

ANÁLISIS DEL REACTOR DE LODOS ACTIVADOS DE LA PLANTA CENTENARIO

Jorge Luís Tejero Gómez, Jaime Cuevas Domínguez, José Luís González Bucio, Juan Carlos Ávila y José Manuel Carrión Jiménez

jmcarrion@uqroo.mx

División de Ciencias e Ingeniería, Universidad de Quintana Roo
Boulevard Bahía s/n, esq. Ignacio Comonfort, Col. Del Bosque,
Chetumal, Quintana Roo; México, C. P. 77019

Elizabeth Miranda Tello

Departamento de Biotecnología Ambiental, ECOSUR-Chetumal
Av. Centenario Km. 5.5
Chetumal, Quintana Roo; México, C. P. 77014

RESUMEN

En éste estudio se presentan los resultados de la evaluación del funcionamiento del reactor de lodos activados, de la Planta de tratamiento de aguas residuales “Centenario” ubicada en Chetumal, Quintana Roo. La evaluación se realizó mediante la estimación de parámetros cinéticos con un respirometro conectado en línea al reactor y la medición de la remoción de materia orgánica y nitrógeno amoniacal. Estas mediciones permitieron el cálculo de la potencia suministrada al reactor y la producción de lodos. Los cálculos de potencia mostraron problemas de falta de control adecuado del proceso llevado al cabo en el reactor, presentándose diferencias significativas en los consumos energéticos para una similar eficiencia de remoción. Los datos colectados en éste estudio permiten una estrategia de optimización de costos del proceso del reactor de la Planta.

Palabras Clave: Parámetros cinéticos_ Respirometría_ Lodos Activados_ Potencia.

INTRODUCCIÓN

La planta de tratamiento de aguas residuales Centenario está ubicada en la Ciudad de Chetumal, capital del Estado de Quintana Roo y realiza un tratamiento biológico con un sistema aerobio del tipo “lodos activados” con dos reactores de mezcla completa de 3200 m³ cada uno. Las funciones principales de los reactores son remover materia orgánica soluble y nitrógeno amoniacal. La caracterización de estos procesos es importante para el desarrollo de una estrategia que permita optimizar el proceso biológico en cuanto a costos y eficiencia de remoción. La respirometría es un método ampliamente usado en Europa y Estados Unidos para caracterizar el proceso de lodos activados.

Éste método está basado en la medición del consumo de oxígeno por los microorganismos aerobios presentes en el licor mezclado. Existen diferentes métodos respirométricos reportados en la literatura (Carrión y col., 2003, Gearney y col., 2001, Kong y col., 1994), todos ellos se basan en la obtención de lecturas de oxígeno disuelto, las cuales son procesadas para la obtención de información de interés. Entre los diversos métodos respirométricos reportados, se encuentra el método de pulsos (Gearney y col., 2001). Éste método permite la estimación de parámetros cinéticos, además de que tiene la ventaja adicional de que permite observar la actividad biológica de microorganismos heterótrofos y autótrofos (Brouwer y col., 1998, Carrión y col., 2005). En efecto el método de pulsos ha sido aplicado con éxito en la

estimación de parámetros cinéticos del proceso de remoción de materia orgánica en reactores de lodos activados (Rozzi y col., 1999, Sollfrank y Mujer, 1990, Kabouris y Georgakakos., 1996) y para monitorear el efecto de sustancias tóxicas e inhibitorias para el proceso de lodos activados (Kong y col., 1994). Además la estimación de parámetros cinéticos del proceso de nitrificación (conversión de nitrógeno amoniacal a nitrato) en estos mismos reactores, también han sido obtenidos mediante éste método (Yuan y col., 1999). Este método permite adicionalmente el cálculo de parámetros cinéticos en línea, por lo cual se presenta como una herramienta altamente potencial en el control y optimización del proceso de lodos activados. Además tiene una ventaja de ahorro de tiempo y trabajo, con respecto a otras técnicas de valoración de parámetros cinéticos. Por otro lado la eficiencia de la Planta ha sido cuestionada por algunos investigadores del Estado. Sin embargo no existe actualmente un estudio científico que demuestre una evaluación del funcionamiento de la misma. De aquí surge el interés de éste trabajo de investigación, el cual es evaluar el funcionamiento del proceso de lodos activados de la Planta Centenario utilizando el método respirométrico de pulsos en la estimación de parámetros cinéticos en línea; además de la medición de parámetros fisicoquímicos de interés que complementen el estudio del reactor.

MATERIALES Y MÉTODOS.

