

Estudio respirométrico de un proceso de fangos activos con nitrificación con problemas de decantación y filamentosas tipo Microthrix Parvicella

Emilio Serrano & Josep Xavier Sensada

SURCIS

Datos técnicos del proceso extraídos de la ficha técnica

Parámetro (valor medio)	Modo / Valor	Fecha	Descripción / Comentario
* Tipo de proceso	A. REACCIÓN PROLONGADA		
* Nitrificación / Desnitrificación	Si		Especificar si existe o no en el proceso
* % del reactor biológico dedicada a la Desnitrificación	30-40%		Solo en caso de que exista desnitrificación
* pH medio en zona de Nitrificación / Desnitrificación	7.5		A ser posible, pH al inicio y pH final
* Temperatura actual media en el biológico / día / noche	15		
* Oxígeno disuelto medio con que se desarrolla la nitrificación	1.4		
* DQO (mg/l) media de agua de entrada a biológico	600		
* DBO ₅ (mg/l) media de agua de entrada a reactor biológico (mg/l)	280		
* DQO (mg/l) media en efluente	16		
* DBO ₅ (mg/l) media efluente	6		
* NTK (mg/l) medio de Entrada / Salida	62 / 2.2		
* Amonio (mg/l) medio de Entrada / Salida	61 / 0.5		Nitrógeno amoniacal (N-NH ₄ ⁺)
Nitrato (mg/l) medio al final de la zona anóxica	3-4		Solo en el caso de que exista Desnitrificación
* Caudal medio Q (m ³ /h) de entrada a reactor biológico	600		
* % Caudal fango Recirculación vs. caudal influente	130		
Caudal del fango de recirculación (m ³ /h)	750 hora		
Caudal del fango de purga (m ³ /h)	700 día		
Volumen (m ³) zona aerobia del reactor biológico	14.700		
* MLSS & MLVSS (mg/l) medio del fango actual en reactor biológico	2100 / 1800		
* MLSS & MLVSS (mg/l) medio del fango de recirculación	3500 / 3000		
MLSS & MLVSS (mg/l) medio del fango de purga	~ ~		
* MLSS & MLVSS (mg/l) medio del fango de referencia (de otra planta)			Solo si lo hubiere
Volumen (m ³) zona anóxica del reactor biológico	6300		
% Volumen del reactor como zona anóxica	30%		

Volumen (m ³) del reactor anóxico	6300	
Tiempo (h) medio de Retención Hidráulica total de la zona aerobia	24-26	
* Tiempo (h) medio de Retención Hidráulica dedicada a la Nitrificación	24-26	
Tiempo (h) medio de Retención Hidráulica de la zona anóxica	11-12	
* Θ media: Edad del Fango (d)	25-28-30	
* F/M: Carga Másica	0,07-0,08	Especificar si es por DBO o DQO
IVF (mg/l) media	450	
* Oxígeno Disuelto en biológico inicio - medio - final	1-1,5- ∞	A ser posible: OD del final del reactor, al inicio y en el medio.
Tipo de aireación	-	AIREACIÓN PROLONGADA POR ROTORES SUPERF
Transferencia Oxígeno del sistema actual de aireación (Kg O ₂ /kW.h)	1,7-1,9	
* Nitrógeno (mg/l) total medio en influente	62	
* Fósforo total (mg/l) soluble en influente	8-9	
* Nitrógeno total (mg/l) medio en efluente	2	
* Fósforo total (mg/l) soluble en efluente	2-3	
Nitrato (mg/l) en efluente	0,2	Solo en el caso de que exista Nitrificación
* En caso de que los fangos presenten espumas: color de las espumas	Marrón	Importante
Microorganismos filamentosos	Microtrix	

DESCRIPCIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS ESPECÍFICAS, PECULIARIDADES Y/O POSIBLE PROBLEMA EN EL PROCESO DE DEPURACIÓN BIOLÓGICA Y/O DECANTACIÓN.

PROBLEMAS DE DECANTACIÓN POR UZO MUY ALTAS (980-1000).
 SISTEMA DE AIRACIÓN PROLONGADA CON ROTORES DE SUPERFICIE.
 GENERALMENTE PRESENCIA DE MICROTRIX PARALELA. CARGAS MASICAS EN TORNO A 0,07-0,08 Y
 EDADES DE FANGO DE 25-30 DIAS.
 DESCONOZCO SI LA PRESENCIA DE MICROTRIX ES POR ALTAS EDADES DEL FANGO o POR
 DÉFICIT DE OXÍGENO, ALTA TASA DE RECIRCULACIÓN, ETC.
 SON DOS REACTORES BIOLÓGICOS DE 10.500 M³/UNIDAD.

Datos DQO preliminares

Muestra	DQO filtrada (mg/L)	Comentario
Agua residual	513	Analizado en Surcis
Solución estándar de acetato sódico	300	Analizado en Surcis

