

Potencial de reúso de aguas residuales tratadas mediante sistemas anaerobios combinados con biofiltros en el Valle Alto de Cochabamba

Ivette Echeverría Rojas^{1,2}, Oliver Saavedra Valeriano^{1,†}, Ramiro Escalera Vásquez¹, Gustavo Heredia Dieters², Renato Montoya Prada²

¹ Universidad Privada Boliviana, Cochabamba - Bolivia

² Fundacion AGUATUYA, Cochabamba - Bolivia

Palabras clave— reactores anaerobios, biofiltros, aguas residuales, reúso

† Correspondencia: oliversaavedra@upb.edu

Resumen

Las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) son una fuente potencial de agua para riego en zonas semiáridas de Bolivia. El objetivo de este estudio fue determinar el potencial de reúso que tienen los efluentes tratados con sistemas anaeróbicos combinados con biofiltros. Se ha llevado a cabo a través del monitoreo de parámetros fisicoquímicos e indicadores de eficiencia en las PTARs de los centros poblados de Cliza y Tolata. Las concentraciones encontradas en el efluente fueron: 249 ± 158 mg-DQO/l, 460 ± 382 mg-SST/l, 79 ± 50 mg N-NH₃, 16 ± 10 mg-P/l y 1.78 ± 0.07 mS/cm en la PTAR de Cliza y 95 ± 61 mg-DQO/l, 18 ± 10 mg-SST/l, 41.7 ± 26.5 mg-N-NH₃/l, 8.3 ± 2.2 mg-P/l y 2.35 ± 0.75 mS/cm de CE en la PTAR de Tolata. Los resultados indican que las aguas tratadas tienen potencial de ser utilizadas en riego con algunas restricciones en la elección de cultivos, favoreciendo aquellos que tienen una moderada tolerancia a la salinidad. Asimismo se encontró que la combinación de reactores anaeróbicos con biofiltros es un sistema efectivo para el tratamiento de aguas residuales domésticas.

Abstract

Wastewater treatment plants (WWTP) are a potential source for irrigation water in semiarid regions of Bolivia. The aim of this study was to determine the reuse potential of treated effluents in anaerobic systems combined with biofilters. This study has been carried out by mon-

itoring physicochemical parameters efficiency indicators in the WWTPs of the cities of Cliza and Tolata. The concentrations found at the effluent were: 249 ± 158 mg-COD/l, 460 ± 382 mg-SST/l, 79 ± 50 mg N-NH₃, 16 ± 10 mg-P/l and 1.78 ± 0.07 mS/cm at Cliza's WWTP and 95 ± 61 mg-COD/l, 18 ± 10 mg-SST/l, 41.7 ± 26.5 mg-N-NH₃/l, 8.3 ± 2.2 mg-P/l and 2.35 ± 0.75 mS/cm of EC at Tolata's WWTP. The results indicate that the treated water has the potential to be used in irrigation with some restrictions in the choice of crops, favoring those that have a moderate tolerance to salinity. The combination of anaerobic reactors with biofilters was also found to be an effective system for the treatment of domestic wastewater.

1. Introducción

Los recursos hídricos están bajo presión en muchas partes del planeta. Los efectos del calentamiento global, las inundaciones inesperadas y las sequías, han tenido un

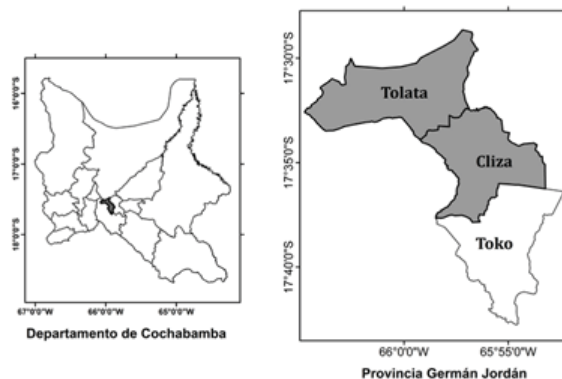


Figura 1: Ubicación del área de estudio.

