



REMOCIÓN DE CONTAMINANTES ORGÁNICOS PRESENTES EN AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA MEDIANTE PROTOTIPO A ESCALA DE LABORATORIO

ORGANIC CONTAMINANTS REMOVAL IN DOMESTIC WASTEWATER USING A PROTOTYPE LABORATORY SCALE

Ana Mejía-López, Mario Cabrera*, Yurina Carrillo

Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba, Ecuador

*Autor para correspondencia: mcabrera@unach.edu.ec

Artículo recibido el 19 de enero de 2017. Aceptado, tras revisión el 31 de julio de 2017. Publicado el 1 de septiembre de 2017.

Resumen

En la comunidad de Púlinguí perteneciente a la parroquia de San Andrés del cantón Gúano provincia de Chimborazo, Ecuador se tratan las aguas residuales domésticas en un sistema de tanques sépticos y filtro ascendente, que presentan problemas de mal olor y baja reducción de la materia orgánica. El presente trabajo analiza la eficiencia de remoción de estos contaminantes al combinar el tratamiento anaerobio actual con un tratamiento aerobio por lodos activados en un prototipo a escala de laboratorio. Se diseñó, construyó y operó un prototipo con 27.9 litros de capacidad, de los cuales 15.8 L corresponden a la zona anaeróbica, 7.7 L a la zona de aireación y 4.4 L a la zona de sedimentación. El sistema fue evaluado durante 60 días con agua residual doméstica proveniente de la comunidad citada. Durante la evaluación se realizaron diariamente determinaciones de Ph, sólidos suspendidos y oxígeno disuelto, así mismo se determinaron dos veces por semana la Demanda Química de Oxígeno (DQO). La información generada permitió observar que el sistema tendió a estabilizarse durante la semana tres de operación, alcanzando eficiencias de remoción de materia orgánica en términos de DQO en el tratamiento anaeróbico de 53%, en el tratamiento aeróbico de 75%, logrando una reducción total en todo el sistema del 88% y eliminando el olor. Con datos del tanque anaeróbico tomados después de 60 días de trabajo continuo, se permitió proyectar el mantenimiento de la planta de tratamiento de Púlinguí el mismo que debe realizarse en aproximadamente cada 4 años.

Palabras claves: Tratamiento de aguas residuales, anaeróbico, aeróbico, tanque séptico, lodos activados, carga contaminante.

Abstract

In the community of Pulinguí belonging to the parish of San Andrés del canton Guano province of Chimborazo-Ecuador, domestic sewage is treated in a system of septic tanks and upward filter, which presents problems of bad smell and low reduction of organic matter. The objective of the present work was to evaluate at laboratory scale the efficiency of pollutant removal by combining the current anaerobic treatment with an aerobic treatment by activated sludge. A prototype with 27.9 liters capacity was designed, built and operated, of which 15.8 liters correspond to the anaerobic zone, 7.7 liters to the aeration zone and 4.4 liters to the sedimentation zone. The system was evaluated for 60 days with domestic wastewater from the cited community. During the evaluation, daily pH and dissolved oxygen determinations were performed, and the Chemical Oxygen Demand (COD) was determined twice a week. The information generated allowed us to observe that the system tended to stabilize during the three weeks of operation, achieving organic removal efficiencies in terms of COD in the anaerobic treatment of 53%, in the aerobic treatment of 75%, achieving a total reduction in The entire 88% system and eliminating the odor. With data from the anaerobic tank taken after 60 days of continuous work, it allowed to project the maintenance of the Pulinguí treatment plant the same that must be realized in approximately each 4 years.

Keywords: Wastewater treatment, anaerobic, aerobic, septic tank, activated sludge, contaminant load.

Forma sugerida de citar: Mejía-López, A., Cabrera M., Carrillo Y. 2017. Remoción de contaminantes orgánicos presentes en agua residual doméstica mediante prototipo a escala de laboratorio. La Granja: Revista de Ciencias de la Vida. Vol. 26(2):72-83. pISSN:1390-3799; eISSN:1390-8596.

1 Introducción

El tratamiento biológico es una opción para depurar las aguas residuales y que se basa en la capacidad que tienen los microorganismos para metabolizar y convertir la materia orgánica, en suspensión y disuelta, en tejido celular nuevo y diferentes gases (Tchobanoglous, et al 2003). El oxígeno juega un papel primordial en el tratamiento biológico de las aguas residuales, esto se debe a que la ausencia o presencia del mismo condiciona el tipo de microorganismos que se encargarán de degradar y eliminar la materia orgánica presente en el agua residual (Ramalho, 2003), en función de esto los tratamientos pueden ser: anaerobios (ausencia de oxígeno) como por ejemplo los tanques sépticos y aerobios (presencia de oxígeno) como por ejemplo el tratamiento por lodos activados.

Los tanques sépticos son depósitos cerrados en donde el material sedimentable que contienen las aguas residuales se decantan (), produciendo un líquido libre de sedimentos que puede infiltrarse con facilidad en el subsuelo, el material sedimentable decantado se descompone bajo condiciones anaeróbicas por acción de los microorganismos presentes en las aguas residuales disminuyendo su volumen original y la fracción orgánica (Rosales-Escalante, 2005). El sector rural prefiere este sistema principalmente por los costos de operación y bajo mantenimiento (Galarza, 2015).

