

INFORME FINAL PROYECTO RJE.01.02/04/2012/ TC1125.4

**“MANTENIMIENTO Y SEGUIMIENTO DE LA VITRINA TECNOLÓGICA BIOTROP
EN LA ESCUELA SECUNDARIA No 2 DE CUERNAVACA (Segunda etapa)”**

Jefe de Proyecto

Dr. Marco A. Garzón Zúñiga

Participantes

Dr. Edsón B. Estrada Arriaga
Dra. Gabriela Mantilla Morales
Dra. Gabriela E. Moeller Chávez

Colaboradores

M. en I. Liliana García Sánchez

IMTA - Diciembre 2012

RESUMEN EJECUTIVO

“MANTENIMIENTO Y SEGUIMIENTO DE LA VITRINA TECNOLÓGICA BIOTROP EN LA ESCUELA SECUNDARIA No 2 DE CUERNAVACA (Segunda etapa)”

Proyecto: RJE.01.02/04/2012/ TC1125.4

Durante una visita realizada a la vitrina tecnológica en la escuela secundaria Francisco González Bocanegra, el 24 de abril de 2009, los representantes del IMTA y del CRIQ constataron que hacia falta arreglar ciertos elementos del sistema (nivelar la superficie del biofiltro, el letrero explicativo, las áreas verdes circundantes, etc.). A partir de un intercambio entre el Director del IMTA, Dr. Polioptro F. Martínez Austria, y el Ing. Agr. Laurent Côté, Vicepresidente de desarrollo tecnológico del CRIQ, se convino celebrar un convenio de colaboración el cual fue firmado en febrero de 2010 (No referencia 185) para realizar trabajos de mantenimiento en la vitrina tecnológica BIOTROP y para instalar un sistema de reuso del agua residual tratada, con el fin de mantener el sistema funcionando en buenas condiciones para servir como referente durante el proceso de búsqueda de una empresa licenciataria para la comercialización de dicha tecnología.

El objetivo general del proyecto (2010-2012) es el de realizar actividades de mantenimiento correctivo, mantenimiento continuo, instalación de un sistema de reúso en riego y continuar el seguimiento de la calidad del agua tratada del biofiltro de la vitrina tecnológica BIOTROP.

Los resultados alcanzados son los siguientes: **1.-** Con el sistema de reúso del agua tratada para riego de áreas verdes de la escuela secundaria, se tiene descarga cero del sistema. **2.-** Se realizaron muestreos y análisis de muestras para dar seguimiento a la eficiencia del sistema de tratamiento encontrándose que el sistema cumple con la NOM-001-SEMARNAT-1996. Siendo la calidad del efluente con la que se hace el riego de jardines del último muestreo el siguiente: $DBO_5 = <0.55 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$; $G \text{ y } A < 2.7 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$; $SST = 7 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$; $Norg = 3.04 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$; $PT = 3.8 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$; $CT = 1.1E+03 \text{ NMP } 100 \text{ mL}^{-1}$. **3.-** Se realizaron las siguientes actividades de operación del biofiltro: **a)** servicio de limpieza de sólidos atrapados en rejilla, **b)** suministro y colocación de pastillas de hipoclorito de calcio, **c)** servicio de limpieza de cisterna de almacenamiento de agua tratada. **4.-** Se realizaron las siguientes actividades de mantenimiento de equipos: **a)** servicio de prueba y ajuste de aspersores de riego automático, **b)** prueba de operación de equipos electromecánicos de sistema de tratamiento, **c)** servicio de limpieza de filtros de aspersores. **4.-** Se realizaron las siguientes actividades de jardinería: **a)** Servicio de poda de área verde, **b)** servicio de barrido de áreas grises y camino de tezontle, **c)** servicio de poda de arbustos ubicados dentro del área verde del biofiltro.

Fue publicado un artículo para la difusión de la tecnología desarrollada intitulado “La biofiltración sobre materiales orgánicos, nueva tecnología sustentable para tratar agua residual en pequeñas comunidades e industrias”. La publicación fue realizada en la revista Tecnología y Ciencia del Agua.

INDICE

ANTECEDENTES	1
OBJETIVO	1
METODOLOGÍA	2
Actividades de operación y mantenimiento	2
Seguimiento del desempeño de la vitrina tecnológica	3
Difusión del desarrollo tecnológico	3
Seguimiento al convenio de colaboración con el IEBEM	3
RESULTADOS	4
Actividades de operación y mantenimiento	4
Recambio del medio filtrante del sistema BIOTROP	4
Actividades de operación del biofiltro	5
Servicio de limpieza de sólidos atrapados en rejilla de afluente de fosa séptica	5
Suministro y colocación de pastillas de Hipoclorito de calcio, en tubo clorador de cisterna de agua tratada	6
Servicio de limpieza de cisterna de almacenamiento de agua tratada	6
Actividades de mantenimiento de equipos	7
Servicio de prueba y ajuste de aspersores de riego automático	7
Prueba de operación de equipos electromecánicos de sistema de tratamiento	8
Servicio de limpieza de filtros de aspersores:	9
Actividades de jardinería	9
Servicio de poda de área verde, con podadora y/o desbrozador	9
Servicio de barrido de áreas grises y camino de tezontle	9
Servicio de poda de arbustos ubicados dentro del área verde del biofiltro	9
Seguimiento del desempeño de la vitrina tecnológica	11
Difusión del desarrollo tecnológico	12
Seguimiento al convenio de colaboración con el IEBEM	22
CONCLUSIONES	23
REFERENCIAS	24

ANTECEDENTES

Durante una visita realizada a la vitrina tecnológica en la escuela secundaria Francisco González Bocanegra, el 24 de abril de 2009, los representantes del IMTA y del CRIQ constataron que hacia falta arreglar ciertos elementos del sistema (nivelar la superficie del biofiltro, el letrero explicativo, las áreas verdes circundantes, etc.). A partir de un intercambio entre el Director del IMTA, Dr. Polioptro F. Martínez Austria, y el Ing. Agr. Laurent Côté, Vicepresidente de desarrollo tecnológico del CRIQ, se convino celebrar un convenio de colaboración el cual fue firmado en febrero de 2010 (No referencia 185) para realizar trabajos de mantenimiento en la vitrina tecnológica BIOTROP y para instalar un sistema de reuso del agua residual tratada, con el fin de mantener el sistema funcionando en buenas condiciones para servir como referente durante el proceso de búsqueda de una empresa licenciataria para la comercialización de dicha tecnología.