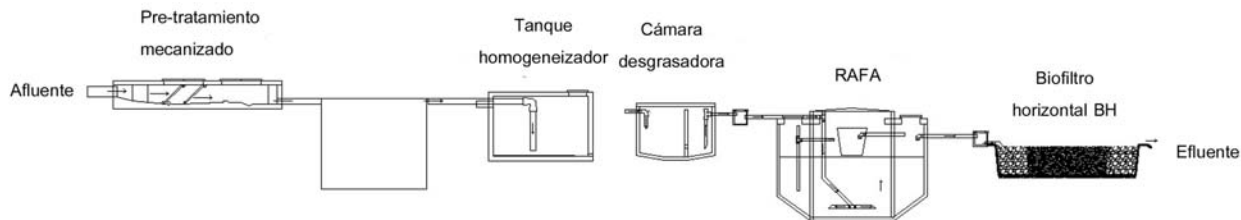


Figura 2: Perfil de PTAR de Cliza.

impacto económico y ambiental significativo en los últimos treinta años, restringiendo la disponibilidad de agua dulce para el desarrollo urbano y la agricultura. Actualmente, en todo el mundo, se estima que hay alrededor de 20 millones de hectáreas irrigadas con aguas residuales (tratadas, crudas o mixtas) [1]. La reutilización del agua tratada para el riego es una práctica común en Bolivia, para garantizar la producción agrícola. Estudios recientes han identificado 105 centros poblados donde las aguas residuales se reutilizan para la agricultura en Bolivia [2], principalmente en zonas áridas y semiáridas. El tratamiento de aguas residuales domésticas requiere de soluciones eficientes y económicas, que respondan a las necesidades de saneamiento específicas de Bolivia, de acuerdo a la disponibilidad de recursos del país.

El proceso de tratamiento aplicado debe cumplir varios objetivos: gastos de capital y operativos relativamente bajos, menor consumo de energía y mayor potencial para reutilizar el agua [4]. Es en este marco, que el tratamiento anaeróbico de aguas residuales se perfila como una opción tecnológica compatible con los requerimientos de la problemática del manejo de las aguas residuales en Bolivia, no obstante, el tratamiento primario por sí solo no es capaz de alcanzar los estándares requeridos para el reúso o descarga de aguas residuales, por lo que se requiere de una combinación de tratamientos entre los cuáles se destacan el uso de humedales artificiales.

Por otro lado, los biofiltros de grava son humedales artificiales que no tienen plantas, lo cual representa una ventaja considerable frente a los humedales artificiales tradicionales, ya que requieren mantenimiento menos frecuente. En la zona del Valle Alto, región que se caracteriza por su clima templado con presencia de temperaturas extremas, se han construido sistemas de tratamiento basados

en reactores anaeróbicos combinados con biofiltros de los que no existe información respecto a su desempeño.

2. Área de estudio

Este estudio se ubica en la región del Valle Alto de Cochabamba, aproximadamente a 35 Km al sureste de la ciudad de Cochabamba, en los municipios de Cliza y Tolata (Figura 1).

En esta región el clima es templado con presencia de temperaturas extremas, la temperatura promedio anual es de 15,5°C y la precipitación anual se encuentra en un rango de 500 a 700 mm con tendencia a la disminución.

3. Metodología

Para el desarrollo del presente estudio se evaluaron dos PTARs ubicadas en los centros poblados de Cliza y Tolata.