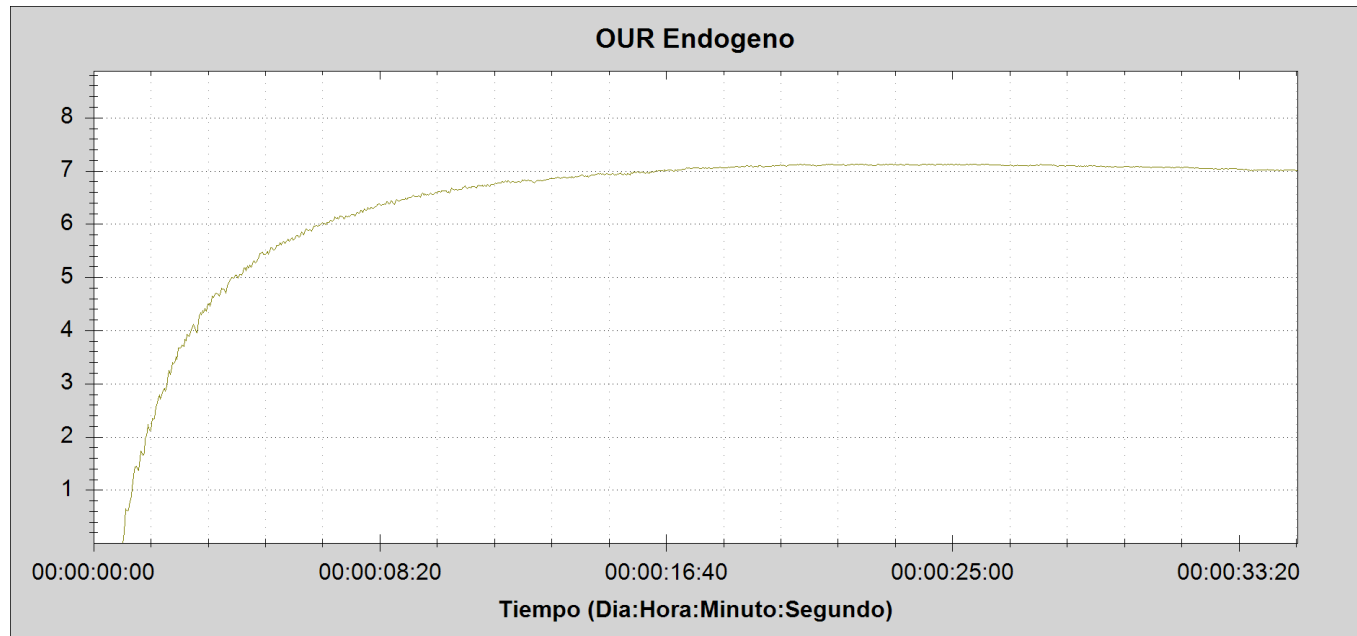
Resumen de resultados

Parámetro	Descripción	Resultado	Rango habitual	Valoración
1. Respiración endógena y biomasa activa				
OUR _{end}	Tasa de respiración endógena	7 mg O ₂ /L.h	4 - 7,5 mg O ₂ /L.h	Normal
F _x	% biomasa activa vs SSVLM	27 %	15 - 30 %	Normal
2. Coeficiente estequiométrico de la biomasa heterótrofa				
Y _{H, O₂} (ac)	Coeficiente de rendimiento desde estándar de acetato sódico	0,70 O ₂ /DQO	0,6 - 0,8 O ₂ /COD	Normal
Y _{H, O₂} (ar)	Coeficiente de rendimiento desde el agua residual	0,71 O ₂ /DQO	0,6 - 0,8 O ₂ /COD	Normal
3. Fracciones de la DQO biodegradable				
DQOb	DQO biodegradable Porcentaje en la DQO total	464 mg/L 90 %	70 - 95 %	Normal
S _s (DQOrb)	DQO rápidamente biodegradable Porcentaje en la DQO total	72 mg/L 14 %	10 - 30 %	Normal (rango bajo)
X _s (DQOIb)	DQO lentamente biodegradable	392 mg/L 72 %	50 - 80 %	Normal (rango alto)
F/M (DQOrb)	Carga másica por DQOrb	0,02 DQOrb/SS.d	> 0,04 DQOrb/SS.d	Baja
4. Nitrificación (15 °C)				
Nn	Nitrógeno que se está nitrificando actualmente	47 ppm		
AUR (15°C)	Tasa de nitrificación actual a 15 °C	1,43 mg N-NH ₄ /L.h	> 2 mg N-NH ₄ /L.h	Algo baja
F _N	Porcentaje de biomasa nitrificante vs SSVLM	5,8 %	5 - 6 % para la C/N actual	Normal
TRC (15°C)	Edad del fango para la nitrificación	28 d	20 - 30 d	Normal (rango alto)

1. Respiración endógena y biomasa activa

1.1. Respiración endógena total (OUR_{end})

En esta aplicación se analiza la actividad del fango en su estado de respiración endógena, que depende exclusivamente de la demanda de oxígeno de los propios microorganismos. Para ello el fango diluido fue sometido a una aireación prolongada durante un periodo suficiente como para degradar cualquier resto de sustrato degradable para luego llevar a cabo un ensayo OUR en modo estático.



Respirograma del OUR en respiración endógena

OUR_{end} = 7 mg O₂/L.h

1.1.1. Análisis del resultado del OUR_{end}

El valor del OUR_{end} es normal, aunque algo elevado.

Así mismo, el tiempo en que alcanza su valor máximo sugiere que la actividad biológica de la biomasa es normal y no parece estar afectada por tóxico alguno ni efecto inhibidor.

Tabla guía de valores habituales

SSVLM (mg/l)	OUR_{end} (mg/l.h)
1000	2 - 3.5
1500	3 - 5
2000	4 - 7.5
2500	5 - 8.5
3000	6 - 10