Determinaciones Analíticas

La concentración de materia orgánica soluble se midió como Demanda Química de Oxígeno (DQO) por el método de Digestión (Standar Methods, 1995) con kits analíticos y un reactor de digestión Hach (USA). Las concentraciones de amonio ($N-NH_4^+$), Nitrato ($N-NO_3^-$) y Nitrito ($N-NO_2^-$) se determinaron por los métodos Nessler, Reducción de cadmio y Diazotización respectivamente (Standar Methods , 1995). La concentración de biomasa en el reactor se analizó como Sólidos Suspendidos Totales (SST) mediante filtración como se describe en APHA (Standar Methods, 1995).

Estimación de Parámetros Cinéticos

Arreglo experimental. En la estimación de parámetros cinéticos del reactor biológico de la Planta Centenario se utilizó un respirometro Corning (USA) de velocidad de agitación variable (ver Figura1) con un volumen total de 12 L. El oxígeno disuelto en el respirometro se midió mediante un electrodo de oxígeno disuelto polarográfico Ingold (USA) con un tiempo de respuesta de 16 segundos por 90% de saturación. Las lecturas de oxígeno disuelto se almacenaron en una computadora mediante un sistema de adquisición de datos Data Logger de una vía (Cole Parmer, USA), para mantener aireado a los lodos de forma constante se utilizó un difusor de vidrio poroso conectado a una bomba masterflex (Cole- Palmer, USA). El pH se controló a 7.5 mediante un controlador de pH (Cole Parmer, USA) utilizando soluciones de Ácido Clorhídrico 1 N e Hidróxido de Sodio 1 N.

Método de Pulsos. Para estimar parámetros cinéticos del proceso de lodos activados de la Planta Centenario se utilizó el método respirométrico de pulsos (Gearney y col. 2001). La metodología consistió en lo siguiente:

- a) Se adicionaron 7 litros de lodos activados del reactor biológico de la planta de tratamiento al respirometro aireado.
- b) Cuando la concentración de oxígeno disuelto llegó a un punto estable (a ésta concentración se le denomina concentración de oxígeno de línea base) se adicionó una cantidad conocida de un sustrato de interés o pulso (materia orgánica ó amonio). Esto originaba una caída en la concentración de oxígeno disuelto por un aumento en el consumo de oxígeno exógeno. Las lecturas de oxígeno disuelto se almacenaron en una computadora.

El consumo de oxígeno exógeno de los microorganismos se estimó mediante las lecturas de oxígeno almacenadas y un balance de oxígeno en el respirometro de la forma (Kong y col., 1996).

$$OUR_{xo} = K_{La} (C_{olb} - C_o) - \frac{dC_o}{dt} \quad (1)$$

Donde C_o es la concentración de oxígeno disuelto en el respirometro (mg L^{-1}), K_{La} es el coeficiente de transferencia de masa volumétrico (min^{-1}) y se calculó utilizando el método dinámico descrito en detalle por Moo Young (1981). C_{olb} es la concentración de oxígeno de línea base (mg L^{-1}) y OUR_{xo} es el consumo exógeno de oxígeno de los microorganismos (mg

$\text{min}^{-1} \text{L}^{-1}$). Las derivadas de oxígeno disuelto implícitas en la ecuación (1) se calcularon mediante el programa USI-SCAN (SYLK Scientific, India).

c) La ecuación (1) se ajustó mediante el programa Model Maker (Cherwell Scientific, USA) al siguiente modelo teórico propuesto por (Kong y col. 1996).

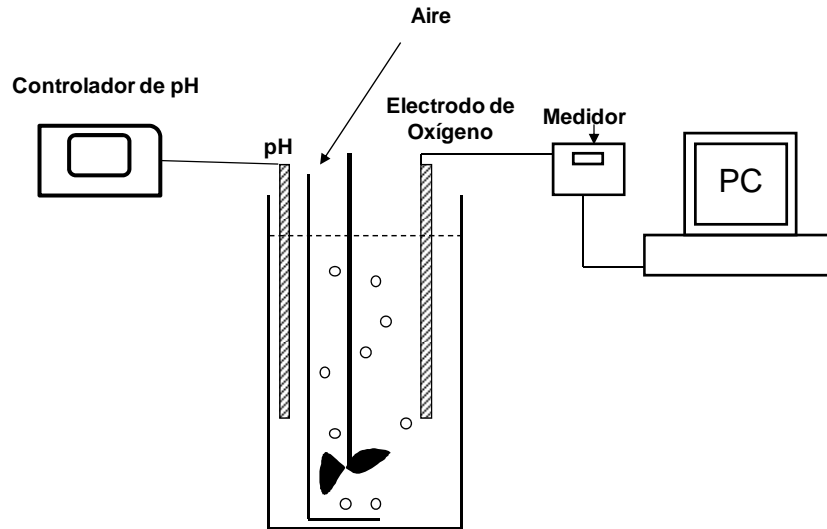


Figura 1. Esquema del respirometro usado en la estimación de parámetros cinéticos.