Las configuraciones de estas PTARs son similares. Las principales diferencias radican en el tipo de reactor anaeróbico que emplean; reactores anaeróbicos de flujo ascendente (RAFAs) en la PTAR de Cliza y reactores anaeróbicos compartimentados (RACs) en la PTAR de Tolata. Además los caudales que trata cada PTAR varían, siendo Cliza un centro poblado con mayor población que Tolata. La PTAR de Cliza está conformada por 5 módulos cada uno de ellos conformado de 2 trenes de tratamiento cuyo perfil (Figura 2) se conforma de las siguientes unidades: Pre-tratamiento mecánizado, desgrasador, RAFA y Biofiltro de flujo horizontal (BH). La PTAR de Tolata está conformada por 2 trenes de tratamiento cuyo perfil (Figura 3) consta de: Cesto de rejillas, tamiz rotatorio, RAC, Biofiltro Horizontal BH, Biofiltro Vertical BV, Biofiltro de grava horizontal (BH), Biofiltro de grava ver-

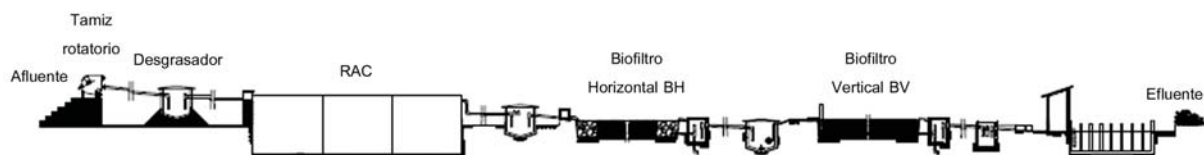


Figura 3: Perfil de PTAR de Tolata.

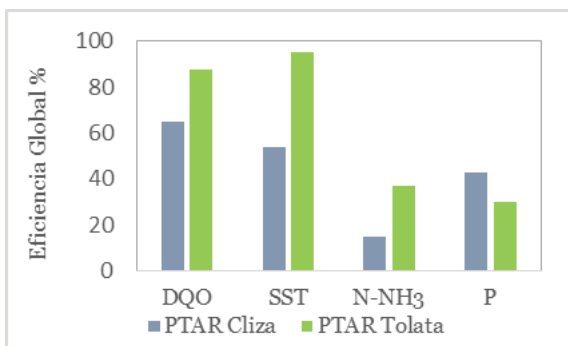


Figura 4: Eficiencia global PTARs de Cliza y Tolata.

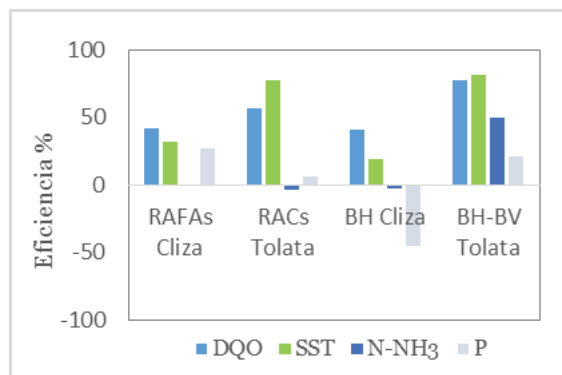


Figura 5: Eficiencia por procesos PTARs de Cliza y Tolata.

tical (BV). Para la evaluación de las PTARs se definieron puntos de monitoreo a la entrada y salida de cada proceso de tratamiento, a fin de verificar la eficiencia de todos los procesos que componen el mismo y se realizaron entre 6 y 7 campañas de monitoreo en los periodos 2017 y 2018. En esta evaluación, se llevaron a cabo mediciones in situ utilizando un medidor multiparámetro de pH, temperatura (T) y conductividad eléctrica (CE).

La demanda química total de oxígeno (DQOTotal) el nitrógeno proveniente del amonio N-NH₃ y el fósforo P se midieron utilizando un fotómetro multiparámetro. Los sólidos totales ST y los sólidos suspendidos totales (SST) se analizaron utilizando métodos gravimétricos estandarizados [5]. De los resultados obtenidos se calculó la eficiencia de las PTARs y de los procesos que las conforman.