1.2. Concentración de la biomasa activa total (X)

Concentración de biomasa activa: $X = OUR_{end} / (f_{cv} * b)$

$OUR_{end} = 7 \text{ mg/l.h} = 168 \text{ (mg/l.d)}$

$f_{cv} (O_2/X) - f_{cv}$: Demanda de oxígeno por unidad de biomasa = 1.42

$b (d^{-1})$: Tasa de decaimiento = 0,24. $1,04^{(t-20)} \approx 0,24$

Rango de valores habituales de X: entre 15 y 30 % de MLVSS

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

$X = 168 / (1,42 * 0,24) \approx 494 \text{ mg/l}$

X = 494 mg/l

F_x : Porcentaje de X en MLVSS = $100 * 494 / 1800 \approx 27 \%$

$F_x = 27 \%$

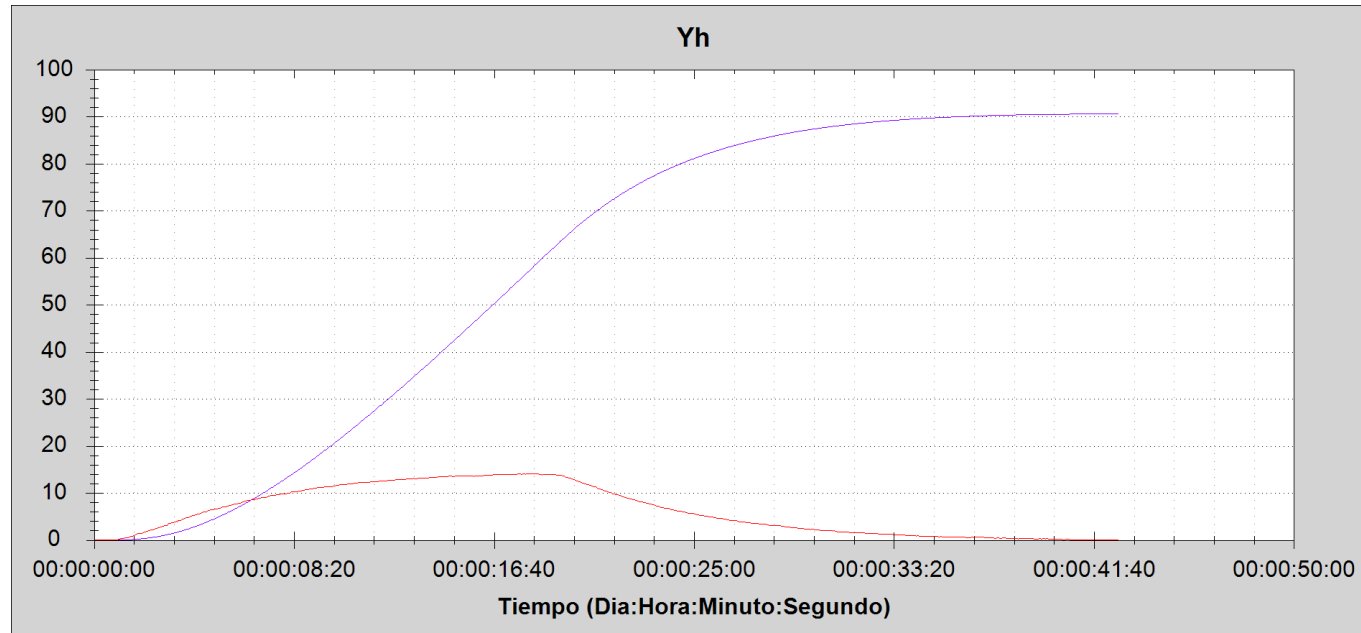
1.2.1. Análisis del resultado del valor de X

El valor del 27 % está dentro del rango normal (15 – 30 % de SSVLM)

2. Coeficiente estequiométrico de la biomasa heterótrofa

2.1. Coeficiente de rendimiento del crecimiento de la biomasa heterótrofa con acetato sódico

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}) y fango activo libre de sustrato. En nuestro caso se utilizó fango activo en respiración endógena preparado para el caso.



Respirograma de R_s y OC para Y_H en ensayo con acetato sódico

Oxígeno consumido: OC = 90,54 mg/L

Coeficiente de rendimiento de biomasa heterótrofa por demanda de oxígeno: $Y_{H,DQO} = 1 - OC / DQO_{ac} = 1 - 90,54 / 300 = 0,70$ (O_2/DQO)

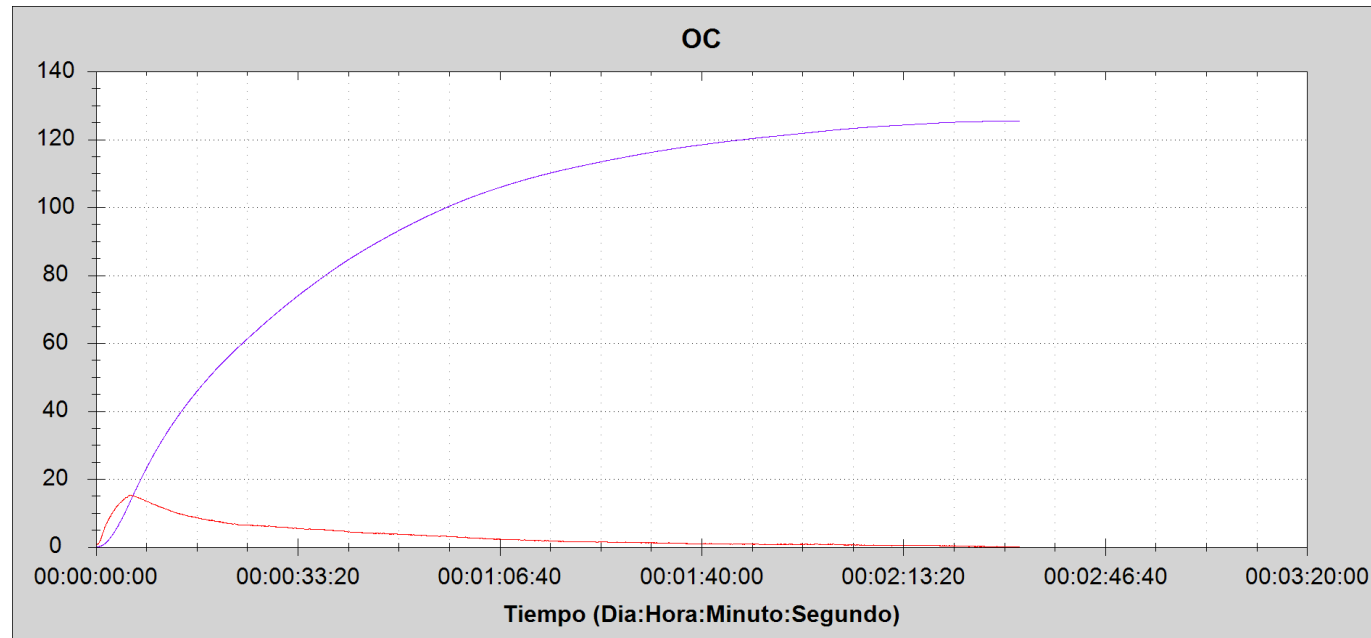
Coeficiente de rendimiento de biomasa heterótrofa por MLVSS: $Y_{H,VSS} = Y_{H,DQO} / 1,42 = 0,70 / 1,42 = 0,49$ (VSS/DQO)