Durante el 2011 se logró obtener descarga cero al implementar el sistema de reuso del agua tratada para riego de áreas verdes de la escuela secundaria. Se introdujeron 12 m³ de material filtrante (MF) al biofiltro, aproximadamente un 10% del volumen total. Se reniveló el sistema de alimentación al biofiltro. Se llevo a cabo un programa de limpieza y mantenimiento de jardines regados con el agua residual tratada.

También se realizaron las siguientes actividades de mantenimiento, tales como: verificación de funcionamiento y limpieza del sistema de control eléctrico (bombeo), pintura del sistema de tratamiento e instalación de logotipos del IMTA CRIQ y marca BIOTROP en el biofiltro. Se redactó un artículo científico sobre el funcionamiento y eficiencia de la vitrina tecnológica intitulado “Treatment of wastewater from a school in a decentralized filtration system by percolation over organic parking media”, éste artículo fue aceptado y publicado en la revista Water Science & Technology, doi: 10.2166/wst.2011.425.

OBJETIVO

El objetivo general del proyecto (2010-2012) es el de realizar actividades de mantenimiento correctivo, mantenimiento continuo, instalación de un sistema de reúso en riego y continuar el seguimiento de la calidad del agua tratada del biofiltro de la vitrina tecnológica BIOTROP.

Los objetivos particulares de esta etapa son:

- 1.- Realizar actividades de recambio de medio filtrante del sistema BIOTROP.
- 2.- Realizar actividades de operación y mantenimiento continuo del sistema BIOTROP y del área verde circundante.
- 3.- Dar seguimiento al convenio propuesto al IEBEM para hacerse cargo del mantenimiento del sistema de tratamiento de la escuela secundaria No. 2 de Cuernavaca.
- 4.- Realizar actividades de seguimiento de la eficiencia y de promoción de la vitrina tecnológica BIOTROP.

METODOLOGÍA

A continuación se presentan y describen las actividades que se realizaron durante esta etapa del proyecto en el 2012.

Actividades de operación y mantenimiento

Se contrataron los siguientes servicios con una empresa externa:

1. Actividades de operación del biofiltro:
 - a. Servicio de limpieza de sólidos atrapados en rejilla de afluente de fosa séptica;
 - b. Suministro y colocación de pastillas de Hipoclorito de calcio, en tubo clorador de cisterna de agua tratada;
 - c. Servicio de limpieza de cisterna de almacenamiento de agua tratada, incluye: vaciado de cisterna con bomba sumergible tipo inatascable retiro de sedimentos en piso, cepillado de muros y pisos.
2. Actividades de mantenimiento de equipos:
 - a. Servicio de prueba y ajuste de aspersores de riego automático; incluye limpieza de vegetación cercana al aspersor, limpieza de boquillas y pruebas de operación;
 - b. Prueba de operación de equipos electromecánicos de sistema de tratamiento, incluye: lubricación de soplador, medición y registro en bitácora de voltajes y amperajes de bomba de alimentación, bomba de retorno, bomba de riego y soplador;
 - c. Servicio de limpieza de filtros de aspersores, incluye: desmontaje de cuerpo de aspersor, retiro y enjuague de filtro en agua, reinstalación del filtro y cuerpo de aspersor; ajustes de coberturas y pruebas de operación.
3. Actividades de jardinería:
 - a. Servicio de poda de área verde, con podadora y/o desbrozador; incluye la recolección de basura y acarreo a área de composteo dentro del predio de la secundaria;
 - b. Servicio de barrido de áreas grises y camino de tezontle; incluye la recolección de basura y el acarreo de la misma al área de composteo dentro del predio de la secundaria;
 - c. Servicio de poda de arbustos ubicados dentro del área verde del biofiltro; incluye la recolección de basura y el acarreo de la misma al área de composteo dentro del predio de la secundaria.

Seguimiento del desempeño de la vitrina tecnológica

Se realizó muestreo de los diferentes puntos del sistema de tratamiento que incluyen: 1.- Influyente, 2.- Salida de fosa séptica, 3.- Salida de Sistema de biofiltración y 4.- Agua de reuso. Las muestras fueron enviadas a un laboratorio acreditado para el análisis de los siguientes parámetros: DBO₅, DQO, N-NH₄⁺, N-(N-NO₂⁻ + N-NO₃⁻); Norg, NTK; NT, PT, G y A, CF, SST.

Difusión del desarrollo tecnológico

Se publicó el artículo “La Biofiltración sobre materiales orgánicos, nueva tecnología sustentable para tratar agua residual en pequeñas comunidades e industrias”.

Seguimiento al convenio de colaboración con el IEBEM

No se ha tenido respuesta de parte del jurídico del IEBEM en donde se encuentra el convenio de colaboración propuesto por el IMTA al IEBEM para recibir y encargarse de la operación del sistema de tratamiento de la escuela secundaria.

RESULTADOS

Actividades de operación y mantenimiento

Por medio de órdenes de servicio se solicitaron las actividades de operación y mantenimiento en la vitrina tecnológica BIOTROP de la escuela secundaria No 2 de Cuernavaca ([figura 1](#)) al Ing. Florencio Flores. Las actividades fueron realizadas según el calendario de actividades estipulado con el Ing. Florencio Flores.



[Figura 1](#). Planta demostrativa BIOTROP

Las actividades se detallan a continuación:

Recambio del medio filtrante del sistema BIOTROP

La actividad de recambio del medio filtrante del sistema no se realizó porque no se considero necesario debido a que el biofiltro con un tiempo de operación de 5 años 9 meses sigue entregando un efluente que cumple con la normatividad vigente. Se realizó un recubrimiento de la red de tuberías de la alimentación del biofiltro ([figura 2](#)) con el mismo material orgánico existente dentro del biofiltro.



Figura 2. Recubrimiento de la red de tuberías de la alimentación del biofiltro

Actividades de operación del biofiltro:

Servicio de limpieza de sólidos atrapados en rejilla de afluente de fosa séptica. En la figura 3 se observa como los sólidos son retenidos en la rejilla, por lo tanto, es necesario que se realice una limpieza regular de esta unidad (figura 4).



Figura 3. Rejilla para cribado de sólido



Figura 4. Limpieza de rejilla

Suministro y colocación de pastillas de Hipoclorito de calcio, en tubo clorador de cisterna de agua tratada. La adición de pastillas de hipoclorito de calcio se realizó de forma periódica para la desinfección de agua residual tratada (figura 5).



