

Optimización del caudal de recirculación en sistemas de barros activados: aplicación del método de calidad de barros

>> Leonardo Erijman

RESUMEN

El objetivo de control del sistema de barros activados, apunta a la optimización de los procesos de biooxidación y biofloculación. En la práctica, esto representa controlar los niveles de oxígeno disuelto y el mantenimiento de valores adecuados de recirculación y purga del barro excedente. El método basado en la calidad de los barros, permite establecer criterios para el manejo de las variables de descarte de barros y la recirculación, con base en las características de sedimentabilidad. Este concepto es importante, porque la buena separación del barro es esencial para el éxito del proceso de tratamiento. Sin embargo, contrariamente a un concepto ampliamente difundido, el objetivo del control de recirculación basado en la calidad del barro, no está directamente relacionado con la biodegradación de la materia orgánica ni con el grado de oxidación del barro. La mejora en la calidad del efluente tratado se logra a través de la optimización del tiempo de retención en el sedimentador, lo cual promueve la selección de bacterias formadoras de floc.

INTRODUCCIÓN

Los barros activados son los sistemas más ampliamente utilizados para el tratamiento de efluentes municipales e industriales. En su configuración básica, el proceso consiste en A) un reactor aireado (cámara de aireación, CA), en donde una mezcla compleja de microorganismos oxida la materia orgánica biodegradable, transformándola en anhídrido carbónico y agua y formando más biomasa microbiana; B) un tanque de sedimentación (también llamado clarificador) que separa los sólidos del flujo de agua de proceso, produciendo un efluente depurado con bajo contenido de sólidos suspendidos; C) un sistema de recirculación, mediante el cual se realimenta el reactor para mantener una alta relación entre la biomasa activa y la materia orgánica a oxidar y D) un sistema de purga del barro excedente, que permite mantener un valor adecuado de tiempo de retención celular, o edad de barro (Figura 1).

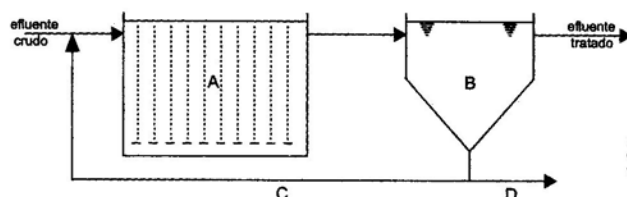


Figura 1. Esquema del proceso de barros activados

La eficiencia del proceso depende de la selección y crecimiento de organismos metabólicamente activos en la cámara de aireación y de la eficiente separación de estos organismos (el barro biológico) del efluente tratado en el clarificador. Esta separación es posible porque la biomasa microbiana se desarrolla en forma de agregados sedimentables, los flocs de barros activados. Los agregados contienen miles de millones de células, pertenecientes a su vez, a cientos o miles de microorganismos diferentes^[1], que se agrupan siguiendo patrones ecológicos cuyas reglas están comenzando a ser elucidadas^[2, 3]. Sin embargo, desde el punto de vista de la microbiología, se trata de sistemas que no sólo son extremadamente complejos, sino que se modifican permanentemente en el tiempo, es decir, también son dinámicos. No extraña, entonces, que a pesar de ser un objetivo altamente deseable, por el momento, la posibilidad de ensamblar racionalmente las poblaciones bacterianas o de controlar su diversidad, es aún muy remota^[4]. Con la responsabilidad de lidiar con tal complejidad, la función del operador de planta está limitada al manejo de las variables que le permitan optimizar los procesos de oxidación y biofloculación. En la práctica, esto significa controlar los niveles de oxígeno disuelto y el mantenimiento de valores adecuados de recirculación y purga de barros. Lamentablemente, por tratarse de sistemas complejos, dinámicos y difíciles de automatizar, no existe un método universal que permita realizar un control completo de proceso a partir de ensayos simples, rápidos y fácilmente comprensibles.