$Y_{H,DQO} = 0,70$ (O_2/DQO)

$Y_{H,VSS} = 0,49$ (VSS/DQO)

2.2. Coeficiente de rendimiento del crecimiento de la biomasa heterótrofa con agua residual

La Y_H se determina con un ensayo de respirometría utilizando una muestra de agua residual soluble y analizando la DQO al inicio y final del ensayo.



Respirograma de Rs y OC para Y_H en ensayo con agua residual

DQOar al inicio del ensayo: $DQO_{ar0} = 513 * 70/1070 = 33$

DQOis al final del ensayo: $DQO_{sf} = 4$

DQOar eliminada: $DQO_e = 33 - 4 = 29$

OC = 127 (valor extrapolado)

OC real : $OC_s = 127 * 70 / 1070 = 8,3$

$Y_{H,DQO} (\text{agua residual}) = 1 - OC \text{ real} / DQO_e = 1 - 8,3 / 29 = 1 - 0,29 = 0,71$

$Y_{H,DQO} (\text{agua residual}) = 0,71$ O_2/DQO

$Y_{H,VSS} (\text{agua residual}) = 0,50$ (VSS/DQO)

2.3. Análisis de los resultados de Y_H

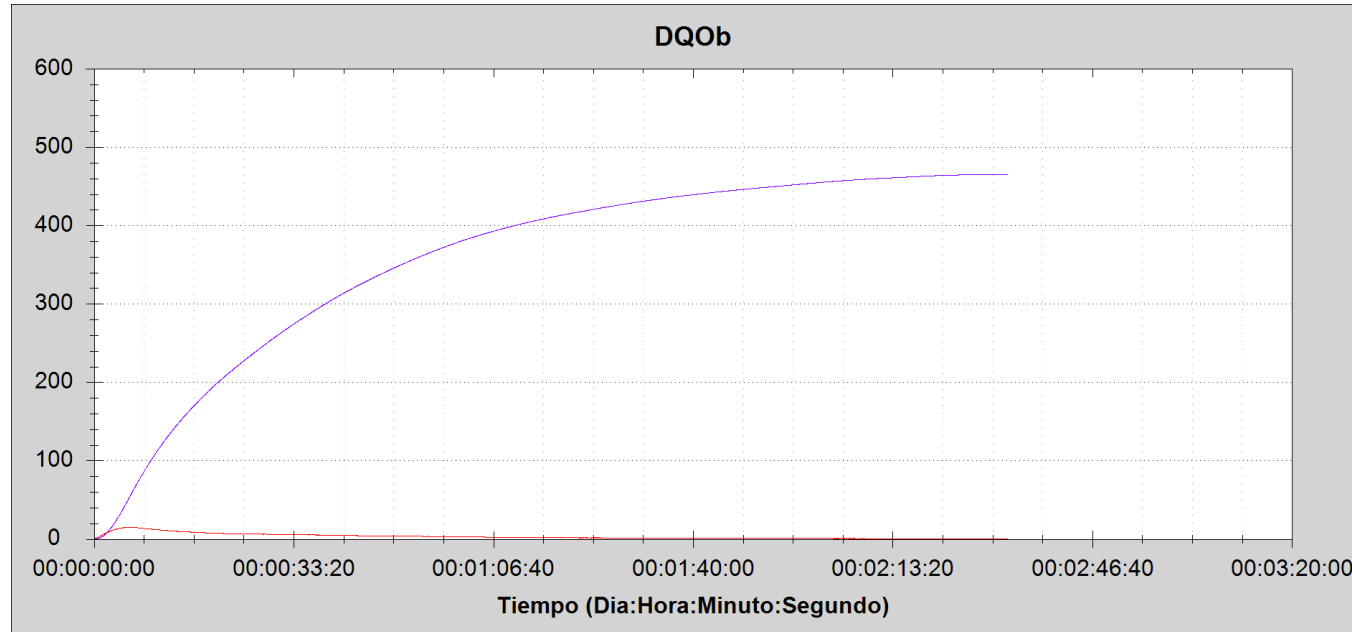
El valor de la Y_H desde el acetato y desde el agua residual son muy similares y ambos se sitúan dentro del rango de normalidad. Esto quiere decir que en la actualidad la capacidad de reproducción de la biomasa es normal y no existen síntomas de toxicidad ya existentes en el fango o provocados por el agua residual.

3. Fracciones de la DQO

3.1. DQO biodegradable: DQOb

La DQOb representa la fracción de la DQO que es biodegradable por el fango activo.

Se determina de forma automática por medio de un ensayo de respirimetría dinámica con fango activo en fase endógena y muestra de agua residual. Para ello el software del respirómetro calcula el oxígeno consumido (OC) desde la integración de los valores de la respiración exógena (R_s), y obtiene el valor de la DQOb aplicando un algoritmo que contiene el OC obtenido y la Y_H .



