

Ensayo de Investigación

Aplicación de un reactor tipo ABR a escala laboratorio para el tratamiento de aguas residuales domésticas en Misantla, Veracruz, México

Recibido: 20-09-2021 Aceptado: 22-07-2022 (Artículo Arbitrado)

Resumen

La contaminación del agua representa un problema de salud pública y de afectación al ambiente; en áreas rurales no se cuenta con procesos que eviten la contaminación de ríos debido a la mala gestión de aguas residuales domésticas, con lo que es necesario la búsqueda de tratamientos adecuados para ese tipo de zonas. Se propone la aplicación de una mezcla de líquido ruminal y sólidos de aguas residuales como lodos anaerobios dentro de un reactor tipo ABR a escala laboratorio para la remoción de contaminantes en aguas residuales domésticas de una zona del centro de Veracruz. Se evaluaron parámetros de demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno, pH y sólidos sedimentables. Los resultados de salida reflejan remociones desde las primeras horas, estabilizándose y alcanzando los porcentajes más altos durante las últimas tres semanas. El análisis estadístico por su parte refleja que existe diferencia entre las remociones de los parámetros analizados, no siguiendo la misma tendencia de disminución de las concentraciones. Se muestra que la opción de un reactor tipo ABR puede ser escalable en términos de remoción para su posible aplicación para tratamiento de aguas residuales domiciliarias que presenten similares concentraciones a las evaluadas.

Abstract

Water contamination represents a public health problem and affects the environment; In rural areas, there are no processes that prevent river contamination due to poor management of domestic wastewater, making it necessary to search for adequate treatment for this type of area. The application of a mixture of ruminal liquid and wastewater solids as anaerobic sludge within a laboratory-scale ABR-type reactor for the removal of contaminants in domestic wastewater from an area in central Veracruz is proposed. Parameters of biochemical oxygen demand, chemical oxygen demand, pH and settleable solids were evaluated. The output results reflect removals from the first hours, stabilizing and reaching the highest percentages during the last three weeks. The statistical analysis for its part reflects that there is a difference between the removals of the parameters analyzed, not following the same trend of decreasing concentrations. It is shown that the option of an ABR type reactor can be scalable in terms of removal for its possible application for the treatment of residential wastewater that present similar concentrations to those evaluated.

Résumé

La contamination de l'eau représente un problème de santé publique et affecte l'environnement ; En milieu rural, il n'existe pas de procédés permettant d'éviter la contamination des rivières due à une mauvaise gestion des eaux usées domestiques, ce qui oblige à rechercher un traitement adéquat pour ce type de territoire. L'application d'un mélange de liquide ruminal et de solides d'eaux usées sous forme de boues anaérobies dans un réacteur de type ABR à l'échelle du laboratoire pour l'élimination des contaminants dans les eaux usées domestiques d'une zone du centre de Veracruz est proposée. Les paramètres de la demande biochimique en oxygène, la demande chimique en oxygène, le pH et les solides décantables ont été évalués. Les résultats de sortie reflètent les suppressions dès les premières heures, se stabilisant et atteignant les pourcentages les plus élevés au cours des trois dernières semaines. L'analyse statistique reflète quant à elle qu'il existe une différence entre les prélèvements des paramètres analysés, ne suivant pas la même tendance de diminution des concentrations. Il est montré que l'option d'un réacteur de type ABR peut être évolutive en termes d'élimination pour son application éventuelle pour le traitement des eaux usées résidentielles qui présentent des concentrations similaires à celles évaluées.

Juan Francisco Carrera Muñoz¹
Yovani López González²
Alan Antonio Rico Barragán^{2,3*}

Palabras clave: Reactor ABR, contaminación del agua, líquido ruminal, DBO.
Keywords: ABR reactor, water contamination, ruminal fluid, DBO.
Mots-clés: Réacteur ABR, contamination de l'eau, liquide ruminal, DBO.

