



DETERMINACIÓN DE LAS CONDICIONES DE OXIGENO DISUELTO DE UN SISTEMA DE LODOS ACTIVADOS QUE PERMITA LA PRODUCCIÓN DE LODOS FÁCILMENTE BIODEGRADABLES CON ALTO CONTENIDO DE PHB

Alejandra Urtubia U. ⁽¹⁾

Doctor en Ingeniería Química y Bioprocesos.
Post-doctorado en Escuela de Ingeniería Bioquímica.
Pontificia Universidad Católica de Valparaíso.

Paula Reyes F. ⁽¹⁾

Estudiante Ingeniería Civil Bioquímica.
Pontificia Universidad Católica de Valparaíso.

Omar Sánchez B. ⁽²⁾

Doctor en Ingeniería Química.
Profesor del Departamento Ingeniería Química.
Universidad Católica del Norte.

M^a Cristina Schiapacasse D. ⁽¹⁾

Magíster en Ingeniería Ambiental.
Profesora Escuela Ingeniería Bioquímica.
Pontificia Universidad Católica de Valparaíso.

Rolando Chamy M. ⁽¹⁾

Doctor en Ingeniería Química.
Profesor Escuela Ingeniería Bioquímica.
Pontificia Universidad Católica de Valparaíso.



⁽¹⁾: General Cruz N° 34. Valparaíso. Chile.

Tel.: (+56) 32-2273651 - Fax: (+56) 32-2273803

e-Mail: aurtubia@vtr.net, aurtubia@ing.puc.cl

⁽²⁾: Avda. Antofagasta 0610. Antofagasta. Chile

Tel.: (+56) 55-355912 - Fax: (+56) 55-355917

RESUMEN

Uno de los problemas de los sistemas de lodos activados es la gran cantidad de lodos que estos generan, los cuales son normalmente estabilizados mediante digestión anaerobia y luego se disponen en rellenos sanitarios.

Diferentes métodos de pre-tratamiento de lodo y variantes operacionales han sido ensayados con el fin de aumentar su velocidad de digestión anaerobia. Se ha comprobado que compuestos de almacenamiento energético como los polihidroxi butiratos (PHB) son degradados rápidamente en reactores anaerobios. Si el balance en la conversión de materia orgánica en el tanque de oxidación biológica de los lodos activados se controla para favorecer la formación de biomasa con alto contenido de PHB, se podría aumentar la velocidad del proceso de digestión anaerobia del lodo generado, manteniendo altos niveles de remoción de materia orgánica.

En este proyecto se estudió el efecto de 3 concentraciones de oxígeno disuelto (2 mg/L, 2,5 mg/L y 8 mg/L) sobre la acumulación de PHB en las bacterias heterótrofas y el grado de conversión de la materia orgánica, en un sistema de lodos activados a escala de laboratorio alimentado con agua doméstica sintética a una velocidad de carga orgánica de 1 kg DQO/m³·d y mantenido a temperatura ambiente.

Los resultados indicaron que a menor concentración de oxígeno disuelto mayor es la acumulación de PHB, obteniéndose un contenido de PHB en los lodos de 2,28 mg/g SSV a 2 mg/L de oxígeno disuelto y buenas eficiencias de remoción de DQO.

PALABRAS CLAVES: digestión anaerobia de lodos, polihidroxi butiratos, lodos activados.

INTRODUCCIÓN

En Chile, alrededor del 47% de las plantas de tratamiento de aguas servidas son sistemas de lodos activados, las cuales generan gran cantidad de lodos. Las mayores ventajas de estos sistemas de tratamiento es que permiten obtener bajos valores de concentración de materia orgánica y de sólidos suspendidos en el líquido tratado, además son muy estables a variaciones de carga, y su operación puede ser ajustada a diferentes condiciones. Sin embargo, sus desventajas radican en el costo que implica el suministro de oxígeno y el costo de la disposición del lodo biológico generado, tema que ha adquirido relevancia en el último tiempo sobretodo por el aspecto ambiental y legislativo.

