la DQO biodegradable

DQOb que deja de ser detectada por efecto inhibitorio de la muestra en el fango activo.

Síntomas de toxicidad

Reducción anormal de la actividad del fango después de cada ensayo por posible disminución de la concentración de biomasa activa debida a una posible acción tóxica de la muestra en los microorganismos de la biomasa activa del fango.

El software de un respirómetro BM es capaz de detectar cualquier síntoma de toxicidad durante el desarrollo de un ensayo tipo R cuando la trayectoria de las tasas de respiración dinámicas (Rs) pasan a situarse por debajo de la línea base, ya que ello significa que la respiración endógena ha sufrido un reducción de su valor de partida y, por lo tanto, una reducción de la concentración de biomasa efectiva (*)

(*) La concentración de biomasa efectiva es directamente proporcional a la respiración endógena

- Rs: Tasa de respiración negativa

En los ensayos R de un respirómetro BM la línea base corresponde a la respiración endógena del fango de partida; por ello, la aparición de valores Rs negativos significa una reducción anormal del valor de la respiración endógena durante un ensayo de la DQOb.

Este valor negativo solo puede ser la consecuencia del contacto de la muestra con la biomasa activa del fango durante el ensayo de respirometría, provocando una reducción de su concentración y siendo por lo tanto un síntoma evidente de toxicidad.

Toxicidad

Consideramos toxicidad cuando al mezclar una determinada muestra con el fango activo el sustrato contenido en la misma es capaz de provocar un efecto letal en los microorganismos del fango activo y, por lo tanto, reducir sensiblemente la concentración de biomasa activa y la actividad del fango.

Objetivos y descripción del desarrollo del estudio

Los principales objetivos en el presente estudio son los siguientes:

1. Determinación de la DQO biodegradable y DQO rápidamente biodegradable.
2. Biodegradabilidad de la corriente con distintas proporciones de volumen muestra / volumen fango.
3. Grado porcentual de inhibición detectado durante el desarrollo de ensayos de respirometría tipo R, para la determinación automática de la DQO biodegradable. (*)
4. Síntomas de toxicidad a distintas proporciones de volumen muestra / volumen fango detectados durante el desarrollo de los ensayos tipo R, para la determinación automática de la DQO biodegradable. (*)

(*) El software de un respirómetro BM es capaz de detectar de forma automática una posible inhibición y síntoma de toxicidad durante el desarrollo de un ensayo tipo R para la determinación automática de la DQO biodegradable.

Resumen de resultados

Análisis del fango

Descripción	Parámetro	Resultado	Valoración
Tasa respiración en fango endógeno	OUR end (mg O ₂ /mg SS.h)	18	Normal
Coefficiente de crecimiento de la biomasa	Y _H (O ₂ /DQO)	0,62	Normal

Análisis de la Tratabilidad muestra

Descripción	Parámetro	Resultado	Valoración
DQO total	DQO (mg/L)	20.045	-
DQO soluble	DQOs (mg/l)	20.045	DQO = DQOs
Tratabilidad para relación Volumen muestra / Volumen fango = 1 / 1000			
DQO biodegradable Biodegradabilidad Tasa máxima de eliminación de la DQO Inhibición en la DQOb Síntoma de toxicidad	DQOb (mg/L) Biodegradabilidad = % en DQO U (mg DQO/l.h) I(DQOb) -Rs(mg O ₂ /l.h)	20.041 ≈ 100 67 0 -	Prácticamente cien por cien biodegradable No hay Inhibición en la eliminación de la DQOb No hay síntoma de toxicidad representativo
Tratabilidad para relación Volumen muestra / Volumen fango = 2 / 1000			
DQO biodegradable Biodegradabilidad Tasa máxima de eliminación de la DQO Inhibición en la DQOb Síntoma de toxicidad	DQOb (mg/L) Biodegradabilidad = % en DQO U (mg DQO/l.h) I (%) Rs negativo (mg O ₂ /l.h)	16.629 83 76 17 -Rs	Biodegradabilidad moderada Inhibición en la DQOb del 17 % Presenta síntoma claro de toxicidad
Tratabilidad para relación Volumen muestra / Volumen fango = 5 / 1000			
DQO biodegradable Biodegradabilidad Tasa máxima de eliminación de la DQO Inhibición en la DQOb Síntoma de toxicidad	DQOb (mg/L) Biodegradabilidad = % en DQO U (mg DQO/l.h) I (%) Rs negativo (mg O ₂ /l.h)	6.849 34 73 66 -Rs	Biodegradabilidad muy baja Inhibición en la DQOb del 66 % Presenta síntoma claro de toxicidad