¹Evaluador de Impacto Ambiental
Asociación de Cafetaleros de Misantla, Veracruz

²Departamento de Ingeniería Ambiental
Instituto Tecnológico Superior de Misantla
Tecnológico Nacional de México

³División de Estudios de Posgrado, Facultad de Ciencias Químicas
Universidad Autónoma de Nuevo León

*Correspondencia:
aaricob@itsm.edu.mx
alan.ricobrg@uanl.edu.mx

Introducción

En la actualidad el crecimiento de la población, la industrialización y la urbanización a nivel mundial ha incrementado el problema de la contaminación del agua convirtiéndose en una amenaza para el mundo (Ekperusi et al., 2019). Las aguas residuales domésticas se caracterizan por la presencia de alta carga orgánica, la cual causa deterioros al ambiente y problemas a la salud. El principal problema ambiental es la eutrofización, provocado principalmente por un exceso de nutrientes en el agua, como fósforo (P) y nitrógeno (N), provenientes por actividades antropogénicas, es decir desarrolladas por el hombre. Una vez elevada la cantidad de nutrientes, existe una proliferación desmedida de plantas, como algas, consumiendo el oxígeno disponible y afectando a otros organismos que habitan dentro de los mismos cuerpos de agua, generando un ambiente tóxico (Heindari et al., 2021). La eutrofización también puede favorecer a la absorción de metales por el fitoplancton y a su vez transferir los metales a las redes tróficas (Li et al., 2013). Además, una mala gestión de tratamiento de aguas residuales genera emisiones de gases de efecto invernadero, provocando alteraciones y problemáticas de cambio climático (Sierra et al., 2020).

Para poder evitar los problemas de eutrofización a los cuerpos de agua, se deben aplicar tratamientos enfocados a disminuir la carga orgánica en las descargas de aguas residuales, teniendo en cuenta que las normas regulatorias ambientales limitan la cantidad de los elementos contaminantes que se descargan a los cuerpos de aguas naturales.

Por otro lado, el tratamiento de aguas residuales es necesario para el desarrollo sostenible, por lo que es necesario que se cuente con sistemas de tratamiento de aguas residuales que permita mejorar la calidad del agua residual antes de ser vertido a los cuerpos de agua (Sierra et al., 2020). Sin embargo, a pesar de los avances tecnológicos de varios métodos convencionales para el tratamiento de aguas residuales que involucran tratamientos biológicos y químicos aplicados en procesos primarios, secundarios y terciarios no se han podido implementar de manera adecuada en los países en desarrollo debido a los altos costos por los requerimientos energéticos (Mustafa y Hayder., 2021). Por lo tanto, el tratamiento biológico diseñado ecológicamente puede complementar

los tratamientos convencionales, siendo considerado como una alternativa para los países en desarrollo.

El tratamiento anaeróbico de las aguas residuales implica la degradación biológica de la materia orgánica y a su vez producir gas metano como subproducto (Ahmad et al., 2021). Entre las principales ventajas que presentan los tratamientos anaeróbicos sobre los aeróbicos en el tratamiento de las aguas residuales se encuentran la nula aeración, menor producción de lodos, menos espacio físico y producción de energía (Vargas et al., 2020). El reactor anaeróbico con deflectores (ABR por sus siglas en inglés, anaerobic baffled reactor) cuenta con una serie de características como la resistencia a la carga orgánica y tiempos de retención más largos, lo que evita el lavado de sólidos, este tipo reactor se ha utilizado en el tratamiento de aguas residuales textiles, curtidurías y de cerveceras (Cui et al., 2014). Tomando en cuenta lo anterior, la investigación tuvo el objetivo de estudiar la aplicación de un ABR en la eliminación de la carga orgánica en aguas residuales domésticas, estudiando los parámetros físico-químicos de las aguas residuales tratadas.

