

Evaluación de la remoción de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) en dos biofiltros con diferentes empaques

Juan Antonio Villanueva Hernández¹, José Manuel Gómez Ramos, Rubén A. Vázquez Sánchez, Hugo Alejandro Nájera Aguilar, Nelly de los A. Roblero Galdámez, Esdras Hernández Sánchez

¹Escuela de Ingeniería Ambiental, UNICACH. Libramiento Norte Poniente 1150, Col. Lajas Maciel, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México. Tel y Fax (961) 1256033. antonio.villanueva@unicach.mx

RESUMEN

En esta investigación se presenta la construcción de dos filtros anaerobios de flujo ascendente para tratar el agua residual de tipo doméstico. Cada biofiltro se constituyó con un empaque diferente para remover la materia orgánica representada como Demanda Química de Oxígeno (DQO). El primer biofiltro usó un empaque orgánico (Fibra de coco) el cual, removió en TRH de 48 hrs el 80% de la concentración de la carga orgánica y en TRH de 24 hrs removió el 75%, mientras que el segundo biofiltro con empaque de grava removió el 62.5% en TRH de 48 hrs y en TRH de 24 hrs removió el 27%. De los dos empaques evaluados mediante la DQO se mostró que el medio que permitió encontrar las mejores condiciones operacionales y de mayor porcentaje de remoción fue el empaque de fibra de coco. Su porosidad natural permitió que el empaque presentara un flujo constante, el tratamiento de más litros de agua residual que el biofiltro con empaque de grava y una mayor remoción de la materia orgánica.

Palabras claves: Aguas residuales, Filtros anaerobios, Demanda Química de Oxígeno (DQO), Empaque orgánico.

ABSTRACT

This research shows the construction of two upflow anaerobic filters for treating waste water of domestic type. Each biofilter was established with different packaging to remove organic matter represented as Chemical Oxygen Demand. The first used a packing biofilter organic (coconut fiber) which, shifted in TRH of 48 hrs 80% of the organic load concentration and TRH of 24 hrs removed 75%, while the second biofilter with packaging gravel removed 62.5% in TRH of 48 hrs and 24 hrs TRH of 27% removed. Of the two packages evaluated by DQO the medium that allowed the best operating conditions and higher removal percentage was the coconut fiber gasket. Its natural porosity allowed the packaging submit a constant flow, treating more gallons of wastewater that the biofilter with gravel pack and increased removal of organic matter.

Key words: Wastewater, Anaerobic filters, Chemical Oxygen Demand (COD), Professional package.

INTRODUCCIÓN

En los países latinoamericanos existe el grave problema de la disposición del agua residual generada en centros urbanos, industriales y agrícolas (Morgan y Noyola, 1998), disponer de los residuos significa por lo general descargarlos en algún tipo de corriente de agua, como un río, canal, estuario y al mar (Winkler, 1999), o en última instancia al mismo terreno (Metcalf & Eddy, 1996). Las consecuencias indeseables de esta situación es la descarga indiscriminada del agua residual domésticas e industrial con su consecuente deterioro desastroso al medio ambiente y a la salud pública (Giraldo, 1993).

Los efectos más importantes de los contaminantes de las aguas residuales es la biodegradación de la materia

orgánica en los cuerpos receptores en donde provoca desoxigenación, muerte de peces, olores indeseables, materia suspendida que al descomponerse flota mediante el empuje de gases, cubre el fondo e interfiere con la reproducción y vida acuática, transforma la cadena alimenticia, además de la presencia de microorganismos patógenos, sustancias que causan turbiedad, temperatura, olor, color que hacen además inaceptable el agua para su uso público (Romero, 1999).

Debido a la contaminación que el agua residual puede causar al ambiente y los problemas en la salud, se ha buscado la manera de tratar el agua residual. En México se genera alrededor de 200 m³/s de agua residual, de las cuales reciben