EL MÉTODO DE CALIDAD DE BARROS

En este contexto, un método de control que resulta atractivo y goza de amplia difusión, es el llamado método basado en la calidad de los barros. Originalmente desarro-

Palabras clave

Lodos, lodos activados, calidad de lodos

llado en la década del 70^[5], conceptualmente, permite establecer criterios para el manejo de las variables de descarte de barros (purga) y recirculación, con base en las características de sedimentabilidad. Los controles basados en el manejo de descarte de barros, se han modificado desde su formulación original, para incorporar los nuevos modelos de cinética de crecimiento bacteriano. En consecuencia, en la actualidad, el manejo de purga basado en la calidad de barros es, esencialmente, equivalente al control de la edad de barros^[6].

En este trabajo se pondrá el foco en el uso de la recirculación como variable de control de las condiciones de floculación y sedimentación. Las mismas, son determinadas en el laboratorio utilizando un recipiente graduado (decantómetro) en el que se mide el volumen de barro sedimentado en función del tiempo de sedimentación (**Figura 2**). Los estados de sedimentación lenta y rápida, se asocian a menudo, con las condiciones de barro joven o suboxidado y viejo o superoxidado, respectivamente.

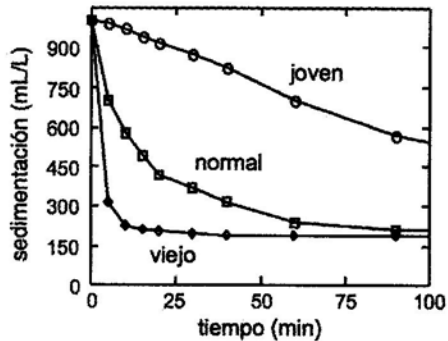


Figura 2. Altura de la interfase en función del tiempo de sedimentación para barros que sedimentan en forma lenta (barro joven, suboxidado) rápida (barro viejo, superoxidado) o normal

La otra información requerida para aplicar el método de calidad de barros, deriva de ensayos utilizando una centrífuga de mesa^[7].

La centrífuga es utilizada para la medición de los siguientes parámetros:

- Concentración del barro sedimentado (*SSC*): es la concentración de barro calculada a partir de la curva de sedimentación a un dado tiempo *t*.

$$SSC_t = \frac{ATC}{SSV} * 1000$$

ATC es la concentración de barro en el tanque de aireación (de donde se tomó la muestra) medida en una centrífuga y expresada como porcentaje volumétrico. *SSV_t* es el volumen que ocupa el barro sedimentado en el ensayo de sedimentación al tiempo *t*.

- Concentración de barro en la recirculación (*RSC*): es el porcentaje del volumen que ocupa el barro de la recirculación, luego de 15 minutos de centrifugación a 2.600-3.000 rpm.

En la aplicación del método de calidad de barros, es muy frecuente la adopción de medidas operativas con base en conceptos que no son debidamente comprendidos o utilizando datos insuficientes, lo cual puede conducir a situaciones que son contrarias a los objetivos de control^[8]. Este problema es aún más agudo en plantas que tratan efluentes industriales, ya que las mismas presentan particularidades para las cuales, normalmente, se dispone de pocos antecedentes y limitada información bibliográfica. Uno de los conceptos menos comprendidos está vinculado con el manejo del caudal de recirculación. El objetivo de este trabajo es ilustrar con ejemplos, cómo influye la recirculación sobre el grado de oxidación de la masa líquida y de la biomasa en el sistema de barros activados.

CONTROL DE RECIRCULACIÓN

Uno de los principales equívocos en la aplicación del método de calidad de barros, consiste en suponer que es posible "desplazarse" en las curvas de sedimentación (**Figura 2**) variando el caudal de recirculación. Según este principio, la disminución en el caudal de recirculación de un barro suboxidado, provocaría un aumento en la exposición a condiciones oxidativas, lo cual redundaría en una mejora en su calidad. Inversamente, sería posible mejorar la calidad de un barro superoxidado mediante un aumento en el caudal de recirculación.

Este razonamiento es incorrecto y surge por considerar aisladamente el tiempo de retención hidráulica en la cámara de aireación:

$$HRT_A = \frac{V_A}{(Q_i + Q_R)}$$

Para ilustrar esta conclusión numéricamente, se estudiará el efecto de alterar el caudal de recirculación simulando los siguientes escenarios de efluentes cloacales e industriales, que reciben en sendos casos, una carga orgánica diaria total equivalente a una población de 10.000 habitantes (**Tabla 1**). En ambos casos, el sistema de tratamiento está diseñado para una carga volumétrica de 1,0 kg DBO/m³.d. Como el efluente industrial está más concentrado, es decir, la misma carga orgánica está distribuida en un volumen menor, el tiempo de retención hidráulico es significativamente mayor.