$$OUR_{xo} = \left(\frac{1-fs}{fs}\right) \left(1 - \exp\left(-\frac{t}{th}\right)\right) \mu \max X \frac{S}{k_s+S} \quad (2)$$

$$\frac{dS}{dt} = -\left(\frac{1}{fs}\right) \left[1 - \exp\left(-\frac{t}{th}\right)\right] \mu \max X \frac{S}{k_s+S} \quad (3)$$

Aquí fs es el coeficiente de rendimiento celular ($\text{mg DQO biomasa mg DQO sustrato}^{-1}$). fs se estimó calculando el área del perfil OUR_{xo} descrito por la ecuación (1) y dividiendo el área entre la concentración del pulso adicionado. t es el tiempo (min), X es la concentración de biomasa (mg SSV L^{-1}), S es la concentración del pulso de materia orgánica (mg DQO L^{-1}), K_s es la constante de saturación (mg DQO L^{-1}). th es el tiempo de respuesta biológico a la adición del sustrato descrito por Vanrolleghem y col. (2005). Mediante éste procedimiento se estimaron los valores de th del proceso biológico. Además se estimó el producto de μ_{max} por X como parámetro cinético de interés.

Estimación del Requerimiento de Oxígeno. Los requerimientos Reales de oxígeno (TRTO) para el proceso de lodos activados se calcularon mediante.

$$TRTO = Q(S_o - S) - P_x(1.42) + 4.33 NO_3 * Q \quad (4)$$

En ésta expresión Q es el caudal de entrada al reactor (L d^{-1}), S_o es la concentración de sustrato en el afluente (kg DQO L^{-1}) S es la concentración de sustrato en el efluente (kg DQO L^{-1}), P_x representa las células producidas que son desechadas del reactor (kg SST d^{-1}), NO_3 es la cantidad de Nitrato que se forma en el reactor (kg L^{-1}). La tasa estándar de oxígeno requerido se calculó con ayuda de la siguiente expresión:

$$TRTO = TETO \left(\frac{\beta C_{STH} - C_L}{C_{S20}}\right) (1.024^{T-20})(\alpha)(F) \quad (5)$$

Donde $TETO$ es la tasa estándar de transferencia de oxígeno en agua de la llave a 20°C y cero de oxígeno disuelto ($\text{kg O}_2 \text{ d}^{-1}$), β es un factor de corrección para la salinidad y la tensión superficial, C_{sTH} es la concentración media de la saturación de oxígeno disuelto en el agua limpia de un tanque de aireación a una temperatura T y una altitud H , (mg L^{-1}) y se calcula mediante:

$$C_{sTH} = (C_{sTH}) \frac{1}{2} \left(\frac{P_d}{P_{atmH}} + \frac{O_t}{21} \right) \quad (6)$$

P_d es la presión a la profundidad de liberación de aire, (kPa), P_{atmH} es la presión atmosférica a altura H , (kPa), O_t es el porcentaje de la concentración de oxígeno que sale del tanque, C_L es la concentración de oxígeno de funcionamiento del reactor (mg L^{-1}), C_{s20} es la concentración de saturación de oxígeno disuelto en agua limpia a 20°C y 1atm (mg L^{-1}), T es la temperatura de funcionamiento ($^{\circ}\text{C}$), α es un factor de corrección para la transferencia de oxígeno y F es el factor de obstrucción para difusores

Calculo de la Potencia de Aireación. Para estimar la potencia suministrada al reactor se calculó primero la capacidad requerida de los compresores de aire mediante la siguiente expresión (Tchobanoglous y Crites, 2000):

$$Q_{\text{aire}} = \frac{TETO}{(ERTO)(O_2)(\gamma_{\text{aire}})(1440 \text{ min/d})} \quad (7)$$

Donde Q_{aire} es el flujo requerido de aire, ($\text{m}^3 \text{ min}^{-1}$), $ERTO$ es la eficiencia real de transferencia de oxígeno, expresada como fracción; O_2 es el porcentaje en fracción de oxígeno en el aire por peso (0.2315) y γ_{aire} es el peso específico del aire (1.20 kg m^{-3} a una atmósfera y 20°C). La Potencia requerida se determinó a partir de la ecuación :

$$P_w = \frac{W_{\text{aire}} RT_1}{29.7ne} \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{0.283} - 1 \right] \quad (8)$$

Aquí:

P_w es la potencia requerida por soplador (Kw), W_{aire} es el peso del flujo de aire, (kg s^{-1}), R es la constante universal de los gases, ($8.314 \text{ kJ k mol}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{K}^{-1}$), T_1 es la temperatura absoluta a la entrada ($^{\circ}\text{K}$), P_1 es la presión absoluta a la

entrada (atm), P_2 es la presión absoluta a la salida (atm), $n = 0.283$ para el aire, e es la eficiencia del compresor.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

Eficiencia del Reactor

Con el objetivo de evaluar el funcionamiento del sistema de Lodos Activados de la Planta Centenario se realizaron mediciones de materia orgánica, nitrógeno (Amonio, Nitrito y Nitrato) y Sólidos Suspendedos Totales, además de experimentos de respirometría. La Tabla 1 muestra los días en que se realizaron las mediciones.