El lodo activado es un proceso de tratamiento por el cual el agua residual y el lodo biológico (cultivo aeróbico de microorganismos) son mezclados y aireados en un tanque denominado reactor. Los flóculos biológicos formados en este proceso se sedimentan en un tanque de sedimentación, lugar del cual son recirculados nuevamente al tanque aireador o reactor para mantener la concentración de microorganismos en la cámara de aireación aproximadamente constante, el resto se elimina como barros en exceso. En el proceso de lodos activados los microorganismos son completamente mezclados con la materia orgánica en el agua residual de manera que ésta les sirve de sustrato alimenticio. Es importante indicar que la mezcla o agitación se efectúa por medios mecánicos superficiales o sopladores sumergidos, los cuales tienen doble función: primero, producir una mezcla completa y segundo, agregar oxígeno al medio para que el proceso se desarrolle (Romero, 2008).

Una combinación de los sistemas anaerobios y

aerobios es una alternativa eficiente para eliminar la carga contaminante, no obstante, estas alternativas tecnológicas requieren ser probadas en experiencias piloto bajo distintas condiciones ambientales previo a su implantación (Galarza, 2015). Kujawa-Roeleveld y Zeeman (2006) señalan también que ciertas modificaciones en los sistemas convencionales podrían resultar en un tratamiento más eficiente de las aguas residuales totales.

La comunidad de Pilinguquí, perteneciente a la parroquia de San Andrés, del cantón Guano, provincia de Chimborazo en Ecuador, trata sus aguas residuales en un sistema de tratamiento anaerobio que consiste en un tanque séptico y un filtro ascendente, que actualmente presentan problemas de mal olor y baja reducción de la Demanda Química de Oxígeno (DQO). Para solucionar este problema, se propuso tratar estas aguas con un sistema biológico combinado: tanque séptico-lodos activados (Arévalo y Lituma, 2010). Para lo cual se plantearon los siguientes objetivos: primero, diseñar, construir y operar un prototipo a escala de laboratorio. Segundo, evaluar la eficiencia mediante el porcentaje de remoción de materia orgánica en términos de DQO, y finalmente, determinar la periodicidad de retiro de sedimentos del tanque séptico de la planta de la comunidad de Pilinguquí.

2 Metodología

2.1 Fase de desarrollo constructivo

Para el diseño de la **zona anaerobia** (tanque séptico) se consideró el tamaño de muestra, que consistió en un caudal (Q) de 18 litros por día (cantidad manejable para escala de laboratorio); además se determinó el tiempo de retención (t), que fue de 24 horas (tiempo de retención actual del tanque séptico de la planta de Pilinguquí).

Se calculó el Volumen (V) mediante la Ecuación 1. El área (A) del tanque se calculó con la Ecuación 2 considerando una profundidad (p) de 22,5 cm. El largo (l) y el ancho (a) se determinaron considerando que el largo es dos veces el ancho.

$$Q = \frac{V}{t} \quad (1)$$

$$A = \frac{V}{p} \quad (2)$$

Para determinar el volumen del reactor aeróbico se aplicó la Ecuación (3) y se consideraron los resultados de la caracterización del agua cruda y los parámetros de operación de lodos activados por mezcla completa dados por Romero (2008).

$$V = \frac{Qs_0}{A/M \times X} \quad (3)$$

Donde:

S_0 = DQO del afluente, en mg/L.

V = Volumen del tanque, en L.

Q = Caudal afluente, en L / día.

X = Sólidos suspendidos en el licor de mezcla (SSLM), mg/L

A/M = Relación alimento/microorganismos (F/M), que constituye un parámetro importante que mide la razón entre el alimento (materia orgánica) presente en las aguas residuales crudas y los microorganismos en el tanque de aireación.

Para calcular el volumen del tanque sedimentador se aplicó la Ecuación 1. Se consideró los criterios de diseño de sedimentadores de Rivas (1978) donde se sugiere un tiempo de retención hidráulica (t) de 3 a 5 horas. Para este caso se consideró un tiempo máximo de 5 horas (Ramírez et al., 2010).

2.2 Determinación de la muestra

El agua cruda se recolectó al ingreso de la planta de tratamientos (Figura 1), ubicada en comunidad de Pilingui perteneciente a la parroquia de San Andrés del cantón Guano provincia de Chimborazo en Ecuador, durante el período abril-junio del 2014, las muestras se tomaron en forma puntual después del desbaste, recolectando 30 L diarios aproximadamente, que se utilizaron para realizar los análisis y alimentar al prototipo (American Public Health Association, 1995).

