

Evaluación de un sistema biológico de lodos activados a escala de laboratorio

Evaluation of a biological system of laboratory scale activated sludge

50

Jeanie Alpírez¹; Karla Avilés¹; Helena Castillo¹; Ivana Pinzón¹; Rosa Mary Poveda¹ & Erick Vallester^{2*}

¹Licenciatura en Ingeniería Ambiental – Facultad de Ingeniería Civil – Universidad Tecnológica de Panamá

²Licenciatura en Ingeniería Civil – Facultad de Ingeniería Civil – Universidad Tecnológica de Panamá

Resumen Se evalúa el funcionamiento y la eficiencia de un sistema de lodos activados, a partir de un reactor a escala de laboratorio completamente mezclado, alimentado con agua residual y bajo condiciones controladas como el pH. El sistema cuenta con un caudal promedio de 9.77 mL/min y un tiempo de retención hidráulico de 29.3 horas (1.2 días). Posee una carga orgánica promedio de DBO en el afluente de 0.12 kg DBO5/m³*día. Las mediciones se realizaron en un período aproximado de tres meses, en los cuales se obtuvo como resultado una remoción de DQO de 54%, de sólidos suspendidos de 70% y de DBO de 83%, lo que indica que es un sistema apto para la reducción de materia orgánica.

Palabras claves Eficiencia, lodos activados, microorganismos, tratamiento de aguas residuales.

Abstract This study evaluates the performance and efficiency of an activated sludge system, from a completely mixed laboratory scale reactor, fed with waste water and under controlled conditions such as pH. The system has an average flow rate of 9.77 ml / min and a hydraulic retention time of 29.3 hours (1.2 days). It has an average organic load of BOD in the influent of 0.12 kg BOD5 / m³-day. The measurements were carried out over a period of approximately three months, resulting in a removal of COD of 54%, suspended solids of 70% and BOD of 83%, indicating that it is a system suitable for reduction of organic matter.

Keywords Efficiency, activated sludge, microorganisms, wastewater treatment.

* Corresponding author: erick.vallester@utp.ac.pa

1. Introducción

Los lodos activados son un proceso biológico empleado en el tratamiento de aguas residuales convencional, que consiste en el desarrollo de un cultivo bacteriano disperso en forma de flóculos en un depósito agitado, aireado y alimentado con el agua residual, que es capaz de metabolizar como nutrientes los contaminantes biológicos presentes en esa agua. Este estudio consiste en el monitoreo y evaluación del funcionamiento de un sistema de lodos activados. El reactor cuenta con una zona de aireación y una zona de sedimentación.

La zona de aireación tiene como objetivo introducir oxígeno a este y mantenerlo en movimiento para que se den las condiciones para el desarrollo y crecimiento de las bacterias dentro del sistema.

La zona de sedimentación, es el lugar en donde se depositan los lodos (separación sólido – líquido) formados durante el proceso como producto de la metabolización, que es llevada a cabo por las bacterias de la materia orgánica presentes en el agua, mediante la utilización de oxígeno (proceso aeróbico).

Para la evaluación se midió parámetros como sólidos totales, sólidos suspendidos, sólidos volátiles, pH, temperatura, caudal, conductividad, salinidad, oxígeno disuelto, DQO y DBO, que nos permitieron evaluar las condiciones y eficiencias del tratamiento de las aguas residuales por medio del sistema biológico de lodos activados.

2. Materiales y metodología

El trabajo experimental se realizó en los laboratorios de Hidráulica y Sanitaria de la Facultad de Ingeniería Civil. El proyecto duró aproximadamente dos meses durante el desarrollo del segundo semestre del año 2016.

2.1 Materiales

El sistema consiste en un reactor completamente mezclado. Una vez que las partículas ingresan al reactor, inmediatamente se homogenizan y como consecuencia todas las partículas tienen las mismas características.

El reactor está dividido en una zona de aireación

y en una zona de sedimentación. El volumen de agua de la zona de aireación es de 12.20 litros y de la zona de sedimentación es 5.00 litros, teniendo un volumen total de 17.20 litros.