Tabla 1. Datos de proceso

Parámetro	Cloacal	Industrial
DBO ₅	250 mg/L	1.000 mg/L
Caudal horario (Q _i)	100 m ³ /h	25 m ³ /h
Carga volumétrica	1,0 kg DBO/m ³ .d	1,0 kg DBO/m ³ .d
Volumen de aireación (V _A)	600 m ³	600 m ³
Área/altura sedimentador	200 m ² /3 m	50 m ² /3 m
Caudal purga (Q _p)	15 m ³ /d	15 m ³ /d

Cuando se efectúa un balance de masas sobre la cámara de aireación, la disminución en el caudal de recirculación Q_R aumenta el tiempo de retención en la cámara de aireación HRT_A (Figura 3A). Sin embargo, si el balance de masas se hace sobre el sedimentador al disminuir el caudal de recirculación Q_R , también aumenta el tiempo de retención en el sedimentador! (Figura 3A).

$$HRT_S = \frac{V_S}{(Q_p + Q_R)}$$

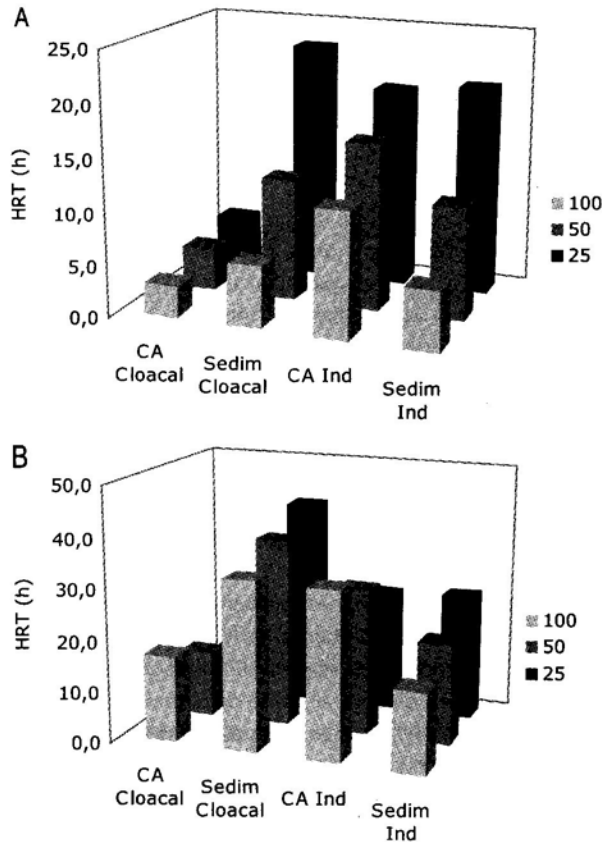


Figura 3. Variación del tiempo de retención de la masa líquida (en horas) en la cámara de aireación (CA) y en el sedimentador (sedim) de las plantas de líquidos cloacales e industriales, respectivamente, en función del caudal de recirculación Q_R (como porcentaje del caudal de ingreso Q_i) para los procesos según datos de Tabla 1. A) 1 ciclo de recirculación. B) 5 ciclos de recirculación

Esta aparente contradicción sucede porque el líquido permanece en el sistema más tiempo del que surge de los cálculos de HRT realizados aisladamente sobre cada uno de los tanques, justamente, por efecto de la recirculación. Cuando se integran los tiempos de retención sobre varios ciclos de recirculación, se verifica que al bajar el caudal de recirculación no aumenta, sino que disminuye la proporción relativa de tiempo en que el líquido está en la cámara de aireación (Figura 3B). En consecuencia, la reducción en el caudal de recirculación no contribuye a aumentar el tiempo de oxidación de la materia orgánica. En el caso del ejemplo de

tratamiento del efluente industrial, se debe hacer notar una particularidad adicional. La disminución en la tasa de recirculación de Q_R/Q_i de 1 a 0,25, provoca el aumento del HRT_{ai} aparente de 12 a 19 horas. Este cambio tiene poca utilidad práctica, ya que aún para los compuestos más recalcitrantes a la biodegradación, tiempos de retención hidráulica mayores a 10-15 horas, no aumentan la eficiencia de degradación^{9, 10}.