4. Resultados y discusión

Los principales resultados de la evaluación se presentan en el Cuadro 1. Esta tabla incluye también parámetros de referencia para el reúso de las aguas residuales tratadas en el riego de cultivos. El análisis de la aptitud del agua tratada para el riego a partir de los parámetros indicadores seleccionados se presenta a continuación.

pH

El pH del agua de riego oscila entre 6,5 y 8,4. El pH fuera del rango normal puede ser adecuado para irrigar, pero tiene el potencial de causar un desequilibrio de nutrientes y aumentar la corrosión de los equipos de riego [6].

Conductividad eléctrica

Concentraciones altas de salinidad en el suelo puede crear un ambiente hostil para que el cultivo absorba nutrientes y causar toxicidad [7]. El agua residual aplicada al riego en exceso podría causar la salinización del suelo gradualmente [3]. Los resultados obtenidos en el estudio se presentan en el rango de 1.78 a 2.73 mS-cm. Ayers y Westcot [8] establecieron que si el agua de riego tiene una CE de <0.7

mS/cm, casi todos los cultivos se pueden cultivar. Por otro lado, si la CE está en el rango de 0.7 a 3.0 mS/cm, solo se recomienda cultivar aquellos cultivos que hayan aceptado moderar la tolerancia a la salinidad.

Existen muy pocas pautas que establecen estándares para las concentraciones de DQO en las aguas residuales para su uso en el riego. Sin embargo, algunos países como Israel e Italia han establecido un valor inferior a 100 mg-DQO/l para la reutilización del agua en el riego [6]. De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), cuando la concentración de SST no excede los 50 mg-DQO/l se pueden utilizar las aguas en el riego sin restricción alguna [9]. En este estudio se encontraron concentraciones en el rango de 95 a 249 mg/l expresados como DQO.

Materia orgánica

Existen muy pocas pautas que establecen estándares para las concentraciones de DQO en las aguas residuales para su uso en el riego. Sin embargo, algunos países como Israel e Italia han establecido un valor inferior a 100 mg-DQO/l para la reutilización del agua en el riego [6]. De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), cuando la concentración de SST no excede los 50 mg-DQO/l se pueden utilizar las aguas en el riego sin restricción alguna [9]. En este estudio se encontraron concentraciones en el rango de 95 a 249 mg/l expresados como DQO.

Nutrientes

La Guía Técnica para el reúso de Aguas Residuales en la Agricultura [3] establece que una concentración superior a 30 mg/l de nitrógeno total tiene severas limitaciones para su uso en riego, sin embargo, no se establecen parámetros para las concentraciones de fosfatos. Los resultados encontrados en el presente estudio superan estos valores establecidos.

Si bien la concentración de nutrientes en el efluente puede favorecer el crecimiento de la planta, podría causar la

Parámetro	Unidades	PTAR Cliza n=7		PTAR Tolata n=6		Parámetros para el uso en riego	Referencias
		Afluente	Efluente	Afluente	Efluente		
DQO	mg/l	1266 ± 473	249 ± 158	795 ± 473	95 ± 158	<100	Jeong et al. (2016) [6]
SST	mg/l	1010 ± 1267	460 ± 387	361 ± 113	18 ± 10	<50	Rhoades y Merrill (1976) [9]
pH	-	7,7 ± 0,6	7,2 ± 0,1	7,8 ± 0,2	7,4 ± 0,2	6,5-8,4	Jeong et al. (2016) [6]
CE	mS/cm	1,98 ± 0,76	1,78 ± 0,07	2,73 ± 0,13	2,35 ± 0,75	0,7-3,0	Ayers y Westcost. (1987) [8]
Temp.	°C	24,01 ± 3,37	22,0 ± 0,85	21,09 ± 2,1	20,58 ± 2,05	-	-
N-NH ₃	mg/l	93 ± 46	79 ± 50	66 ± 38,9	41,7 ± 26,5	<30 como NT	MMAyA. (2013b) [3]
P	mg/l	28 ± 27	16 ± 10	11,8 ± 2,2	8,3 ± 2,2	-	-

Cuadro 1: Resultados obtenidos en la evaluación de las PTARs de Cliza y Tolata.

contaminación de las aguas subterráneas o la eutrofización en las lagunas o lagos si se genera suficiente escorrentía.