Previo a la entrada del agua al sistema, se le adicionó difosfato de potasio (K_2HPO_4) para el control del pH. El agua residual ingresa al reactor por gravedad mediante un tubo de 3/4 pulgadas.

Una vez integrada el agua residual se inicia un proceso de introducción de aire a través de una bomba Tetra Whisper 60 que suministra oxígeno al sistema.

2.2 Metodología

Para la evaluación del sistema se realizaron pruebas dos días a la semana (martes y jueves) desde finales de agosto a finales de octubre. Se colectaron muestras de agua en la entrada y la salida del sistema para dichas pruebas.

2.2.1 Análisis de pruebas microbiológicas

Para las pruebas microbiológicas se evaluaron aspectos como diferenciación bacteriológica por medio del método de Tinción Gram, el cual se realizó dos veces durante la ejecución del estudio; Coliformes Totales mediante el método de filtro de membrana, se realizaron cada quince días y la identificación de la presencia de microorganismos, a través de la observación en el microscopio.

2.2.2 Análisis de pruebas fisicoquímicas

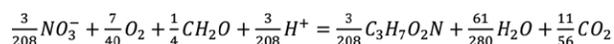
Los análisis físicos realizados durante estos meses de pruebas consistieron en mediciones por medio del Equipo Multiparámetro Digital Profesional Series YSI. Además, se ejecutaron otros análisis para determinar la Demanda Química de Oxígeno (DQO) mediante el método de Digestión por Dicromato de Potasio ($K_2Cr_2O_7$), realizando las lecturas mediante un espectrofotómetro HACH DR/2010. La Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) se midió mediante la diferenciación de oxígeno consumido (O_2), este último determinado a partir del método de Winkler.

Las mediciones de las concentraciones de sólidos totales, sólidos suspendidos y sólidos volátiles fueron realizadas mediante el análisis gravimétrico.

2.2.3 Mediciones adicionales

Para una mejor eficiencia en el sistema de lodos activados se realizaron procesos adicionales como la adición de glucosa ($C_6H_{12}O_6$) como fuente de carbono y energía, en donde la dosis suministrada fue de 4.25 gramos dos veces a la semana a partir de la cuarta semana del mes de septiembre.

La ecuación estequiométrica para dicho sistema es la siguiente:



A partir de la primera semana de octubre hubo cambios en el funcionamiento del sistema, colocándose un temporizador programado para que cada cuatro horas se apagara o se encendiera, obteniendo así intervalos de activación del sistema aireador y periodos en donde el reactor no se encontraba aireado. Convirtiendo el sistema en un Reactor Biológico Secuencial (SBR).

Además, se hicieron mediciones de caudal periódicamente mediante el método volumétrico. Los coeficientes k de remoción de los parámetros de eficiencia fueron determinados por el método gráfico y para un orden reacción de uno.

3. Resultados y discusión

3.1 Resultados microbiológicos

3.1.1 Tinción de Gram

Las coloraciones de las bacterias con formas alargadas tipo bacilos en todos los análisis hechos resultaron de color rojizo (ver figuras 1 y 2), lo que nos indicó presencia de bacterias Gram negativas, las cuales están relacionadas con una alta carga de alimento. [1]

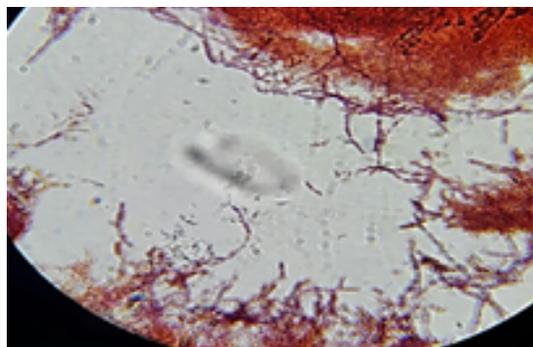


Figura 1. Tinción de bacterias (Gram negativas en el afluente). Observado con objetivo 10x.