El siguiente paso es analizar cómo influye la tasa de recirculación sobre el tiempo que transcurre la biomasa en la cámara de aireación. El tiempo de retención del sólido en la cámara de aireación no debe confundirse con la edad de barro, que representa el tiempo que los sólidos permanecen retenidos en todo el sistema y está determinado por el balance entre el barro purgado y el inventario total de sólidos. La influencia del caudal de recirculación Q_R sobre el tiempo de retención del sólido en el sedimentador, puede estimarse a partir de la velocidad de sedimentación de los sólidos, dada por la siguiente expresión:

$$v = -\frac{Q_i}{A} + \frac{Q_R}{A} + v_0 e^{-kC}$$

Donde:

v_0 =velocidad inicial de sedimentación.

k =constante empírica.

C =concentración de los sólidos que ingresan en el sedimentador.

El primer término representa la velocidad ascendente de los sólidos debida al caudal ingresante (Q_i/A). El segundo término, la velocidad descendente debida a la recirculación (Q_R/A). El tercer término, la velocidad gravitacional, descrita por la ecuación de Vesilind¹¹.

Los valores de la velocidad inicial v_0 y la constante empírica k , son característicos del barro y pueden determinarse experimentalmente.

Utilizando los valores de $v_0=7,27$ m/h y $k=0,565$ L/g¹¹¹ y considerando que C es igual a la concentración de sólidos suspendidos en la cámara de aireación (MLSS) y un tiempo de colección de barro en el sedimentador de 30 minutos, se ilustra en la Figura 4, la dependencia del tiempo de retención de sólidos en aireación en función de MLSS y de la tasa de recirculación Q_R/Q_i para las plantas cloacal (A) e industrial (B) cuyos datos figuran en la Tabla 1.

Se observa que una disminución en el caudal de recirculación puede *aumentar* o *disminuir* el tiempo de retención en el sedimentador, que la concentración de sólidos en aireación tiene un efecto sobre el tiempo que está el sólido en aireación significativamente más importante que el caudal de recirculación y que esta influencia es mucho menor para plantas en las que el efluente a tratar ingresa con alta carga orgánica, caso típico de efluentes industriales.

Para barro que presentan otras características, es decir, otros valores de v_0 y k , la proporción de tiempo que transcurre en la cámara de aireación es diferente, pero los resultados son cualitativamente similares y las conclusiones no se ven afectadas.