2.3 Operación y seguimiento

Una vez instalado el sistema a escala laboratorio se evaluó la eficiencia de tratamiento operando el sistema durante 60 días (Keudel y Dichtl, 2000), como se indica en la Figura 2. Las determinaciones de pH, sólidos suspendidos SS y Oxígeno disuelto OD se realizaron diariamente y DQO se determinó dos veces por semana, los análisis se realizaron por duplicado y de acuerdo a la metodología descrita por el

Standard Methods of Water and Wastewater [APHA, AWWA, WEF, 2005]. Al final de los 60 días se determinó el volumen de lodos sedimentados en el reactor anaeróbico para estimar el periodo de limpieza del tanque séptico de la planta tratamiento de Pilingui.

2.4 Análisis estadístico

Se empleó estadística descriptiva para cada variable utilizando MS Excel, sobre sistema operativo Windows.

3 Resultados y Discusión

En la Tabla 1 se presentan los datos utilizados para el dimensionamiento del prototipo y los resultados al aplicar las ecuaciones señaladas en la metodología.

En Figura 3 (a) se muestra el dimensionamiento del equipo, el cual fue construido en vidrio (Figura 3 b) con un volumen útil de 27.9 L, de los cuales 15.8 L corresponden a la zona anaeróbica, 7.7 L al reactor aeróbico y 4.4 L al sedimentador. Dichas unidades se comunican a través de orificios de 5 mm de diámetro, ubicados en la parte superior de los tabiques. En las partes medias existen salidas con una manguera que permiten la extracción de muestras para su análisis. El suministro del aire y la mezcla completa en el tanque aerobio se realizó por medio de difusores porosos utilizando 2 aireadores de 60 Hz, introducidos por los orificios de 5 mm que se encuentran en la parte inferior del tanque. El control de lodos en tanque de aireación se realizó mediante la extracción de un volumen específico de lodos del sedimentador de forma manual. El agua cruda se recolecta en un tanque de plástico con capacidad de 30 L aproximadamente que alimenta el sistema por gravedad controlando su caudal por medio de unas llaves. El sistema se operó en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Chimborazo.

En la Tabla 2 se muestran los valores medios y su desviación estándar de los parámetros analizados en los diferentes puntos:

El pH es un factor muy importante en los procesos de transformación química y biológica por lo tanto es fundamental seguir su comportamiento con respecto al tiempo (Romero, 2008). En la Figura 4 se presenta el seguimiento del pH observan-



Figura 1. Planta de tratamiento de aguas residuales de Pungu, cantón Guano, Chimborazo

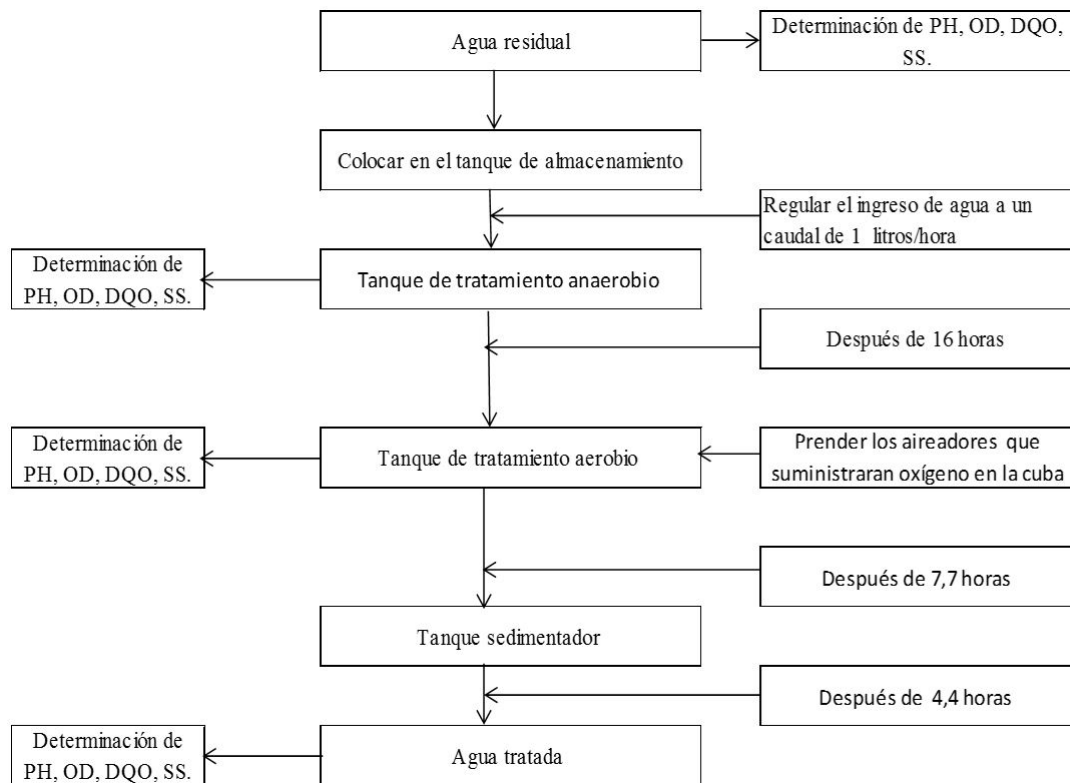


Figura 2. Diagrama de flujo operacional del prototipo propuesto. Las siglas de OD se refieren a Oxígeno disuelto, Demanda Química de Oxígeno (DQO) y sólidos suspendidos SS.

