

Efecto de la Velocidad Rotacional en Reactor Biodiscos sobre la Remoción de Materia Orgánica en Agua Residual Doméstica de Campamento Minero La Libertad - Perú.

Effect of the Rotational Velocity in a Rotating Biological Contactor on the Organic Matter Removal in a Domestic Wastewater in Mining Camp La Libertad - Perú.

Edgar Enrique Vásquez Salazar *

Facultad de Ingeniería Química, Universidad Nacional de Trujillo, Av. Juan Pablo II s/n – Ciudad Universitaria, Trujillo, Perú.

* Autor correspondiente: enrivas1@yahoo.es (E. Vásquez)

RESUMEN

Este trabajo investigó la aplicación de diferentes velocidades rotacionales en reactor biodiscos sobre la remoción de materia orgánica en agua residual del campamento minero: región La Libertad, Perú. El experimento utilizó un diseño de bloques aleatorizado con tres repeticiones: aplicación de cuatro velocidades rotacionales (1 RPM, 2 RPM, 3 RPM, y 4 RPM). A velocidades rotacionales: 1 RPM, 2 RPM, y 4 RPM (48,19 mg/L DBO₅, 37,06 mg/L DBO₅, y 46,98 mg/L DBO₅; materia orgánica promedio de ensayos realizados en bloques), no se obtuvieron eficiencias de remoción esperadas, atribuible a probable falta de oxigenación de biomasa a velocidades de 1 RPM y 2 RPM; y observable desprendimiento de esta a velocidad de 4 RPM. Sin embargo a velocidad rotacional de 3 RPM, los resultados mostraron notable eficiencia de remoción de materia orgánica: 94,95 %, coherente al perfil de oxigenación del reactor. Resultados de ensayos en bloques; determinaron que la velocidad rotacional de discos: 3 RPM, genera un efluente con menor concentración de materia orgánica promedio: 19,15 mg/L DBO₅. Se demostró que la velocidad rotacional es un factor importante que afecta el rendimiento del reactor de biodiscos y en consecuencia la calidad del efluente tratado.

Palabras Clave: Reactor biodiscos; materia orgánica; velocidad rotacional; DBO₅.

ABSTRACT

This research looked for to evaluate the effect of rotational velocity in a rotating biological contactor on the organic matter removal in sewage from a mining camp at the Libertad region, Perú. The experiment used a randomized block design with three replications. Treatments consisted in four rotating velocities (1 RPM, 2 RPM, 3 RPM, y 4 RPM). At rotating velocities: 1 RPM, 2 RPM, and 4 RPM (48.19 mg/L DBO₅, 37.06 mg/L DBO₅, and 46.98 mg/L DBO₅, average organic matter obtained from tests in blocks), did not get good organic matter removal efficiency, due to a lack oxygen levels for biomass growth at rotating velocities 1 RPM and 2 RPM; and biomass sloughing at 4 RPM rotating velocity. However, at 3 RPM rotating velocity, results revealed the best biodegradable organic matter removal efficiency: 94.95%, suitable to oxygenation profile through the reactor. Test results in three blocks; determined that most appropriated rotating velocity was 3 RPM, with an average organic matter content of 19.15 mg DBO₅/L. It was demonstrated that rotating velocity is an important factor that affect rotating biological contactor performance and the effluent quality.

Key words: Rotating biological contactor; organic matter; rotational velocity; DBO₅.

1. INTRODUCCIÓN

El consumo creciente de recursos y energía basados en actividades humanas seguidas por una enorme generación de cantidad de desechos son los principales problemas en todo el mundo (Rongjun et al., 2015). Esto está conduciendo a una terrible destrucción ambiental de nuestro planeta, y evidentemente con efectos negativos sobre la salud humana y los ecosistemas globales. Frente a esto es necesario que establezcamos tecnologías efectivas, por ejemplo, de prevención de emisiones y ahorro de recursos y energía, enfocadas primordialmente en este caso al reuso de agua. (Kadu et al., 2013).

La necesidad actual de prevenir daños ambientales a los cuerpos receptores nos ha llevado a la búsqueda de nuevas tecnologías que permitan la eliminación de los contaminantes presentes en las aguas residuales, especialmente aquellos producidos por las actividades humanas. Entre las tecnologías existentes podemos mencionar los reactores de biodiscos, los cuales debido a que permiten un mejor desarrollo de una comunidad bacteriana heterogénea, son capaces de degradar al mismo tiempo materia orgánica y nutriente como el nitrógeno, logrando una alta eficiencia de remoción de contaminantes durante el tratamiento de efluentes complejos (Marín et al., 2012).