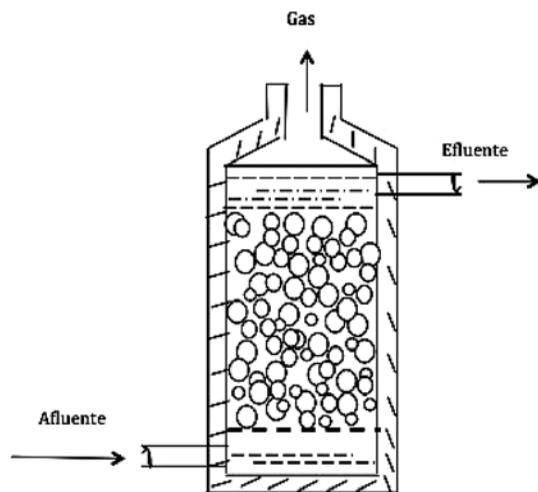


FIGURA 1 Filtro anaerobio de Flujo Ascendente (FAFA).

tratamiento sólo el 36%, lo que indica que se requiere de mayor infraestructura y recursos humanos para mejorar la calidad de este bien, además, de propuestas innovadoras que permitan implementar el tratamiento en diferentes condiciones ambientales y socioeconómicas (Colín *et al.*, 2009).

Filtros Anaerobios de Flujo Ascendente (FAFA)

El principal uso del tratamiento biológico anaerobio es la remoción de la materia orgánica, la oxidación y la estabilización de lodos producidos en tratamiento biológico. Los filtros anaerobios de flujo ascendente (FAFA) es un sistema de bajo costo de construcción, operación y mantenimiento, no se requiere de equipos sofisticados y puede utilizar medios de soporte de bajo costo. De los sistemas de tratamientos anaerobios es el más sencillo de mantener por que la biomasa permanece como una película microbiana adherida y porque el flujo es ascensional, el riesgo de taponamiento es mínimo (Figura 1) (Torres *et al.*, 2003).

Este biofiltro en cuyo interior dispone de un empaque (soporte o lecho), y su aplicación en el tratamiento de las aguas residuales ha demostrado a partir de varios estudios un buen desempeño, comprobando que las aguas residuales industriales de concentración media y alta (≥ 1500 mg DQO/L) que en común tienen la presencia de cantidades elevadas de residuos fácilmente acidificables han respondido de manera adecuada en el uso de este Biofiltro, así como los residuos de lixiviados, los provenientes de los residuos de procesos agroindustriales como elaboración de lácteos, extracción de aceites de palma, de almidón de yuca, destilación de alcohol, de aguas miel y de aguas residuales domésticas (Cárdenas & Ramos, 2009). Así

también, permite el tratamiento de aguas residuales de baja concentración a temperatura ambiente (Garzón, 2004), por lo que se eligió este sistema de tratamiento, estudiando dos empaques como soporte en el reactor.

Para aguas residuales de baja concentración es preferible diseñarlos con base en el tiempo de retención hidráulica; en general, la recirculación puede ser necesaria cuando la DQO del residuo es mayor de 8,000 mg/L. El arranque de un proceso de crecimiento adherido puede ser más lento que el de un proceso de crecimiento suspendido, puede demorar unos seis meses en aguas residuales de baja concentración y de temperatura baja. Sin embargo, el filtro anaerobio es poco sensible a variaciones de la carga hidráulica y a la operación discontinua pues el medio retiene los sólidos y la biomasa formada en él.

Los biofiltros como se ha mencionado constan de un lecho de material poroso que sirve de soporte a una población microbiana la cual se encarga de degradar el contaminante a medida que este pasa a través del lecho. Dependiendo del material utilizado como soporte y del tipo de corriente a tratar, la población puede ser nativa o inoculada. Independientemente del tipo de soporte. La inoculación ayuda a reducir el tiempo de arranque del biofiltro y a maximizar el funcionamiento del sistema (Morgan & Noyola, 1998).

Medios de soporte

En los reactores el agua residual pasa por el lecho filtrante o soporte (arena, grava u otro), los sólidos suspendidos y la materia orgánica son removidos por medio de los procesos físicos de la filtración y cribado así como por la acción biológica (Romero, 1999).