Tabla 1. Dimensionamiento del prototipo

Operaciones	Parámetros	Resultados
Zona anaeróbica	Caudal	18 L/d
	Tiempo de retención hidráulica	24 h
	Volumen	18 L
	Profundidad	22.5 cm.
	área	800 cm ²
	Ancho	20 cm
	Largo	40 cm
Zona de aireación	DQO del agua cruda	291 mg/L
	SSML	2000 mg/L
	A/M	0.3 d ⁻¹
	Volumen de reactor	8.7 L
	área del reactor	386.7 cm ²
	Profundidad	22.5 cm.
	Ancho	20 cm
Sedimentador	Largo	19.3 cm
	Tiempo de retención hidráulica	5 h
	Volumen del sedimentador	3.8 L
	largo	16.8 cm

Tabla 2. Resultado de parámetros en las diferentes etapas

Parámetros	Unidades	Agua Cruda	Tanque. Séptico	Tanque de Lodos Activados	Agua Tratada
pH		8,07±0,36	8,01±0,23	7,72±0,21	7,77±0,10
SS	mg/L	265±51	242±102	512±194	25±20
DO	mg/L	2,68±1,10	1,13±0,75	6,59±0,20	3,94±0,95
DQO	mg/L	307±81	149±46	75±46	36±12

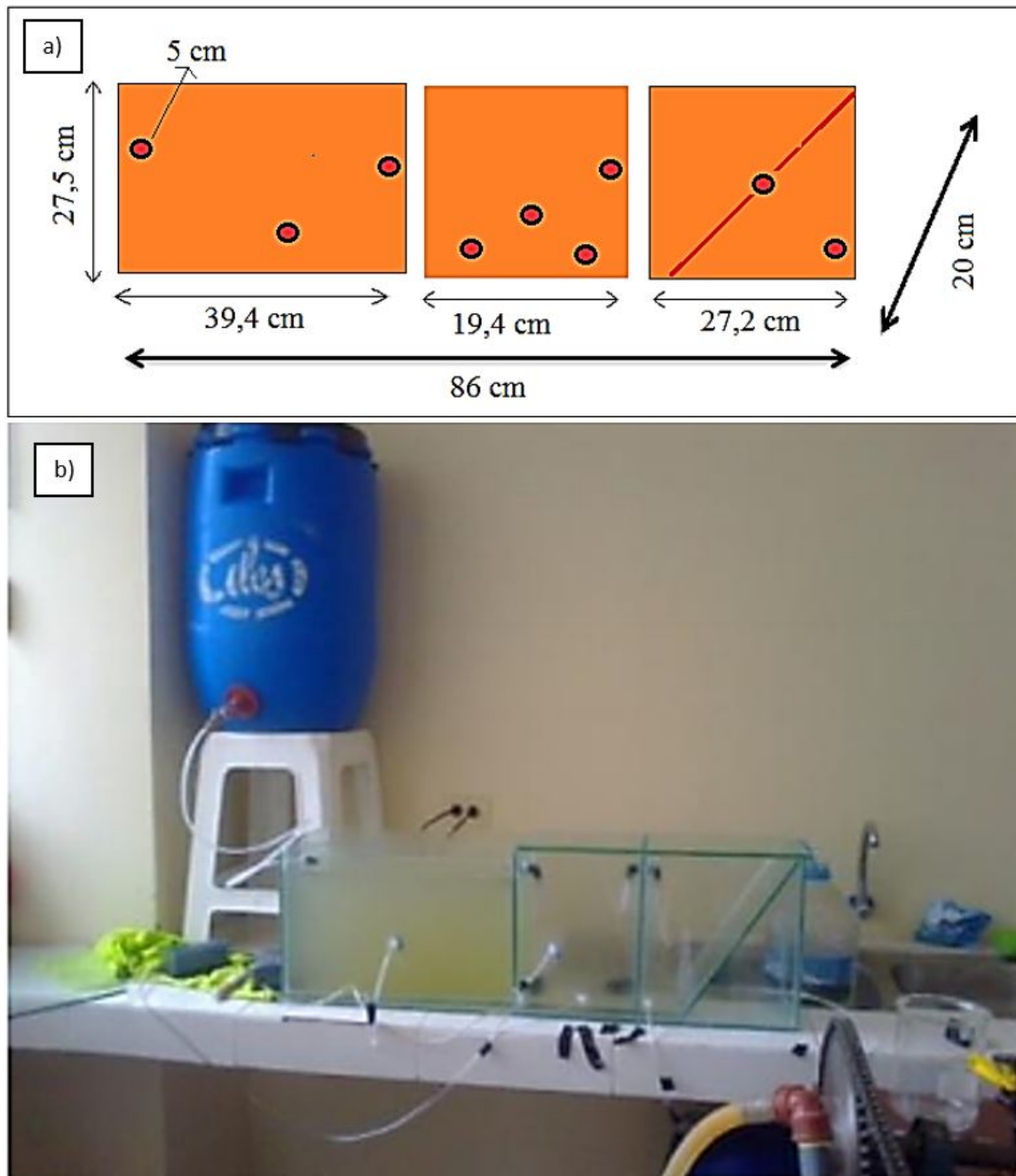


Figura 3. Prototipo construido. (a) Dimensiones, (b) Equipo.