Los reactores biodiscos son considerados procesos aeróbicos de biomasa fija (Gulhane et al., 2014), en estos sistemas se emplea la producción natural de una biopelícula para la degradación aeróbica (oxidación de la materia orgánica) con crecimiento microbial adherido sobre la superficie de los discos rotatorios (Castillo et al., 2012).

Históricamente el proceso de biodiscos había sido usado para remover la materia orgánica del agua residual. En el presente, este proceso se ha extendido hacia la nitrificación y desnitrificación de las aguas residuales, con lo cual esta tecnología nos ha permitido controlar temas de eutrofización en cuerpos receptores. (Veestra, 2000).

Durante el desarrollo de este proceso, los microorganismos responsables del tratamiento se adhieren a los discos, los cuales se encuentran parcialmente sumergidos en el agua residual a tratar (se ha encontrado en la literatura (Harremoes, 1978) que el nivel de sumergencia varia entre el 40 - 45% del área superficial de discos), poniendo en contacto a la biomasa con el sustrato y el oxígeno, mediante la rotación del disco, manteniendo a la biomasa bajo condiciones aerobias (Ashfaque et al., 2014).

El consumo del oxígeno y la remoción de la materia orgánica, se lleva a cabo cuando el medio continúa girando a través del volumen de agua residual en el tanque. Entre las funciones de la rotación de discos podemos mencionar las siguientes: (Castillo et al., 2005):

- a) Proporcionar área superficial para el desarrollo de la biomasa fija (biopelícula).
- b) Contacto vigoroso del crecimiento biológico con el agua residual.
- c) Eficiente aeración del agua residual.
- d) Agitar el licor mezclado para mantener en suspensión los sólidos degradados y proporcionar mezcla continua.

De los parámetros de diseño, la velocidad rotacional (RPM) es un factor determinante del rendimiento biológico del proceso, pues nos proporciona contacto vigoroso con el agua residual, eficiente aeración y agitación del licor mezclado. Manoj et al. (2015), considera afecta la transferencia de nutrientes y de oxígeno en la biopelícula y por consecuencia la remoción de sustrato

En este punto se ha considerado los principales factores que afectan el rendimiento de un reactor biodiscos, Chethan et al. (2015), establece de mayor importancia los siguientes:

- a) Características de agua residual afluyente: Tasa de carga hidráulica, tasa de carga orgánica, tasa de carga de amoníaco, pH.
- b) Configuración del sistema: Velocidad rotacional, área superficial de discos, sumergencia de discos, número de etapas, tasa de recirculación, arreglo de ejes.
- c) Tasa de transferencia de oxígeno.
- d) Temperatura de ambiente y agua residual.
- e) Densidad de la media.

Los reactores biodiscos comúnmente operan en serie con un número de etapas dependiendo de la carga hidráulica y orgánica a ser tratada, lo que permite mayores tasas de remoción de materia orgánica. La función de las primeras unidades es remover la materia orgánica, demanda de oxígeno carbonácea y las unidades siguientes son usadas para la nitrificación, demanda de oxígeno nitrogenosa. (Xingxing et al., 2014; Mielcarek et al., 2016).

La mayoría de los reactores biodiscos operan a tiempos de residencia hidráulicos bajos, normalmente menores a 1 h. En consecuencia la concentración de biomasa en suspensión se mantiene baja y la reducción de la DBO₅ se debe a la presencia del crecimiento adherido al disco (Ramalho, 1996).

Este sistema de biopelícula adherida ha sido utilizado con éxito para el tratamiento de aguas residuales municipales, industriales y aguas consideradas peligrosas por el contenido de tóxicos (tolueno, fenol, tricloroetileno y tiocianato, entre otros). Aquí recalcar la importancia de considerar pruebas de eficiencia de esta tecnología en el tratamiento de aguas industriales. (Behling et al., 2008).

Estos reactores nos ofrecen un número significativo de ventajas sobre otros sistemas de tratamiento, destacándose las siguientes: efluentes de buena calidad llegando a nitrificación total, bajo costo, facilidad de operación y mantenimiento. Estos reactores han cobrado mayor importancia debido a la mejor eficiencia de remoción de la DQO y a las grandes cantidades de biomasa presente en los mismos (20–40 g sólidos volátiles/m² de disco); por lo que esta tecnología constituye una alternativa de ingeniería atractiva por los bajos costos de tratamiento de aguas residuales, considerando el corto tiempo de retención del proceso, excelentes capacidades frente a cambios bruscos de condiciones operacionales y contenido de sustancias tóxicas en el afluente, control del proceso simple y bajos requerimientos de energía, así como también eficiente rendimiento biológico (Nehru et al., 2012; Mahdieh et al., 2014).