Según literatura, el 60 % de la materia orgánica removida en el reactor de lodo activado se transforma en biomasa. Las determinaciones experimentales arrojan un valor menor, alrededor del 50% (Gujer y col., 1999). La disposición final de este lodo representa un costo importante en el proceso, el que puede alcanzar hasta un 60 % de los costos de operación del sistema de tratamiento de aguas residuales urbanas (Wei y col., 2003).

Uno de los procesos más utilizados para el tratamiento de lodos es la digestión anaerobia. Este proceso permite, tanto la estabilización de la materia orgánica, como la disminución de la concentración de sólidos y patógenos en los lodos. Por otro lado, la implementación de alternativas de operación en los reactores de lodo activado que lleven a una menor producción de lodo y/o lodos más fácilmente degradables en digestores anaerobios tendría un impacto económico positivo sobre el proceso de tratamiento de aguas residuales urbanas.

Los métodos para reducir la generación de lodo en los reactores de lodo activado se han basado en diferentes mecanismos: lisis-crecimiento críptico, metabolismo desacoplado, metabolismo para mantenimiento y la predación de bacterias por protozoos (Low y Chase, 1999; Wei y col., 2003). Todos estos procedimientos se enfocan hacia la reducción de la cantidad de lodos, pero ninguno hacia buscar vías para aumentar la velocidad de digestión anaerobia del lodo generado, intentando controlar la composición de las bacterias heterótrofas durante la operación del reactor de lodos activados.

La posibilidad de establecer condiciones de operación en los reactores de lodos activados, bajo las cuales se estimule la producción de PHB en las bacterias y no el crecimiento, no ha recibido atención en la literatura como una opción para aumentar la biodegradabilidad anaerobia de los lodos, encontrándose estudios sobre la acumulación de PHB en los procesos de remoción biológica de fósforo y de producción de plástico biodegradable. El PHB es degradado rápidamente en condiciones anaerobias y por lo tanto canalizar la DQO del agua residual hacia la formación de PHB y no de nuevas células en el reactor de lodo activado, puede representar una ventaja para el proceso de digestión anaerobia de lodos. La proporción relativa de proteínas y lípidos en el lodo con alto contenido de PHB sería menor que en un lodo producido en un sistema sin control de la producción de PHB.

El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la concentración de oxígeno disuelto de un sistema de lodos activados sobre el almacenamiento de PHB de la biomasa heterótrofa, con el fin de obtener un lodo fácilmente biodegradable.

METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

Se implementaron dos sistemas de lodos activados a nivel de laboratorio, LAC 1 y LAC 2, cuyos tanques de oxidación tenían un volumen útil de 2.56 L y 2.18 L, respectivamente. En la figura 1 se presenta un esquema de los sistemas de lodos activados y en la fig. 2 de la alimentación.



Fig. 1: Sistemas de lodos activados 1 y 2 escala de laboratorio. A: Tanque de oxidación, B: Sedimentador, C: Recirculación, D: Bomba de aire, E: Alimentación.



Fig.2: Sistema de alimentación con refrigerante. A: Estanque de alimentación, B: refrigerante, C: Bombas de alimentación, D: Bomba control de pH.

La alimentación se realizó en base a un efluente sintético de agua urbana (ARU) el cual contenía una DQO aproximada de 600 mg/L (Tabla 1 y 2).

Los sistemas de lodos activados se alimentaron con el ARU a una velocidad de carga orgánica (VCO) de 1 kg DQO/m³·d y se operaron a temperatura ambiente variando la concentración de oxígeno disuelto de 2 a 8 mg/L.

Se realizó una puesta en marcha iniciando la operación con una VCO de 0,5 kg DQO/m³d y aumentando gradualmente la VCO hasta alcanzar la VCO de trabajo de 1 kg DQO/m³d.

Tabla 1. Composición del efluente sintético alimentado al tanque de oxidación.