Respirograma de R_s y DQOb

DQOb = 464 mg/L

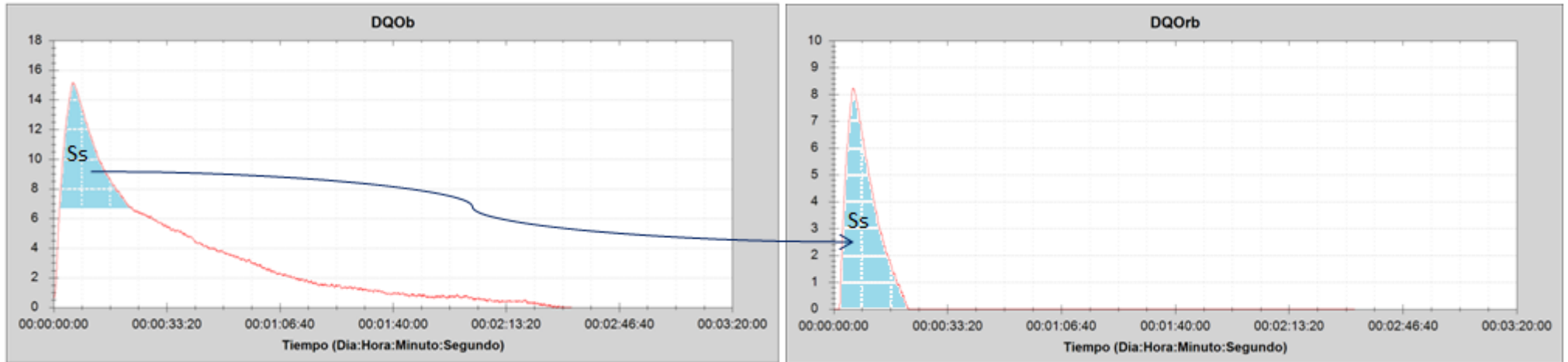
Porcentaje de la DQOb en la DQO: $p.b = 100 * 464 / 513 = 90 \%$

3.1.1. Análisis del resultado de la DQO biodegradable

El porcentaje del 90% de DQOb en DQO es normal (rango habitual 70 – 95 %)

3.2. DQO soluble rápidamente biodegradable: S_s

Desde el propio respirograma de la R_s en la determinación de la $DQOb$ podemos obtener directamente el valor de la $DQOrb$ (S_s)
Para ello seleccionamos el tramo de respirograma determinado por el primer punto de inflexión en la pendiente de los valores de R_s y el software del respirometro calcula de forma automática la S_s .



Respirogramas de R_s en la determinación de la $DQOb$

Fuente: Influent fractionation using a respirometric method for the characterization of primary sedimentation, 2014 - Faculty of Bioscience Engineering – UNIVERSITY OF GENT

$S_s = 72$ mg/L

Porcentaje de la S_s en la DQO: $p.rb = 100 * 72 / 513 = 14$ %

3.2.1. Análisis del resultado de la DQO rápidamente biodegradable

El porcentaje del 14 % de la S_s en la DQO es normal (rango habitual 10 – 30 %)

3.3. Carga másica de la DQO rápidamente biodegradable: $F/M_{(DQOrb)}$

La carga de DQOrb es importante para valorar el nutriente orgánico verdaderamente soluble que está recibiendo el proceso.

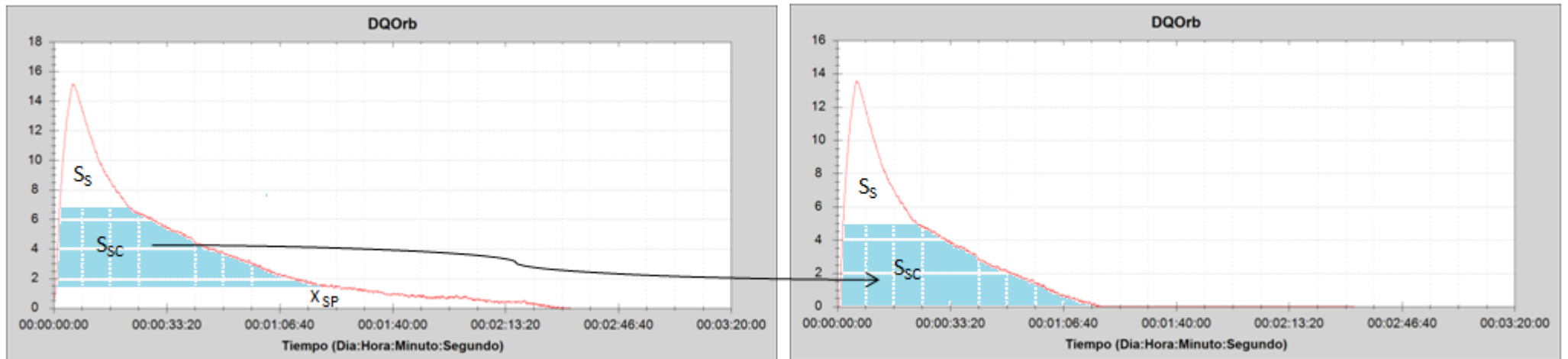
$$F/M_{(DQOrb)} = 24 * S_s / (TRH * SSLM) = 24 * 72 / (35 * 2100) = 1728 / 73500 = 0,02$$

$$F/M_{(DQOrb)} = \mathbf{0,02} \text{ DQOrb/SS.d}$$

3.3.1. Análisis del resultado de la $F/M_{(S_s)}$

El valor de 0,02 de carga másica de la S_s es muy bajo (valor habitual $> 0,04$). Este bajo valor, asociado a la temperatura media de 15°C, puede ser la causa más probable de la presencia de la bacteria Microtrix.