Debido al auge que tienen actualmente los reactores biodiscos como alternativa para cumplir con los límites de descarga que cada día son más restrictivos, resulta evidente efectuar estudios encaminados a comprender los procesos biológicos que tienen lugar en estos sistemas, explicando los mecanismos de remoción de los diferentes contaminantes.

En tal sentido el presente estudio tiene como objetivo evaluar el efecto de la velocidad rotacional de un reactor de biodiscos sobre la remoción de materia orgánica en un agua residual doméstica de un campamento minero de la región La Libertad, Perú.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Material de estudio.

Constituido por el agua residual doméstica proveniente de tres campamentos mineros de la región La Libertad – Perú (indicar en este punto que por confidencialidad y temas legales no se nombra el lugar de ensayo), el cual se sometió a proceso de depuración en una planta de tratamiento de tecnología biodiscos. La caracterización inicial del efluente de campamentos mineros se muestra en la tabla 1.

Tabla 1: Características de agua residual del campamento minero región La Libertad.

PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD
Demanda química de oxígeno (DQO)	mg/L	782
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅)	mg/L	386
Sólidos suspendidos totales (SST)	mg/L	158
Oxígeno disuelto (OD)	mg/L	1,12
Nitrógeno de nitratos	mg/L	0,03
Aceites y grasas	mg/L	15,1
pH	-	6,65
Temperatura de agua	°C	16,81
Conductividad	us/cm.	546

Fuente: Laboratorio de procesos de campamento minero región La Libertad 2015.

Equipo experimental.

La planta de tratamiento consta de las siguientes unidades: tanque de sedimentación primario, reactor de biodiscos, y un tanque de sedimentación secundario.

El tanque del reactor biodiscos es la sección aeróbica de la planta de tratamiento y está dividido en 4 etapas. El agua residual cruda fluye por gravedad hacia un tanque de sedimentación primaria. Esta unidad separa los sólidos pesados y sobrenadantes previo a su ingreso a la sección aeróbica a través de la ranura de ingreso localizada en frente de la sección del tanque reactor de biodiscos.

La sección aeróbica está formada por 4 etapas. La primera etapa se monta sobre un eje común. Esta primera etapa comprende 2 bancos de discos, representando el 40% del área superficial del reactor. El color normal de la bacteria en la primera etapa es marrón oscuro. Esta es la etapa donde ocurre la mayor reducción de DBO₅. La segunda, tercera, y cuarta etapa se montan sobre el resto del eje u otro eje común. La segunda etapa remueve la DBO₅ resultante de la primera etapa, las bacterias nitrificantes predominan en la tercera y cuarta etapa.

El cuarto banco de discos o última etapa tiene cunetas de reciclo que introducen oxígeno disuelto fresco en el

tanque de sedimentación primario y bacterias nitrificantes presentes en el agua reciclada.

El agua parcialmente tratada del reactor de biodiscos ingresa al tanque de sedimentación secundaria. El desprendimiento de biomasa de los discos y otros sólidos suspendidos sedimentan en esta cámara. Un vertedero de natas evita que la nata flotante salga de la cámara a través de la tubería efluente.

La planta de tratamiento de agua residual tiene tres pasos principales en el proceso de purificación. En la cámara de sedimentación primaria, se separa sólidos gruesos presentes en la corriente por hundimiento o flotación. En la zona de discos rotatorios los contaminantes disueltos se desdoblán en estructuras simples, componentes no contaminantes por el crecimiento biológico (biomasa), la cual crece sobre los discos rotatorios. La cámara de sedimentación final permite la separación por gravedad del crecimiento biológico de mayor edad, el cual continuamente se desprende de los discos procediendo a la zona de discos (U.S.EPA, 1985).

El reactor de biodiscos tiene una capacidad de tratamiento de 7 m³/h, eje adaptado a un moto reductor de velocidad variable con velocidades de disco regulables a: 1RPM, 2 RPM, 3 RPM, y 4 RPM.

Las especificaciones de diseño de la planta de tratamiento se presentan en la tabla 2.

Tabla 2: Especificaciones de diseño de la planta de tratamiento.

ESPECIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN
1. Medio soporte	Media plástica
2. Diámetro de disco, m	2,44
3. Área de disco, m ²	3000
4. Porcentaje de inmersión	45
5. Número de etapas	4
6. Distancia entre discos, mm	3
7. Capacidad de zona de discos, m ³ .	18,12
8. Tiempo de retención hidráulica, h	1,5 – 2,0

Fuente: Memoria descriptiva de planta de tratamiento.

El reactor biodiscos presenta el siguiente esquema de flujo mostrado en figura 1.