Figura 5. Adición de pastillas de cloro para desinfección en el tanque de almacenamiento de agua residual tratada

Servicio de limpieza de cisterna de almacenamiento de agua tratada: Este servicio incluyó: vaciado de cisterna con bomba sumergible tipo inatascable retiro de sedimentos en piso, cepillado de muros y pisos.

Actividades de mantenimiento de equipos:

Servicio de prueba y ajuste de aspersores de riego automático: Se realizó la limpieza de vegetación cercana al aspersor, limpieza de boquillas y se realizaron pruebas de operación (figura 6).



Figura 6. Pruebas de operación de sistema de riego

En la figura 7 se observan diferentes fotografías del reuso del agua tratada para el riego de áreas verdes.



Figura 7. Sistema de reúso de agua tratada en riego de áreas verdes

Prueba de operación de equipos electromecánicos de sistema de tratamiento: Este servicio incluyó: lubricación de soplador, medición y registro en bitácora de voltajes y amperajes de bomba de alimentación, bomba de retorno, bomba de riego y soplador (figura 8).



Figura 8. Sistemas eléctricos y de control después de mantenimiento preventivo

Servicio de limpieza de filtros de aspersores: Se realizó el desmontaje de cuerpo de aspersor, retiro y enjuague de filtro en agua, reinstalación del filtro y cuerpo de aspersor; ajustes de coberturas y se llevaron a cabo pruebas de operación.

Actividades de jardinería:

Servicio de poda de área verde, con podadora y/o desbrozador: En la [figura 9](#) se observa la poda de áreas verdes, también se llevó a cabo la recolección de basura y acarreo a área de composteo dentro del predio de la secundaria.

Servicio de barrido de áreas grises y camino de tezontle: Incluyó la recolección de basura y el acarreo de la misma al área de composteo dentro del predio de la secundaria ([figura 10](#)).

Servicio de poda de arbustos ubicados dentro del área verde del biofiltro: Este servicio incluyó la recolección de basura y el acarreo de la misma al área de composteo dentro del predio de la secundaria. En la [figura 11](#) se observa una fotografía tomada durante los trabajos de poda y barrido de áreas verdes. También se realizaron trabajos de limpieza de maleza en el biofiltro [figura 12](#).



Figura 9. Poda de áreas verdes



Figura 10. Barrido de áreas grises



Figura 11. Poda y barrido de áreas verdes



Figura 12. Limpieza de maleza en biofiltro

Seguimiento del desempeño de la vitrina tecnológica

Se realizó el muestreo de los diferentes puntos del sistema de tratamiento que incluyen: 1.- Influyente, 2.- Salida de fosa séptica, 3.- Salida de Sistema de biofiltración y 4.- Agua de reuso. Las muestras fueron enviadas a un laboratorio acreditado para su análisis. Los resultados se pueden observar en la [tabla 1](#). Las concentraciones en el efluente del sistema de la vitrina tecnológica, que se presentan a continuación, cumplen con la normatividad mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996.

Tabla 1. Eficiencia de remoción del biofiltro BIOTROP de la escuela secundaria No. 2 de Cuernavaca

Parámetro	Agua cruda	Fosa séptica	Biofiltro	Sist. Riego	Eficiencia (%)
DQO (mg L ⁻¹)	284	145	33	24	91.5
DBO (mg L ⁻¹)	77	43	<0.55	<0.55	99.6
SST (mg L ⁻¹)	44	34	9	7	84.1
SSV (mg L ⁻¹)	32	29	5	3	90.6
N-org (mg L ⁻¹)	13.7	5.6	<1.3	3.0	78.1
N-NH ₄ ⁺ (mg L ⁻¹)	66.2	63.4	<0.6	0.9	98.6
NTK (mg L ⁻¹)	79.9	69.0	<1.9	3.9	95.1
N(NO ₃ ⁻ +NO ₂ ⁻) (mg L ⁻¹)	0.198	<0.118	62.3	69.4	
PT (mg L ⁻¹)	5.54	4.95	3.93	3.78	31.8
G Y A (mg L ⁻¹)	24.7	5.0	<2.7	<2.7	89.5
SAAM (mg L ⁻¹)	0.139	0.189	<0.129	<0.129	
CT (NMP 100 mL ⁻¹)	4.9E+06	1.4E+07	4.6E+03	1.1E+03	3 U log
pH	8.4	8.1	6.1	5.8	31.0
T (°C)	18.6	18.4	18.5	18.6	
Conductividad (µS cm ⁻¹)	906	843	725	704	22.3
Turbiedad (NTU)	28	24	3	2	92.9

Difusión del desarrollo tecnológico

En marzo del 2012 fue aceptada para su publicación la nota técnica “La biofiltración sobre materiales orgánicos, nueva tecnología sustentable para tratar agua residual en pequeñas comunidades e industrias” (figura 13) en la revista Tecnología y Ciencia del Agua. Fue publicada en el volumen III, número 3, julio-septiembre de 2012, pp 153-161. Los autores son: Garzón-Zúñiga M. A., Buelna G. y Moeller-Chávez G. El objetivo de este trabajo fue presentar los resultados de las principales realizaciones a escala real de biofiltración sobre lecho orgánico y su impacto en los sectores urbano, agropecuario y agroalimentario en Canadá y México, uno de los casos presentados en esta publicación fue la del tratamiento de aguas residuales sanitarias en clima subtropical.

Así mismo se realizó junto con editorial del IMTA un video promocional de la tecnología BIOTROP^{MR} que corresponde al sistema de la vitrina tecnológica de la escuela secundaria No 2 de Cuernavaca. El video puede ser visto en la liga www.imta.gob.mx.