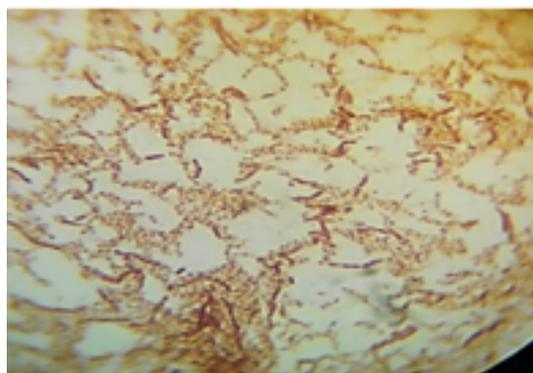


Figura 2. Tinción de Bacterias (Gram negativas en el efluente). Observado con objetivo 10x.

3.1.2 Observación de microorganismos

En las siguientes imágenes se muestran los diversos microorganismos [2-3] encontrados durante el período de evaluación, los cuales son indicadores del buen funcionamiento y eficiencia dentro del sistema de sedimentación (figuras 3 y 4) y aireación (figuras 5, 6 y 7).

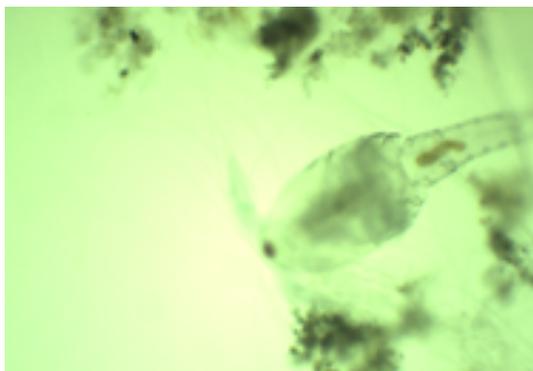


Figura 3. Microorganismo Cyclops Sp. Observado con objetivo 10x.

3.1.3 Coliformes totales

En la tabla 1, a partir de la semana en que se inició la utilización del temporizador la cantidad de unidades formadoras de colonias (UFC) aumentó en la salida del sistema, sin embargo, dicha situación no se presentó en la entrada, debido a que el lugar donde se tomaron estas muestras no se encontraba dentro del reactor.



Figura 4. Microorganismo *Cocconus*, observado con Objetivo 10x.

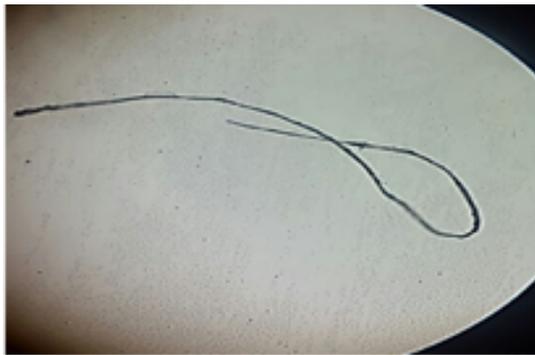


Figura 5. Microorganismo *Oedogonium*, observado con objetivo 10x.

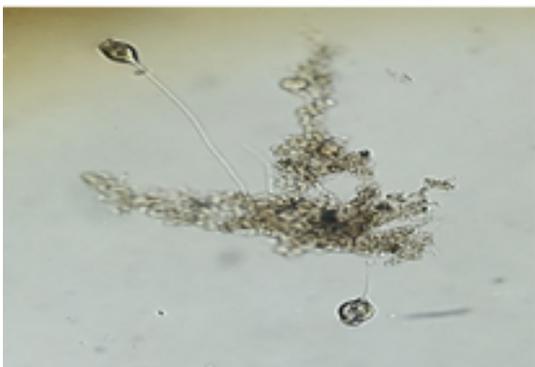


Figura 6. Microorganismo *Epistylis Plicastilis*. Observado con objetivo 10x.