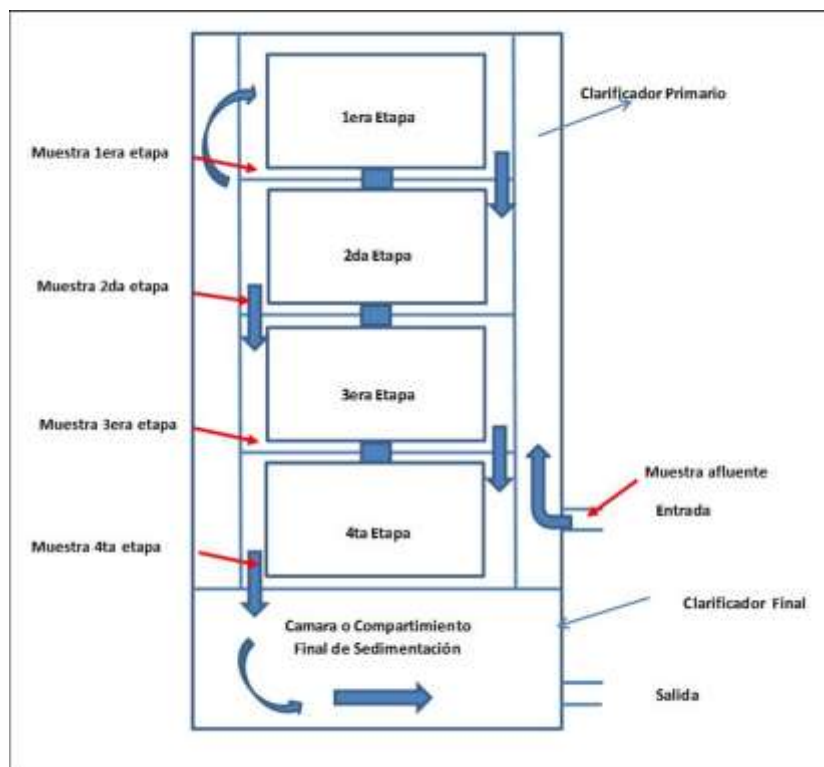


Figura 1. Esquema de flujo de reactor biodiscos.

Método.

Para la instalación del experimento se utilizó un diseño de bloques al azar con tres repeticiones. Se utilizaron tres bloques, cada bloque estuvo constituido por cuatro semanas y se aplicaron cuatro velocidades de rotación durante el ensayo.

La variable velocidad rotacional (tratamiento) se aplicó de manera aleatoria en cada semana perteneciente a un bloque. Los bloques se distribuyeron de tal manera que exista uniformidad entre ellos.

Aleatorización: Se seleccionó al azar cuatro semanas y se asignó a cada semana un tratamiento.

Bloqueo: Se introdujo el factor bloque “semana”. Estas se distribuyeron en tres bloques.

Cada bloque se constituyó de cuatro semanas, y se aplicaron cuatro velocidades rotacionales.

Tratamientos.

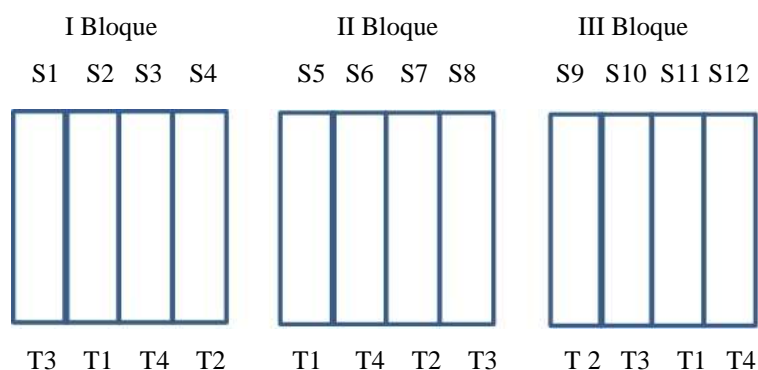
Los tratamientos son los siguientes:

T1 : 1 RPM.

T2 : 2 RPM.

T3.: 3 RPM.

T4 : 4 RPM.



Donde:

S: Semana de operación de reactor de biodiscos a diversos tratamientos.

T: Tratamiento en cada semana (velocidad rotacional de discos).

Para realizar este trabajo se estableció un ensayo en planta. Este ensayo se realizó tomando muestras de agua residual doméstica del campamento minero región la Libertad.

Se recolectaron aproximadamente 3.0 L de muestra agua residual doméstica en afluente y efluente de la planta de tratamiento respectivamente y por cada ensayo, las muestras fueron tomadas un día a la semana de forma aleatoria simple a horas de carga orgánica e hidráulica constante.