Nota técnica

LA BIOFILTRACIÓN SOBRE MATERIALES
ORGÁNICOS, NUEVA TECNOLOGÍA SUSTENTABLE
PARA TRATAR AGUA RESIDUAL EN PEQUEÑAS
COMUNIDADES E INDUSTRIAS

• Marco A. Garzón-Zúñiga •
Instituto Mexicano de Tecnología del Agua

• Gerardo Buelna •
Centro de Investigaciones Industriales de Quebec, Canadá

• Gabriela E. Moeller-Chávez •
Instituto Mexicano de Tecnología del Agua

Resumen

La presencia de cantidades excesivas de materia orgánica, nutrientes, metales pesados y sustancias químicas en el agua constituye uno de los más inquietantes problemas a los que están confrontados la mayoría de los países del mundo. Por esta razón, el desarrollo sustentable prioriza el control, la reducción y el tratamiento de las descargas urbanas, agrícolas, agroalimentarias e industriales a los cuerpos de agua. Desafortunadamente, la complejidad de operación y los altos costos de inversión y de mantenimiento asociados con los sistemas convencionales de tratamiento de aguas residuales han limitado la aplicación de éstos en los pequeños municipios, en las zonas rurales, y en la pequeña y mediana industria. El proceso de biofiltración por percolación sobre material filtrante orgánico se ha desarrollado en los últimos años en Canadá, con el fin de resolver la problemática y satisfacer las necesidades de saneamiento de estos importantes sectores socioeconómicos. Este proceso está basado en la capacidad que tienen ciertos medios orgánicos de actuar como resinas naturales, capaces de fijar diferentes sustancias contaminantes mediante mecanismos de adsorción/absorción y de favorecer la implantación de microorganismos capaces de biodegradar los contaminantes retenidos; al ser una tecnología de tipo descentralizada que puede resolver problemas en muchas zonas rurales y semi-urbanas, en México ha cobrado interés recientemente. Ha sido probada a escala de laboratorio para tratamiento de efluentes urbanos e industriales, utilizando materiales orgánicos de la región. Con base en los resultados obtenidos, se instaló un primer sistema a escala real. El objetivo de este trabajo es presentar los resultados de las principales realizaciones a escala real de esta tecnología y su impacto en los sectores urbano (pequeños municipios, zonas rurales), agropecuario (granjas porcinas) y agroalimentario (rastros avícolas) en Canadá y México.

Palabras clave: biofiltración, tratamiento *in situ*, sistema de bajo mantenimiento, agua residual doméstica e industrial.

Introducción

El tratamiento de aguas residuales en regiones aisladas se enfrenta a serias dificultades técnicas y económicas asociadas con la contaminación

difusa, la dispersión geográfica y las condiciones topográficas de los pequeños municipios, asentamientos rurales y agroindustrias. Las tecnologías convencionales, aplicables en varias situaciones, exigen frecuentemente una inversión

Garzón-Zúñiga *et al.*, La biofiltración sobre materiales orgánicos, nueva tecnología sustentable para tratar agua residual en...

considerable, y un personal técnico capacitado para su operación y mantenimiento. Desafortunadamente, la disponibilidad financiera de estas regiones es muy limitada y con frecuencia no existe personal técnico para supervisar los sistemas de tratamiento.

Una solución lógica es la de tratar los efluentes con tecnologías de tipo pasivo que necesitan muy poca intervención técnica. El proceso de biofiltración sobre medio de soporte orgánico representa una de estas soluciones. Las bases de esta tecnología son descritas en Buelna y Belanger (1990), y en Lens *et al.* (1994), quienes reportan las siguientes eficiencias de tratamiento de agua residual municipal en trabajos a escala laboratorio, utilizando como materiales de soporte turba, astillas de madera y corteza de coníferas: $\geq 90\%$ DQO; $\geq 99\%$ DBO₅; $\geq 95\%$ SST; 80% NTK, y $\geq 99\%$ coliformes fecales (CF).

El desarrollo tecnológico del proceso fue iniciado en Canadá por el Centre de Recherche Industrielle du Québec (CRIQ) en 1994, con el fin de desarrollar tecnologías simples, robustas, eficaces y de bajo costo para el tratamiento de las aguas residuales generadas en regiones aisladas. En el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), se vieron las ventajas de esta tecnología y a principios de la década de 2000 se comenzó a explorar su uso para el tratamiento de efluentes industriales, concluyendo que se trataba de una tecnología muy prometedora, ya que se presentaron excelentes eficiencias de remoción en el tratamiento de aguas coloreadas con colorantes Azo, y aguas de la industria petroquímica de compuestos aromáticos clorados (Garzón-Zúñiga, 2004). En 2005, el IMTA y el CRIQ realizaron un proyecto en México para tratar aguas residuales domésticas de regiones tropicales y subtropicales por biofiltración sobre materiales orgánicos endémicos: casahuate, jacaranda, tabachín, bagazo de caña de azúcar y fibra de coco (Garzón-Zúñiga *et al.*, 2007). Estos sistemas a escala de laboratorio presentaron un buen desempeño en la remoción de contaminantes: 98.7% DBO₅; 84%

DQO; 99.99 CF, y 96.93% huevos de helminto (HH) (Garzón-Zúñiga *et al.*, 2008). Con base en estos resultados se instaló un primer sistema a escala real. Una pequeña planta que trata *in situ* las aguas residuales de una escuela secundaria, utilizando una mezcla de jacaranda y tabachín como material orgánico filtrante, en la ciudad de Cuernavaca, Morelos, México, ubicada en una zona donde se carece de drenaje y las aguas residuales se vierten a una barranca.

El objetivo de este trabajo es el de presentar algunos ejemplos de aplicación a escala real de esta nueva tecnología en Canadá y México.

Descripción del proceso de biofiltración sobre materiales orgánicos

El proceso permite tratar simultáneamente efluentes líquidos y gaseosos utilizando medios orgánicos (Buelna *et al.*, 1998). La tecnología se basa en la capacidad que tienen ciertos medios orgánicos de adsorber y absorber diferentes sustancias contaminantes y de favorecer la implantación de microorganismos capaces de biodegradarlas en CO₂, N₂ y H₂O (Bélanger *et al.*, 1987). El medio filtrante está constituido esencialmente de virutas de madera y fibras orgánicas (p.e. de turba de sphaigne). Su formulación (receta) es establecida en función de las características del efluente a tratar y de los objetivos de descarga. El medio orgánico dura aproximadamente cinco años y puede ser reutilizado como mejorador de suelos agrícolas. La figura 1 muestra el principio de funcionamiento del proceso.

Las aguas residuales alimentadas en la superficie del biofiltro percolan a través del medio filtrante, en donde son tratadas mediante cuatro mecanismos naturales que actúan simultáneamente: 1) filtración lenta y pasiva; 2) absorción, adsorción e intercambio iónico; 3) biodegradación, y 4) desinfección. El control de la carga aplicada permite un equilibrio entre el crecimiento y decrecimiento de la biomasa, lo que conduce a una biodegradación pasiva de los contaminantes, sin producción de lodos biológicos. Las aguas residuales tratadas

Garzón-Zúñiga et al., La biofiltración sobre materiales orgánicos, nueva tecnología sustentable para tratar agua residual en...