Los tipos de empaques en uso común se puede clasificar convenientemente en dos grupos: medios minerales o "convencionales", y los medios especialmente fabricados, construidos generalmente de materiales plásticos (Winkler, 1999), se sigue realizando estudios con miras de seguir a mejorando el proceso, sustituyendo los materiales de los medios filtrantes (los convencionales y plásticos) por medios fibrosos (Morgan y Noyola, 1998).

a) Soporte minerales

Entre los tipos de medios más utilizados se encuentran la piedra triturada angulosa o redonda (Grava) sin finos, de tamaño entre 4-7 cm (Castaño y Paredes, 2002), el coque metalúrgico, las escorias de altos hornos se ha utilizado con éxito, empaques minerales. También se ha tenido éxito en la utilización de materiales más baratos, como los escombros o ladrillos rotos; sin embargo, tienden a demorarse después de cierto tiempo de manera que el lecho se bloquea con el medio desintegrado (Winkler, 1999).

b) Soportes plásticos

También se pueden usar medios más sofisticados como los anillos sintéticos, las matrices plásticas de flujo cruzado o tubular, que aunque más eficientes resultan ser más costosas (Castaño y Paredes, 2002).

c) Soportes orgánicos

Otras alternativas que han sido estudiadas como medio de soporte, ha sido los no convencionales, entre las que se destacan, la guadua, la cáscara de coco, tejas de barro, el bambú (Castaño y Paredes, 2002). Recientemente se estudió empaques de conchas marinas con resultados buenos (Cárdenas y Ramos, 2009).

Fibra de coco

Se afirma que su flotabilidad extrema y su resistencia a la acción de bacterias y agua salada son únicas. Es, además, una fibra económica. El rendimiento de fibra obtenido varía según el tamaño de los cocos, la madurez, la variedad y el método de preparación, pero para cálculos generales puede considerarse un promedio de 130 Kg de fibra por 1,000 cáscaras. En una cáscara típica hay casi unas tres veces más de fibra corta que de fibra larga (Quintero y González, 2006).

Características de la fibra de coco

- I. Tiene porosidad entre 86-90% (Quintero y González, 2006).
- II. Alta porosidad que le permite absorber ocho veces su peso en agua (López, 2007), según Mora de 7 a 9 veces su propio peso conservando su estructura con todos los poros llenos de aire (Quintero & González, 2006).
- III. Se descompone más lentamente que la turba (López et al, 2007).
- IV. Su pH natural puede variar de: 5.8 - 6.4. (López et al, 2007), y, 5.6 - 6.9 (Quintero y González, 2006).
- V. La posible salinidad desaparece por lavado (López et al, 2007).
- VI. Al tratarse de un producto 100% natural puede presentar variaciones en su presentación (López et al, 2007).
- VII. Composición de Lignina entre 60-70% (Quintero y González, 2006).
- VIII. Conductividad eléctrica: 0.06-2.9 milisiemens.
- IX. La fibra de coco puede resistir temperaturas hasta de 200°C sin pérdidas significativas a sus principales propiedades (Quintero y González, 2006).
- X. Es de fácil manejo y transporte, sin semillas para-

sitarias, ni contaminaciones fito patógenas, ligera con capacidad de absorción (López et al., 2007).

En la investigación de (Castaño y Paredes, 2002) y el de (Torres et al., 2003), se mencionan algunas consideraciones del uso de empaques (soporte o lecho) para reactores biológicos, el cual deben facilitar un flujo uniforme en el reactor, actuar como barrera física evitando así que los sólidos sean arrastrados, ser biológico y químicamente inerte, ser liviano para evitar estructuras complejas, actuar como dispositivo para separar los sólidos de los gases, soportar su propio peso, porosidad elevada, además, de precios bajos, por lo tanto; de acuerdo a estas características principales del medio, el uso del empaque orgánico (fibra de coco) en el primer reactor cumple con lo señalado, por lo que su uso queda justificado en el filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA o biofiltro) cuyo interior dispone dicho empaque. Además, de la composición física y química de la fibra de coco, dada por diversas células que se encuentran aglomeradas por la mela intracelular, compuesta principalmente por hemicelulosa, peptina y por lignina (Castaño y Paredes, 2002), siendo resistente a la acción bacteriana (Quintero & González, 2006) y se descompone más lento que la turba (López et al., 2007).

METODOLOGÍA

Este estudio es de carácter experimental, el cual se evalúa la DQO para conocer la biodegradabilidad de la materia orgánica tratada en dos filtros anaerobios tipo FAFA, con empaques diferentes.

Se construyeron dos filtros a partir de los parámetros de diseño más comunes de filtros anaerobio de flujo ascendente. El material usado en la construcción de los biofiltros fue a base de acrílico, con dimensiones de 6 cm por 6 cm en su base y una altura total de 1.20 m, en la parte superior se construyó un cono para la mejor conducción y recolección del biogás producido, el cual, se conduce a un sistema de purificación de biogás (figura 2). Para esta investigación se consideraron dos TRH de 48 y 24 hrs para ambos biofiltros y así conocer la remoción de la DQO de ambos empaques en diferentes TRH. El cambio de TRH dependió de la estabilidad de la materia orgánica en uno de los dos biofiltros.