Materiales y Métodos

Diseño y construcción del reactor tipo ABR

Se construyó un reactor ABR a escala laboratorio mediante hojas de vidrio transparente de 6 mm de grosor, el diseño es de forma rectangular con medidas de 0.50 m de largo por 0.25 m de ancho, con una altura de 0.25 m, dando un volumen aproximado de 32 L. El reactor ABR se dividió en cuatro secciones, divididas por deflectores; el primer deflector se colocó a 2 cm de la entrada de alimentación con una separación al fondo de 2 cm, generando el primer compartimento para producir un flujo ascendente. El siguiente compartimento (zona de sedimentación), corresponde alrededor del 50 % del volumen del reactor, tiene como límite dos deflectores que van en serie con 2 cm de separación, el primero colocado desde el fondo a una altura de 2 cm y el segundo de manera suspendida apoyado a las paredes del reactor dejando 2 cm desde el fondo al deflector. Las siguientes cámaras constituyen el otro 50 % del volumen del reactor dividiéndolos dos deflectores que fueron colocados de la misma forma que se hizo para limitar la zona de sedimentación. La entrada de alimentación se encontró situada a 20 cm de uno de los extremos del reactor y la salida a 18 cm del otro extremo.

Inoculación

Dentro de este tipo de tecnologías, es favorable introducir lodo anaerobio dentro del reactor, con lo cual los microorganismos se reproducirán en un lapso menor, acelerando el proceso de degradación de la materia orgánica. El lodo que se utilizó para inocular el reactor fue una mezcla de líquido ruminal y sedimento de aguas residuales municipales. El material ruminal fue obtenido del rastro municipal; el rumen que se utilizó se exprimió con una malla de tela con un tamaño de abertura menor a 0.2 mm, esto con la idea de eliminar una parte de la materia orgánica, permitiendo solo el paso de los microorganismos presentes en la solución líquida. Posteriormente, se mezcló 1 L del líquido ruminal con 1 L del lodo de aguas residuales domésticas provenientes de un fraccionamiento de Misantla, Veracruz. Dicho lodo se mantuvo en condiciones anaerobias durante alrededor de 1 semana. Una vez que se mezclaron los dos inóculos de manera homogénea, se le añadió 1 L de agua residual con la cual se estaría alimentando al ABR como sustrato. Toda esta mezcla se vertió en dos recipientes de plástico con rosca de un volumen de 1.5 L, estando en contacto durante una semana, finalmente la mezcla elaborada se llevó al reactor (ver la Figura 1).

Las aguas residuales domésticas provenientes de una zona habitacional fueron recolectadas de una alcantarilla del sistema de drenaje de la ciudad, recolectando 38 L cada 48 h, para su posterior mezclado y vertiéndose sobre un dispositivo perforado de la parte

de inferior, donde se tenía conectada una manguera hacia el reactor, mediante acción de la gravedad y por medio de una válvula se le inyectaba un flujo controlado de 5 mL min⁻¹. En términos de volumen, el reactor y el flujo dan un total de 50 L de agua residual tratada por semana de operación.

Análisis de parámetros fisicoquímicos

Para evaluar el comportamiento y estabilización del Reactor ABR, se efectuaron los análisis de demanda química de oxígeno (DQO), demanda bioquímica de oxígeno (DBO), pH y sólidos sedimentables (SS), tomando muestra a la entrada y salida del reactor, presentando datos cada 24 h.

Análisis estadístico

Se realizó la prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov-Smirnov con un nivel de significancia $\alpha=0.05$ utilizando como variables los valores de remoción de la DQO, DBO y pH. Además de establecer un análisis por semana de operación del reactor ABR mediante una prueba de análisis de varianza (ANOVA) con un nivel de significancia de $\alpha=0.05$ en caso de observar diferencias, se aplicaría una prueba de comparación múltiple (prueba Post-Hoc), en este caso, se eligió la prueba Duncan por la cantidad de repeticiones semanales que se desarrollaron. Tanto la prueba de bondad de ajuste, ANOVA y la prueba post-hoc se analizaron mediante el software estadístico de IBM SPSS Statistics 22™ (IBM corp., 2020).