3.4. DQO coloidal lentamente biodegradable (S_{Sc})

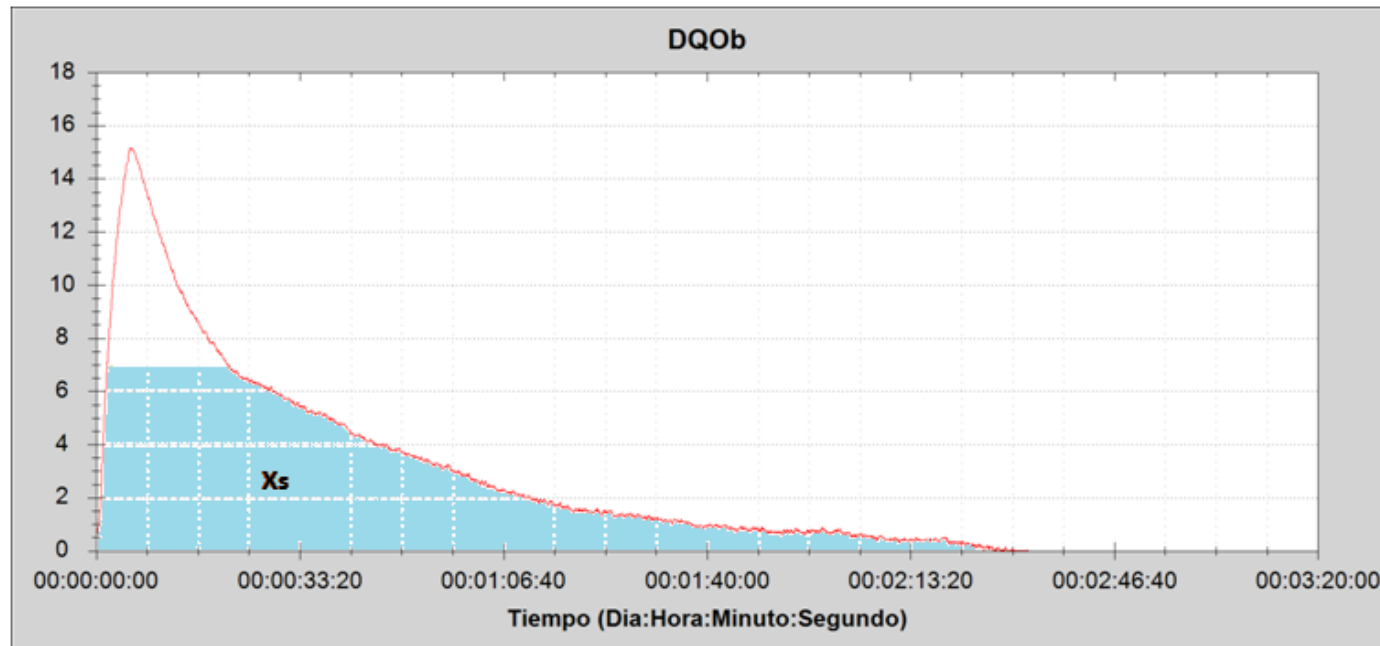


$$S_{Sc} = [S_s + S_{Sc}] - S_s = 327 - 72 = 255 \text{ mg/L}$$

$$S_{Sc} = \mathbf{255} \text{ mg/L}$$

DQO lentamente biodegradable (X_S)

Igualmente desde la gráfica de valores R_s de la $DQOb$, podemos seleccionar y calcular el valor de la DQO lentamente biodegradable ($DQOIb = X_S$) deduciendo el valor de la $DQOrb$ de la $DQOb$ total.



$$X_S = DQOb - S_S = 464 - 72 = 392 \text{ mg/L}$$

$$X_S = 392 \text{ mg/L}$$

$$\text{Porcentaje de la } X_S \text{ en la DQO: } p.l.b = 100 * 392 / 513 = 76 \%$$

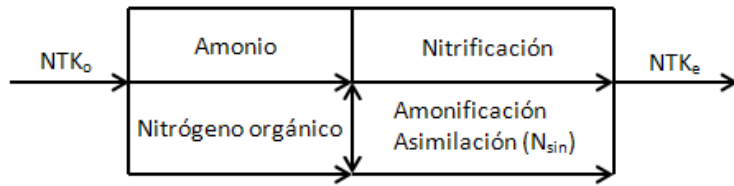
Análisis del resultado de la DQO lentamente biodegradable

El valor del porcentaje de X_S en DQO es normal (rango entre 65 – 85 %)

4. Nitrificación

4.1. Nitrógeno que se está nitrificando actualmente (N_n)

Utilizamos el NTK de entrada debido al proceso de la amonificación, en donde parte del nitrógeno orgánico pasa a la forma de nitrógeno amoniacal.



$$N_n = NTK_e - NTK_s - N_{sin}$$

N_n : Concentración de nitrógeno-amoniacal que en la actualidad se está nitrificando (mg N-NH₄/l)

NTK_e : NTK afluente a biológico = 62 mg N /L

NTK_s : NTK en efluente = 2,2 mg N/L

N_{sin} : Nitrogeno utilizado en la producción de biomasa (mg/l N) $\approx 0.04 * DBO_{eliminada} = 0,04 * (280 -6) = 10,96$ mg N/L

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

$$N_n = 60 - 2,2 - 10,96 \approx 47 \text{ ppm}$$

Tabla de referencia

mgN/l	FUERTE	MEDIA	DÉBIL
Nitrógeno Total (NTK)	60	42	25
N-NO ₃	0	0	0
N-NH ₄	45	30	15
N Orgánico	15	12	10