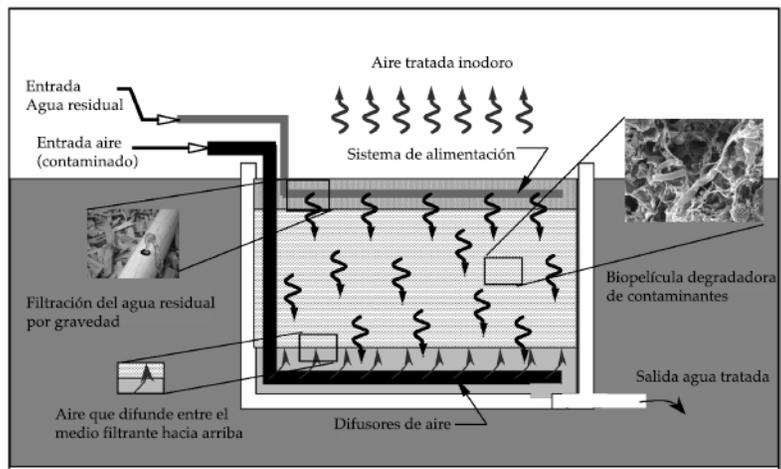


Figura 1 Principio de funcionamiento.

pueden ser reutilizadas o ser descargadas al cuerpo receptor. Los efluentes gaseosos (malos olores) pueden ser tratados simultáneamente, haciéndolos pasar a contracorriente por el biofiltro.

La figura 2 muestra algunas configuraciones posibles del sistema de tratamiento.

El sistema es modular, lo que permite adaptarlo en función de la complejidad del efluente a tratar, de los objetivos de descarga y del incremento de la descarga. En esta figura se observa un sistema constituido por una unidad separación sólido-líquido (fosa séptica, sedimentador, flotador físico-químico), una unidad de biofiltración (biofiltros primarios y secundarios) y una unidad de descarga (infiltración, irrigación).

Resultados

Los casos presentados en este documento son: 1) tratamiento de aguas residuales sanitarias y municipales (Bic, Kipawa); 2) tratamiento del efluente de una industria agroalimentaria (rastros avícola Giannone Inc.); 3) tratamiento

del estiércol de puerco en zonas saturadas en nitrógeno y fósforo (Viaporc Inc.); 4) tratamiento del estiércol de puerco en zonas no saturadas (granja Purporc), y 5) tratamiento de aguas residuales sanitarias en clima subtropical (escuela secundaria en Cuernavaca). Los casos seleccionados operan ininterrumpidamente desde hace cuando menos dos años y medio. La configuración del sistema de tratamiento utilizado en cada caso y las eficiencias obtenidas se presentan en el cuadro 1. Este cuadro revela que la eficiencia global de tratamiento se sitúa entre 90 y 99%, en función de los diferentes parámetros estudiados. Es importante mencionar que estas eficiencias se han mantenido constantes desde el inicio de la operación de los sistemas. En efecto, los mecanismos de tratamiento que intervienen en los biofiltros los protegen contra los efectos de las variaciones de carga y de la temperatura, lo que confiere al sistema una gran estabilidad. Gracias a la simplicidad del proceso de biofiltración sobre lecho orgánico, las intervenciones necesarias para la operación y el mantenimiento son

Garzón-Zúñiga et al., La biofiltración sobre materiales orgánicos, nueva tecnología sustentable para tratar agua residual en...

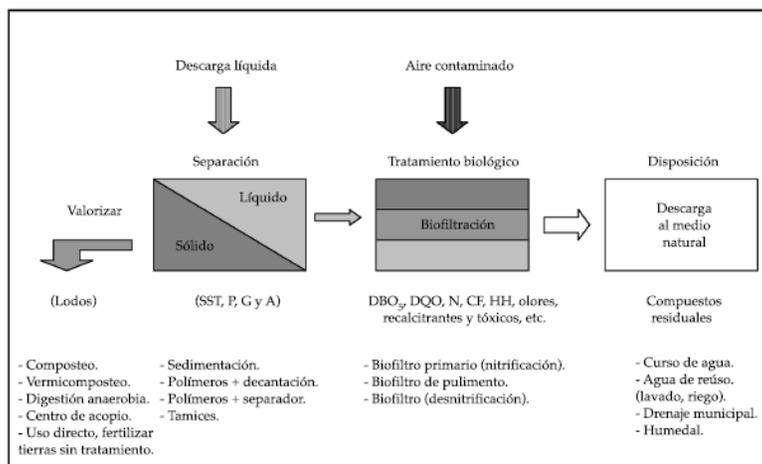


Figura 2. Configuración del sistema de tratamiento.

mínimas (tres horas por semana de personal no especializado).

Tratamiento de aguas residuales sanitarias (Bic) y municipales (Kipawa)

Bic. Este sistema trata 1 m³/d de aguas residuales sanitarias (WC + lavabos) de una fábrica de alimentos balanceados para animales. El sistema está constituido por una fosa séptica convencional de 4 m³ (tratamiento primario) seguida de un biofiltro de 7 m³ (tratamiento secundario). Las aguas tratadas son descargadas a un pozo de infiltración de 30 m². El sistema opera ininterrumpidamente desde el mes de marzo de 1998. Los resultados obtenidos muestran que la eficiencia promedio del sistema es de 96% para la DBO₅, 99% para los SST y superior a 90% para el N-NTK. El agua descargada es límpida e inodora (Buelna et al., 2001).

Kipawa. Este sistema trata 125 m³/d de aguas residuales generadas por un pequeño

municipio de 225 habitantes. El sistema está constituido por una fosa séptica convencional de 150 m³, que asegura el tratamiento primario y que precede a un tanque de regulación hidráulica (TRH = 24 h). Las aguas residuales son dirigidas hacia la unidad de tratamiento secundario, integrada por tres biofiltros de 168 m³ cada uno. El efluente de los biofiltros es descargado directamente al lago Kipawa. El sistema opera ininterrumpidamente desde el mes de enero de 2001. Los resultados obtenidos muestran que el sistema permite descargar al lago en efluente con concentraciones inferiores a 10 mg/l de DBO₅, y de SST, y a 5 mg/l de N-NH₄⁺. El agua descargada es límpida e inodora (Buelna et al., 2001).

Tratamiento del efluente de una industria agroalimentaria (rastro avícola Giannone)

Este sistema trata 450 m³/d de aguas residuales industriales y sanitarias generadas por un rastro avícola. El sistema está constituido por un pretratamiento (separador helicoidal,

Garzón-Zúñiga et al., La biofiltración sobre materiales orgánicos, nueva tecnología sustentable para tratar agua residual en...