do que en el agua cruda este parámetro es muy variable mientras que los valores en el resto de etapas se mantienen muy constantes, por lo que se puede concluir que en cada etapa el medio se va adaptando, manteniendo un sistema amortiguador de pH para el buen desarrollo de los microorganismos, permitiendo de este modo que el medio no se vea afectado por variaciones bruscas del pH del agua de alimentación. Similar comportamiento reportan los estudios realizados por Santos y Oliveira (2011) en el tratamiento de aguas residuales porcinas realizadas en un reactor discontinuo secuencial anaeróbico-aeróbico, donde se determina también que el pH durante el tratamiento biológico se estabiliza.

En la Figura 5 se observa que el oxígeno disuelto es muy variable en el agua cruda, disminuye en el tanque séptico pero sin llegar a condiciones anaeróbicas (sin oxígeno o tan baja como sea posible), la concentración de OD en esta zona se mantuvo con un promedio de $1,13 \pm 0,75$ mg/L debido a que ingresa oxígeno al tomar muestras diarias para el análisis, lo que implicó reducciones bajas de DQO debido al bajo crecimiento de los microorganismos anaerobios. En el tanque de aireación el oxígeno disuelto se mantienen con valores promedios de 6 mg/L, logrando un desarrollo adecuado de los microorganismos aerobios, cabe indicar que el valor mínimo requerido es de 2 mg/l (Metcalf y Eddy, 2003).

En la Figura 6 se grafican los resultados de SS en las diferentes etapas de tratamiento, los mismos que disminuyen en el tanque séptico y en el efluente, con rendimientos de eliminación que oscilaron entre 40 y 90% respectivamente, Kaudel y Dichtl (2000) y Cárdenas et al. (2012) reportan similares reducciones en pruebas a escala de laboratorios en reactores biológicos secuenciales (anaerobio-aerobio). En el tanque de aireación se observa un incremento progresivo de sólidos suspendidos, según Metcalf y Eddy (2003) los sólidos suspendidos en el licor de mezcla deben estar en un rango entre 1500 y 3000 mg/L para que el sistema funcione eficientemente.

En la Figura 7 se muestra el comportamiento de la Demanda Química de Oxígeno. Se puede observar que pese a que el DQO del agua cruda es muy variable, en las diferentes zonas de tratamiento la DQO se reduce de una forma progresiva durante el periodo de experimentación.

Se determinó la eficiencia del tratamiento anaerobio, aerobio y del sistema total utilizando la Ecuación (5), tomando los valores medios de la DQO del

agua que ingresa (afluente) y la DQO del agua que sale después de cada etapa (efluente), obteniendo eficiencias de 53, 75 y 88% respectivamente.

$$\%E = \frac{[DQO]_{afluente} - [DQO]_{efluente}}{[DQO]_{afluente}} \times 100 \quad (4)$$

En algunos estudios sobre tratamiento de aguas residuales domésticas, los porcentajes de remoción son similares a los obtenidos en este trabajo así: Méndez (1978) encontró una remoción desde 56 a 72% de DQO, durante siete días de tratamiento en un sistema de digestión anaerobia al igual que Ruiz, Álvarez, y Soto (2001) que en su estudio con aguas urbanas en sistemas de tanques sépticos obtuvo eficiencias de depuración del 55-75% en la eliminación de DQO. Manchuria (2009) encontró una disminución hasta de 79.65% de DQO en una planta piloto con tanques sépticos y lodos activados. Al finalizar el tratamiento se tomaron la cantidad de sólidos sedimentables y sólidos flotantes o natas, generados en el tanque anaeróbico siendo de 0.288 L/mes y 54 mL/mes respectivamente, con los cuales se hace una proyección a escala real tomando en cuenta que el volumen tratado de aguas residuales en la planta de Pulinguí es de 1294,2 m³/mes, se generarían 6.5 y 1.2 metros cúbicos de lodos y natas al año. Finalmente, tomando en cuenta que el volumen del primer tanque existente en la planta de Pulinguí es de 54 metros cúbicos, los 6.5 m³ /año de lodos generados representa un 12% de volumen del tanque y considerando que un mantenimiento de desalojo de lodos debe llevarse a cabo cuando ocupe las dos terceras partes del volumen total del agua (Salas y Martino, 2003) los lodos se deberían desalojar aproximadamente cada 4 aproximadamente considerando un error del 25% en el dato obtenido en el laboratorio.