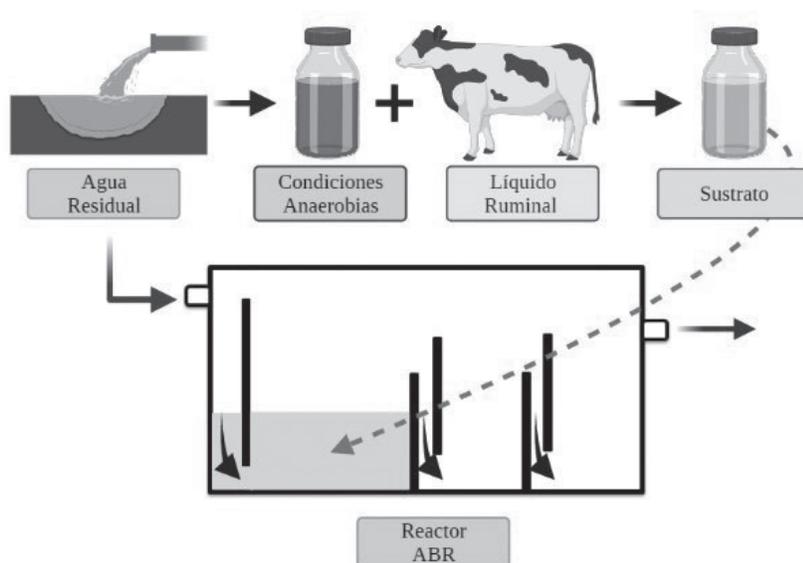


Figura 1. Proceso de obtención del sustrato a partir de lodos y líquido ruminal para su posterior ingreso al reactor tipo ABR.

Fuente: Elaboración propia.

Discusión y análisis de los resultados

Se presentan los resultados de la aplicación del reactor ABR, durante las 13 semanas de operación. El tiempo de retención hidráulica con un flujo de 5 mL/min fue de 48 h, además se considera que de 48 a 72 h los microorganismos presentes en el ABR pueden aprovechar al máximo la materia orgánica presente en cada descarga. La temperatura observada en el reactor fue de entre 25 °C a 35 °C, la cual es óptima para el buen funcionamiento del sistema anaerobio.

DBO₅ (Demanda Bioquímica de Oxígeno durante 5 días)

La concentración de DBO₅ a la entrada del reactor no presentó una variación significativa en los días de tratamiento, con un promedio de 257.1 mg/L ($R^2=0.0038$) y según la literatura las aguas residuales que se trataron se pueden considerar como de mediana concentración (Metcalf y Eddy, 2014). Por su parte, los resultados de salida de DBO₅ reflejan que desde la primera muestra que sale del reactor existe una remoción de dicha materia orgánica (215 mg/L) y conforme los días van pasando, la remoción va en aumento, con algunos picos de aumento de concentración, antes de lo que se considera como la estabilización del ABR para este parámetro (ver la Figura 2).

Para la última semana de operación del reactor ABR, las últimas tres muestras de agua tratada, se obtuvieron valores de 28, 26 y 25 mg/L, disminuyendo considerablemente las variaciones que existían en las primeras mediciones, considerando que hasta ese tiempo puede considerarse como la estabilización de este sistema, presentando remociones cercanas a un 95 %. Aplicando a los resultados una línea de tenden-

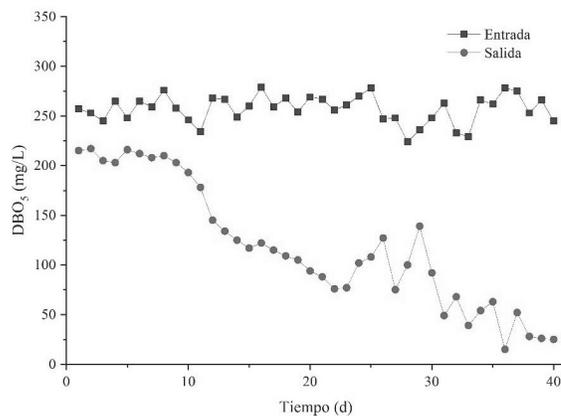


Figura 2. Concentración de entrada y a la salida del parámetro de DBO₅. Fuente: Elaboración propia.

cia ($R^2=0.8764$) se puede determinar que el sistema va removiendo la concentración en una forma cercana a la lineal conforme van pasando los días.