El sistema de tratamiento trabajó a una determinada velocidad de rotación por el lapso de 1 semana, posteriormente se realizaron los muestreos respectivos.

Los puntos de monitoreo evaluados: afluente de la planta de tratamiento, salida de primera etapa, salida de segunda etapa, salida de tercera etapa, y salida de cuarta etapa a cuatro velocidades rotacionales de discos (1 RPM, 2 RPM, 3 RPM, y 4 RPM).

Control y análisis del sistema.

Los parámetros medidos en el ensayo:

Caracterización del agua residual.

DQO (Demanda química de oxígeno), DBO₅ (Demanda bioquímica de oxígeno) sólidos suspendidos totales, oxígeno disuelto, nitrógeno de nitratos, pH, temperatura, conductividad específica, aceites y grasas.

Recuento de bacterias en la biomasa.

Conteo de bacterias heterotróficas predominantes (UFC).

Mediciones en campo:

pH, temperatura, y oxígeno disuelto.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

- 3.1. En la tabla 1, se presentan los análisis físicos químicos y microbiológicos del afluente a tratar, está caracterización mostró niveles de demanda química de oxígeno (DQO): 782 mg/L y demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅): 386 mg/L por encima de los límites permisibles de descarga a cuerpos de aguas superficiales según reglamentación Peruana, por el contenido de materia orgánica se clasifica como un afluente de concentración extra-fuerte. (Metcalf et al., 2013).
- 3.2. Las tablas 3 y 4 presentan el recuento de bacterias heterotróficas predominantes en la biomasa del reactor biodiscos expresados en UFC/100 ml y en porcentaje (figura 2). Este análisis muestra una diversidad diferente de población bacteriana, predominando el género de las *Pseudomonas sp*, *Alcaligenes sp*, dos especies del género *Bacillus sp*, y otras bacterias conformadas por 4 a 6 géneros de baja diversidad y abundancia, así como bacterias del tipo filamentosas y bacterias encargadas de los procesos de nitrificación y desnitrificación.

Tabla 3: Recuento de bacterias heterotróficas predominante en reactor de biodiscos.

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA		Reactor biodiscos
Bacterias heterotróficas	Unidades	
<i>Bacillus sp.</i>	UFC/g	24 x10 ⁶
<i>Pseudomonas sp.</i>	UFC/g	37x10 ⁶
<i>Alcaligenes sp.</i>	UFC/g	28 x10 ⁶
<i>Micrococcus sp.</i>	UFC/g	0
<i>Bacillus sp.</i>	UFC/g	18 x10 ⁶
Otras bacterias	UFC/g	15 x10 ⁶
Recuento total de bacterias	UFC/g	12 x10 ⁷

Fuente: Laboratorio microbiológico campamento minero región La Libertad 2015.

Tabla 4: Recuento de bacterias heterotróficas predominante en reactor de biodiscos expresados en porcentaje.

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA		Reactor biodiscos
Bacterias heterotróficas	Porcentaje	
<i>Bacillus sp.</i>	%	19,7
<i>Pseudomonas sp.</i>	%	30,3
<i>Alcaligenes sp.</i>	%	22,9
<i>Micrococcus sp.</i>	%	0
<i>Bacillus sp.</i>	%	14,8
Otras bacterias	%	12,3

Fuente: Laboratorio microbiológico campamento minero región La Libertad 2015.