Cuadro 1. Configuración del sistema y eficiencias de tratamiento.

Proyecto	Tipo de efluente	Gasto/ configuración	Volumen total de biofiltros (m ³)	Parámetro	Efluente (resultados promedio de varios años)			Objetivo (mg/l)	Inicio de operación
					Bruto (mg/l)	Influyente biofiltro (mg/l)	Efluente biofiltro (mg/l)		
Meunerie Bic	Aguas residuales sanitarias	1 m ³ /d. Fosa séptica. Biofiltro sobre material orgánico. Pozo de infiltración.	7	DBO ₅	150	110	6	< 15	Enero de 1998
				SSF	200	50	2	< 15	
				P	9	9	8	*	
				NTK	110	110	30	*	
				Coliformes	10 ⁶	10 ⁴	10 ²	< 10 ⁴	
Eagle Village First Nation Kipawa	Aguas residuales municipales	125 m ³ /d. Fosa séptica. Biofiltro sobre material orgánico. Descarga a lago.	504	DBO ₅	200	140	5	< 40	Enero de 2001
				SSF	130	60	5	< 7	
				P	3	3	3	1	
				N-NH ₄ ⁺	20	20	3	< 12	
				Coliformes	10 ⁶	10 ⁶	10 ⁴	10 ⁴ **	
Viaparc Inc.	Granja porcina (zona saturada)	17 m ³ /d. Físico-químico. Biofiltro sobre material orgánico. Pozo de infiltración.	1 473	DBO ₅	35 000	14 000	30	< 100	Enero de 2000
				SSF	40 000	500	20	< 100	
				P	1 100	75	20	< 50	
				NTK	5 000	2 000	50	< 200	
				DBO ₅	2 200	700	15	< 30	
Volaille Glanonne Inc.	Rastro avícola	450 m ³ /d. Físico-químico. Biofiltro sobre material orgánico. Descarga al río.	2 250	SSF	1 000	70	5	< 30	Julio de 1999 (agrandado en 2003)
				P	30	2	2	1***	
				NTK	250	230	100	*	
				Coliformes	10 ⁶	10 ⁶	10 ⁴	10 ⁴ ***	
				G & A	300	5	5	< 15	
Escuela secundaria # 2, Cuernavaca	Aguas residuales sanitarias	18 m ³ /d. Fosa séptica. Biofiltro sobre material orgánico sin aireación. Descarga a barranca.	128	DBO ₅	264	101	7	30	Marzo de 2007
				SSF	109	79	5	40	
				P	13	13	12	5***	
				NTK	326	321	23	*	
				Huevos de hehmito	5	1	0	≤ 1	
Coliformes	10 ⁶	10 ⁶	10 ⁴	≤ 10 ⁴ ***					

* Parámetro no normalizado.
* La irrigación se efectúa en función de un Plan Agro-Ambiental de Fertilización (PAA F) y no de un objetivo de descarga.
*** Necesidad de optimizar el pretratamiento.
**** Desinfección, si es necesaria.

Garzón-Zúñiga et al., La biofiltración sobre materiales orgánicos, nueva tecnología sustentable para tratar agua residual en...

trampa de grasas, sedimentador), un tanque de regulación hidráulica de 200 m³, un flotador fisicoquímico de 100 m³, dos biofiltros primarios de 750 m³ cada uno y un biofiltro secundario de 750 m³. El efluente tratado es descargado directamente al río Chicot. El sistema opera ininterrumpidamente desde el mes de julio de 1999. Los resultados obtenidos muestran que la eficiencia promedio del sistema es de 99% para la DBO₅ y los SST; de 98% para las grasas y aceites, y de 85% para el N-NTK. El agua descargada es límpida e inodora (Dubé et al., 2002).

Tratamiento del estiércol de puerco en región saturada en nitrógeno y fósforo (Viaporc)

Viaporc Inc. es una granja porcina situada en una zona saturada en nitrógeno y fósforo a causa de la intensa actividad agrícola y pecuaria. Esta granja produce 4 500 puercos de 100 kg por año y genera 12 m³/d de estiércol. El sistema de tratamiento está constituido por un tanque de regulación hidráulica, una unidad de flotación fisicoquímica de 15 m³/h, dos biofiltros primarios de 491 m³ cada uno, un biofiltro secundario de 491 m³ y un pozo de infiltración de 25 × 30 m para la descarga final del efluente tratado. El sistema opera ininterrumpidamente desde el mes de enero de 2000. Los resultados obtenidos muestran que la eficiencia de tratamiento del sistema es superior a 99% para la DBO₅ y los SST, de 96% para el N-NTK y de 99% para el fósforo. El agua descargada es límpida e inodora (Dubé et al., 2005).

Tratamiento del estiércol de puerco en región no saturada con problemas de malos olores (granja Purporc S.E.N.C.)

Purporc S.E.N.C. es una granja porcina situada en una zona confrontada a problemas de cohabitación con los habitantes de la región, por causa de los riesgos de contaminación de mantos freáticos y de aguas superficiales, así

como por los malos olores. Esta granja, de 1 200 vientres, genera 27 m³/d de estiércol. El sistema de tratamiento instalado ahí está constituido por un tanque de regulación hidráulica de 150 m³, de dos sedimentadores naturales de 20 m³ cada uno, dos biofiltros primarios de 750 m³ cada uno, un biofiltro secundario de 750 m³ y un tanque de almacenamiento para la reutilización del agua tratada en la irrigación. El sistema opera ininterrumpidamente desde el mes de febrero de 1999. Los resultados obtenidos muestran que la eficiencia de tratamiento del sistema es de 99% para la DBO₅ y los SST; de 91% para el N-NTK, y de 69% para el fósforo. El agua descargada es límpida e inodora (Turgeon et al., 2003). Las medidas sensoriales efectuadas muestran que la tecnología permite reducir en más de 80% la intensidad del olor (Buelna et al., 2005).

Tratamiento de aguas residuales sanitarias en clima subtropical (Cuernavaca)

Escuela secundaria. La escuela cuenta con una población de 1 500 alumnos y maestros que asisten diariamente. El sistema tiene una capacidad de 18 m³/d de aguas residuales sanitarias (WC + lavabos) y está constituido por una fosa séptica dividida en tres cámaras de 27 m³ (retiene, SST y G, y A), seguida de un cárcamo de regulación de 9 m³, del cual el agua residual pasa a un biofiltro de 128 m³ (tratamiento secundario). El efluente del biofiltro es descargado en la barranca, pero existe el interés por reutilizarlo en riego de áreas verdes, ya que presenta una calidad que permitiría cumplir con las normas mexicanas y americanas para tal fin. Presenta una remoción de 97.5% de la DBO₅; 95.4% de los SST; 92.9% del NTK (a pesar de que la concentración de entrada es > 300 mg/l); 4 unidades log. de CF y 100% de los huevos de helminto. El agua que se descarga es translúcida, limpia e inodora. El sistema opera de forma continua desde marzo de 2007.