4 Conclusiones y Recomendaciones

Del trabajo realizado se puede concluir que el agua residual proveniente de la comunidad de Pulinguí, cuyo contenido de materia orgánica, es muy variable no afecta el sistema una vez estabilizado el tratamiento. Asimismo, un tratamiento combinado (anaerobio-aerobio), es eficiente para tratar los efluentes provenientes de la comunidad de Pulinguí, al lograr un porcentaje de remoción del 88%

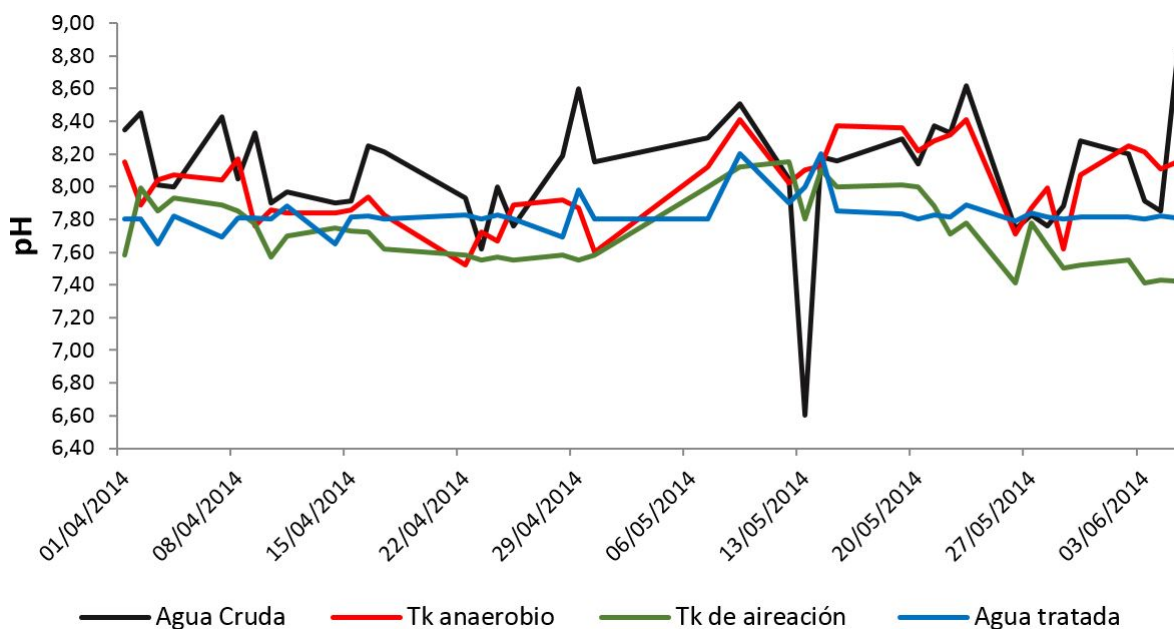


Figura 4. Comportamiento del pH durante los 60 días de tratamiento en las diferentes etapas