Sustrato		Concentración (mg/L)
Almidón de maíz	$C_6H_{10}O_5$	400
Aceite de maravilla	$C_{21}H_{36}O_4$	26*
Ovoalbúmina	-	40
Urea	CH_4N_2O	26
Fosfato diácido de potasio	KH_2PO_4	10,52
Cloruro de calcio dihidratado	$CaCl_2 \cdot 2H_2O$	44
Sulfato de magnesio heptahidratado	$MgSO_4 \cdot 7H_2O$	0,98
Cloruro de potasio	KCl	42,50
Bicarbonato de sodio	$NaHCO_3$	17,50
Extracto de levadura	-	125
Solución elementos trazas	-	2*

*: mL/L

Tabla 2. Composición solución elementos trazas.

Compuesto	Concentración (mg/L)
$FeCl_3 \cdot 4H_2O$	1000
$CoCl_2 \cdot 6H_2O$	1000
$MnCl \cdot 4H_2O$	250
$CuCl_2 \cdot 2H_2O$	15
H_3BO_3	25
$(NH_4)_6Mo_7O_{24} \cdot 4H_2O$	45
$NaSeO_3 \cdot H_2O$	50
$NiCl_2 \cdot 6H_2O$	25
EDTA	500
HCl 36%	0,5
Resazurín	250

*: mL/L

Al afluente y efluente de los sistemas de lodos activados se les midió en forma periódica la DQO. En el reactor se determinó el contenido de sólidos suspendidos totales (SST), sólidos suspendidos volátiles (SSV) e índice volumétrico de lodos (IVL), como una medida de la concentración y grado de sedimentabilidad de los lodos. Cada vez que se lograba la condición de estado estacionario se determinó a los lodos el contenido de PHB, lípidos, proteínas y polisacáridos. Las técnicas empleadas se describen en la Tabla 3.

Tabla 3. Metodología analítica utilizada.

Compuesto	Método
Demanda Química de Oxígeno	Titulación
Sólidos Suspendidos Totales y Volátiles	Gravimetría
Índice Volumétrico de Lodo	Gravimetría
Polihidroxibutiratos	HPLC
Lípidos	Soxhlet
Proteínas	Lowry
Polisacáridos	Dubois

RESULTADOS

En ambos sistemas de lodo activo, la puesta en marcha tuvo una duración aproximada de 30 a 40 días, tiempo en que la biomasa se aclimató a las condiciones iniciales de trabajo.

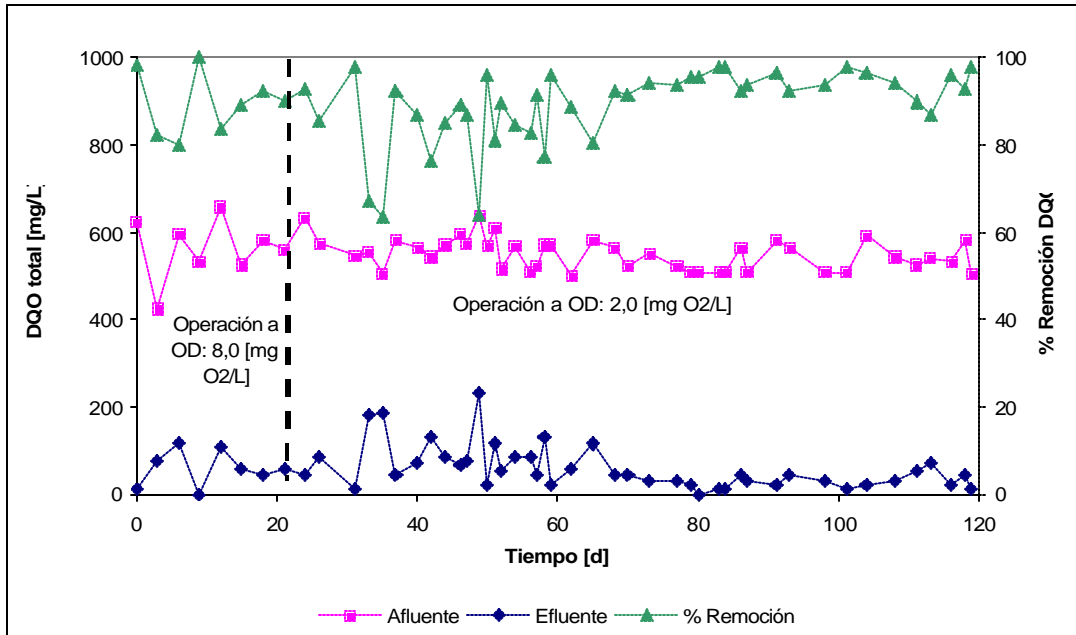
El pH de la alimentación generalmente fluctuó entre 6,5 y 7,5 aunque en algunas ocasiones llegó a valores inferiores a 6,0. Por otro lado, el pH de los reactores se mantuvo entre 6,5 y 8.