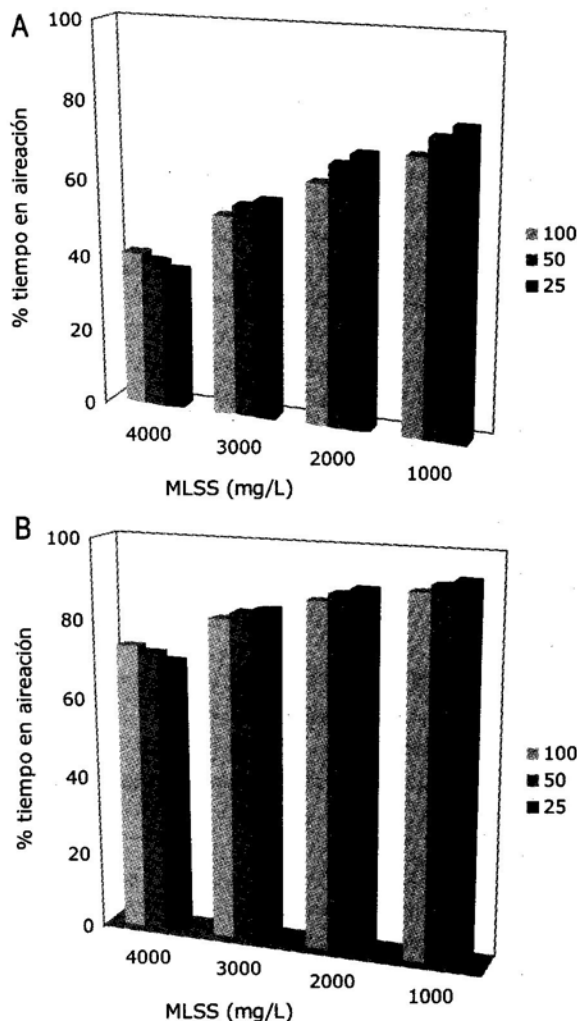


Figura 4. Variación del tiempo de retención de sólidos en función de la tasa de recirculación Q_r (relación porcentual respecto del caudal ingresante Q_i) y de la concentración de sólidos para los procesos según datos de la Tabla 1. A) planta cloacal B) planta industrial

RECIRCULACIÓN Y CALIDAD DE BARROS

El concepto de calidad de barros es fundamental, porque la buena separación del barro es esencial para el éxito del proceso de tratamiento. El objetivo del control de recirculación es la optimización del tiempo de retención en el sedimentador. El tiempo óptimo de sedimentación representa el tiempo en el cual el barro sedimentado se encuentra próximo a alcanzar su grado máximo de compactación. Este valor es determinado en el laboratorio en ensayos de decantación. Usualmente, se encuentra entre los 40 y 60 minutos^[6], aunque el valor obtenido depende de la calidad del barro y de cada sistema de tratamiento. Tiempos de sedimentación menores de 30 minutos no son recomendables, ya que pueden interferir con el proceso físico de colección de barro en el fondo del sedimentador^[7].

Una vez determinado el tiempo óptimo de sedimentación,

se busca igualar los valores de RSC y SSC_t ^[6]. En estas condiciones, las características del barro son estables y se produce un efluente de buena calidad. Si la concentración de barro en la línea de recirculación es mayor a la esperada, esto se debe a que el barro está siendo retenido en el sedimentador más tiempo del necesario y por lo tanto, se requiere acortar el tiempo de retención, es decir, aumentar el caudal de recirculación. De esta manera se evita un posible deterioro del tratamiento por exposición innecesaria del barro a condiciones anaeróbicas en el fondo del sedimentador. Además, si el nivel de barro en el sedimentador se encuentra cerca de la superficie, puede producirse una fuga en circunstancias de picos de caudal.

Si la concentración del barro en la línea de recirculación es menor a la esperada, se debe aumentar el tiempo de retención, es decir, disminuir el caudal de recirculación. En este caso, se recomienda la corrección, ya que la calidad del efluente tratado mejorará debido a la reducción en los sólidos suspendidos que ocurrirá por promover la selección de bacterias capaces de formar floc^[12]. Sin embargo, se debe prestar especial atención al nivel del manto de barro en el sedimentador. Si el mismo presenta una tendencia a aumentar, se debe reducir inmediatamente el tiempo de retención, ya que el peligro de fuga de sólidos pasa a ser el factor crítico^[6].

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El caudal de recirculación es una variable importante para el control del proceso de barros activados, pero tiene poca influencia práctica sobre el nivel de biodegradación de la materia orgánica o sobre el grado de oxidación del barro. Por lo tanto, no es recomendable tomar decisiones sobre su manejo para mejorar la calidad del barro, sin conocer los valores de RSC y SST_t . Dicha práctica carece de rigurosidad y suele conducir a la acumulación de barro en el sedimentador, con el consiguiente deterioro de la calidad de barro y el riesgo de pérdida de sólidos por arrastre.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Curtis, T.P. & Sloan, W.T. (2004). *Curr Opin Microbiol* 7, 221-226.
- [2] Curtis, T.P., Head, I.M., & Graham, D.W. (2003). *Environ. Sci. Technol.* 37, 64A-70A.
- [3] Figuerola, E. L. & Erijman, L. (2007). *Environ. Microbiol.* 9, 1780-1789.
- [4] Curtis, T. P. & Sloan, W. T. (2006) *Water Sci. Technol.* 54, 227-36.
- [5] West, A. W. (1978). En 51st Annual Conference, Water Poll. Control Fed., Anaheim, CA.
- [6] Water Environment Federation (1987). *Activated sludge - Manual of practice No. OM-9*, Alexandria, VA.
- [7] Boe, O. (1994). *Operations Forum*. August, 16-19.
- [8] Parker, D.S., Kinnear, D.J. & Wahlberg, E.J. (2001) *J. Envir. Engrg.* 127, 476-484.
- [9] Kargi, F. & Konia, I. (2007). *J. Environ. Manage.* 84, 20-26.
- [10] Viero, A. F. & San't Anna, G. L. J. (2008). *J. Hazard. Mat.* 150, 185-186.
- [11] Giokas, D.L., Daigger, G.T., von Sperling, M., Kim, Y. & Paraskevas, P.A. (2003). *Water Res.* 37, 3821-3836.
- [12] Bossier, P. & Verstraete, W. (1996). *Appl. Microbiol. & Biotechnol.* 45, 1-6.