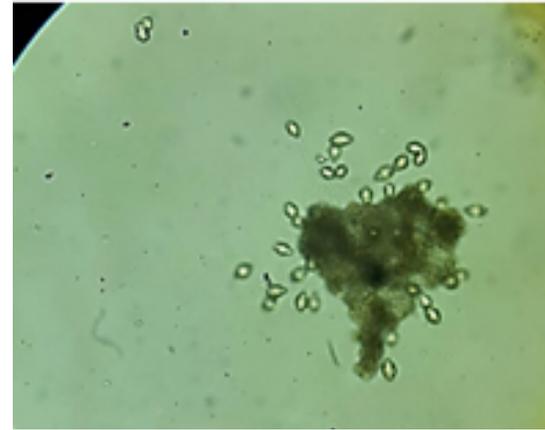


Figura 7. Microorganismo *Epistylis Plicastilis*. Observado con objetivo 10x.

Tabla 1. Resultados de coliformes

Período UFC/100mL (entrada) UFC/100mL (salida)

Período	UFC	UFC/100mL
Día 23	80	160
	40	50
	80	60
Día 30	5	5
	7	10
	0	12
Día 14	0	430
	0	> 333
	0	200

3.2 Resultados fisicoquímicos

3.2.1 Potencial de hidrógeno (pH)

Se obtuvo un valor promedio en el afluente de 6.65 unidades con una desviación de 0.57 y en el efluente de 7.57 con una desviación de 0.40.

Ya que el potencial de hidrógeno se mantuvo dentro del rango de 4.0 a 9.0 unidades, se puede considerar que no hubo efecto del mismo sobre el crecimiento de los microorganismos [4].

Esto se debe a que durante la evaluación se controlaron las condiciones de potencial de hidrógeno.

3.2.2 Sólidos Totales (ST)

En promedio se obtuvo una concentración de 480.55 mg/L con una desviación estándar de 136.62 mg/L en el afluente, indicado valores relativamente bajos [5].

En el efluente se obtuvo una concentración promedio de 352.9 mg/L con una desviación estándar de 80.48 mg/l.

Tal como se presenta en el gráfico de la figura 8, las concentraciones de sólidos totales aumentaron una vez se empezó a añadir la glucosa y luego de iniciar el funcionamiento con el temporizador las concentraciones en el efluente disminuyeron.

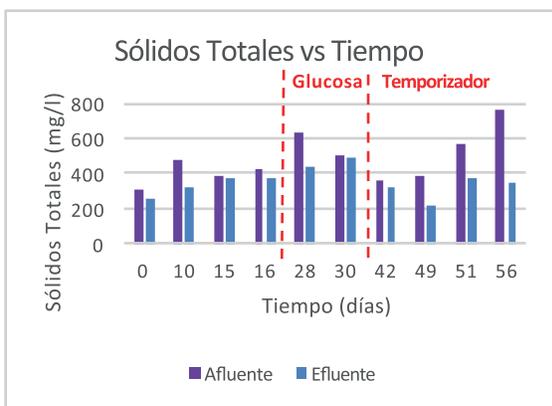


Figura 8. Gráfico de la variación de concentraciones de sólidos totales en el afluente y efluente del sistema.

3.2.4 Sólidos Volátiles (SV)

El sistema presentó una concentración promedio de sólidos volátiles en el afluente de 227.44 mg/L \pm 103.40 mg/L y en el efluente de 141.07 mg/L \pm 46.26 mg/L.

3.2.5 Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Se obtuvo una concentración media en el afluente de 93.53 mg/L \pm 73.13 mg/L y en el efluente de 39.2 mg/L \pm 17.14 mg/L.

Los niveles de DQO en el efluente fueron más estables a partir de la adición de la glucosa y además tendieron a disminuir a través del tiempo tal como se muestra en el gráfico de la figura 10. En los últimos días se dio un aumento en aumento significativo en las concentraciones tanto del afluente como el efluente, por la alteración de la composición del agua en procesos previos.

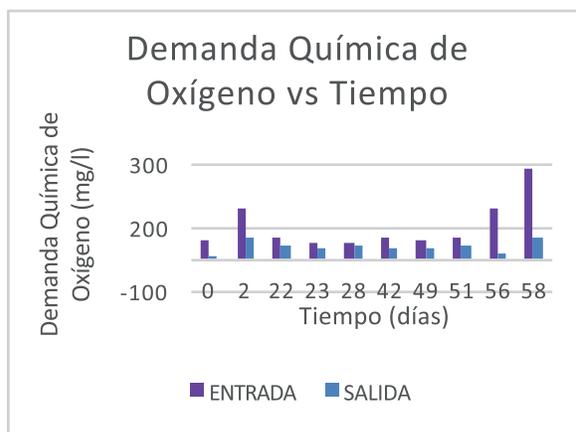


Figura 10. Gráfico de la variación de los niveles de demanda química de oxígeno en el afluente y efluente del sistema.