Operación a distintas concentraciones de oxígeno disuelto

Se comenzó en ambos sistemas de lodo activado con concentraciones de 8 mg/L hasta lograr su estado estacionario. Posteriormente el LAC1, se bajó a concentraciones de 2 ppm de OD. En cambio el LAC2, se trabajó a 2,5 mg/L. En todos los casos se operaba hasta alcanzar el estado estacionario.

En ambos sistemas, los porcentajes de remoción de DQO obtenidos en los estados estacionarios estaban por sobre el 80% (Figura 3).

(a)



(b)

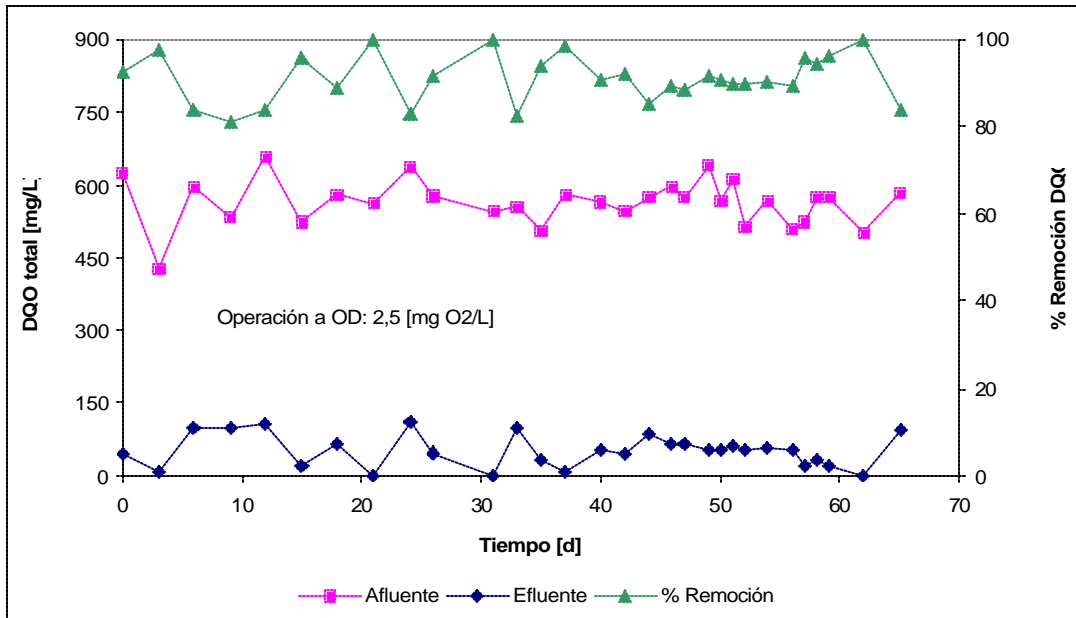
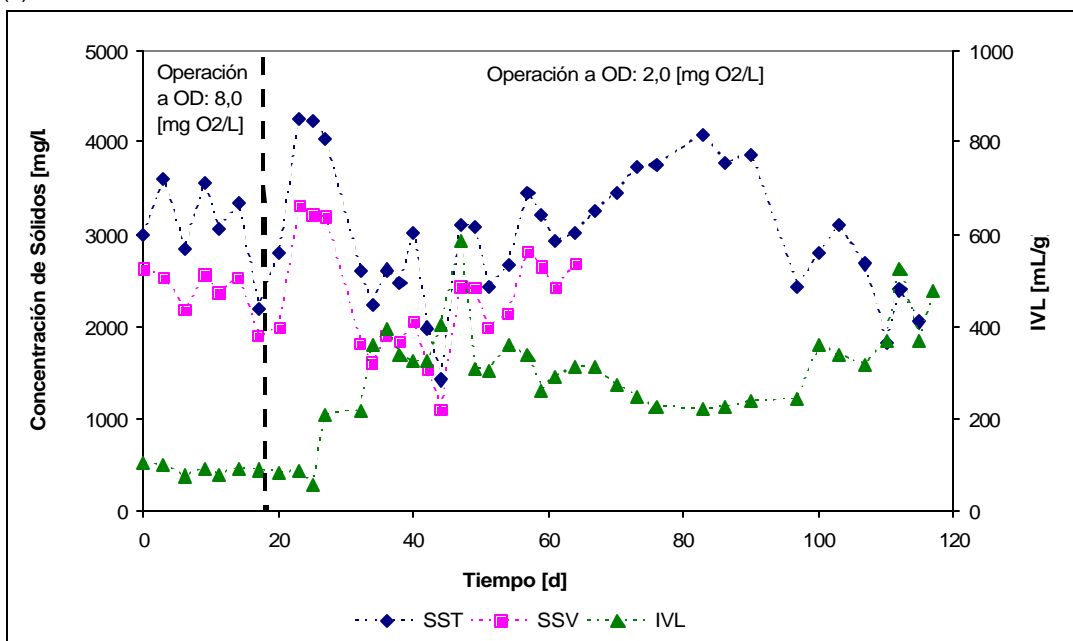