Eficiencia

La eficiencia global de las PTARs evaluadas se presenta en la Figura 4. La eficiencia comparativa de las unidades de tratamiento empleadas en ambos sistemas se presenta en la Figura 5.

Se encontró que los RAC funcionan de manera más eficiente que los RAFAs en la remoción de DQO y SST. Se observa también que los BH de la PTAR de Cliza no remueven nutrientes en tanto que la combinación de BH y BV de la PTAR de Tolata favorece a la remoción parcial de los mismos debido a la entrada de flujo de las aguas por aspersión a los BV, favorecida por la aireación del caudal de agua.

5. Conclusiones y recomendaciones

La combinación de reactores anaeróbicos con biofiltros ha demostrado ser un sistema de tratamiento efectivo. Las concentraciones obtenidas en los efluentes la PTARs fueron: 249±158 mg-DQO/l, 460±382 mg-SST/l, 79±50 mg N-NH₃, 16±10 mg-P-l y 1.78±0.07 mS/cm, en la PTAR de Cliza y 95±61 mg-DQO/l, 18±10 mg-SST/ l, 41.7±26.5 mg-N-NH₃/l, 8.3±2.2 mg-P/l y 2.35±0.75 mS/cm de CE, en la PTAR de Tolata.

Estos valores indican que las aguas podrían ser reutilizadas en riego con algunas restricciones en la elección de cultivos, favoreciendo aquellos que tienen una tolerancia moderada a la salinidad.

Para garantizar el uso seguro de las aguas residuales debido a la calidad microbiológica de las mismas, es recomendable utilizar los efluentes solo en el riego de cultivos de tallos altos, como forrajes y otros cultivos que no se comen crudos.

En el estudio se ha encontrado que una remoción parcial de nutrientes se da debido a la entrada de flujo de las aguas por aspersión a los biofiltros de flujo vertical, favorecida por la aireación del caudal de agua, por lo que es recomendable considerar la inclusión de biofiltros de flujo vertical que acompañen a tratamientos anaerobios

primarios en el diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales.

Referencias

- [1] Hamilton, A., Stagnitti, F., Premier, R., Boland, A.-M., Hale, G., 2006. Quantitative microbial risk assessment models for consumption of raw vegetables irrigated with reclaimed water. *Appl. Environ. Microbiol.*
- [2] MMAyA, 2013a. Sistematización sobre tratamiento y reúso de aguas residuales.
- [3] MMAyA, 2013b. Guía técnica para el reúso de aguas residuales en la agricultura. Estado Plurinacional de Bolivia.
- [4] Sato, N., Okubo, T., Onodera, T., Ohashi, A., Hara-da, H., 2006. Prospects for a self-sustainable sewage treatment system: A case study on full-scale UASB system in Indias Yamuna River Basin 80, 198–207. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2005.08.025>.
- [5] APHA/AWWA/WEF, 1999. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.
- [6] Jeong, H., Kim, H., Jang, T., 2016. Irrigation water quality standards for indirect wastewater reuse in agriculture: A contribution toward sustainable wastewater reuse in South Korea. *Water (Switzerland)* 8. <https://doi.org/10.3390/w8040169>.
- [7] WHO, 2006. Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater.
- [8] Ayers, R.S., Westcot, D.W., 1987. La calidad del agua en la agricultura.
- [9] Rhoades, J.D., Merrill, S.D., 1976. Assessing the suitability of water for irrigation: Theoretical and empirical approaches, FAO soils bulletin 31.