Fuente: Grupo TAR

4.2. Estimación de la concentración de biomasa activa autótrofa (X_A)

DBO eliminada / NTK eliminado = $274 / 60 = 4,5$

DBO/NTK	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

Fuente: Metcalf & Eddy. 1995

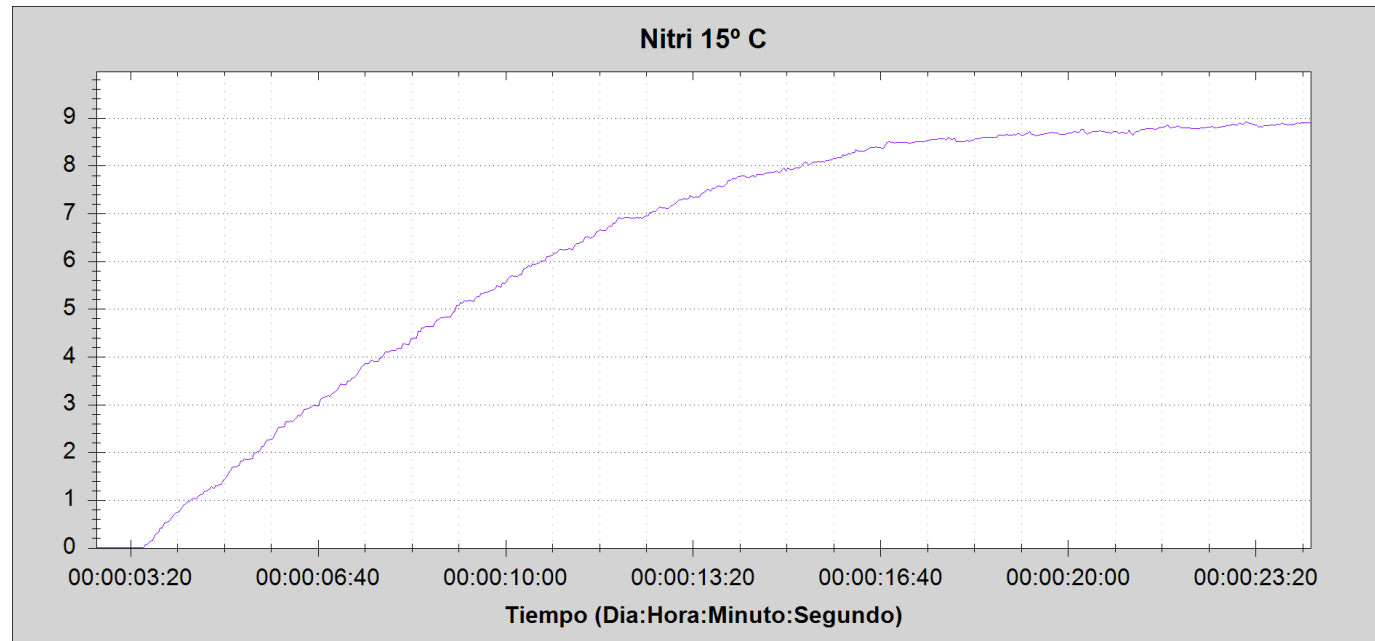
F_N : Porción de X_A en los VSSLM

$$F_N = 0,058$$

$$X_A = 0,058 * 1800 = 104$$

4.4. Tasa de respiración por nitrificación a 15 °C (R_{sN})

La tasa de respiración por nitrificación se obtiene a partir de la tasa de respiración máxima obtenida en un ensayo tipo R a 15°C, mediante la utilización de una dosis de cloruro de amonio, con una concentración de nitrógeno-amoniaco equivalente, en fango endógeno.



$$R_{sN} = 8,92 \text{ mg O}_2/\text{L.h}$$

4.5. Tasa de Nitrificación actual (AUR) a 15°C y oxígeno actual

$$AUR = (R_{sn} / 4,57) * OD / (K_{OD} + OD) = (8,92 / 4,57) * 1,4 / (0,4 + 1,4) = 1,52 \text{ mg N-NH}_4/\text{L.h}$$

$$AUR = 1,52 \text{ mg N-NH}_4/\text{L.h}$$

4.6. Edad del fango para la nitrificación a 15°C (TRC)

$$\text{TRC} = 1 / (\mu_A - b_A)$$

μ_A : Tasa de crecimiento de la biomasa autótrofa (d^{-1})

b_A : Tasa de decaimiento por respiración endógena de la biomasa nitrificante ≈ 0 (debido a la baja actividad nitrificante)

$$\mu_A = 24 * 0,1 * \text{AUR} / X_A = 24 * 0,1 * 1,52 / 104 = 0,035$$

$$\text{TRC} = 1 / 0,035 \approx 28 \text{ d}$$

$$\text{TRC} = 28 \text{ d}$$

4.6.1. Análisis del resultado del TRC para la nitrificación a 15°C y oxígeno actual

El valor del TRC de 28 días se sitúa en el rango superior de los valores de edad del fango con que el proceso está actualmente operando.

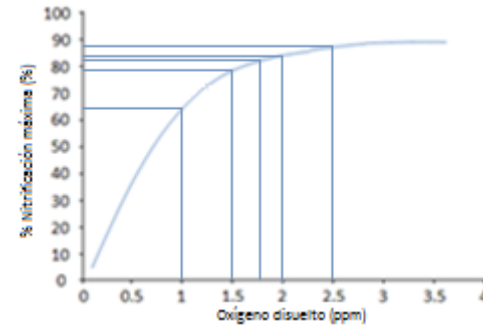
Este valor de TRC es acorde con el tipo de proceso, para la carga de amonio actual y necesario para garantizar un rendimiento eficiente en el proceso de la nitrificación.