Figura 3: Remoción de materia orgánica a diferentes concentraciones de oxígeno disuelto en el (a) LAC 1 y (b) LAC 2, alimentados con agua residual doméstica sintética a una VCO de 1 kg DQO/m³·d y temperatura ambiente.

En general, ambos sistemas de lodos activados operaron con elevadas concentraciones de lodos aerobios. Sin embargo si se analiza el IVL se observa que al disminuir la concentración de oxígeno disuelto a 2 mg/L, este índice comienza a aumentar demostrando que se comienzan a producir problemas de bulking en el tanque de oxidación (Figura 4).

(a)



(b)

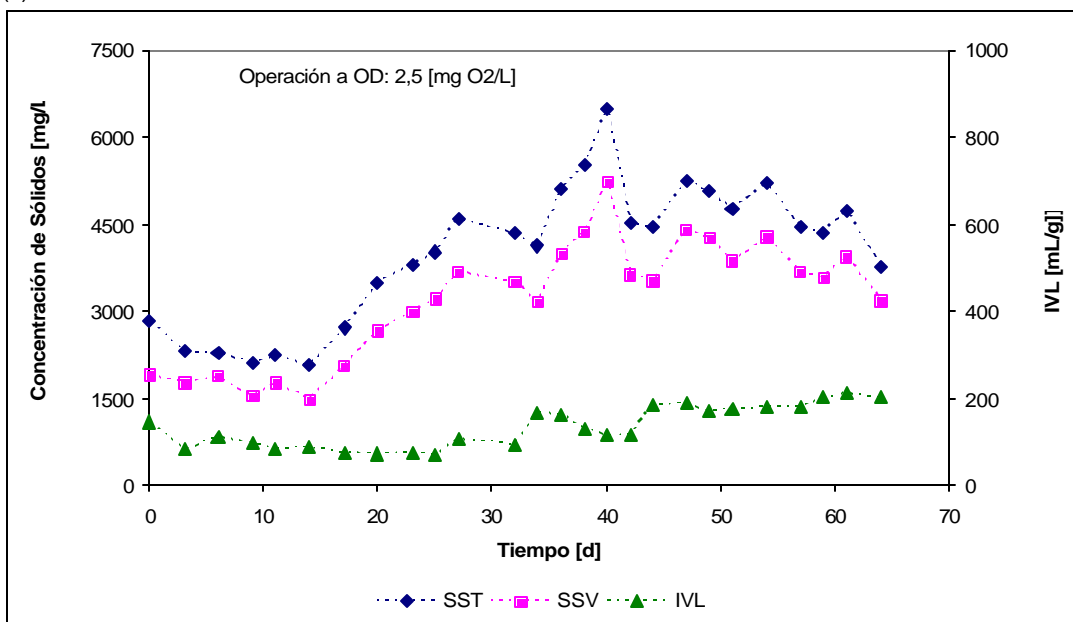


Figura 4: Variación de la concentración de SST y SSV y del IVL a diferentes concentraciones de oxígeno disuelto en el (a) LAC 1 y (b) LAC 2, alimentados con agua residual doméstica sintética a una VCO de 1 kg DQO/m³·d y temperatura ambiente.