3.2.3 Sólidos Suspendedos (SS)

La concentración promedio de sólidos suspendidos en el afluente fue de 13.43 mg/L \pm 7.86 mg/L y en el efluente de 4.14 mg/L \pm 2.54 mg/L. En ambos se encuentran en concentraciones bajas en comparación con una composición típica de agua residual [4] (ver figura 9).

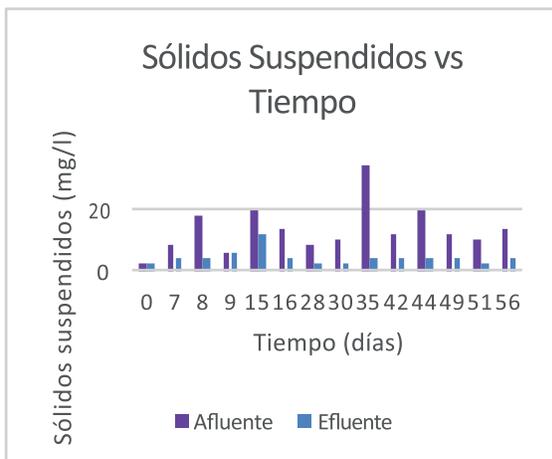


Figura 9. Gráfico de la variación de concentraciones de sólidos suspendidos en el afluente y efluente del sistema.

3.2.6 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)

Las concentraciones promedio de DBO5 en el afluente del sistema fue de 56.33 mg/L \pm 22.14 mg/L siendo esta una concentración baja. [4].

En el efluente se obtuvo un valor medio de 13.98 mg/L \pm 7.92 mg/L. En la última medición también se presentó un aumento significativo en las concentraciones de DBO5.

3.3 Cálculos y resultados adicionales

3.3.1 Características del sistema

Tomando en cuenta un caudal promedio de 9.77 mL/min se obtuvo un tiempo de retención hidráulico medio de 29.3 horas (1.2 días), que está dentro del rango para los sistemas de lodos activados de aireación prolongada (18-36 horas) [4] [6-7].

La carga orgánica volumétrica promedio del afluente del sistema se determinó en 0.12 kg DBO₅/m³*día, resultando dentro del rango aceptable para los sistemas de aireación extendida (0.1-0.4 kg DBO₅/m³*día) [4].

El sistema contó con una carga hidráulica de 0.24 m/día. Además, se determinó que la relación F/M es elevada ya que se obtuvo en promedio 2.00 kg DBO/kg SSVLM*día en comparación con los valores típicos para los procesos de aireación extendida y de mezcla completa (0.05 -0.15 Kg DBO/Kg SSVLM-día) [4] [6] [8].

Lo que se traduce a que no existe un equilibrio entre alimento y la generación de biomasa o microorganismo dentro del sistema. Se obtuvo un coeficiente *k* de consumo de oxígeno de 0.6556/día.

Se determinó que el índice volumétrico de lodos (IVL) es de 193 mL/g.

Este se encuentra en un rango mayor que 150 mL/g por lo que representa que el sistema tiene una pobre compactación y sedimentación de los lodos [9].

Por lo tanto presenta una baja velocidad de sedimentación del sistema fue de 4.16 cm/min (2.50 m/h), ya que se espera un lodo fácilmente sedimentable con una velocidad de 6 m/h. [10]

3.3.2 Coeficiente (k) y tasas de remoción

En la tabla 2 se presentan los coeficientes *k* de remoción de los parámetros de demanda química de oxígeno (DQO) y de los sólidos suspendidos.

Estos coeficientes se determinaron para un orden de reacción uno (n=1).