Sobre el autor:

Leonardo Erijman es Licenciado y Doctor en Ciencias Químicas, egresado de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires (UBA) Argentina. Realizó estudios posdoctorales en la Universidad de Illinois, Estados Unidos y el Instituto Max Planck, Alemania. Actualmente es

Investigador Independiente del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) en el Instituto de Investigaciones en Ingeniería Genética y Biología Molecular (INGEBI).

El autor puede ser contactado en la dirección electrónica: <erijman@dna.uba.ar>.

BREVES

PROGRESO EUROPEO EN GESTIÓN DE BARROS

La disposición de barros, en Europa, está fuertemente influenciada por la legislación vigente, con las aplicaciones en el suelo y los rellenos en retirada, ante el avance del compostaje y la digestión anaeróbica.

En los últimos años ha recibido mucha atención, en Europa, todo lo que colabore al reciclado de los desechos biodegradables, en el contexto de una política sustentable de suelos. Esto, sumado a las cada vez más restrictivas limitaciones para el enterramiento de desechos orgánicos, ha impulsado la mejora de la legislación aplicable a barros y otros desechos biodegradables.

Esta situación ha desembocado en una franca orientación hacia la co-gestión (co-management) de barros cloacales y de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos, que soluciona el tratamiento y disposición de dos tipos de desechos, con mayor eficiencia y sustentabilidad ambiental que la gestión de cada uno por separado.

Si bien el relleno conjunto de RSU y biosólidos (co-landfilling) se sigue utilizando en algunos países europeos, no parece ser una alternativa que tenga futuro, debido a que la European Directive 1999/31/E fuerza a una reducción de la disposición de desechos orgánicos en rellenos.

También la aplicación directa en el suelo ha decrecido, como consecuencia de las estrictas reglamentaciones sobre la

calidad de los barros, requerida para esta práctica.

El compostaje, por su parte, está jugando un rol clave, particularmente bajo la variante de co-compostaje (fracción orgánica de RSU y biosólidos cloacales) debido a que se trata de un proceso en el que pueden integrarse barros cloacales de diferentes características con la fracción orgánica de los residuos sólidos, para obtener un producto de mejor calidad.

Más recientemente, la co-digestión anaeróbica se está posicionando como un proceso eficiente, que incorpora la posibilidad de recuperación de energía, a través de la generación de gas metano.

Otra alternativa que se maneja, que también incorpora generación de energía, es la co-incineración, en la que los desechos (RSU y barros) se incorporan junto con el combustible, en hornos de altas temperaturas.

Sin embargo, la co-gestión de biosólidos y RSU todavía enfrenta problemas, en Europa, derivados de dos aspectos principales:

- La falta de integración de las regulaciones vigentes para ambos tipos de desechos, que hacen que las autorizaciones y controles no sean homogéneos.
- El hecho de que los flujos de barros y de RSU sean manejados bajo la responsabilidad de diferentes autoridades.

WWW.ECO2SITE.COM
EL MEDIO AMBIENTE EN INTERNET

HOME | Estructura | Contacto | Información | Empresas | 180-148800 | Trash | E-links

Para recibir nuestro boletín quincenal gratuito
boletin@eco2site.com

WWW.ECO2SITE.COM

Corrito 1070 piso 7mo of. 108
161010AVV) - CBA - Argentina
Tel./Fax: (+54-11) 4311-6486
info@eco2site.com