En la Figura 5 se observa que existe una tendencia a aumentar el contenido de PHB de los lodos a menores concentraciones de oxígeno disuelto del sistema de lodos activados, alcanzando valores de 2,28 mg/mg de SSV a 2 mg/L de oxígeno disuelto. Estudios previos (Third y col., 2003; Chua y col., 1999) indican que estos resultados eran esperables debido a que a bajas concentraciones de

oxígeno disuelto, gran parte del sustrato es convertido a PHB, por el contrario a altas concentraciones de oxígeno se logra un mayor crecimiento de biomasa a expensas de una baja producción de PHB.

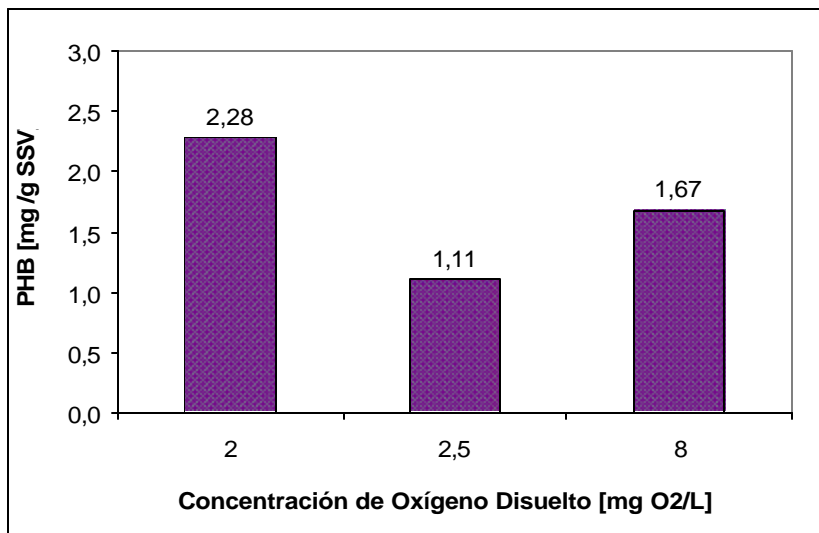


Figura 5: Variación del contenido de PHB de los lodos de los sistemas de lodos activados operados a distintas concentraciones de oxígeno disuelto.