El biofiltro con empaque de fibra de coco

El biofiltro tiene tres secciones, un falso fondo, zona empacada y zona superficial con un volumen útil de 3.024 L. Este primer reactor usó un empaque de fibras de coco, denominados también fibras bonotes y tienen

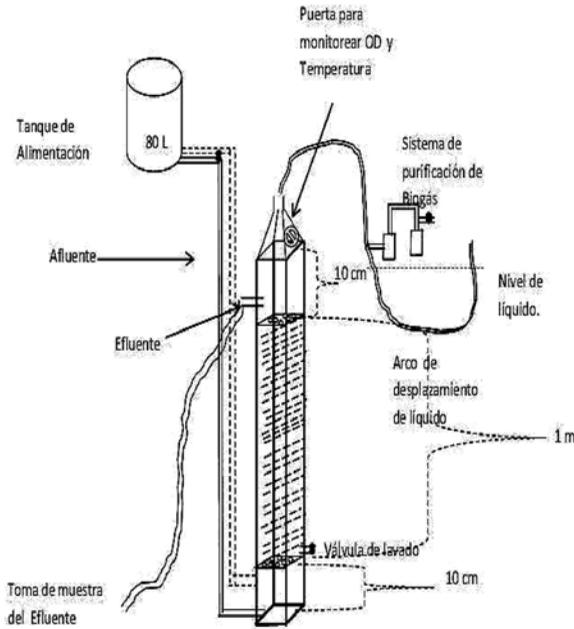


FIGURA 2

Diseño del biofiltro anaerobio de Flujo Ascendente (FAFA).

longitud promedio de 20.3 cm y 0.59 mm de diámetro. Por tratarse de un producto natural presentó un pH ácido y alto contenido de sales, por lo que, la fibra fue sometida a un pretratamiento (lavado y secado) antes de su uso para disminuir el pH natural y eliminar las sales presentes en dicha fibra (Álvarez, 2011).

Los criterios de un empaque, así como las propiedades físicas y químicas de la fibra de coco fue la mejor selección para su uso como empaque en el biobiltro, el acomodo de la fibra en la zona empacada se hizo a presión quedando en forma de nidos circulares (Tabla 1).

El biofiltro con empaque de grava

El biofiltro con empaque de grava tiene tres secciones, un falso fondo, zona empacada y zona superficial con un volumen útil de 1.96 L. Está constituido por un empaque a base de gravas, puntiagudas que van de los 0.5 mm a 4 cm de diámetro, la selección del tamaño se hizo de acuerdo a las investigaciones, en donde se recomienda, piedras trituradas angulosa o redonda (grava) sin finos, de tamaño entre 4 y 7 cm (Castaño & Paredes, 2002). Sin embargo, hay investigaciones donde se han usado piedras del tamaño de 4 a 7 mm (Romero, 2004), colocados al azar característico

	Medidas	Capacidad en Litros (L)	Fibra contenida en gramos (gr)
Reactor de fibra de coco	Falso Fondo	Bases 36 cm ² Altura 10cm	360 cm ³ a L = 0.36 L 0 gr
	Zona Empacada	Altura 1 m Base 36 cm ²	3600 cm ³ a L= 3.6 L – 0.36 L de empaque= 3.24 L 186.396 gr
	Zona Superficial	Altura 5 cm Base 36 cm ²	180 cm ³ a L = 0.18 L 0 gr
			Total= 3.78 L menos inóculo 3.024 L 186.396 gr
Inóculo del Biofiltro	0.756 L		
T tiempo de retención Hidráulica (TRH)	48hrs	24hrs	
Gasto de la zona de Salida	78.75mL/ H	157.5mL/ H	
Porosidad de empaque	86-90%		

TABLA 1

Descripción del biofiltro con empaque de fibra de coco.