DQO (Demanda Química de Oxígeno)

Los valores porcentaje de remoción de DQO se observan en la Figura 3. El resultado de la DQO de entrada es un promedio del análisis de varias muestras analizadas mediante la norma mexicana vigente, esto con el fin de disminuir el gasto de reactivos y tomando en cuenta que el agua a tratar no presenta gran variación en la concentración conforme transcurre el tiempo. La concentración promedio de DQO se encontró con un valor de 371.379 mg/L, por lo que este tipo de aguas residuales se considera como de mediana concentración (Metcalf y Eddy, 2014).

Los resultados de salida del reactor reflejan que la concentración de DQO comienza a disminuir desde la primera muestra, y conforme los días de operación del reactor se incrementan, el grado de remoción aumenta. El punto más alto de remoción se obtuvo alrededor del día 33 (93.44 %).

pH (Alcalinidad de una sustancia)

En diversos estudios los valores de pH resultan estar fuera de valores que permiten una idónea operación del reactor, en este caso el pH de entrada se encuentra en un rango óptimo, para que la digestión anaerobia se lleve a cabo completamente, el rango de pH debe estar entre 6.0 y 8.0. Los resultados promedio de pH en el ABR que se encontraron fueron de 7.51 y 6.87, de entrada y salida, respectivamente.

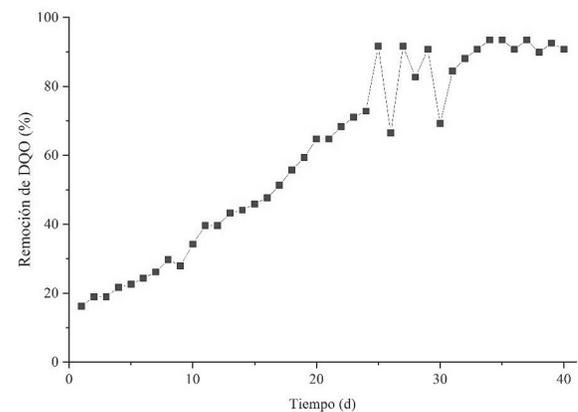


Figura 3. Concentración de entrada y salida del parámetro de DQO. Fuente: Elaboración propia.

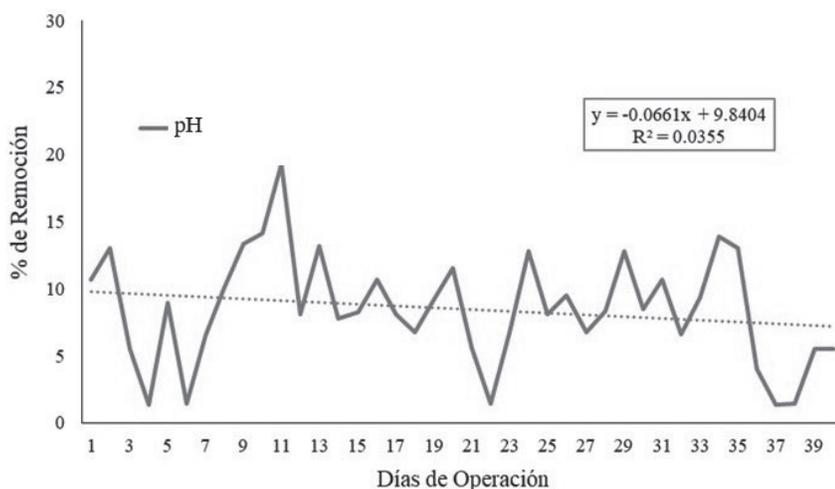


Figura 4. Disminución del valor de pH durante los días de operación.
Fuente: Elaboración propia.

La Figura 4 muestra el comportamiento de la disminución del pH con respecto a los días de operación del reactor, aplicando a los resultados la ecuación lineal, se puede observar que una hay una tendencia ($R^2= 0.0355$) que indica que este parámetro se mantuvo estable dentro y fuera del reactor, aunque muestra una ligera tendencia a disminuir la remoción conforme pasan los días de operación.