Tabla 1. Fechas de las mediciones realizadas en la Planta Centenario.

Día	Fecha	Día	Fecha
1	13/jul/06	13	27/ene/07
2	18/jul/06	14	29/ene/07
3	25/jul/06	15	31/ene/07
4	25/ago/06	16	07/feb/07
5	29/ago/06	17	22/feb/07
6	04/sep/06	18	23/feb/07
7	07/sep/06	19	25/feb/07
8	13/oct/06	20	12/mar/07
9	14/Nov/06	21	13/mar/07
10	16/nov/06	22	14/mar/07
11	23/nov/06	23	15/mar/07
12	14/dic/06		

La Figura 1(A) presenta las variaciones en las concentraciones de DQO medidas a la entrada y salida del reactor durante el periodo de estudio. Como se puede observar en Las concentraciones a la entrada del reactor biológico variaron entre 210 y 590 mg DQO/L, durante el periodo de estudio, mientras que las concentraciones medidas a la salida variaron entre 21 y 75 mg DQO/L. Sin embargo se puede observar que la concentración de materia orgánica a la salida del reactor en el día 15 alcanzó un valor de aproximadamente 250 mg DQO/L, sobrepasando por mucho las normas de vertimiento; este punto refleja el hecho de que en el día 15 de investigación el reactor presentó problemas de operación debido a problemas de aireación, ya que un compresor dejo de funcionar. Esto queda también demostrado en la Figura 1 (B) donde

para el día 15 se presentó apenas un 12% de remoción. La Figura 1 (B) muestra que los porcentajes de remoción obtenidos en el reactor biológico durante el periodo de investigación variaron entre un 74 a 96% de remoción, con excepción del día 15. Estos valores representan una remoción de materia orgánica de calidad aceptable, lo cual significan descargas de agua residual con un contenido de materia orgánica por debajo de lo que exigen las normas de vertimiento. La Figura 2 presenta las eficiencias de remoción de Amonio determinadas durante el periodo de evaluación, Se puede observar que existen eficiencias de remoción cercanas al 100 %, siendo las eficiencias más bajas de alrededor del 78%, con excepción del día 15. Las variaciones en la eficiencia de remoción se pueden atribuir principalmente a problemas de control de operación del proceso.

Estos resultados demuestran la presencia de bacterias nitrificantes en el reactor biológico, donde el Amonio fue transformado principalmente a Nitrato, presentándose concentraciones de hasta 59 mg N- NO₃ L⁻¹ en el efluente del reactor, estas altas concentraciones de Nitrato representan otro problema de contaminación no resuelto por la Planta Centenario, ya que la remoción de Nitrato se logra solo por un proceso anóxico de desnitrificación, el cual está ausente de la Planta. Nuevamente se puede observar que para el caso específico del día 15 no se presentó nitrificación debido a la problemática del compresor de aire antes mencionada.

La Figura 3 presenta la concentración de sólidos suspendidos totales (SST) en la entrada y la salida del reactor biológico de la planta centenario, como se puede observar la concentración de SST a la entrada del sistema presenta variaciones en la concentración de sólidos que van desde valores cercanos a 30 mg L⁻¹ hasta los 450 mg L⁻¹. Se puede observar también que las concentraciones de SST a la salida del reactor presentan variaciones significativas.

Las variaciones en la concentración de SST en el reactor (Ésta concentración en el reactor se conoce como SSLM, Sólidos Suspendidos del Licor Mezclado), se pueden explicar a la falta de control en el caudal de agua residual alimentado al sistema de lodos activados. En efecto las variaciones en el caudal de alimentación originan variaciones en el caudal de recirculación y en el de los lodos producidos. La variación en el caudal de lodos producidos provoca cambios en el Tiempo de Retención de Sólidos (θ_c), Donde la concentración de SSLM es función de θ_c , el cambio en éste parámetro explica las variaciones medidas en la concentración de biomasa en el reactor.

