



Fecha de presentación del Informe: Día Mes Año

Datos generales del Proyecto

Código del proyecto: 2750			
Título del proyecto: TRATAMIENTO BIOLÓGICO DE CORRIENTES GASEOSAS RESIDUALES CONTAMINADAS CON COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES (COVs)			
Facultad o Instituto Académico: Facultad de Ingeniería			
Departamento o Escuela: EIDENAR			
Grupo (s) de investigación: ECCA - GAOX			
Investigadores ¹	Nombre	Tiempo asignado	Tiempo dedicado
Investigador Principal	Juan Pablo Silva Vinasco	8 h/semana	8 h/ semana
Coinvestigadores	Janeth Sanabria G.	5 h/semana	5 h/semana
Otros participantes			

1. Resumen ejecutivo:

Los compuestos orgánicos volátiles (COVs) son contaminantes atmosféricos peligrosos, que tienen gran relevancia por su efecto negativo sobre el ambiente y la salud de los seres humanos. Debido a este efecto negativo, las normas que regulan las emisiones de COVs son cada vez más estrictas. En este sentido, los sistemas biológicos de tratamiento de gases, surgen como una alternativa tecnológica eficiente para el tratamiento de corrientes gaseosas contaminadas con COVs de origen industrial. Sin embargo, el desarrollo de este tipo de tecnologías requiere investigaciones relacionadas con estudios cinéticos, de transferencia de masa, procesos de adaptación, inoculación y operación de sistemas a escala piloto, cuyos resultados puedan contribuir a obtener mayor información para el escalamiento y diseño de estos sistemas en los emplazamientos industriales donde los COVs son emitidos. Por lo tanto la presente investigación se baso en estudiar a escala piloto la eliminación de corrientes de aire

¹ Todas las personas relacionadas en el informe y que participen en el proyecto deben haber suscrito el acta de propiedad intelectual de acuerdo con los formatos establecidos.



contaminadas con benceno, tolueno y xileno (BTX) en biofiltros percoladores (BTF) considerando los siguientes aspectos: (i) desarrolló un protocolo de aclimatación de un inoculo para biodegradar BTX (ii) estudio de la cinética de biodegradación de BTX, determinación de los coeficientes de transferencia de masa de BTF y (iv) evaluación de las condiciones carga superficial y de contaminante en el rendimiento del sistema de un BTF construido a escala piloto.

El protocolo de aclimatación permitió obtener un inoculo con características adecuadas para ser utilizado en la biodegradación de BTX en reactores BTF. Los resultados sugieren que la especie *Flavobacterium* spp. se mantuvo durante todo el proceso de la aclimatación. Mientras que el número de las especies *Halomonas* spp., *Thauera* sp., *Sphingobacterium* spp. y *Pseudomonas* sp. aumentaron en su número solo en la etapa final de la aclimatación. Los cinco grupos de bacterias más abundantes al final del proceso fueron las *Pseudomonas* sp. y *Thauera* sp. clasificadas en las clases Gammaproteobacteria y Betaproteobacteria respectivamente. Los resultados coinciden con lo reportado en la literatura sobre consorcios microbiológicos usados en BTF proyectados para la biodegradación de BTX.

La cinética de biodegradación de BTX fue realizada en reactores batch utilizando el inoculo adaptado en la etapa previa. Los reactores tuvieron un volumen de 250 mL y fueron completamente sellados para evitar pérdidas de los vapores de BTX. Los resultados indicaron que cuando los compuestos fueron alimentados a sus concentraciones puras la cinética se ve afectada por el fenómeno de inhibición, especialmente cuando se aplicaban elevadas concentraciones del sustrato. El valor de los parámetros cinéticos obtenidos $\mu^*(1.04 \text{ h}^{-1})$, K_s (365.4 mg/l) y K_i (78.4 mg/l) indican que el tolueno fue el compuesto de mayor velocidad de biodegradación por parte del inoculo estudiado. Por otro lado, el modelo SKIP sugiere que cuando los compuestos fueron alimentados en diferentes proporciones de mezcla, el tolueno disminuye su velocidad de degradación debido a la relación antagonica de competencia por sustrato ocasionada por el benceno y el xileno.

Paralelo al estudio cinético, se evaluó la transferencia de masa de xileno en un biorreactor diferencial empacado con dos materiales de soporte diferentes. Los valores de K_{La_x} experimentales estuvieron en el rango de 27 a 39 h^{-1} cuando el BTF se empacó con AP y de 16 a 28 h^{-1} en el BTF empacado con PUF; valores de $K_{La_{O_2}}$ de 54 a 78 h^{-1} en el BTF empacado con AP y de 32 h^{-1} a 56 h^{-1} en el BTF empacado con PUF fueron obtenidos. Acorde con los resultados se observó que el tiempo de residencia de lecho vacío EBRT tiene influencia sobre los coeficientes transferencia de masa y que el oxígeno fue transferido más rápido que el xileno. Adicionalmente se encontró que bajo las condiciones evaluadas, se podrían presentar limitaciones de transferencia de masa de xileno cuando el BTF se opere inoculado. Además de las limitaciones de transferencia de xileno, un déficit de oxígeno se presentaría si la concentración de xileno en la corriente gaseosa que ingresa al BTF es mayor a 2.1 g.m^{-3} .