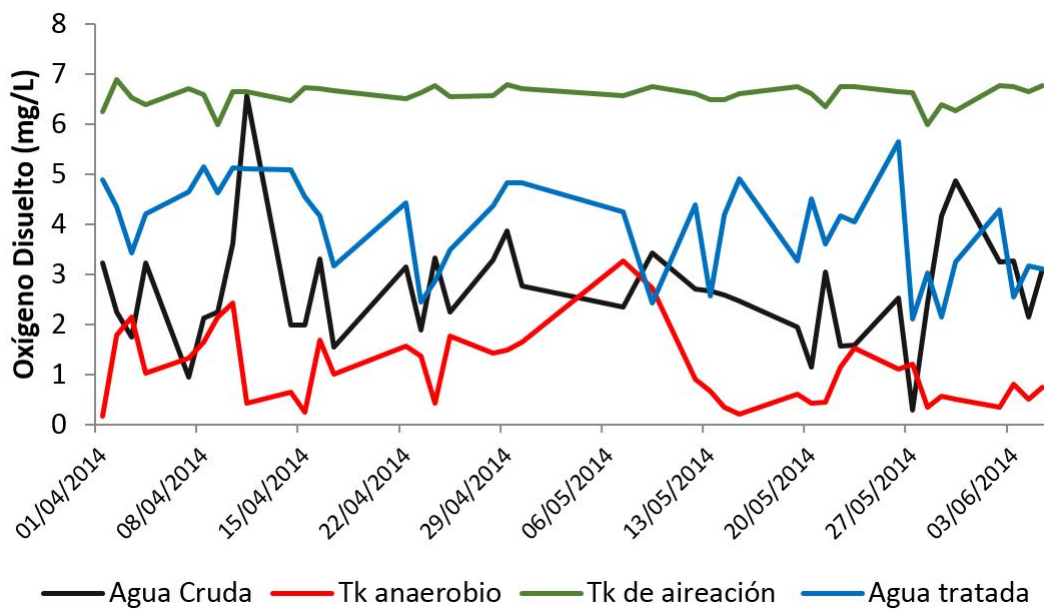


Figura 5. Comportamiento del Oxígeno disuelto OD

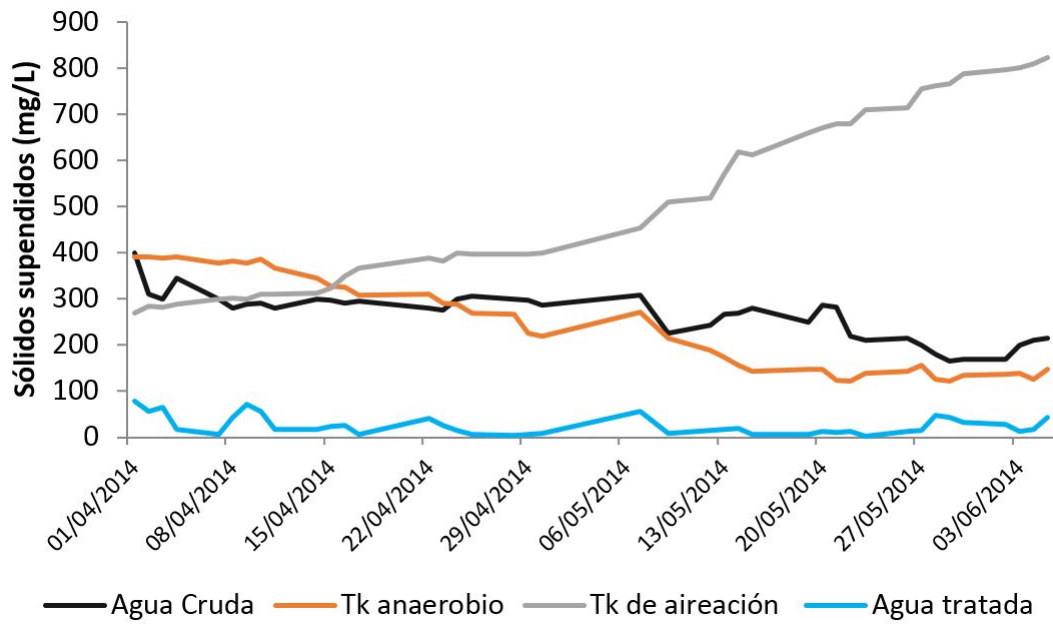


Figura 6. Comportamiento de sólidos suspendidos totales durante los 60 días de tratamiento en las diferentes etapas

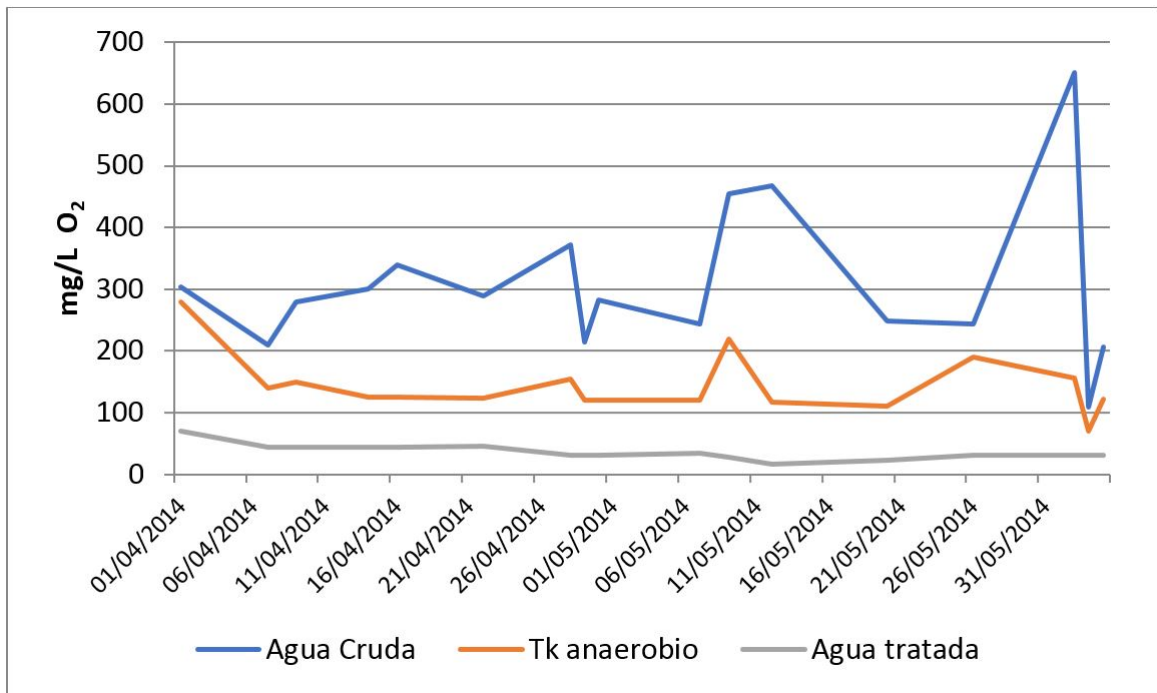


Figura 7. Comportamiento de la Demanda Química de Oxígeno

de la materia orgánica expresada en DQO, se recomienda a la comunidad considerar la utilización de un sistema de tratamiento de lodos activados para evitar los malos olores y la baja eficiencia del tratamiento actual. Con los datos obtenidos al final de los 60 días del tanque séptico se estimó el tiempo de mantenimiento de la planta existente en la comunidad de Pulinguí siendo un aporte técnico-social a esta comunidad.