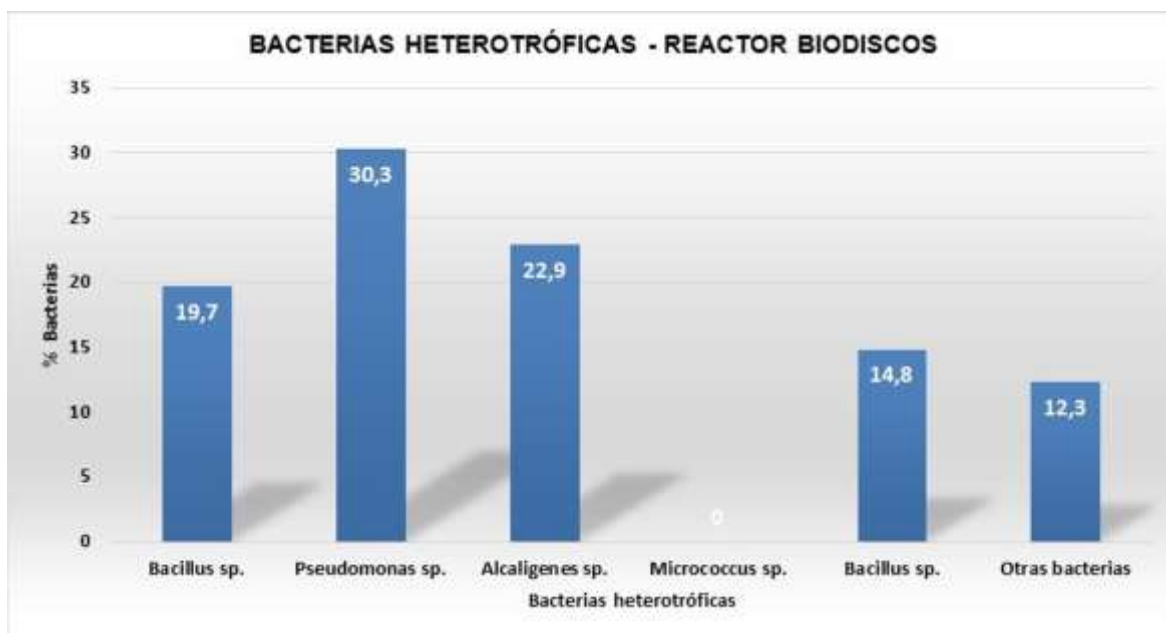


Figura 2. Porcentaje de bacterias heterotróficas en biomasa reactor biodiscos.

3.3. De la tabla 5 (figura 3 y 4), se aprecia que para el ensayo realizado en los bloques I, II, y III, la mayor remoción de materia orgánica biodegradable (DBO₅) ocurre cuando se aplica el tratamiento 3 (3 RPM). En lo que respecta a los tratamientos 1 (1 RPM), 2 (2 RPM), y 4 (4 RPM) los bajos niveles de remoción de materia orgánica biodegradable (DBO₅), se presume se deben principalmente a poco crecimiento bacteriológico a falta de oxigenación (1 RPM y 2 RPM) y desprendimiento de biomasa por fuerzas de corte hidráulico (4 RPM).

Tabla 5: Demanda bioquímica de oxígeno en bloques I, II, y III vs tratamientos aplicados.

BLOQUE	UNIDAD MEDIDA	TRATAMIENTOS			
		T1: 1 RPM	T2: 2 RPM	T3: 3 RPM	T4: 4 RPM
I	mg/L	42,30	37,10	20,17	47,41
II	mg/L	49,13	39,01	18,15	48,32
III	mg/L	53,14	35,07	19,13	45,22
TOTAL	mg/L	144,57	111,18	57,45	140,95
PROMEDIO	mg/L	48,19	37,06	19,15	46,98

Fuente: Laboratorio de procesos campamento minero Región La Libertad 2015.

Tabla 6: Análisis de varianza (ANOVA), resultados de tabla 5.

ANOVA				
FUENTES DE VARIACIÓN	SUMA DE CUADRADOS (S.C.)	GRADOS DE LIBERTAD (G.L.)	MEDIA DE CUADRADOS (M.C.)	F
Tratamientos	1621,942	3	540,647	48,297
Bloques	7,796	2	3,898	
Error	67,165	6	11,194	
Total	1696,903	11		

Coefficiente de variación (c.v.): 1,473 %.

El análisis estadístico de los promedios, muestra que existen diferencias entre cada tratamiento. El análisis de varianza muestra, que para una significancia ($\alpha = 0,05$), el valor crítico de F es $F_{0,05,3,6} = 4,76$. Puesto que el estadístico de prueba $48,297 > 4,76$; se concluye que el tipo de tratamiento, afecta el contenido promedio de materia orgánica, por lo tanto los resultados de tratamiento son diferentes.



Figura 3: Variación de demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) vs tratamiento aplicado bloque I, II, y III.