Conclusiones

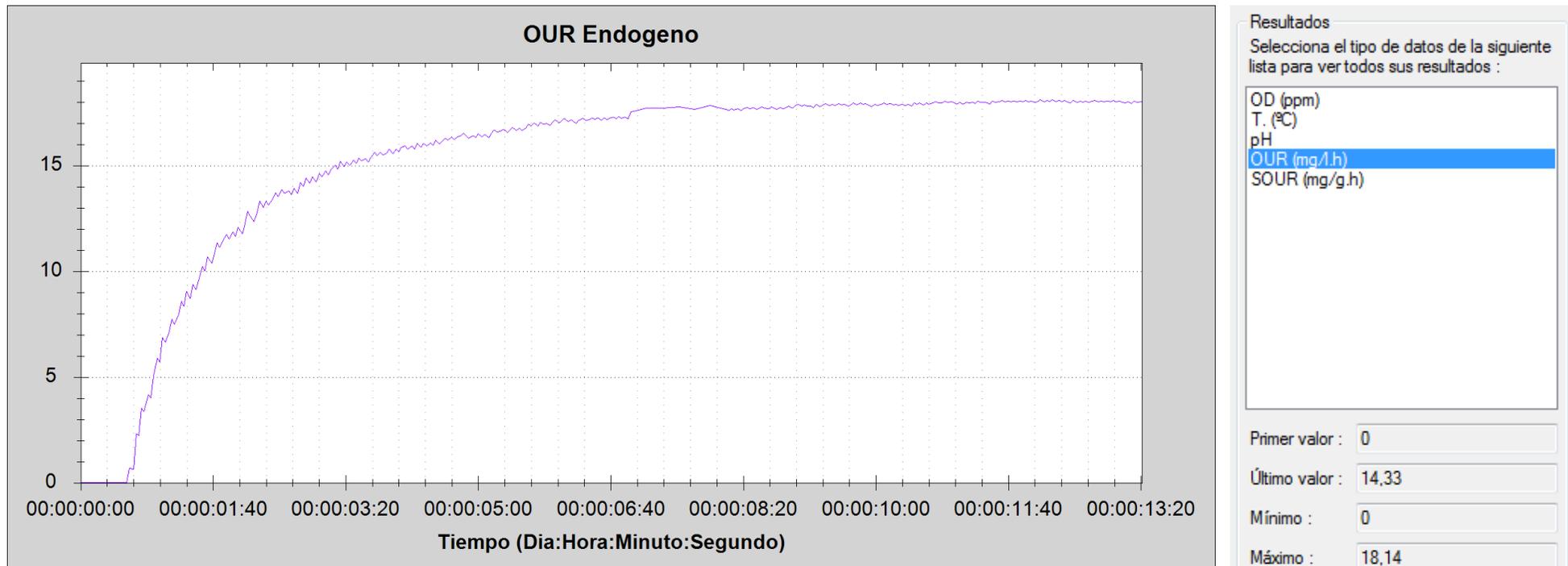
- El fango se encuentra con una actividad normal y no presenta síntomas de toxicidad.
- El coeficiente estequiométrico (Y_H) nos indica un crecimiento normal de la biomasa.
- Con el ensayo R para la DQO con una relación Volumen muestra/Volumen fango = 1/1000, se determina que la biodegradabilidad real de la muestra es del 100 %
- Desde los ensayos R de respirometría se deduce que la fracción biodegradable es única y no existe diferenciación de la DQO biodegradable (DQOb) respecto a la DQO soluble rápidamente biodegradable (DQOrb) Por esta razón, este estudio se ha limitado únicamente a la realización de ensayos de la DQO biodegradable total.
- Los valores de % de biodegradabilidad en los ensayos de relación muestra/fango de 2/1000 y 5/1000 experimentan una sensible reducción respecto al obtenido con la relación 1/1000 debido a una Inhibición provocada por la muestra durante la ejecución de los ensayos. Ello significa que para una relación muestra/fango > de 1/1000 el proceso puede presentar una importante Inhibición
- En los ensayos de la DQOb de relación 2/1000 y 5/1000 aparecen signos evidentes de toxicidad. Por ello, podría ser aconsejable hacer un estudio aparte únicamente dirigido a la Toxicidad, en donde entrara en juego el porcentaje de caudal de la muestra problema en el caudal de entrada a biológico y determinar el máximo caudal o volumen permisible sin que se llegue a manifestar la Toxicidad.

Análisis Respirométrico

1. Estado del fango

1.1. OUR endógeno (OUR_{end})

Se determina la tasa de respiración endógena a partir del fango efluente después de haberse aireado durante un periodo >12 horas y comprobar una actividad estable



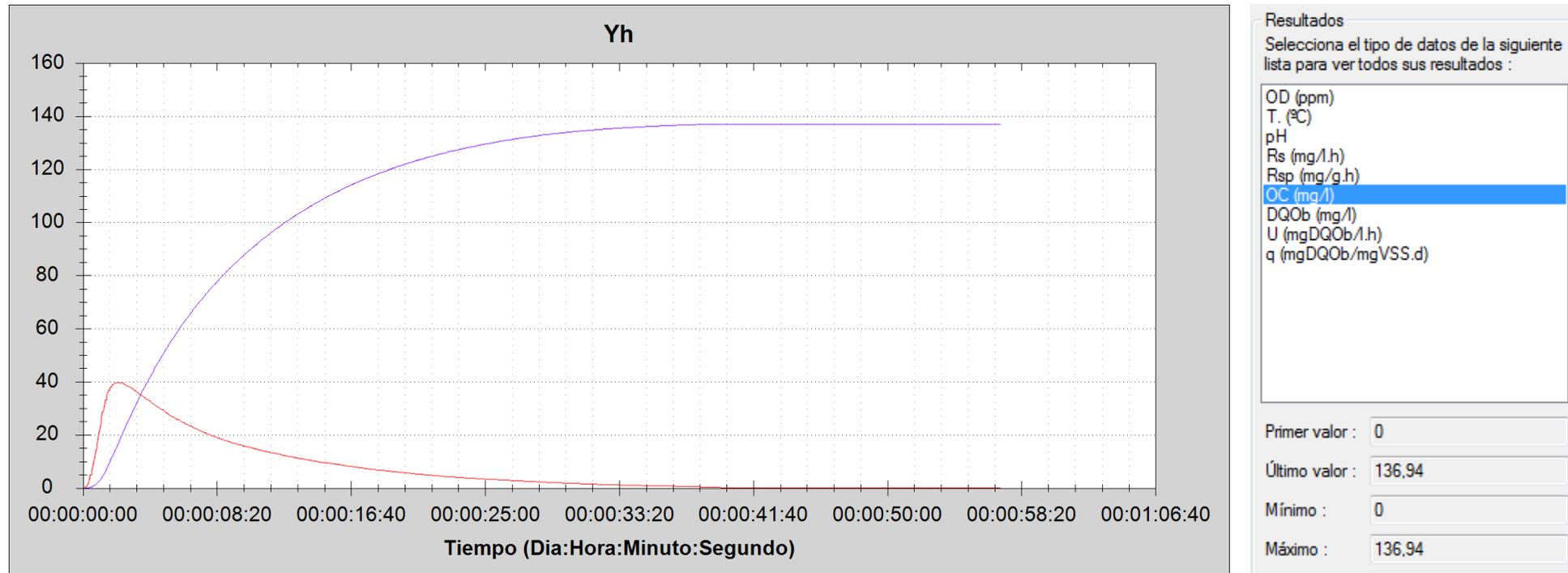
$OUR_{end} = 18 \text{ mg O}_2/\text{l.h}$

Valoración del OUR_{end}

El valor de 18 es normal para el tipo de proceso de depuración. Por ello podemos admitir que el fango, en ausencia de sustrato a tratar, se encuentra en buenas condiciones.