En la Figura 6 se observa la variación del contenido de polisacáridos, proteínas y lípidos de los lodos obtenidos a diferentes concentraciones de oxígeno disuelto. La fracción de polisacáridos de los lodos no mostraron una variación significativa a las diferentes concentraciones de oxígeno disuelto estudiadas, manteniéndose su valor en el orden de 90 mg/g SSV, no así la fracción de proteínas y lípidos que disminuye respectivamente a valores de 45 y 30 mg/g SSV a valores de 2 mg/L de oxígeno disuelto.

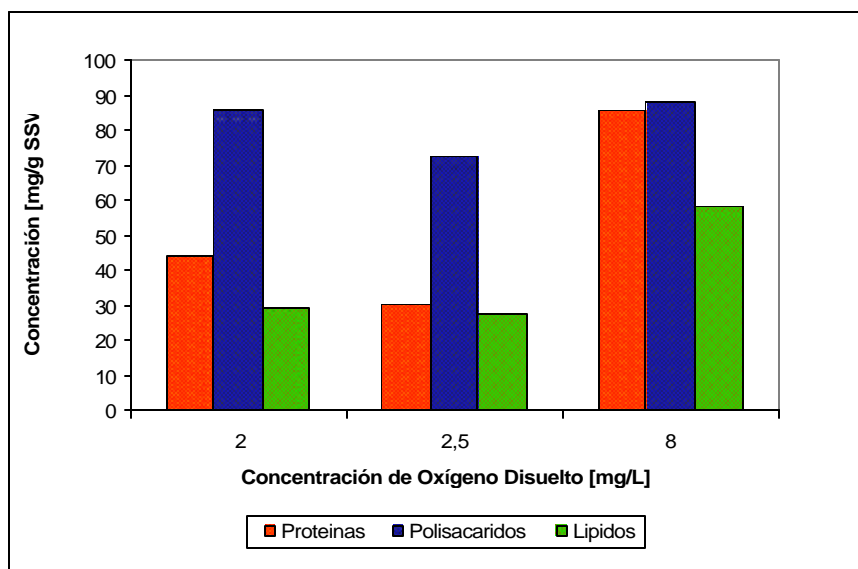


Fig. 6: Variación del contenido de Polisacáridos y proteínas (mg/gSSV) y Lípidos (%/gSSV) de los lodos a diferentes concentraciones de oxígeno disuelto.

CONCLUSIONES

Es posible aumentar el contenido de PHB en un 36,5 % y disminuir el contenido de proteínas en un 55,6% y el de lípidos en un 50 % de los lodos purgados en un sistema de lodos activados, alimentado con agua residual doméstica a una VCO de 1 Kg DQO/m³-d, disminuyendo la concentración de oxígeno disuelto de 8 a 2 mg/L y manteniendo buenos niveles de remoción de la materia orgánica por sobre el 80 %.

Los resultados indicarían que es posible aumentar la biodegradabilidad anaerobia de los lodos disminuyendo la concentración de oxígeno disuelto en los sistemas de lodos activados.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece el financiamiento de este trabajo al proyecto Fondecyt N° 1050787.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. GUJER, W., HENZE, M., MINO, T. AND VAN LOOSDRECHT M. Activated sludge model No. 3. *Wat. Sci. Tech.*, v.39, n.1, p. 183–193, 1999.
2. HONG CHUA, PETER H. F. YU, CHEE K. MA. Accumulation of Biopolymers in Activated Sludge Biomasa. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, v.77, n79, p.389-399, 1999.
3. KATIE A. THIRD, MARK NEWLAND, RALF CORD-RUWISCH. The effect of dissolved oxygen on PHB accumulation in activated sludge cultures. *Biotechnology and Bioengineering*, v.82, n.2, p.238-250, 2003.
4. LOW, E., AND CHASE, H. Reducing production of excess biomass during wastewater treatment. *Water Research*, v.33, n.5, p. 1119-1132, 1999.
5. WEI, Y., VAN HOUTEN, R., BORGER, A., EIKELBOOM, D., FAN, Y. Minimization of excess sludge production for biological wastewater treatment. *Water Research*, v.37, n.18, p. 4453-4467, 2003.