SS (Sólidos Sedimentables)

El promedio observado del efluente ronda los 6.87 mL/L. Teniendo en cuenta este promedio se considera que los SS presentes en el efluente se encuentran entre concentración media a baja. Desde las primeras muestras se observa que los SS disminuyen de manera significativa, aunque los primeros días se presentan concentraciones que pueden deberse a que parte de la mezcla de los lodos anaerobios fue arrastrada con el flujo, debido a que una parte de dichos lodos aún se encontraban fluidizados, mientras que con el paso de los días estos lodos fueron perdiendo dicha propiedad, impidiendo que estos sean arrastrados con el flujo de entrada. La Figura 5 muestra en conos Imhoff muestras de agua de la entrada y salida del reactor ABR al final de la operación de este, apreciándose una gran diferencia entre los SS de entrada y de salida.

Análisis Estadístico

Una vez obtenidos todos los resultados de las remociones de los diversos parámetros analizados se procedió a observar las diferencias entre las poblacio-

nes, para lo cual se aplicó a dichos datos una prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov-Smirnov, la cual es considerada como una prueba no paramétrica, utilizada para comprobar si dos poblaciones siguen una normalidad. Es decir, permite medir el grado de concordancia existente entre la distribución de un conjunto de datos y una distribución teórica específica.

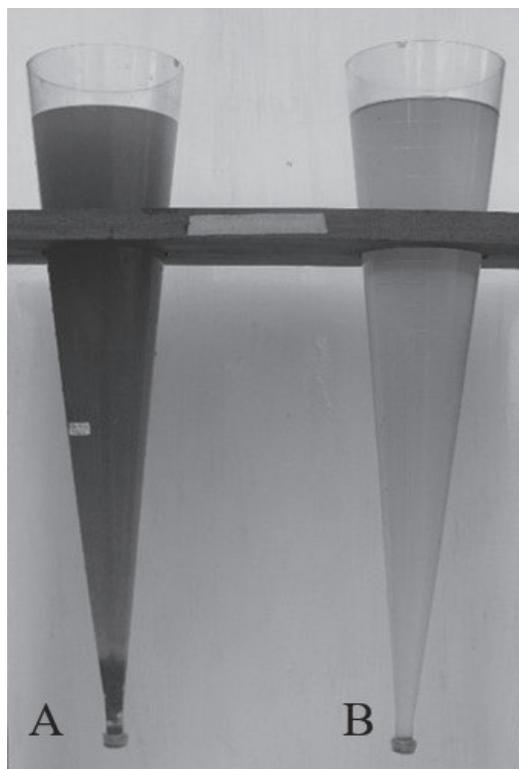


Figura 5. Determinación de SS a la entrada (A) y salida (B) del reactor ABR.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 1. Valores de Salida de la Prueba de Kolmogorov-Smirnov

		DBO	DQO	pH
Número de muestras		40	40	40
Parámetros normales^{a,b}	Media	53.8351	60.2158	8.4914
	Desviación estándar	24.88520	27.04340	4.09307
Máximas diferencias extremas	Absoluta	0.160	0.148	0.084
	Positivo	0.160	0.110	0.084
	Negativo	-0.119	-0.148	-0.080
Estadístico de prueba		0.160	0.148	0.084
Sig. asintótica (bilateral)		0.011 ^c	0.027 ^c	0.200 ^{c,d}

a. La distribución de prueba es normal.

b. Se calcula a partir de datos.

c. Corrección de significación de Lilliefors.

d. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

Sig. = Significancia.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2. ANOVA para la prueba de Remoción DBO₅

	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	19845.141	11	1804.104	44.138	.000
Dentro de grupos	980.975	24	40.874		
Total	20826.117	35			

Gl = Grados de libertad.

F = Valor F siguiendo una distribución de Fisher.

Sig. = Significancia.

Fuente: Elaboración propia.