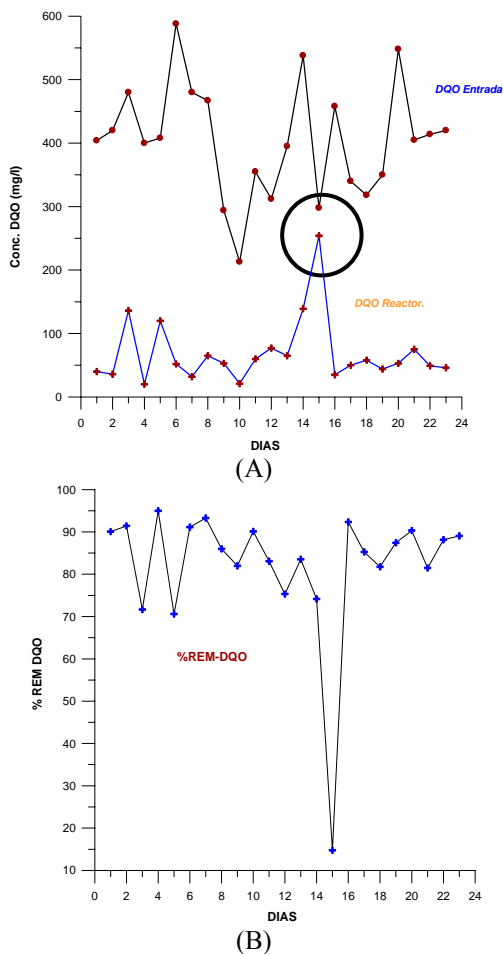


Figura 1. Funcionamiento del reactor biológico: A) DQO afluente y efluente, B) Eficiencias de remoción de Materia Orgánica.

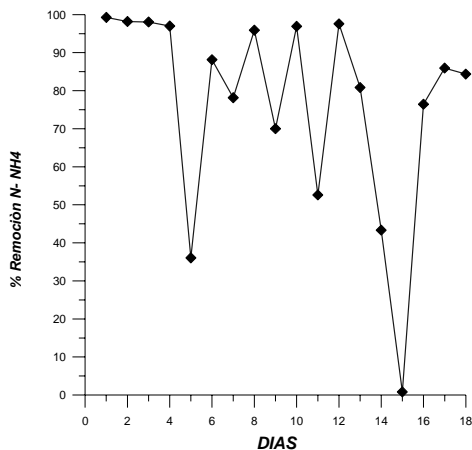


Figura 2. Eficiencia de remoción de Amonio del Reactor Biológico de la Planta Centenario.

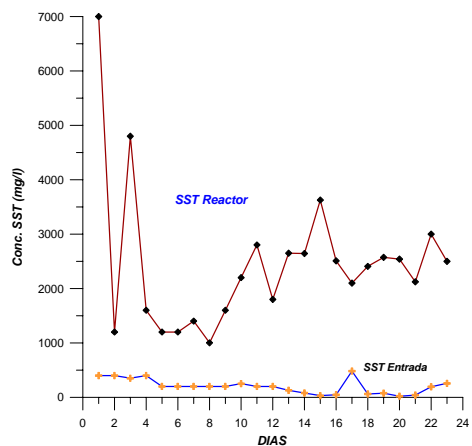


Figura 3. Concentración de SST en la entrada y la salida del Reactor Biológico de la Planta Centenario.

Estimación de Parámetros Cinéticos

La Figura 4 presenta respirogramas obtenidos los días 9, 11, 12 y 16. Estos respirogramas muestran una variación notable en la actividad biológica de los microorganismos presentes en el reactor biológico. Es bien conocido que la adición de un sustrato específico genera actividad oxidativa de una especie activa degradante del sustrato específico (Brouwer y col 1998, Kong y col 1996). Es decir la adición de amonio genera actividad de bacterias autótrofas amonio oxidantes y la adición de materia orgánica de bacterias heterótrofas. Las variaciones en la actividad biológica del reactor se pueden atribuir a una falta de control en el proceso y las fluctuaciones en la concentración de materia orgánica y nitrógeno en el afluente del agua residual. Considerando el aspecto de

una falta de control adecuada en la operación del reactor, su impacto más evidente se ve reflejado en la concentración de microorganismos en el reactor, que como se presenta en la Figura 3 tiene su origen en la variación del caudal alimentado y el recirculado; cambiando así el Tiempo de Retención de Sólidos.

Un ejemplo claro del efecto de la variación de condiciones de operación en la actividad de microorganismos autótrofos se observa en los respirogramas 4(B) y 4(C). En efecto en los experimentos respirométricos mostrados en el respirograma 4 (B), no se presentó actividad notable de microorganismos autótrofos aun cuando se adicionaron cantidades de amonio para alcanzar concentraciones de $1.7 \text{ mg N-NH}_4^+ \text{ L}^{-1}$ en el respirómetro. Mientras que en el respirograma 4(C) se puede observar una actividad oxidativa notable de los microorganismos autótrofos. Esta diferencia de actividades concuerda con las eficiencias de remoción de amonio y materia orgánica medidas en el reactor de la planta para estos dos días de experimentación, siendo de 50 % de remoción de amonio y 83.1 % de remoción de materia orgánica para el caso del respirograma 4(B) y 98 % de amonio y 75.3 % de materia orgánica para el respirograma 4(C). Los respirogramas 4(A) y 4(D) confirman la variación en la actividad biológica del reactor de lodos activados de la planta Centenario. En el respirograma 4(A) correspondiente al día 9 de experimentación se puede observar una actividad oxidativa de microorganismos autótrofos menor a la actividad oxidativa observada en el respirograma 4(C).