Tabla 2. Coeficientes de remoción del sistema

Parámetro	Coeficiente de remoción <i>k</i> (/día)
DQO	0.0234
Sólidos suspendidos	0.0355

El sistema presentó una tasa de remoción para la demanda química de oxígeno de 1.32 mg/L*hora con una desviación de 2.22 mg/L*hora.

Para la demanda bioquímica de oxígeno de 4.28 mg/L*hora con una desviación estándar de 4.48 mg/L*hora y finalmente para los sólidos suspendidos de 0.36 mg/L*hora con una desviación estándar de 0.28 mg/L*hora.

3.3.3 Eficiencia de remoción

Los gráficos de las figuras 11 y 12 muestran el porcentaje de remoción que obtuvo el sistema a lo largo del período de evaluación para los sólidos suspendidos.

El sistema de lodos activados alcanzó un valor promedio de remoción de 70.0%, por debajo de lo presentado en la teoría [4].

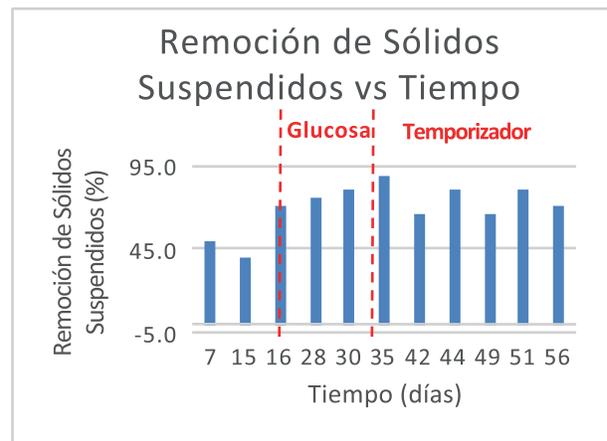


Figura 11. Gráfico del rendimiento de eliminación de sólidos suspendidos en porcentaje.

El sistema contó con una eficiencia media de remoción de DQO de 54%.

En el gráfico de la figura 12 se muestra el porcentaje de eficiencia a lo largo del período de evaluación. La eficiencia disminuyó a partir

de cuando se añadió la glucosa en el reactor, pero registró un aumento a partir del día 35, donde comenzó a operar el temporizador.

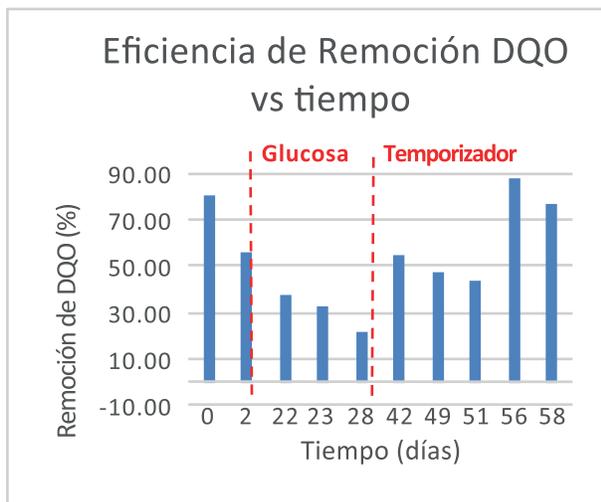


Figura 12. Gráfico del rendimiento de eliminación de la demanda química de oxígeno (DQO).

Se determinó que la eficiencia promedio de remoción de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) fue de 83%, lo cual representa una alta eficiencia del sistema de lodos activados, la cual cumple con los valores encontrados en la teoría [4].

4. Conclusiones

En base a los resultados obtenidos en la evaluación del sistema de lodos activados queda demostrada la eficiencia de este, en donde se alcanzó un 83 por ciento de eficiencia de DBO5. Esto indica que todos los procesos en conjunto cumplen con los objetivos de remoción de materia orgánica, es decir, es un sistema efectivo para el tratamiento de aguas residuales de diferentes procedencias.

El sistema de lodos activados se mantuvo constantemente en condiciones aeróbicas, por medio de dos elementos aireadores que proporcionaron el nivel de oxígeno necesario para la subsistencia de los microorganismos habitantes.