	Medidas	Capacidad en Litros(L)	Gramos contenidos (gr)	
Reactor con empaque de grava	Falso Fondo	Bases 36 cm ² Altura 10cm	360 cm ³ a L=0.36L	0 gr
	Zona Empacada	Altura 1 m Base 36 cm ²	3600cm ³ a L= 3.6L- 169 L empaque=191 L	2876.4 gr o 28764 Kg
	Zona Superficial	Altura 5cm Base 36 cm ²	0.18L	0 gr
			Tota= 2.45 L menos inooculo 196 L	2.8764 kg
Inóculo del Biofiltro	0.48816L			
Tiempo de retención Hidráulica (TRH)	48hrs		24hrs	
Gasto de la zona de Salida	5085mL/ H		1017mL/ H	
Porosidad	10%			

TABLA 2

Descripción del biofiltro con empaque de grava.

de los filtros anaerobios (Romero, 2004), el empaque ocupa la misma altura y diámetro que el primer filtro (Tabla 2).

Obtención de inóculo

El inóculo fue de una combinación de gránulos provenientes de un reactor UASB (Álvarez, 2011) ubicado en la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas con coordenadas 16°46'34.10"N y 93° 7'14.14"O y del sustrato recolectado del digestor en la planta de tratamiento "Paso-Limón" con coordenadas 16°45'41.59" N y 93°4'57.58" O de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, debido a la poca actividad microbiana, se dejó 8 días en un recipiente de 5 L sellado, en donde se obtuvo un inóculo con mucha actividad microbiana.

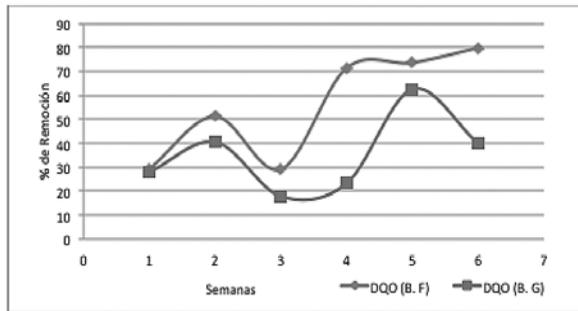
Inoculación de los biofiltros

Se hizo de acuerdo a la capacidad útil de cada reactor, inoculándose el 20%. El inóculo se mantuvo en reposo

durante una semana en condiciones anaeróbicas, así mismo, el agua residual que inundaba los empaques hasta concluir la semana de reposo que permitió la adaptabilidad de las bacterias a medida que se acostumbraban a degradar la materia orgánica presente en el agua residual, el cual, fue remplazado lentamente para comenzar con las corridas.

Parámetros de lectura y método aplicable

La metodología usada para el análisis de la DQO fue según el método de reflujos cerrados propuesto en la NMX-AA-030-SCFI-2001. Los parámetros de control como la temperatura, pH, OD, Alcalinidad alfa, Relación A/M se realizó según los métodos científicos propuestos.



DQO (B. F)= DQO removido en el Biofiltro con empaque de fibra.
DQO (B. G)= DQO removido en el Biofiltro con empaque de grava.

FIGURA 3

Porcentaje de la remoción de la DQO con TRH de 48 hrs en ambos Biofiltros.

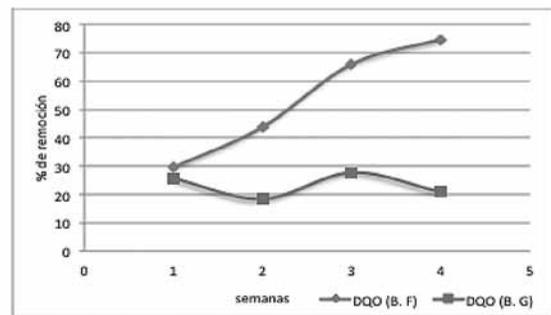
RESULTADOS

Después del tiempo de reposo, en el cual, los empaques se encontraban inundados de agua residual para aclimatar las bacterias, se inició el arranque del sistema (Cárdenas y Ramos, 2009 y Torres et al., 2003), siendo operado con TRH de 48 horas, durante seis semanas, obteniendo los siguientes porcentajes de remoción de DQO (figura 3).

Esto se debe también a que las bacterias se habían logrado adaptar con cargas menores y al tener una carga triplicada estas no se dieron a basto y el porcentaje de remoción cayó. Las últimas tres semanas tuvieron una concentración alta y parecida, por lo que, las bacterias que se desarrollaron en la tercera semana por tener la primera carga orgánica alta hizo que proliferara el crecimiento bacteriano, obteniendo para las últimas semanas remociones del 70 al 80% de la DQO.