La eficiencia de remoción de Amonio medida en el reactor de la planta correspondiente al día 9 de investigación fue del 70 %; con un 82 % de remoción de materia orgánica. Estos porcentajes de remoción de amonio están de acuerdo con la actividad biológica mostrada en los respirogramas. Lo cual concuerda con lo reportado por Kong *et al.* (1996), quién observó que a mayor actividad respiratoria más pronunciadas son las caídas de oxígeno disuelto en los perfiles de los respirogramas. En la cinética que se presenta en el respirograma 4(D) de observa una buena actividad oxidativa de microorganismos heterótrofos cuando se

adicionaron cantidades de materia orgánica para alcanzar concentraciones de 3.6 mgDQO L⁻¹ y las eficiencias de remoción medidas en el reactor fueron de 75 % de remoción de Amonio y 92 % de Materia Orgánica.

La Figura 5 muestra un ejemplo de un ajuste realizado a un perfil *OUR* experimental mediante el modelo teórico. La línea sólida representa las predicciones del modelo teórico de acuerdo a las ecuaciones (2) y (3). Los perfiles de consumo de oxígeno exógeno fueron bien modelados con el modelo matemático. Mediante éste ajuste se estimaron los parámetros biocinéticos μ_{max} y K_s . La Tabla 2 presenta los valores de los parámetros cinéticos estimados para los días 2 y 16. Los valores de la velocidad de crecimiento específica máxima están de acuerdo con los valores reportados en la literatura, para proceso de lodos activados de aguas residuales domésticas. (0.04-0.20 h⁻¹, Tchobanoglous y

Crites, 2000). Mientras que los valores de K_s estimados en éste trabajo de investigación estuvieron muy por debajo de los valores usuales reportados para proceso de lodos activados (15 – 70 mg DQO/L, Tchobanoglous y Crites, 2000). La diferencia entre los valores reportados y los hallados en éste trabajo de investigación, radica en el hecho de que los experimentos respirométricos se realizan bajo condiciones de sustrato muy bajas (menores de 10 mg DQO/L), por lo cual la afinidad por el sustrato es diferente. Sin embargo las estimaciones de K_s están de acuerdo con los valores reportados por Kong *et al.* (1996) en experimentos respirométricos de lodos activados. Tomando esto en consideración se utilizó un valor de K_s de 45 mg DQO/L como base para las simulaciones en SuperProDesigner para la estimación del tiempo de retención de sólidos.