Agradecimientos

A la comunidad de Pulinguí por prestar las facilidades y al Centro Ecuatoriano de Servicios Agrícolas (CESA) por su financiamiento en este trabajo.

Referencias

- American Public Health Association & Eaton, Andrew D & Clesceri, Lenore S & Greenberg, Arnold E & American Water Works Association et al. 1995. Standard methods for the examination of water and wastewater, 19th ed, American Public Health Association, Washington, DC. Disponible en: <https://goo.gl/V81kHm>.
- Arévalo, P., Lituma, P. 2010. Digestión de lodos residuales de las lagunas de oxidación de Ucumbamba. *La Granja, Revista de Ciencias de la Vida*. 11(1), p.31-35. DOI: <http://dx.doi.org/10.17163/lgr.n11.2010.04>
- Cárdenas, C., Yabroudi, S. C., Benítez, A., Páez, K., Perruolo, T., Angulo, N., Araujo, I. & Herrera, L. 2012. Desempeño de un reactor biológico secuencial (RBS) en el tratamiento de aguas residuales domésticas. , *Revista Colombiana de Biotecnología*, 14(2), p. 111-120. Disponible en: <https://goo.gl/TqzUpH>.
- Díaz-Cuenca, E., Alavarado-Granados, A., Camacho-Calzada, K. 2012. El tratamiento de agua residual doméstica para el desarrollo local sostenible: el caso de la técnica del sistema unitario de tratamiento de aguas, nutrientes y energía (SUTRANE) en San Miguel Almaya, México. *Quivera*, 14(1), p. 78-97. Disponible en: <https://goo.gl/wJDjxV>
- Galarza Delgado, K. A. 2015. Tesis de Grado, Universidad de Cuenca, Disponible en: <https://goo.gl/uYH2Np>
- Keudel, L. O., Dichtl, N. J. 2000. Settling characteristics of activated sludge in sequencing batch reactors obtained from full-scale experiments. *2nd International symposium on Sequencing Batch Reactor Technology*. 10-12 July 2000, Narbone France, pp. 75-83.
- Kujawa-Roeleveld, K., Zeeman, G. 2006. Anaerobic Treatment in Decentralised and Source-Separation-Based Sanitation Concepts. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*. 5(1), p. 115-139. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s11157-005-5789-9>
- Manchuria, G. P. M. C. 2009. Tratamiento de aguas residuales domésticas a través del diseño e implementación de un módulo (planta piloto), en el distrito alto Selva Alegre, Arequipa. *Revista de Investigaciones (Puno)*. 5(4), p. 16-32. Disponible en: <https://goo.gl/DSzXAm>
- Méndez, L., Miyashiro, V., Rojas, R., Cotrado, M., y Carrasco, N. 2004. Tratamiento de aguas residuales mediante lodos activados a escala laboratorio. *Revista del Instituto de Investigaciones de la Facultad de Geología, Minas, Metalurgia y Ciencias Geográficas*. 7(14), p. 74-83. Disponible en: <https://goo.gl/PsdKJK>
- Ramalho, R. 1983. Introduction to wastewater treatment processes (second edition). *Academic Press*, San Diego. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-092533-2.50004-1>.
- Ramírez, C. E., Garzón-Zúñiga, M. A. y García, S. L. 2010. Técnicas para la separación de sólidos de aguas residuales de granjas porcinas XXXII Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental.. Punta Cana, República Dominicana.
- Rivas, G. 1978. Tratamiento de aguas residuales. *Ediciones Vega*. Disponible en: <https://goo.gl/dwSgNP>
- Romero, J. 2004. Tratamiento de aguas residuales teorías y principios de diseño. *Escuela Colombiana de Ingeniería*. Disponible en: <https://goo.gl/5oMcE8>
- Rosales-Escalante, E. 2005. Tanques sépticos. Conceptos teóricos base y aplicaciones. *Revista Tecnología en Marcha*. 18(2), p. 26-33. Disponible en: <https://goo.gl/gjhRog>

- Ruiz, I., Álvarez, J. A. y Soto, M. 2001. El potencial de la digestión anaerobia en el tratamiento de aguas residuales urbanas y efluentes de baja carga orgánica. *Universidade da Coruña. Faculdade de Ciências. Campus da Zapateira*. Disponible en: <https://goo.gl/WgTGDy>
- Salas, A. M. y Martino, P. 2003. Inventario de la situación actual de las aguas residuales domésticas en Colombia. Sistemas integrados de tratamiento y uso de aguas residuales en América Latina: realidad y potencial. *Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS)*. Lima-Perú.
- Santos, ACD y Oliveira, R. 2011. Tratamiento de aguas residuales fila horizontal porcina de reactor discontinuo secuencial anaeróbica aeróbica. *Ingeniería Agrícola*. p. 781-794.
- Tchobanoglous, G., Burton, F. L., Stensel, H.D. & Metcalf & Eddy. Wa 2003. *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*. McGraw-Hill Education.