1.2. Coeficiente de crecimiento de la biomasa heterótrofa (Y_H)

La determinación de Y_H nos permite conocer la capacidad de reproducción del fango que está directamente vinculada con su salud biológica. Por otro lado, para el tipo de respirometría utilizada en este estudio, se utiliza para el cálculo de las fracciones biodegradables de la DQO. Este ensayo se lleva a cabo por medio de una solución con estándar orgánico (acetato sódico) con una DQOac de 360 mg/L a nivel óptimo de oxígeno.



$$Y_H \text{ (mg DQO}_{\text{bact.}}\text{/mg DQO)} = 1 - OC / DQO.\text{acetato}$$

$$Y_H = 1 - 136,94 / 360 = 0,62$$

$$Y_H = \mathbf{0,62} \text{ mg DQO}_{\text{bact.}}\text{/mg DQO}$$

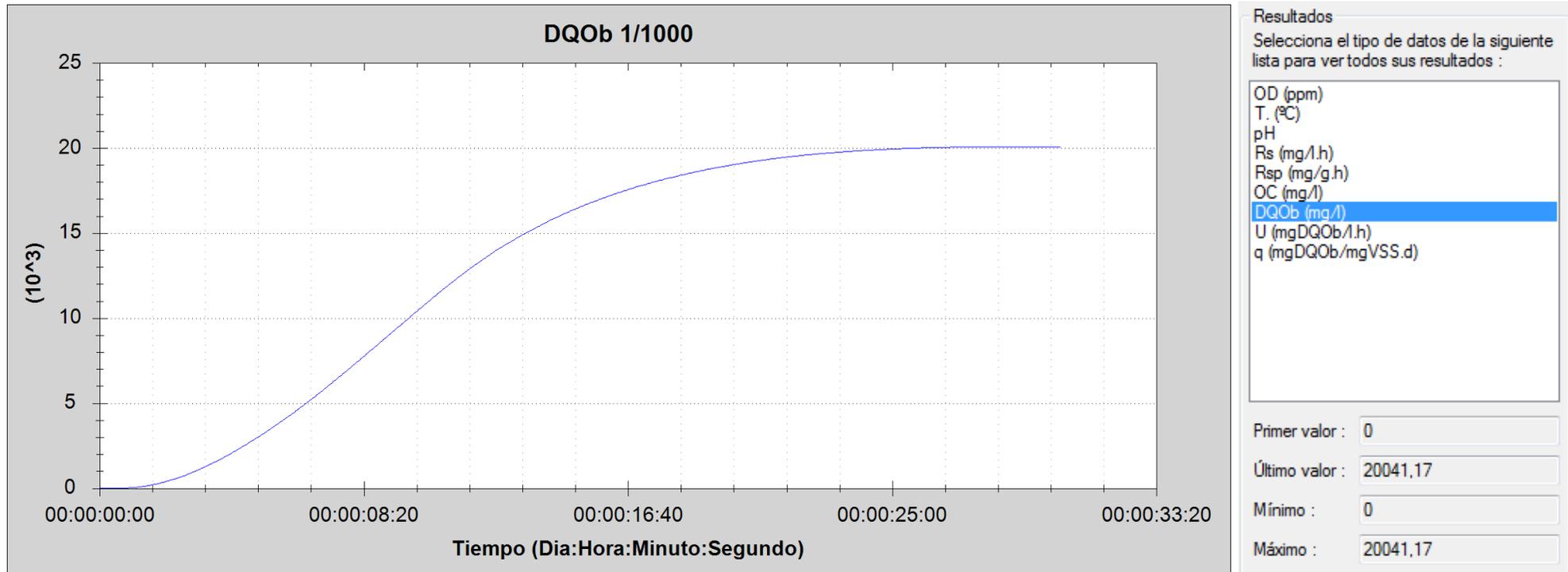
Valoración de la Y_H

Los valores de 0,62 está dentro del rango bajo de normalidad (0,5-0,8). Por ello, se deduce que la reproducción de la biomasa es normal y que el fango en condiciones normales de actividad ante un sustrato orgánico no inhibitorio.

2. Tratabilidad para relación Volumen muestra/Volumen fango de 1/1000

2.1. DQO biodegradable total (DQOb)

La DQOb representa la fracción de la DQO que es biodegradable. Se determina de forma automática a partir de la integración de las tasas de respiración obtenidas de un ensayo de respirometría, en donde se añaden muestra de agua residual al fango en respiración endógena.



DQOb = 20.041 mg/L

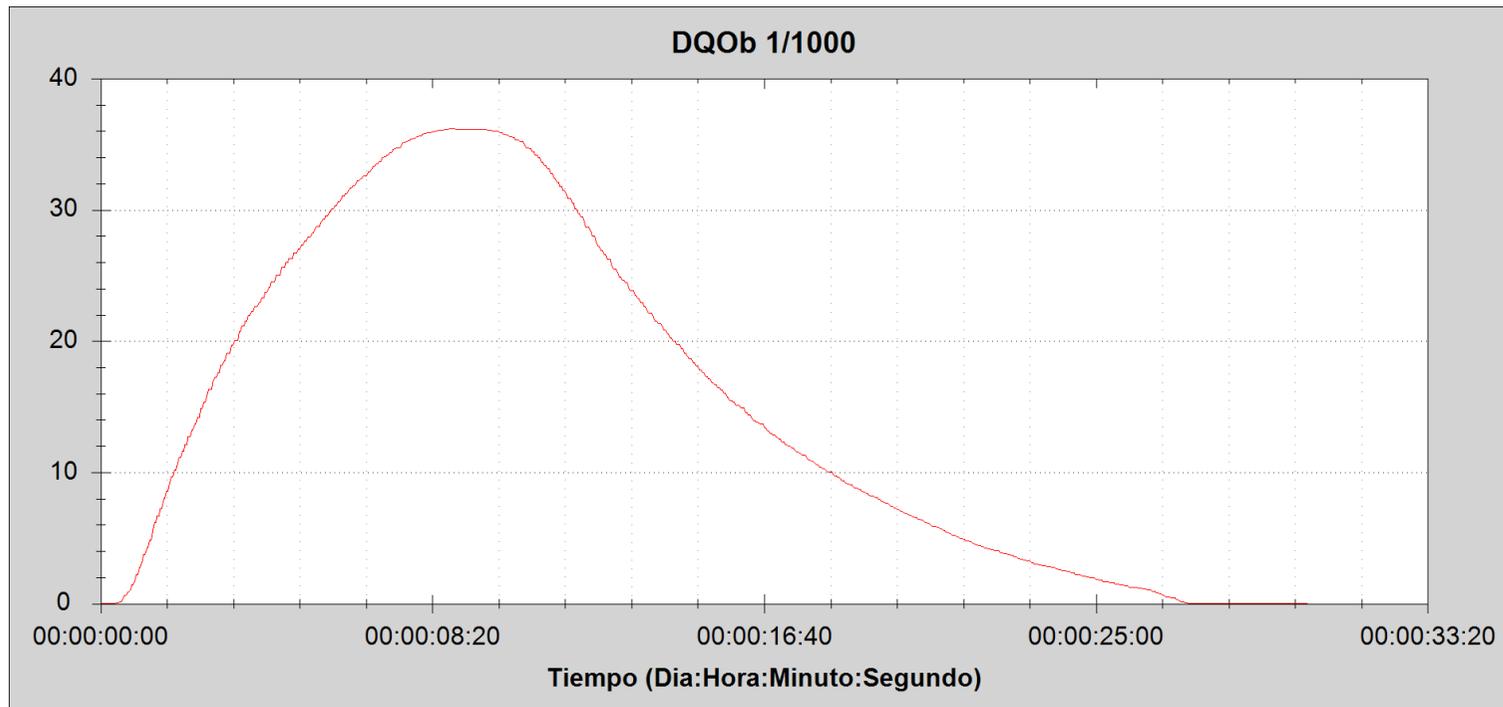
Biodegradabilidad en fango activo: Porcentaje de DQOb en DQO = $100 * 20041 / 20045 \approx 100 \%$