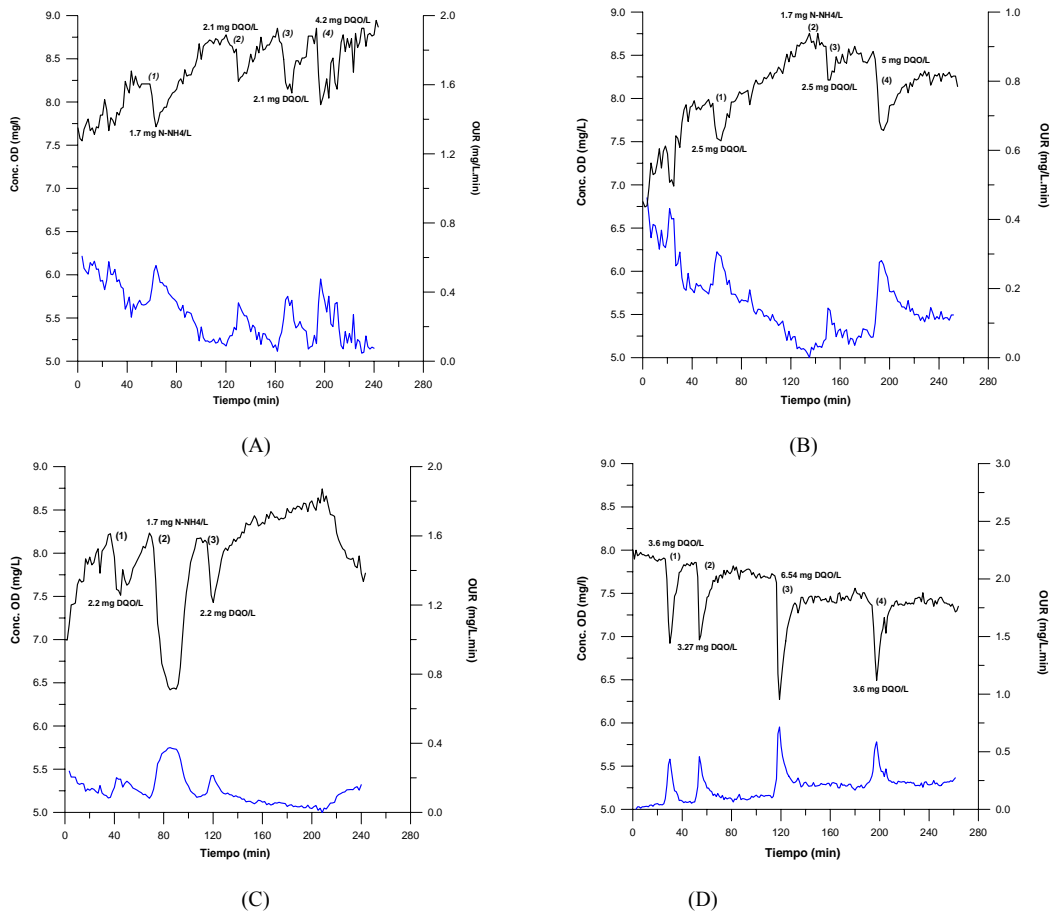


Figura 4. Respirogramas correspondientes a los días de experimentación: (A) 9, (B) 11, (C) 12, (D) 16. La línea azul corresponde al *OUR* y la línea negra corresponde al oxígeno disuelto.

Por otra parte los valores presentados en la Tabla 2 confirman las variaciones en la actividad biológica de los microorganismos observada durante los días de experimentación. En efecto los parámetros cinéticos son muy sensibles a parámetros ambientales así como a las condiciones de operación del reactor.

Tabla2. Parámetros cinéticos estimados en los días de investigación 2 y 16.

Día	μ_{max} (min^{-1})	K_s (mg DQO L^{-1})
2	1.18	3.64
16	0.98	1.86

Estimación de Costos de operación

La estrategia utilizada para calcular los costos de operación consistió en utilizar los parámetros biocinéticos estimados del reactor biológico de la Planta, en el programa SuperProDesigner. Con estos datos el programa es capaz de realizar los balances de materia del proceso y estimar el Tiempo de Retención de Sólidos. Éste dato es muy importante ya que permite calcular la producción de lodos, así como los requerimientos de oxígeno; los cuales permiten calcular los costos de operación del proceso. La Tabla 3 presenta los valores de los parámetros utilizados para calcular los requerimientos de oxígeno, el flujo de aire necesario y la potencia suministrada al reactor en los días 2 y 16 de investigación.

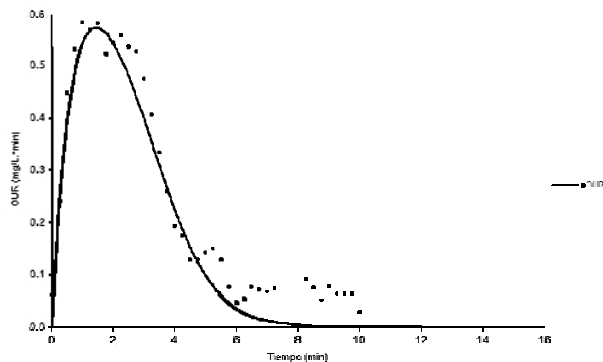


Figura 5. Ejemplo de un ajuste del modelo teórico a un perfil OUR correspondiente al día 16.

La Tabla 4 presenta los resultados obtenidos para los requerimientos de oxígeno, producción de lodos y potencia suministrada al reactor de Lodos Activados en los días 2 y 16. Con base en los datos de potencia y tomando como base un

precio de \$5.0 el kWh se calculó los costos de aireación por un día de funcionamiento del reactor, lo cual es mostrado en la Tabla 5.

A partir de estos datos se puede realizar un análisis muy interesante, como se puede observar en la Figura 1(B) los días 2 y 16 presentan altos porcentajes de remoción de materia orgánica, siendo de 91.4 y de 92.4 % respectivamente. Sin embargo el costo del proceso para el día 2 es aproximadamente un tercio del costo del día 16. Es decir se tiene un ahorro significativo manteniendo condiciones de operación prevalecientes del día 2. A pesar de que el día 2 tenga una producción de lodos casi tres veces mayor que el día 16, los costos de aireación impactan de una manera más significativa que los costos de tratamiento de lodos. Los costos de operación de los restantes días de investigación no fueron estimados, debido a la falta de control del caudal de operación, donde la comparación de los días 2 y 16 se realizó bajo la consideración del mismo caudal, como se mencionó anteriormente los valores de caudales de recirculación de lodos y alimentación no son medidos. Sin embargo la metodología desarrollada se puede aplicar en un reactor de lodos activados para optimizar las condiciones de operación para minimizar los costos de operación; siendo un requisito indispensable la colocación de instrumentos de medición de caudal.