Garzón-Zúñiga et al., La biofiltración sobre materiales orgánicos, nueva tecnología sustentable para tratar agua residual en...

Características particulares de los biofiltros sobre material orgánico

De acuerdo con Garzón-Zúñiga y Buelna (2011), los biofiltros sobre lecho orgánico presentan dos características que los diferencian de los filtros rociadores convencionales ("trickling filters"), los cuales también son percoladores. Las dos características son: 1) el tipo de material de empaque, que en los segundos es sintético o mineral, y 2) la carga hidráulica que se aplica, la cual en los biofiltros sobre lecho orgánico es aproximadamente 10 veces menor a la que se aplica a los filtros rociadores. Estas dos características inducen una serie de diferencias entre ambos sistemas: los biofiltros sobre lecho orgánico requieren de grandes superficies seccionales de reactores y la carga hidráulica que pueden tratar es menor a la que se trata en un filtro rociador de baja tasa; sin embargo, los biofiltros sobre lecho orgánico pueden alcanzar mejores eficiencias de remoción de DQO, DBO₅, N-NH₄⁺ y a un menor costo de operación, en comparación con los filtros rociadores. Además, pueden nitrificar, desnitrificar y remueven hasta 65% del NT, y remueven entre 4 y 8 unidades logarítmicas de coliformes fecales, y entre 98 y 100% de los huevos de helminto. Por otra parte, si se compara a los sistemas de biofiltración sobre lecho orgánico con otras tecnologías pasivas, como son los humedales artificiales y los sistemas de lagunas, en función del área superficial que requieren estos sistemas, los biofiltros utilizan una quinta parte del área de un humedal, y entre 10 y 12 veces menos que el área requerida por un sistema de lagunas para obtener calidades de efluente similares.

Conclusiones

Los resultados obtenidos durante más de seis años de operación a escala real revelan que la eficiencia global de tratamiento del proceso de biofiltración sobre lecho orgánico se sitúa entre 90 y 99%, en función de los diferentes parámetros estudiados, y que ésta se mantuvo

estable desde el inicio de la operación de los sistemas. El agua tratada está libre de malos olores. La calidad del efluente producido por el sistema permite contemplar su reúso en el riego de áreas verdes (jardines, campos de golf), en agricultura, lavado y recarga de mantos freáticos. Las aguas tratadas pueden igualmente ser descargadas en lagos y ríos, sin afectar la calidad del agua del cuerpo receptor. Gracias a la simplicidad del proceso, se requieren solamente tres horas por semana de personal no especializado para su operación y mantenimiento.

Estos resultados permiten concluir que la biofiltración sobre lecho orgánico constituye una tecnología robusta, segura, simple y eficaz, adaptada a la problemática ambiental de las regiones aisladas. Sus bajos costos de inversión y mantenimiento, su simplicidad de operación y de mantenimiento, hacen de esta tecnología una alternativa muy interesante para el tratamiento de las aguas residuales generadas por las pequeñas comunidades, los asentamientos rurales y las agro-industrias.

En un contexto de desarrollo sustentable sería oportuno adaptar esta tecnología al contexto específico de los países iberoamericanos. La identificación de materiales autóctonos y la implantación de demostración tecnológica constituyen sin duda las primeras actividades por realizar.

Recibido: 17/11/09

Aceptado: 28/03/12

Referencias

- BÉLANGER, A., POTVIN, D., CLOUTIER, R., et CARON, M. *La tourbe: une ressource d'avenir*. Québec: Centre Québécois de la Valorisation de la Biomasse, 1987, 125 pp.
- BUELNA, G. et BÉLANGER, G. Biofiltration à base de tourbe pour le traitement des eaux usées des petites municipalités. *Sciences et techniques de l'eau*. Vol. 23, 1990, pp. 259-264.
- BUELNA, G., DUBÉ, R., MICHEL, M.C., TURGEON, N., BERNARD, Y. and LESSARD, P. Comprehensive Pig Manure Treatment Using: the BIOSOR^{MD} Biofiltration Process. *Proceedings of the RAMIRAN 98*. 8th International Conference, Rennes, Brittany, France, 1998.

Garzón-Zúñiga et al., La biofiltración sobre materiales orgánicos, nueva tecnología sustentable para tratar agua residual en...

- BUELNA, G., DUBÉ, R., et TREMBLAY, M.L. *Utilisation du BIOSOR^{MD} pour le traitement des effluents d'origine sanitaire: présentation de deux cas types*. 13^e Colloque annuel sur l'environnement de l'ordre des ingénieurs du Québec, Canada, 2001.
- BUELNA, G., TURGEON, N., and DUBÉ, R. *Deodorization of Pig Manure by Organic Bed Biofiltration*. La Coruña, Spain: Congress on Biotechniques for Air Pollution Control, 2005.
- DUBÉ, R., BUELNA, G., BERNARD Y., et BELLEMARE, G. *Adaptation et démonstration du procédé BIOSOR dans une ferme porcine de type finisseur*. *Vecteur Environnement*. Vol. 38, No. 4, 2005, pp. 20-25.
- DUBÉ, R., TURGEON, N., BUELNA, G., BERNARD, Y., BELLEMARE, G., et BENMOUSSA, H. *Utilisation du procédé BIOSOR pour le traitement des effluents d'entreprises agroalimentaires: présentation de deux cas types*. *Salon des technologies environnementales. Réseau environnement*. Québec: 2002.
- GARZÓN-ZUÑIGA, M. *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, del 22 al 26 de agosto de 2004.
- GARZÓN-ZUÑIGA, M., HANSEN, I., MOELLER, G., BUELNA, G. y BELLEMARE, G. *Biofiltración sobre materiales orgánicos de regiones tropicales y subtropicales: Desarrollo IMTA-CRIQ (2ª etapa)*. Informe final de proyecto IMTA-TC0512.4. Jiutepec, México: IMTA, 2007, pp.46.
- GARZÓN-ZUÑIGA, M., TOMASSINI-ORTIZ, A.C., MOELLER-CHAVEZ, G., HORNELAS-URIBE, Y., BUELNA, G., and MIJAYLOVA-NACHEVA, P. *Enhanced pathogen removal in one-site biofiltration systems over organic filtration materials*. *Water Practice & Technology*. Vol. 3, No. 2, 2008, pp. 1-9, doi:10.2166/wpt.2008.053.
- GARZÓN-ZUÑIGA, M. and BUELNA, G. *Treatment of wastewater from a school in a decentralized filtration system by percolation over organic packing media*. *Wat. Sci. Tech.* Vol. 64, No. 5, 2011, pp. 1169-1177.
- LENS, P.N., VOCHTEN, P.M., SPELEERS, L., and VERSTRAETE, W.H. *Direct treatment of domestic wastewater by percolation over peat bark and woodchips*. *Water Res.* Vol. 28, No. 1, 1994, pp. 17-26.
- TURGEON, N., BUELNA, G. y COTE, L. *Adaptation, démonstration et optimisation du BIOSOR^{MD} dans une porcherie de grande taille de type naisseur*. *Rapport interne CRIQ dans le cadre du programme FPGST-ENV*. Québec, 2003, 70 pp.