Valoración de la DQOb

´Para la relación muestra/fango de 1/1000 la biodegradabilidad referida al fango activo es del 100%

2.1.1. DQO soluble rápidamente biodegradable (DQOrb)

Analizamos la evolución de la tasa de respiración del ensayo de la DQOb en busca de una zona representativa de DQO rápidamente biodegradable.



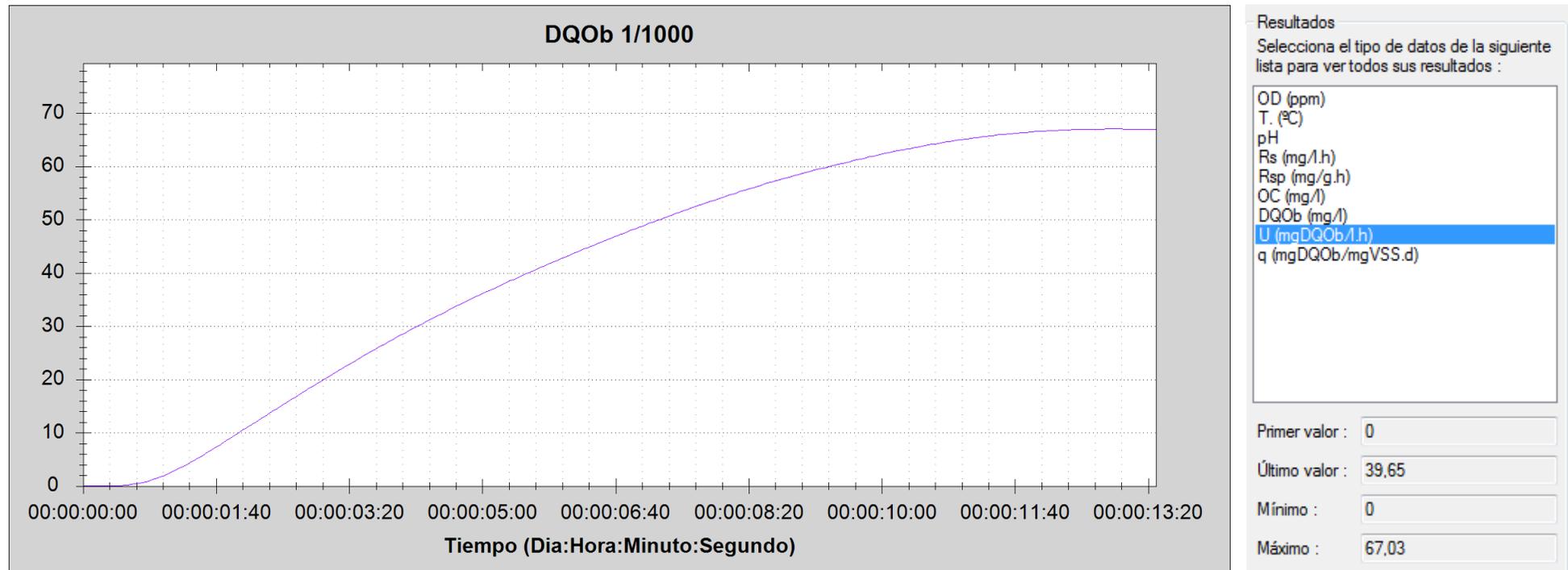
Valoración del análisis para la DQOrb

El hecho de que la DQO total sea igual a la DQO soluble, la evolución de la tasa de respiración (Rs) en el ensayo de respirometría y que la biodegradabilidad sea del 100%, demuestra que solo existe una única fracción de DQO biodegradable y que por lo tanto la DQOb = DQOrb. Por esta razón, se prescinde de realizar un ensayo de respirometría con la muestra soluble.

$$\mathbf{DQOb = DQOrb = 20.041 \text{ mg/l}}$$

2.2. Tasa máxima de eliminación de la DQO (U)

En el mismo ensayo de la DQOb, el respirómetro BM calcula de forma automática la tasa (velocidad) máxima de eliminación de la DQO biodegradable.