En este caso se busca analizar si entre la distribución de las variables DBO₅, DQO y pH existe alguna diferencia. El resumen de dicha prueba se muestra en la Tabla 1.

De acuerdo con los resultados de la prueba de Kolmogorov-Smirnov ($\alpha=0.05$), se demuestra que los valores de remoción no siguen la misma tendencia a eliminar los contaminantes, la media de remoción de DBO₅ (53.83 %) durante todo el tiempo de operación del reactor difiere estadísticamente con la media de remoción de DQO (60.2 %) y de pH (8.49 %).

Anteriormente, se aplicó la ecuación de la línea recta a los gráficos obtenidos a partir de los datos de remoción. Haciendo una comparación con la prueba de ajuste, se resume que por lo menos un valor de la remoción de DBO₅ y la DQO no siguen esa tendencia. Los valores de significancia para DBO₅ y DQO fueron de 0.11 y 0.27, respectivamente, se encuentran por debajo del α propuesto (0.05). En cambio, la remoción de pH, los resultados si siguen la tendencia de remover la misma proporción conforme avanzan los días de operación del reactor ABR ($0.200 > 0.05$).

Las desviaciones estándar encontradas tanto para la remoción de DBO₅ (24.88) como para la DQO (27.04), manifiestan que se tienen datos que se encuentran alejados de la media, confirmando que du-

rante varios días los valores de remoción variaron, lo anterior quizás fue debido a las concentraciones de entrada y a la presencia de otros contaminantes que no fueron evaluados, tales como N y P, los cuales pueden alterar positivamente o negativamente la operación del reactor ABR.

Una vez realizada la prueba de bondad de ajuste, se aplicó un análisis de varianza para observar si existían diferencias entre la cantidad de remoción de DBO₅ en función de las semanas en que el reactor estuvo en operación (ver la Tabla 2).

Debido al resultado obtenido ($0.00 < \alpha = 0.05$) se concluye que por lo menos un porcentaje de remoción de una semana difiere estadísticamente de las otras. Para conocer que semanas son diferentes entre sí, se realizó una prueba Duncan. Los resultados se muestran en la Tabla 3.

En la tabla 3, se observa que los promedios de las remociones por semanas se dividen en seis subconjuntos, el primero de ellos se conforma por las semanas 1, 2 y 3 y el último subconjunto por las semanas 10, 11 y 12. El último grupo presenta los porcentajes más altos de remoción 78 %, 83 % y 86 %, siendo considerados como estadísticamente similares entre ellos, a partir de este punto puede considerarse que el reactor se estabilizó, llegando a su capacidad total

Tabla 3. Prueba de Post-Hoc Duncan para Remoción DBO₅

Prueba Duncan ^{a,b}		Subconjuntos					
Semanas	Número de muestras	1	2	3	4	5	6
1	3	15.6327					
2	3	18.7665					
3	3	21.6407					
4	3		51.5373				
9	3		53.1207	53.1207			
5	3		57.0664	57.0664	57.0664		
8	3		59.8307	59.8307	59.8307		
6	3			63.5861	63.5861		
7	3				67.6776	67.6776	
10	3					78.3846	78.3846
11	3						83.4193
12	3						86.7498
Sig.		0.288	0.158	0.077	0.073	0.051	0.142

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 3.000.

b. $\alpha = 0.05$

Fuente: Elaboración propia.

de remoción. Es de importancia señalar que las semanas 9 y 8 no ocuparon los grupos esperados, debido a que tuvieron remociones menores que otros grupos, esto quizás es debido a una alteración en el reactor afectado por un cambio entre la concentración de DBO en la entrada.