Garzón-Zúñiga et al., La biofiltración sobre materiales orgánicos, nueva tecnología sustentable para tratar agua residual en...

Abstract

GARZÓN-ZÚÑIGA, M.A., BUELNA, G. & MOELLER-CHÁVEZ, G.E. Biofiltration on organic media, a new sustainable technology for wastewater treatment in small communities and industries. *Water Technology and Sciences (in Spanish)*. Vol. III, No. 3, July-September, 2012, pp. 153-161.

The large amounts of organic matter, nutrients, heavy metals and other chemical substances in water is one of the most troubling problems faced by all countries worldwide. Therefore, the priorities for sustainable development are the control, reduction and treatment of wastewater from urban, agricultural, agro-industrial and industrial discharges into water bodies. Unfortunately, the operational complexity and high investment and maintenance costs associated with conventional wastewater treatment systems have limited their usage in small municipalities, rural zones and small and medium industries. The biofiltration process on organic medium has recently been developed in Canada in order to solve the sanitation problems and meet its needs in these important sectors. This process is based on the capacity of certain organic media to act as natural resins, which are able to retain different types of pollutants through adsorption/absorption mechanisms and contribute to the settling of microorganisms capable of degrading the entrapped pollutants. Because this technology is decentralized and can resolve problems in many rural and semi-urban zones, it has recently been of interest in Mexico. It has been tested in the laboratory for treating urban and industrial wastewater using organic materials in the region and the first real-scale system has been installed. Therefore, the objective of this research is to present the main results obtained for this technology at the real-scale and its impact on the urban sectors (small municipalities and rural zones) and agro-industry (pig and poultry farms) in Canada and Mexico.

Keywords: biofiltration, in-situ treatment system, low maintenance system, domestic and industrial wastewater.

161

Dirección institucional de los autores

Dr. Marco Antonio Garzón Zúñiga

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua
Coordinación de Tratamiento y Calidad del Agua
Subcoordinación de Tratamiento de Aguas Residuales
Paseo Cuauhnáhuac 8532, colonia Progreso
62550 Jiutepec, Morelos, México
Teléfono: +52 (777) 3293 600, extensión 894
Fax: +52 (777) 3293 663
mgarzon@tlaloc.imta.mx

Dr. Gerardo Buelna

Dirección de Medio Ambiente y Centro de Investigación
Industrial de Quebec Canadá
333, rue Franquet
Quebec (Quebec) G1P 4C7

Quebec, CANADA
Teléfono: +52 (418) 6591 550 y 1 800 6672 386, 2609
Fax: +52 (418) 6522 202
Gerardo.Buelna@criq.qc.ca

Dra. Gabriela Moeller Chávez

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua
Coordinación de Tratamiento y Calidad del Agua
Paseo Cuauhnáhuac 8532, colonia Progreso
62550 Jiutepec, Morelos, México
Teléfono: +52 (777) 3293 661 y 3293 600, extensión 553
Fax: +52 (777) 3194 381
Instituto Mexicano de Tecnología del Agua
gmoeller@tlaloc.imta.mx

Figura 13. Artículo publicado en la revista de Tecnología y Ciencia del Agua

Seguimiento al convenio de colaboración con el IEBEM

No se dio seguimiento al convenio porque no se ha tenido respuesta del área jurídica del IEBEM en donde se encuentra el convenio de colaboración propuesto por el IMTA al IEBEM para recibir y encargarse de la operación del sistema de tratamiento de la escuela secundaria.

CONCLUSIONES

De los resultados globales del proyecto se pueden hacer las siguientes conclusiones

- 1.- Con el sistema de reuso del agua tratada para riego de áreas verdes de la escuela secundaria, se tiene descarga cero del sistema.
- 2.- Se llevaron a cabo de manera satisfactoria diferentes actividades de mantenimiento y operación en la vitrina tecnológica. Las cuales fueron: actividades de operación del biofiltro, actividades de mantenimiento de equipos y actividades de jardinería.
- 3.- Se realizó muestreo y análisis de muestras para dar seguimiento a la eficiencia del sistema de tratamiento encontrándose que el sistema cumple con la NOM-001-SEMARNAT-1996. Siendo la calidad del efluente con la que se hace el riego de jardines la siguiente: $DBO_5 = <0.55 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$; G y A $< 2.7 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$; SST= $7 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$; PT= $3.8 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$; CT = $1.1\text{E}+03$.
- 4.- Para la difusión de esta tecnología se publicó la nota técnica “La biofiltración sobre materiales orgánicos, nueva tecnología sustentable para tratar agua residual en pequeñas comunidades e industrias” en la revista Tecnología y Ciencia del Agua.

REFERENCIAS

- Garzón-Zúñiga M. A., Buelna G. y Moeller-Chávez G (2012). La biofiltración sobre materiales orgánicos, nueva tecnología sustentable para tratar agua residual en pequeñas comunidades e industrias. *Revista de Tecnología y Ciencia del Agua*. **III** (3) 153-161.
- Garzón-Zúñiga M. A. & Buelna G. (2011). Treatment of wastewater from a school in a decentralized filtration system by percolation over organic parking media. *Water Science & Technology* **64** (5) 1169-1177.
- SEMARNAT (1996). Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT 1996, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Diario Oficial de la Federación 6 de enero de 1997.