U = 67 mg DQO/l.h

Valoración del análisis para la U

El valor obtenido se debe relacionar con el TRH del proceso

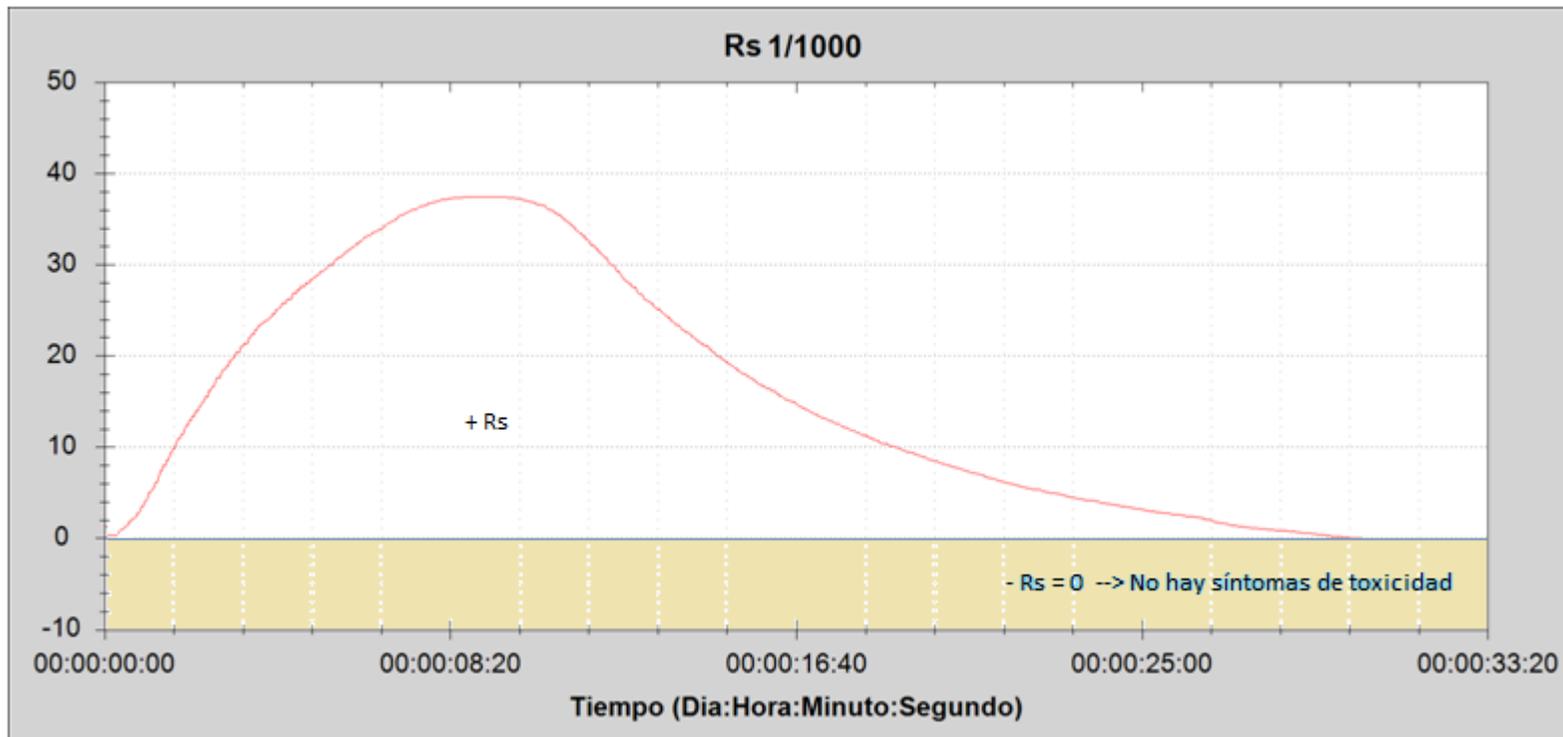
2.3. Inhibición en la DQOb

El hecho de tener una biodegradabilidad del 100% y la evolución de la tasa de respiración en el ensayo de respirometría demuestran que para la relación muestra/fango de 1/1000 no existe inhibición alguna.

I = 0 (%)

2.4. Síntoma de Toxicidad

La ausencia de Inhibición y de cualquier valor de tasa de respiración negativo descarta la presencia de cualquier síntoma de toxicidad.

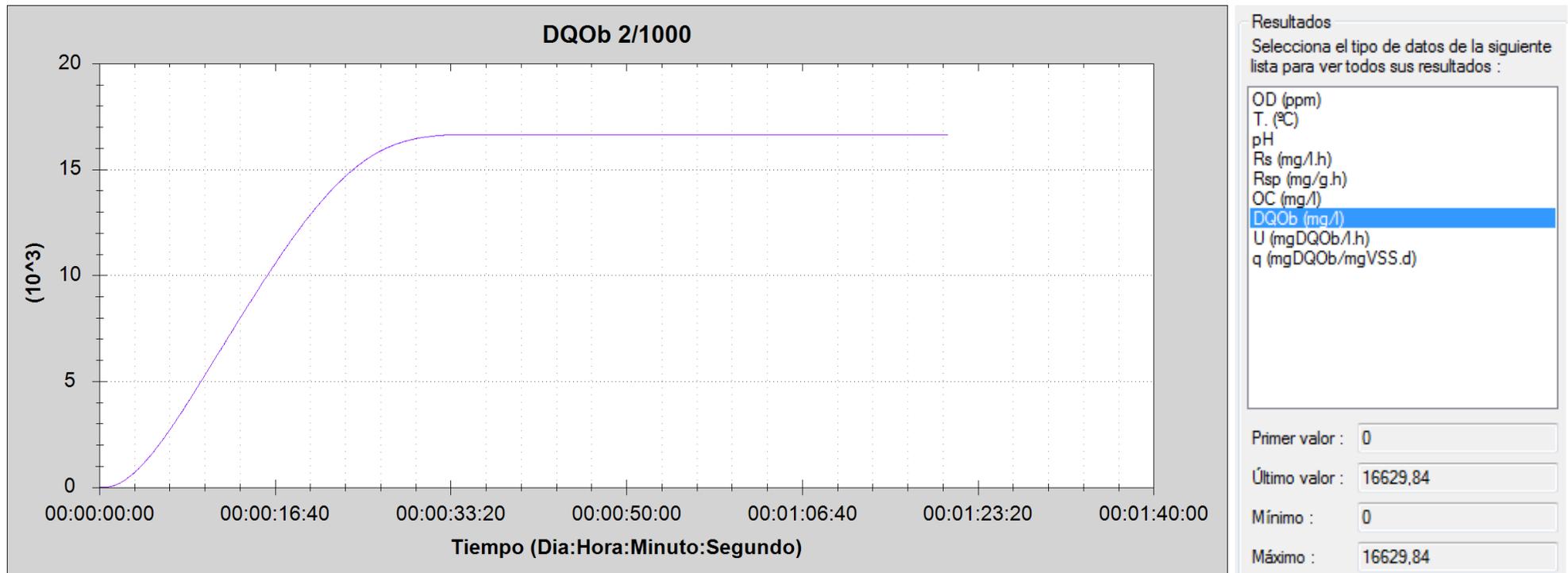


- Rs = 0 → Ausencia de síntomas de toxicidad

3. Tratabilidad para relación Volumen muestra/Volumen fango de 2/1000

3.1. DQOb biodegradable total (DQOb)

La DQOb representa la fracción de la DQO que es biodegradable. Se determina de forma automática a partir de la integración de las tasas de respiración obtenidas de un ensayo de respirometría, en donde se añaden muestra de agua residual al fango en respiración endógena.