DQO (B.G) esta gráfica muestra el comportamiento del biofiltro con empaque de grava, el cual fue inestable y con poca remoción. En las semanas 3 y 4 entran concentraciones altas lo que hace que las bacterias empiecen adaptarse y a proliferar, los resultados se ven durante la semana 5 en donde existió una remoción del 62.5%, sin embargo, este porcentaje de remoción cae en la semana 6 aun teniendo las mismas concentraciones altas lo que nos sugiere que el empaque ha sufrido colmataciones o taponamientos y requiere de un retrolavado para que pueda continuar, representa los resultados obtenidos de la remoción de la DQO en TRH de 24 hrs (figura 4).

La gráfica DQO (B.G) mantuvo un porcentaje de remoción de 19 al 27% por lo que ha sido muy bajo comparado con la gráfica DQO (B.F) que removió más materia orgánica desde la primera semana quedando con un 75% en la semana 4.



DQO (B. F)=DQO removida en el biofiltro con empaque de fibra.
DQO (B.G)=DQO removida en el biofiltro con empaque de grava.

FIGURA 4

Porcentaje de la remoción de la DQO con TRH de 24 hrs en ambos biofiltros.

CONCLUSIONES

Todos los parámetros de control jugaron un papel importante en cuanto a la remoción de la DQO, debido a que favoreció la adaptación de los microorganismos, permitiendo así, mayor remoción de la DQO. En el TRH de 48 hrs se obtuvo una remoción en el biofiltro de empaque de fibra de coco del 70% al 80% en las últimas 3 semanas de monitoreo con TRH de 48 hrs y en el TRH de 24 hrs removió el 75% mientras que el biofiltro de empaque de grava removió el 23% en TRH de 48 hrs y en TRH de 24 hrs el 27%. Por lo que, el uso de fibra de coco como medio filtrante, es viable técnica y económicamente. Las propiedades físicas del empaque orgánico como su porosidad, permitió una fluidez rápida y por ser un material fibroso atrapó mejor la materia soluble y puede tratar más litros que un empaque de grava. Estas condiciones naturales hacen del empaque orgánico apto para su uso en la eliminación de la materia orgánica, además, de ser una alternativa que puede sustituir al empaque tradicional o en su caso una combinación de ambos para el tratamiento del agua residual en los biofiltros anaerobios. La fibra de coco se descompone más lento que la turba, resistente a la acción bacteriana siendo un empaque a base de turba y tiene una tiempo de vida útil de 5 años, por lo que el empaque de fibra de coco esta alrededor del mismo tiempo de vida útil.

Recomendaciones generales

- Controlar la carga orgánica para que no exista picos altos de concentración (se propone un tanque estabilizador para tener la misma concentración entrante al sistema durante todo el periodo de tratamiento).
- En el caso de presentar pH iniciales altos o bajos donde no se desarrolla adecuadamente las

bacterias, es necesario acondicionar el pH del agua residual, dejándolo entre (6.5 y 7.6) para acelerar el proceso.

- No se recomienda inocular en el tanque de alimentación debido a que puede obstruir taponeando los conductos de alimentación.
- La eficiencia se puede mejorar con un inóculo adecuado, además, de regular las concentraciones del afluente y las condiciones óptimas para la estabilidad anaerobia antes de que entre al sistema, con el fin de acelerar y tener un mejor tratamiento.
- Se recomienda usar una bomba peristáltica para tener el mismo volumen de caudal.

Recomendaciones específicas para el biofiltro con empaque de fibra de coco

- Inocular antes de introducir el empaque o bien si se cuenta con un falso fondo en la parte inferior y con compuerta; inocular en esta parte, debido a que el inóculo no descenderá si se inocula en la parte superior del biofiltro esto se debe por la capacidad de retención de la fibra.
- Debido a su alta porosidad se requiere de mayor inóculo.
- Se recomienda menos TRH que un biofiltro de empaque de grava.
- El empaque por ser de origen natural debe tener una limpieza o pretratamiento antes de su uso,

debido, a que presenta un pH ácido que perjudicaría al tratamiento, sales que pueden inhibir el tratamiento. La limpieza debe ser con agua limpia que elimina fácilmente las sales y el pH natural de la fibra.

- Se prefiere fibras secas (presenta un pH casi neutro).