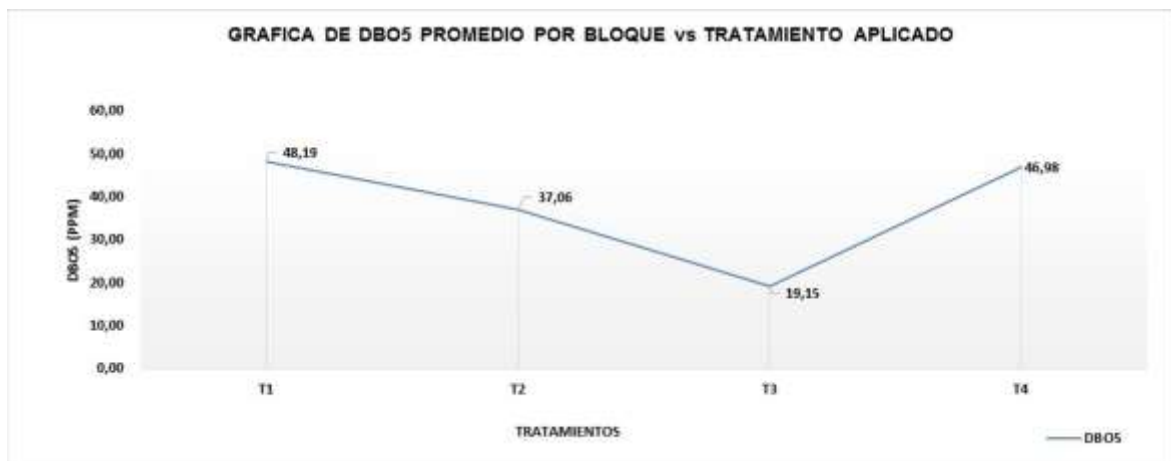


Figura 4: Gráfica de demanda bioquímica de oxígeno promedio (DBO₅) vs tratamiento aplicado.

3.4. La tabla 7 (figura 5), muestra el perfil de rendimiento biológico del reactor por etapas: demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) vs oxígeno disuelto (OD) a velocidad rotacional de 3.0 RPM, el sistema muestra un comportamiento inverso apreciable entre estos dos parámetros, lo cual indica buen rendimiento del proceso biológico.

Tabla 7: Perfil promedio de demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) vs oxígeno disuelto T3: 3 RPM.

MUESTRA	UNIDAD DE MEDIDA	PARÁMETRO	
		DBO ₅	OD
AGUA RESIDUAL CRUDA	mg/L	379,93	0,34
1ERA ETAPA	mg/L	236,51	1,49
2DA ETAPA	mg/L	97,43	1,57
3ERA ETAPA	mg/L	56,24	2,08
4TA ETAPA	mg/L	19,15	2,93

Fuente: Laboratorio de procesos campamento minero región La Libertad 2015.

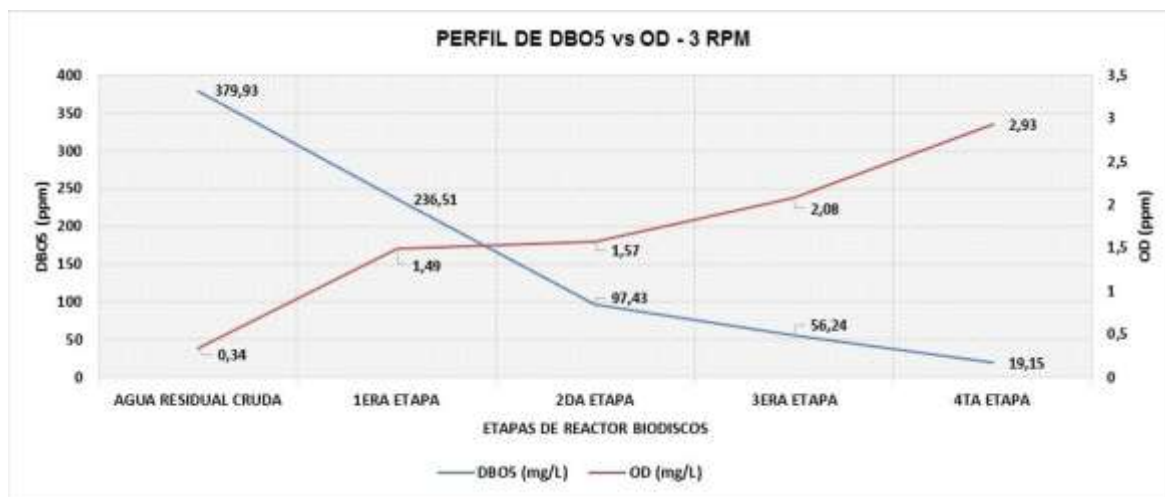


Figura 5: Perfil promedio de demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) vs oxígeno disuelto T3: 3 RPM.

Los reactores de biodiscos muestran eficiencias de remoción de materia orgánica medida como demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) superiores al 87% en todos los ensayos realizados. Los resultados muestran también que la velocidad rotacional en un reactor de biodiscos ejerce un factor preponderante en el rendimiento biológico de estos sistemas, por tanto se hace necesario realizar estudios encaminados a evaluar otras variables de proceso, teniendo además en consideración el tratamiento de aguas industriales, de tal forma que nos permitan a futuro lograr un entendimiento global de esta tecnología y comprender los mecanismos de remoción de contaminantes.