DQOb = 16.629 mg/L

Biodegradabilidad en fango activo: Porcentaje de DQOb en DQO = $100 * 16629 / 20045 \approx 83 \%$

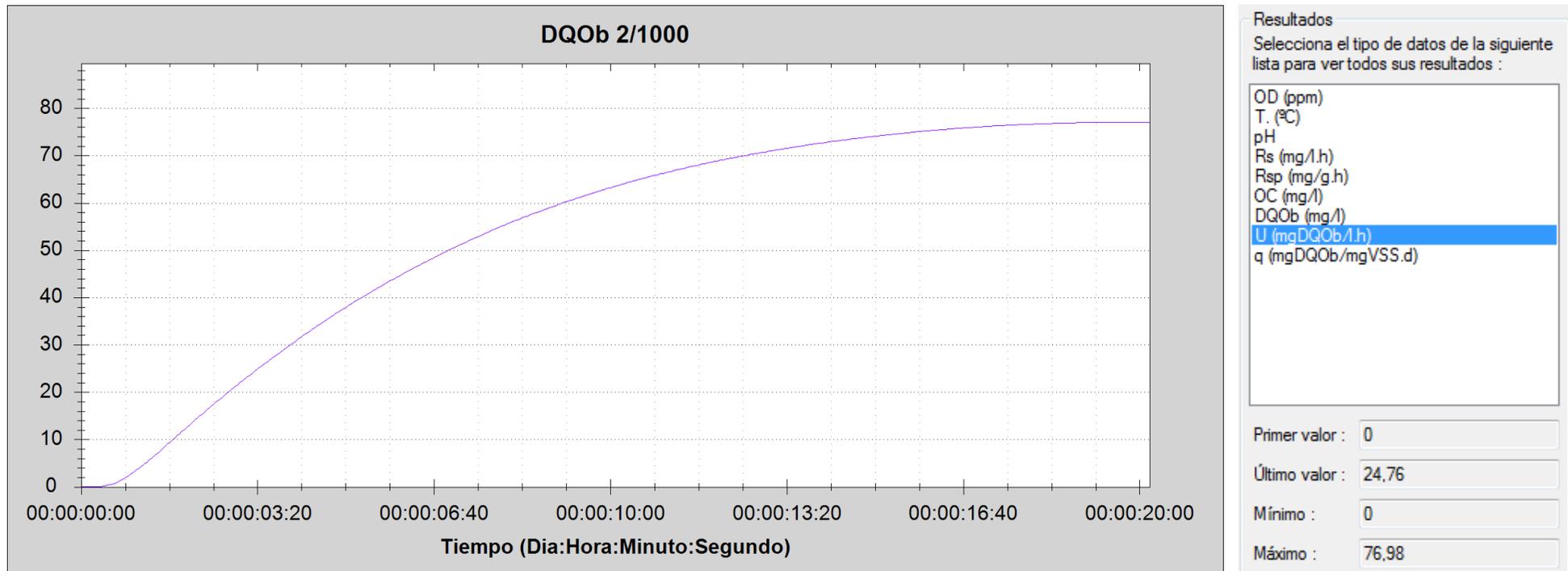
Valoración de la DQOb

Para la relación muestra/fango de 2/1000 la biodegradabilidad referida al fango activo es del 83 %

Aunque se puede clasificar como un nivel moderado de biodegradabilidad, la reducción respecto a la DQOb de relación 1/1000 nos conduce a una inhibición de la DQOb durante la ejecución del ensayo.

3.2. Tasa máxima de eliminación de la DQO (U)

En el mismo ensayo de la DQOb, el respirómetro BM calcula de forma automática la tasa (velocidad) máxima de eliminación de la DQO biodegradable.



U = 76 mg DQO/l.h

Valoración del análisis para la U

El valor obtenido se debe relacionar con el TRH del proceso
Sin embargo, para su validación se tiene que tener en cuenta el grado de Inhibición de la DQOb.

3.3. Inhibición en la DQOb

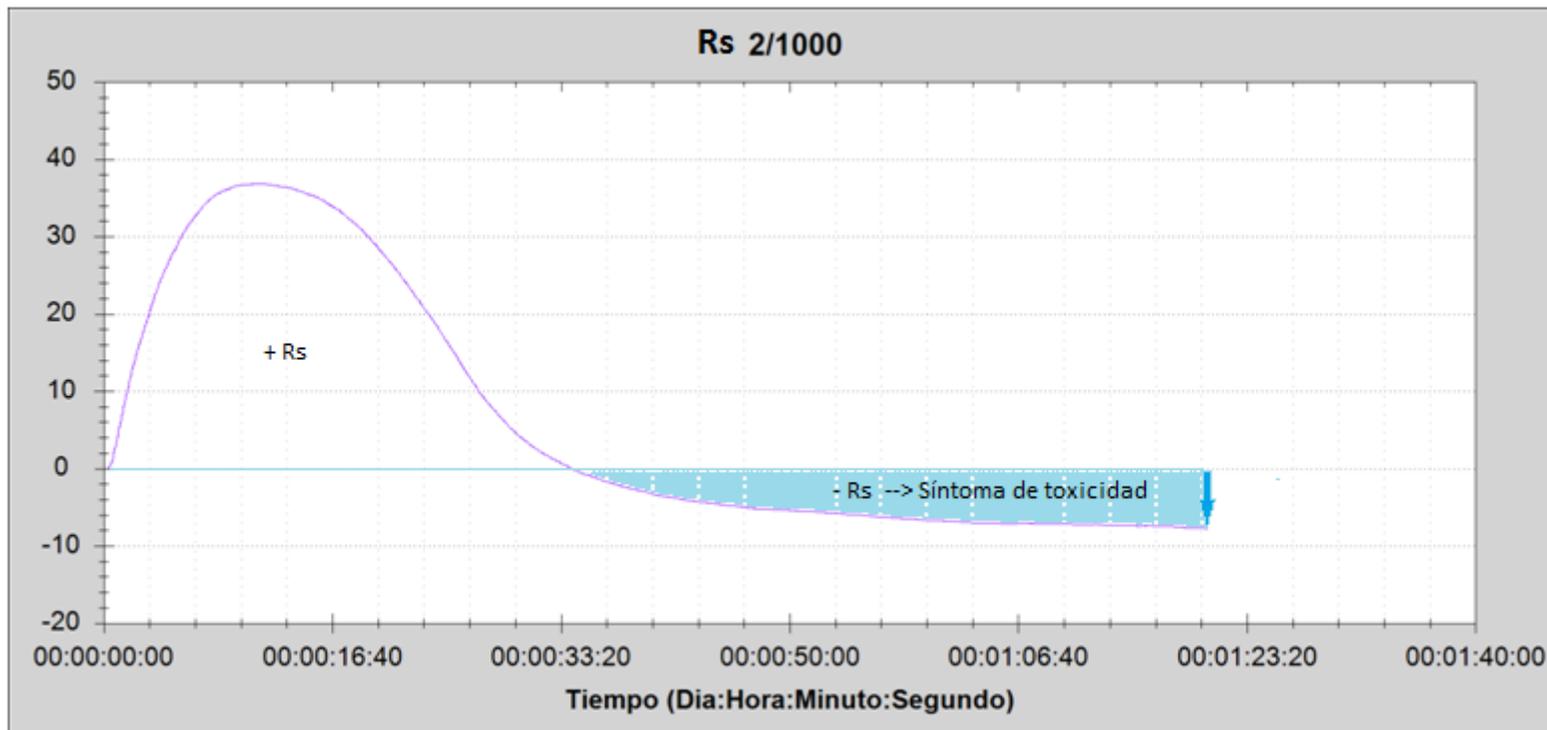
Al relacionar el valor obtenido el 100% de biodegradabilidad que tiene la muestra, el hecho de haber descendido al 83%, nos indica que existe una Inhibición en eliminación de la DQOb (parte de la DQOb que no se detecta)