Recomendaciones específicas para el biofiltro con empaque de grava

- Necesita un inóculo con mucha actividad microbiana.
- La población microbiana requiere más días para adaptarse al empaque de grava que en el empaque de fibra de coco.
- Necesita un afluente constante.
- Requiere de más TRH que el biofiltro de empaque de fibra de coco.
- Con cargas menores de 500 mg/L de DQO se recomienda empaques de 2 m de altura como mínimo.
- Si se utiliza piedras del tamaño de 4 a 7 mm pueden colocarse al azar, si son más grandes es importante seguir un criterio, se recomienda un diseño de flujo dual.
- En caso de disminuir la eficiencia de remoción se recomienda un retro lavado del empaque.

LITERATURA CITADA

- ÁLVAREZ V. J., 2011. *Efecto del tiempo de retención hidráulica en la remoción de materia orgánica en reactores UASB en serie*. Tesis Profesional de Licenciatura. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Ambiental. Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas. Chiapas, México. pp. 23-45.
- CÁRDENAS C., G. & R. RAMOS, 2009. Evaluación de la eficiencia de reactores de lecho fijo utilizando aguas mieles residuales de trapiches artesanales. *Revista Ciencia e Ingeniería Neogranadina, Nueva Granada, Colombia: 19 (1): 25-38.*
- CASTAÑO R., J. & D. PAREDES C., 2002. *Uso de aros de guadua en filtro anaeróbios para el tratamiento de aguas residuales*. Seminario-Taller Avances en la investigación sobre guadua. Pereira, Colombia, pp. 37-45.
- COLÍN C., A., A. ROMERO M., S. SÁNCHEZ E., Y L. ORTIZ H., 2009. *Tratamiento de aguas residuales por un sistema piloto de humedales artificiales; Evaluación de la remoción de la carga orgánica*, Revista Internacional de Contaminación Ambiental México. 25 (3): 156-157.

- GARZÓN Z., A., 2004.** *La biofiltración sobre cama de turba, un tratamiento eficiente para diferentes tipos de agua residual industrial*, memorias del XXIX Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. San Juan, Puerto Rico. México. pp. 62-79.
- GIRALDO G., E., 1993.** Tratamiento anaerobio de las aguas residuales domésticas. Limitaciones y potencialidades. *Revista de Ingeniería Universidad de los Andes, Ecuador.* 4 (2): 1-12.
- LÓPEZ S., L., A. VERDUGO F., M. PÉREZ G., S. PACHECO B., R. SANTANA G., Y J. NÚÑEZ M., 2007.** *Máquina trituradora pulverizadora de fibra de coco.* 8° Congreso Iberoamericano de Ingeniería Mecánica. Colima, México. pp. 56-68.
- METCALF & EDDY, 1996.** *Ingeniería de aguas residuales; tratamiento, vertido y reutilización*, Tomo 1, McGraw-Hill. México. D.F. pp. 133-145.
- MORGAN S., J. Y A. NOYOLA R., 1998.** *Aplicabilidad de la Digestión Anaerobia para el Tratamiento de Aguas Residuales Municipales*, México D.F. pp.07-21.
- NMX-AA-030-SCFI-2001.** *Análisis de agua: Determinación de la demanda química de oxígeno en aguas naturales, residuales y residuales tratadas.*
- QUINTERO G., S. Y L. GONZÁLEZ S., 2006.** Uso de la fibra de estopa de coco para mejorar las propiedades mecánicas del concreto. *Revista ingeniería y desarrollo, Colombia* 1 (20): 32-33.
- ROMERO R., J., 1999.** *Tratamiento de aguas residuales por lagunas de estabilización*, Escuela Colombiana de ingeniería. Alfa omega, Colombia. pp. 129-142.
- ROMERO R., J., 2004.** *Principio del tratamiento biológico, Tratamiento de aguas residuales (Teoría y principios de diseño).* Escuela Colombiana de Ingeniería Ambiental, Bogotá, Colombia. pp. 204-238.
- TORRES P., J. RODRÍGUEZ Y E. URIBE, 2003.** Tratamiento de aguas residuales del proceso de extracción de almidón de yuca en filtro anaerobio: Influencia del medio de soporte. *Revista Scientia et Technica, Colombia* 23: 75-80.
- WINKLER M., 1999.** *Tratamiento biológico de aguas de desecho.* Limusa, México, D.F., México. pp. 192-193.