Conclusiones

A través del desarrollo del presente trabajo se realizó una evaluación del arranque y estabilización de un reactor ABR a escala laboratorio, utilizando una mezcla de lodos proveniente de aguas residuales y líquido ruminal bovino. La concentración de los contaminantes en el efluente del reactor ABR se redujo, elevando la calidad del agua, cumpliendo por lo tanto con la normatividad vigente. La etapa de estabilización del reactor utilizando líquido ruminal como fuente de lodos anaerobios se desarrolló durante 12 semanas, consiguiendo el punto máximo de remoción entre las semanas 10 y 12, alcanzando un 86 % de disminución de DBO₅, 93.44 % de DQO y 18 % de pH. Un total de 655 L de agua residual fue tratada hasta finalizar la semana 12, además de que la cantidad de lodos y líquido ruminal suministrado al inicio de la operación del reactor no sufrieron ninguna modificación. Realizar el diseño de un reactor ABR que tome en consideración un cambio periódico de la mezcla sólidos-líquido ruminal y la cantidad de los mismos sólidos puede presentar un análisis más amplio, buscando una optimización del proceso de remoción de los contaminantes.

Bibliografía

- Ahmad, I., Abdullah, N., Chelliapan, S., Krishnan, S., Koji, I., & Yuzir, A. (2021). Effect of organic loading rate on the performance of modified anaerobic baffled reactor treating landfill leachate containing heavy metals. *Materials Today: Proceedings*. Vol. 46, Part5, 1913-1921.
- Cui, D., Guo, Y. Q., Lee, H. S., Wu, W. M., Liang, B., Wang, A. J., & Cheng, H. Y. (2014). Enhanced decolorization of azo dye in a small pilot-scale anaerobic baffled reactor coupled with biocatalyzed electrolysis system (ABR-BES): A design suitable for scaling-up. *Bioresource technology*, 163, 254-261
- Ekperusi, A. O., Sikoki, F. D., & Nwachukwu, E. O. (2019). Application of common duckweed (*Lemna minor*) in phytoremediation of chemicals in the environment: State and future perspective. *Chemosphere*, 223, 285-309.
- Heidari, M. R., Malakootian, M., Boczkaj, G., Sun, X., Tao, Y., Sonawane, S. H., & Mehdizadeh, H. (2021). Evaluation and start-up of an electro-Fenton-sequencing batch reactor for dairy wastewater treatment. *Water Resources and Industry*, 25, 100149.
- Li, S. X., Liu, F. J., Zheng, F. Y., Zuo, Y. G., & Huang, X. G. (2013). Effects of nitrate addition and iron speciation on trace element transfer in coastal food webs under phosphate and iron enrichment. *Chemosphere*, 91(11), 1486-1494.
- IBM Corp. Released 2019. IBM SPSS Statistics for Windows, Version 26.0. Armonk, NY: IBM Corp.
- Metcalf, E., y Eddy, M. (2014). *Wastewater engineering: treatment and Resource recovery*. Fourth Edition. McGraw-Hill, USA.

- Mustafa, H. M., & Hayder, G. (2021). Recent studies on applications of aquatic weed plants in phytoremediation of wastewater: A review article. *Ain Shams Engineering Journal*, 12(1), 355-365.
- NMX-AA-004-SCFI-2013. Recuperado el 5 de enero del 2021 de, <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166763/NMX-AA-004-SCFI-2013.pdf>.
- NMX-AA-008-SCFI-2016. Recuperado el 5 de enero del 2021 de <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166767/NMX-AA-008-SCFI-2016.pdf>.
- NMX-AA-028-SCFI-2001. Recuperado el 5 de enero del 2021 de <http://www.economia-nmx.gob.mx/normas/nmx/2001/nmx-aa-028-scfi-2001.pdf>.
- NMX-AA-030/1-SCFI-2012. Recuperado el 5 de enero del 2021 de <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166774/NMX-AA-030-1-SCFI-2012.pdf>.
- Sierra, S.I., Nerí, R.E., Guvera, G.N., Ventura, H.R., & Heyer, R.L. (2020). El tratamiento de aguas residuales y sus efectos sobre el calentamiento global. *Temas de Ciencia y Tecnología*, 24(71), 3-9.
- Vargas, A. K., Calderón, J., Velásquez, D., Castro, M., & Núñez, D. A. (2020). Análisis de los principales sistemas biológicos de tratamiento de aguas residuales domésticas en Colombia. *Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería*, 28(2), 315-322.