$$I = 100 - 83 = 17$$

$$I = 17 \%$$

3.4. Síntoma de Toxicidad

En el respirograma R_s del ensayo de la DQOb se detecta el síntoma de toxicidad cuando la trayectoria de la tasa de respiración (R_s) pasa a ser sensiblemente negativa ($-R_s$).

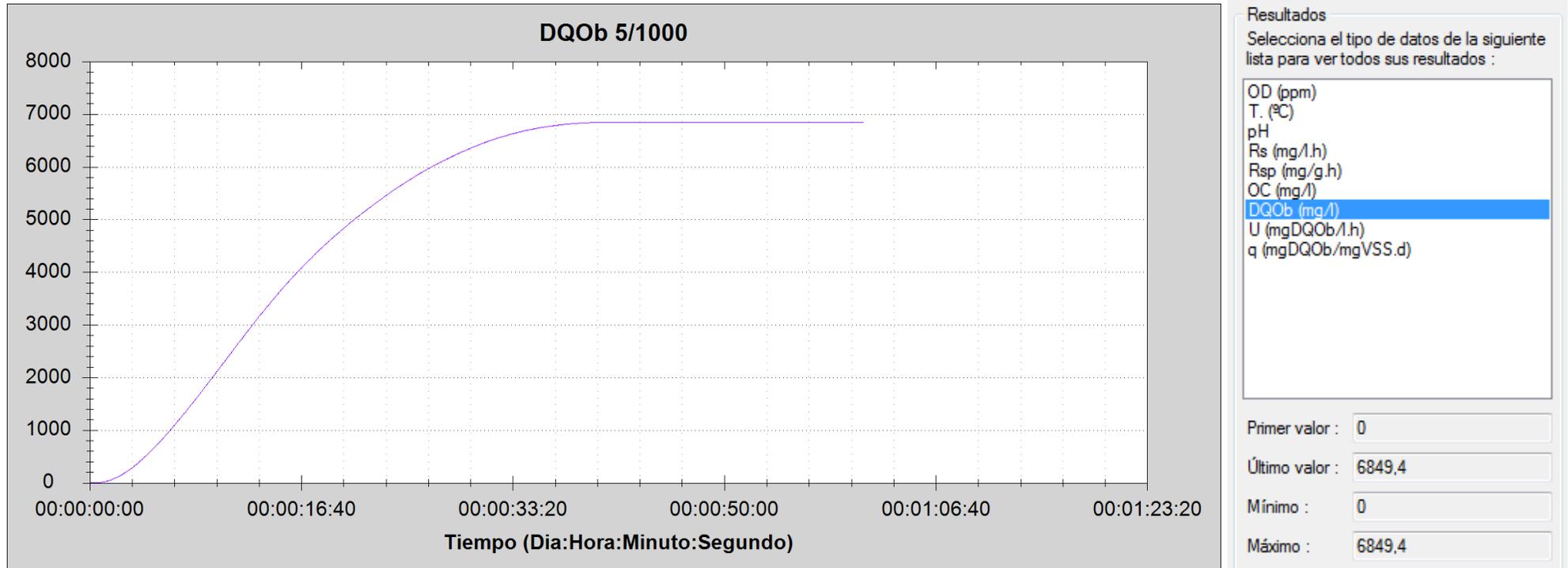


- Rs = Síntoma de toxicidad

4. Tratabilidad para relación Volumen muestra/Volumen fango de 5/1000

4.1. DQO biodegradable total (DQOb)

La DQOb representa la fracción de la DQO que es biodegradable. Se determina de forma automática a partir de la integración de las tasas de respiración obtenidas de un ensayo de respirometría, en donde se añaden muestra de agua residual al fango en respiración endógena.



DQOb = 6.849 mg/L

Biodegradabilidad en fango activo: Porcentaje de DQOb en DQO = $100 * 6849 / 20045 \approx 34 \%$