4. CONCLUSIÓN.

Se concluye que la aplicación del tratamiento 3 (3 RPM) en ensayos realizados en los bloques I, II, y III; permitió lograr la mejor remoción de materia orgánica biodegradable promedio: 19,15 mg DBO₅/L. Por consiguiente se demuestra que la velocidad rotacional es un factor determinante del rendimiento del proceso.

AGRADECIMIENTOS

Agradecer al DR. Anselmo Castillo Valdivieso por su valioso aporte en la corrección y el desarrollo del presente trabajo, así mismo un agradecimiento especial a campamento minero por el apoyo brindado.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ashfaque, A.; Rasool, B.; Fayyaz, A. 2014. Effect of Flow Rate and Disc Area Increment on the Efficiency of Rotating Biological Contactor for Treating Greywater. *Mehran University Research Journal of Engineering and Technology*. 34: 99 - 106.
- Behling, E.; Rincón, N.; Díaz, A.; Marín, J.; Colina, G. y Fernández, N. 2008. Tratamiento biológico de aguas residuales industriales: Efluente camaronero en reactores RBC. *Bol. Centro Invest. Biol.* 42 (2):243-254.
- Castillo, P.; Bezanilla, J.; Amieva, J.; Jácome, A. y Tejero, I. 2005. Depuración de agua residual con salinidad variable empleando un proceso de biodiscos (RBC). *Ing. Agua*. 2 (1):25-30.
- Castillo, E.; Bolio, A.; Mendéz, R.; Osorio, J. y Pat, R. 2012. Remoción de materia orgánica en aguas residuales de rastro por el proceso de Contactor Biológico Rotacional. *Ing.* 16 (2):83-91.
- Chethan; Deshpande, N.; Chate, V.; Pradeep, N. 2015. Treatment of Sewage by using Two – Stage Rotating Biological Contactor (RBC). *Journal of Environment and Earth Science*. 5: 116 – 121.
- Gulhane, M.; Sahare, S. 2014. Modified Rotating Biological Contactor. *Intenational Journal of Mechanical And Production Engineering*. 2: 8 – 11.
- Harremoos, P. 1978. *Biofilm Kinetics and Water Pollution Microbiology*. Wiley Interscience Publishers, London 483 pp.
- Kadu, P.; Badge, A. and Rao, Y. 2013 Treatment of Municipal Wastewater by Using Rotating Biological Contactors (RBCs). *AJER* 2 (4): 127-132.

- Mahdiah, S.; Alemzadeh, I.; Vossoughio, M. 2014. Biodegradability of oily wastewater using rotating biological contactor combined with an external membrane. *Journal of Environmental Health Science & Engineering*. 12:117.
- Manoj, R.; Sonali, B.; Jyoti, R. 2015. Review Paper on Study of Rotating Biological Contactor for Wastewater Treatment Process. *International Journal of Current Engineering and Technology*. 5: 1539 – 1541.
- Marín, J.; Castro, E.; Behling, E.; Colina, G.; Díaz, L. y Rincón, N. 2012. Nitrobacterias en reactores biológicos rotativos de contacto (RBC) de tres cámaras bajo diferentes cargas orgánicas. *Rev. Tec. URU*. 2 (2):71-81.
- Metcalf; Eddy. 2013. *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*. Fifth Edition. Editions Mc Graw Hill Education. New York .2048 pp.
- Mielcarek A.; Rodziewicz J.; Janczukowicz W.; Wolter, A. 2016. Denitrification Process Enhancing in Four – Stages Rotating Biological Contactor. *Ecological Engineering*. 48:161 - 169.
- Nehru Kumar, V. and Syed Enayathali, S. 2012. Performance of Rotating Biological Contactor for Treating Segregated Grey Water for Reuse. *IJRTE*. 1(2):40-41.
- Ramalho, R.S. 1996. “Tratamiento de aguas residuales”. Segunda Edición. Editorial Reverté S.A. España. 707 pp.
- Rongjun S.; Guangshan Z.; Peng W.; Shixiong L.; Ryan M.; and John C. 2015. Treatment of Antibiotic Pharmaceutical Wastewater Using a Rotating Biological Contactor. *Journal of Chemistry*. 2: 1-8.
- U.S.EPA. 1985. Operation of wastewater treatment plants volume 1. A field study training program, Office of water programs, pre. by Dep. Civil Eng., California State University, California.
- Veenstra, S. 2000. “Wastewater Treatment”, International Institute for Infrastructural, Hydraulic and Environmental Engineering – DELFT, Netherlands. 150 pp.
- Xingxing P.; Feng G., Feng J.; Ton Z. 2014. Shifts in The Microbial Community, Nitrifiers and Denitrifiers in the Biofilm in a Full – scale Rotating Biological Contactor. *Environmental Science & Technology*. 48: 8044 – 8052.