El sistema de lodos activos presentó las siguientes tasas de remoción promedio: de DQO 1.32 mg/L*h, de DBO 4.28 mg/L*h y de sólidos suspendidos 0.36 mg/L*h.

El índice volumétrico calculado, 193 mL/g se encuentra en un rango >150 resultando con una pobre compactación y sedimentación de los lodos activados, que se puede deber a la presencia de microorganismos filamentosos; en donde el crecimiento de estos microorganismos se debe a las variaciones y la composición del agua residual.

Otros factores del sistema también influirán en el desarrollo de los microorganismos filamentosos como lo son las aguas residuales con altos niveles de carbohidratos, en nuestro caso la glucosa.

Los microorganismos identificados en el sistema de lodos activados son indicadores del buen funcionamiento de este. La población microbiana dentro del sistema se mantuvo dentro de los niveles (población) apropiados para su desarrollo, pues se controlaron ciertos parámetros como la temperatura, pH y salinidad. Además, a los microorganismos se le suministró glucosa como fuente de energía para su crecimiento y desarrollo.

5. Recomendaciones

Mejorar las condiciones de los procesos adicionales en la dotación de la glucosa se considera establecer un mejor método para dosificar la glucosa con el fin de que sea más eficiente y poder así propiciar el buen desarrollo de los microorganismos existentes en el reactor.

Mejorar las técnicas de los métodos de análisis. La realización de los análisis de demanda química de oxígeno (DQO) se debe realizar en recipientes que no estén reutilizados, pues pueden interferir en la alteración de los resultados finales.

Obtención de la muestra de entrada al sistema de lodos activados. Se debe corregir la forma de obtención de la muestra entrante al sistema de lodos activados para que las características con que cuentan las mismas se aproximen realmente a las concentraciones del afluente en el reactor con el fin de que los análisis de los diferentes parámetros resulten con menores errores.

REFERENCIAS

- [1] F. Hirthammer. Schwimmschlamm - Mikrobiologie und Gegenmaßnahmen, Verlag, Alemania, 2000.

Alpírez (et al): Evaluación de un sistema biológico de lodos activados a escala de laboratorio.

- [2] L. Méndez, V. Miyashiro, R. Rojas, M. Cotrado, N. Carrasco, “Tratamiento de Aguas Residuales Mediante Lodos Activados a Escala de Laboratorio”, Revista B del Instituto de Investigación FIGMMG, vol. 7, no. 14, pp 1-10, 2004.
- [3] Online Available: <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/018834/MEMORIAS2004/CapituloI/5Microbiologiadelodosactivados.pdf>
- [4] Metcalf, Eddy, Ingeniería de aguas residuales, Volumen 1, Tratamiento, vertido y reutilización, Tercera Edición, Mc Graw Hill, España, 1991.
- [5] J. Borrero, A. Torres & A. Baquero, Estudio de tratabilidad de las aguas residuales en Bogotá con lodos activados, Primera edición, Editorial Pontificia Universidad Javeriana, Colombia, 2015.
- [6] W. Lozano-Rivas, “Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales”, Syllabus, Programa de Ingeniería Ambiental, Universidad Antonio Nariño, Bogotá D.C., Colombia, Febrero de 2012.
- [7] D. Orhon, N. Artan, Modelling of activated sludge systems. Technomic Press, U.S.A., 1994.
- [8] Online Available: https://www.google.com/url?sa=t&rc=t=j&q=&esrc=s&source=web&cd=3&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjX84j_177QAhVBJCYKHcWQDWMQFfguMAI&url=https%3A%2F%2Fwww.researchgate.net%2Ffile.PostFileLoader.html%3Fid%3D552b2123f15bc798698b45ea%26assetKey%3DAS%253A273755610255361%25401442279831218&usg=AFQjCNEtCdDqblM57erox7ZqclettiTmDg&sig2=UAAEeljiF9-rmFUfne_3ySA&bvm=bv.139782543,d.eWE
- [9] L. Grady, G. Daigger, & H. Lim, Biological Wastewater Treatment, 2nd ed., Marcel Dekker, Inc. New York, 1999.
- [10] R.S. Ramalho, Tratamiento de aguas residuales, Segunda Edición, Reverté S.A., 1990.