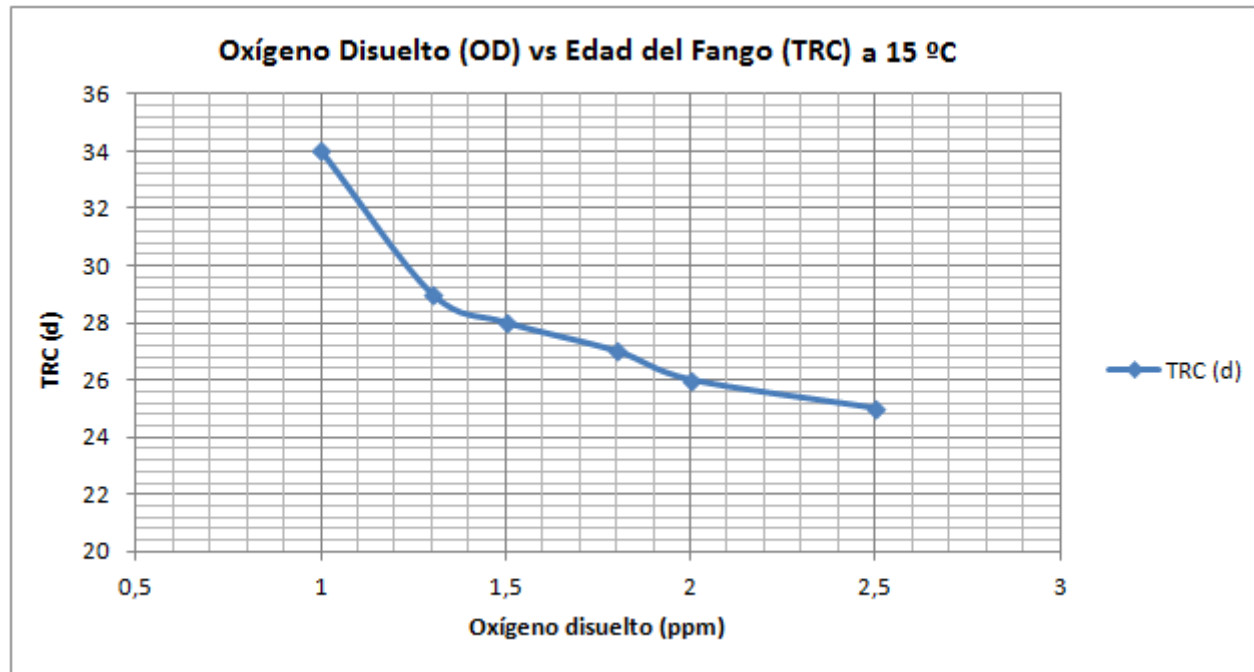
El TRC elevado implica una baja carga másica y, por la naturaleza específica del agua residual, también implica una muy baja carga másica de la DQO soluble rápidamente biodegradable. Esta baja carga de la DQOrb puede estar afectando al nutriente orgánico de la biomesa del proceso y ser la causa más probable de la presencia de la bacteria Microtrix.

4.7. Influencia del oxígeno disuelto (OD) en la edad del fango (TRC) a 15°C

Para este análisis nos basamos en el F_{OD} a distintos niveles de oxígeno y las ecuaciones de los puntos 4.5 y 4,6

OD (ppm)	F_{OD} (% /100) (Gráfica ref.)	AUR (mg N /L.h) $AUR = (8,92 / 4,57) * F_{OD}$	TRC (d) $TRC = 1 / \mu_A$
1	0,64	1,25	34
1,3	0,76	1,50	29
1,5	0,79	1,54	28
1,8	0,84	1,64	27
2	0,85	1,66	26
2,5	0,89	1,73	25





5. Conclusiones

5.1. Conclusiones

1. La concentración de biomasa activa es normal.
2. Los valores del coeficiente de rendimiento (Y_H) y la normal actividad de la biomasa frente al estándar de acetato sódico y al agua residual sugieren que la biomasa no se encuentra bajo los efectos de inhibición.
3. El porcentaje de DQO biodegradable en la DQO es normal.
Sin embargo, el valor de la DQO soluble rápidamente biodegradable (DQOrb) se encuentra en el límite bajo.
4. Los rangos de carga másica total y edad del fango con que se está operando actualmente deberían ser los correctos para este tipo de proceso.
Sin embargo, el hecho de tener un valor de DQOrb en el límite bajo, da paso a un valor de carga másica de DQOrb muy bajo que puede provocar un desequilibrio nutricional en la biomasa y la probable aparición de bacterias filamentosas como la de tipo Microtrix.
5. La tasa de nitrificación está algo baja debido a una relación C/N muy ajustada (< 5). Esta relación C/N pasa a ejercer una influencia negativa más activa al tratarse de un proceso de aireación prolongada con una edad del fango relativamente elevada, al relativamente bajo oxígeno (1,4 ppm) con que se está operando y a la temperatura de 15 °C.

5.2. Posibles líneas básicas de actuación en la situación actual

- Subir progresivamente la carga másica y, de forma coherente, ir bajando la edad del fango.
- Para tratar de que el rendimiento de la nitrificación no se vea seriamente afectado, la bajada del TRC debería ir compensada con la subida del oxígeno disuelto (a ser posible > 2 ppm - ver tabla y gráfica del punto 4.7) Aún así, es posible que el rendimiento en el proceso de la nitrificación se reduzca notablemente.
- En cualquier caso, hay que suponer que la bajada de la edad del fango se trata de una medida temporal.
Una vez reducido el problema, con la cercana subida de las temperaturas y con un nivel adecuado de oxígeno, el proceso puede ir recuperando los valores habituales de carga másica y edad del fango.
- Para evitar futuros problemas se aconseja tratar de operar con valores de oxígeno disuelto cercanos o superiores a 2 ppm.