CONCLUSIONES

El proceso de lodos activados de la Planta Centenario presentó buenas eficiencias de remoción de Materia Orgánica y Nitrógeno Amoniacal durante el periodo de estudio. Sin embargo al carecer de un control adecuado el proceso presenta variaciones en la concentración y actividad de los microorganismos presentes en el reactor, estas variaciones cambian el TRS por lo cual no existe un control efectivo en el suministro de aire necesario para el proceso, incrementando de manera importante los costos de operación. La metodología presentada en éste estudio puede utilizarse para optimizar el proceso del reactor.

Tabla 3. Datos para calcular el requerimiento de oxígeno.

Parámetro	Unidades	Día 2	Día 16
Caudal (Q)	m ³ d ⁻¹	1036 8	10368
Amonio (e)	mg L ⁻¹	36.5	85.8
Nitrato (s)	mg L ⁻¹	0.7	20.2
Co	mg L ⁻¹	36	65
COsat	mg L ⁻¹	2.0	2.0
Temperatura (T)	°C	8.2	8.6
Tiempo de retención de sólidos (TRS)	días	27	25
Rendimiento celular (Y)	mg SSV mg DQO ⁻¹	3.7	18.0
CO ₂₀	mg L ⁻¹	0.75	0.47
		9.07	9.07

Tabla 4. Requerimientos de oxígeno, producción de lodos y potencia calculados para los días 2 y 16.

Día de experimento	2	16
Flujo de aire (m ³ min ⁻¹)	22.3	62.5
TRTO (Kg O ₂ d ⁻¹)	2114.2	6121.6
TETO (Kg O ₂ d ⁻¹)	2823.1	8058.26
Producción de lodos (Px) (Kg SST d ⁻¹)	2443.5	864.4
Potencia requerida (hp)	25.2	71.5

Tabla 5. Costos de aireación del reactor de Lodos Activados de la Planta Centenario.

Día	Costos de aireación	Producción de lodos
2	\$2224/d	2443.5 kg/d
16	\$6408/d	864.5 kg/d

BIBLIOGRAFÍA

APHA, AWWA, WEF. (1995) *Standar methods for the examination of water and wastewater*. 19th Ed. Am. Public Health Assoc. Washington D. C., USA

Brouwer H., Klanpwijk A. y Keesman K J. (1998) Identification of activated sludge and wastewater characteristics using respirometric batch-experiments. *Wat. Res.* **32** (4), 1240-1254

Calderón F, Pavlova, M. (2001) Determinación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO5; Método Respirométrico; Bogotá.

Carrión M., Assaf A. y Thalasso F. (2003) Respiration rate measurement in submerged fixed bed reactor. *Wat Sci. Tech.* **47** (5), 201-204.

Carrión M., Alba J. y Thalasso F. (2005) Effect of hydrodynamic conditions on biofilms oxygen consumption rate in a fixed-bed nitrifying reactor. *Wat Sci. Tech.* **52** (7), 91-95

Gearney A. K., Petersen B., Ottoy J. P. y Vanrolleghem P. (2001) Activated sludge monitoring with combined respirometric-tritimetric measurements. *Wat. Res.* **35** (5), 1280-1294

Kong Z., Vanrolleghem P. y Verstraete W. (1994) Automated respiration inhibition kinetics análisis (ARIKA) with a respirographic biosensor. *Wat Sci. Tech.* **30** (4), 275-284

Kong Z., Vanrolleghem P., Willens P. y Verstraete W. (1996) Simultaneous determination of inhibition kinetics of carbon oxidation and nitrification with a respirometer. *Wat. Res.* **30** (4), 825-836

Rozzi A., Ficara E., Cellamare C.M. y Bortone G. (1999) Characterization of textile wastewater and other industrial wastewaters by respirometric and titration biosensors. *Wat Sci. Tech.* **40** (1), 161-168

Tchobanoglous G y Crites R.,. (2000) *Sistemas de manejo de aguas residuales para núcleos pequeños y descentralizados*. 1^a Ed. Tomo 2 Mc Graw Hill. Colombia.

Vanrolleghem P., Gurkan sin, Gearney K. (2004) Transient response of aerobic and anoxic activated sludge activities to sudden substrate concentration changes. *Biotech* **86** (3), 227-288.

Wise citado por Moo-Yong, M. y Blanch H. (1980) Desing of biochemical reactors: Mass transfer criteria for simple y complex system. En *advances in biochemical engineering*, ed. T. K. Chose, A. Fiechter y N. Blekebrogh. **17**, 1-69.