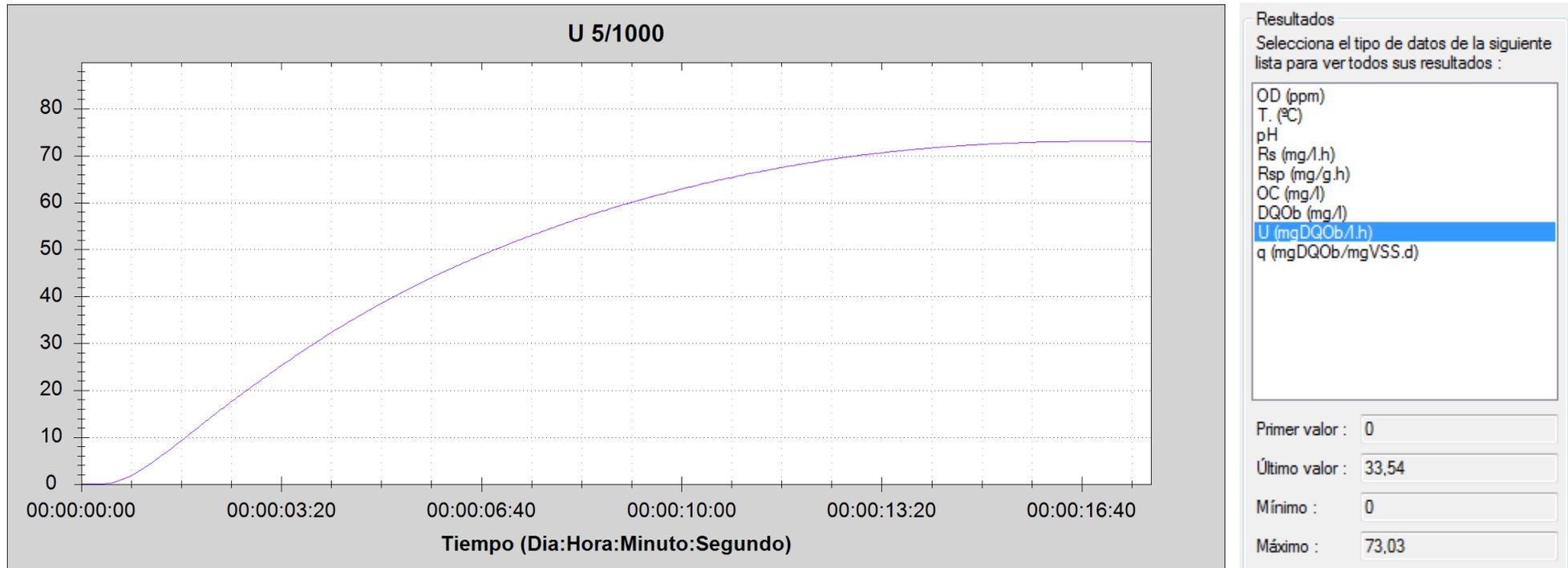
Valoración de la DQOb

Para la relación muestra/fango de 5/1000 la biodegradabilidad referida al fango activo es del 34 %

Este nivel de biodegradabilidad es anormalmente bajo y su reducción respecto a la DQOb de relación 1/1000 nos conduce a una notable inhibición de la DQOb durante la ejecución del ensayo.

4.2. Tasa máxima de eliminación de la DQO (U)

En el mismo ensayo de la DQOb, el respirómetro BM calcula de forma automática la tasa (velocidad) máxima de eliminación de la DQO biodegradable.



U = 73 mg DQO/l.h

Valoración del análisis para la U

El valor obtenido se debe relacionar con el TRH del proceso. Sin embargo, para su validación se tiene que tener en cuenta el grado de Inhibición de la DQOb.

4.3. Inhibición en la DQOb

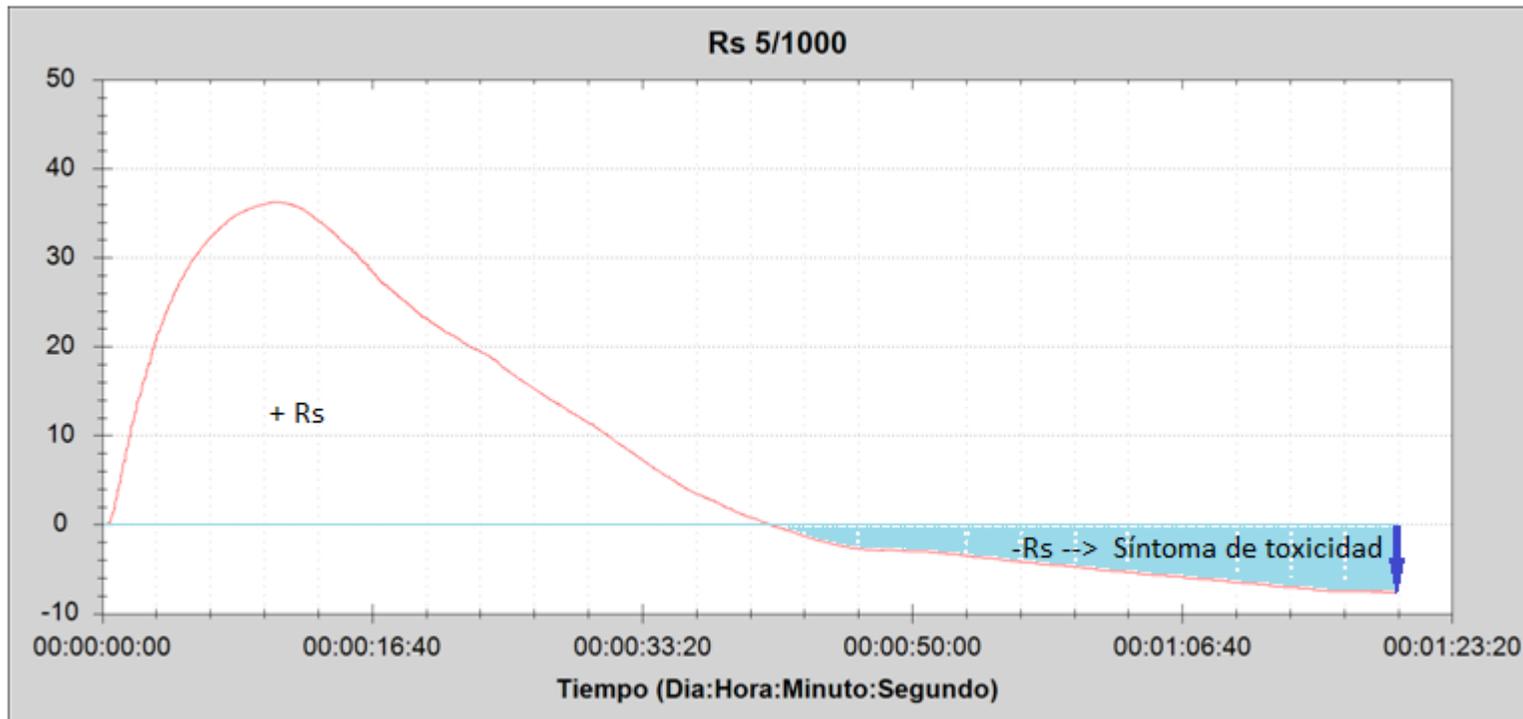
Al relacionar el valor obtenido el 100% de biodegradabilidad que tiene la muestra, el hecho de haber descendido al 34 %, nos indica que existe una acusada Inhibición en la eliminación de la DQOb (parte de la DQOb no se detecta)

$$I = 100 - 34 = 66$$

$$I = 66 \%$$

4.4. Síntoma de Toxicidad

En el respirograma Rs del ensayo de la DQOb se detecta el síntoma de toxicidad cuando la trayectoria de la tasa de respiración (Rs) pasa a ser sensiblemente negativa (-Rs)



- Rs = Síntoma de toxicidad

SURCIS, S.L

Para cualquier aclaración sobre el presente estudio:
Emilio Serrano
M. 652 803 255
E. eserrano@surcis.com