Los resultados de esta evaluación indicaron que tanto el material de soporte, como el tiempo de residencia del contaminante en el biorreactor, influyeron en la transferencia de masa del contaminante, siendo ese fenómeno fundamental en el rendimiento de los sistemas biológicos que tratan corrientes gaseosas contaminadas con COV's

Finalmente un último experimento considero la evaluación de dos biorreactores a escala piloto en la eliminación benceno, tolueno y xileno. Estos reactores fueron empacados con dos medios

de empaque El sistema de tratamiento opero con tres cargas contaminantes: 239.7, 299.6 y 449.4 g m⁻³ h⁻¹, las cuales se alimentaron en diferentes proporciones de BTX. En la primera corrida de cada carga los gases fueron alimentados con proporciones iguales, la segunda corrida, operó con 25% B, 25% T, 50% X; 25% B, 50% T, 25% X; y 50% B, 25% T, 25% X, para la primera, segunda y tercera carga, respectivamente. El BTF1, presento eficiencias máximas de remoción para BTX, de 96.27% 82.12% y 97.5% y capacidades máximas de eliminación de 122.43, 136.53 y 184.19 g m⁻³ h⁻¹; y el BTF2 alcanzó ER de 96.7%, 94.65% y 98.15% y CE de 181.21, 165.6 y 185.58 g m⁻³ h⁻¹; respectivamente. Esto demostró que se pueden alcanzar altas eliminaciones de BTX en los reactores biológicos y mantener tiempos de residencia adecuados para dimensionar los BTF.

2. Síntesis del proyecto:

2.1 Tema

Actualmente, la contaminación atmosférica especialmente en zonas urbanas, es uno de los problemas ambientales críticos para sus habitantes. Los vehículos automotores, las instalaciones industriales, entre otras fuentes, emiten a la atmósfera diversas sustancias contaminantes que afectan, por lo general de forma negativa, la composición del aire que se respira (Jaramillo et al., 2005). En este sentido, una de las preocupaciones relacionadas con la contaminación atmosférica es la presencia de compuestos orgánicos volátiles (COVs) en el aire urbano. Se sabe que la exposición a altas concentraciones de COVs causa numerosos efectos en la salud como irritación de ojos y garganta, dolores de cabeza, y daños en el sistema hepático y nervioso (Khoder, 2007, Zhang et al., 2009). Además, la reacción de los COVs con otros compuestos de la atmósfera puede formar smog fotoquímico, el cual contiene ozono y otros compuestos tóxicos igualmente dañinos a la salud.

Dentro de los COVs, el grupo formado el benceno, tolueno y xileno, conocido como BTX; genera especial interés por pertenecer al grupo de los principales solventes industriales, siendo requeridos frecuentemente en la industria. El tratamiento de corrientes gaseosas contaminadas con BTX es fundamental, ya que representan una amenaza significativa para la salud humana y el medio ambiente, y hacen parte de los 189 contaminantes peligrosos atmosféricos (Maliyekkal et al., 2004). Además, las rigurosas normas ambientales, establecidas por organismos de control, llevan a las industrias a adoptar procesos de tratamiento efectivos para el control de la contaminación atmosférica, y así cumplir con los límites establecidos en las normas (Mudliar et al., 2010).

Los métodos convencionales para el tratamiento de los COVs incluyen incineración, adsorción, absorción, condensación y técnicas nuevas como la separación por membranas (Iranpour et al., 2005). Estos métodos son efectivos para tratar corrientes contaminadas con COVs, pero generan subproductos indeseables. El tratamiento biológico es una alternativa eficiente para tratar corrientes con bajas concentraciones de VOCs (< 1 g.m⁻³), ya que tienen un bajo consumo de energía, bajos costos de operación y mínima generación de subproductos (Kumar et al., 2011). En este orden de ideas, la implementación de sistemas de tratamiento biológico para el control de las emisiones de COVs, se ha incrementado debido a sus ventajas en comparación con los métodos físicos y químicos tradicionales. Sin embargo, las dificultades en la implementación de estos sistemas a escala real radican en la falta de comprensión de los



procesos fisicoquímicos y biológicos que ocurren en el reactor; ocasionando fallas en su funcionamiento y la consecuente disminución del rendimiento sistema. Por lo mencionado anteriormente, se hace necesaria una investigación e innovación continua en este tipo de sistemas (Mudliar et al., 2010, Kumar et al., 2011).

En la actualidad, se ha logrado ajustes en los diseños de los BTFs para obtener un mejor funcionamiento de estos reactores. Sin embargo, una serie de preguntas fundamentales requieren mayor investigación según lo reportado en la literatura. Estas incluyen, la cuantificación de acumulación de biomasa, la comprensión de las cinéticas de biodegradación y los factores que influyen en ellas, los niveles de oxígeno y los requerimientos nutricionales (Devinny and Ramesh, 2005, Malhautier et al., 2005, Yang et al., 2010). Por otra parte, los procesos de adaptación e inoculación son fundamentales para disminuir la duración del periodo de arranque y asegurar un funcionamiento adecuado de los sistemas biológicos para el tratamiento de corrientes gaseosas (Jones et al., 2004, Prado et al., 2005, Steele et al., 2005, Jiang et al., 2009, Kwon and Yeom, 2009, Elías et al., 2010). Además, los procesos de arranque y evaluación de cargas contaminantes en biofiltros a escala piloto influyen de forma significativa en el rendimiento y la estabilidad de los procesos (Borin et al., 2006, Mudliar et al., 2010).

En este sentido, en la presente investigación se integraron procesos de adaptación, inoculación y arranque, con ensayos cinéticos y de transferencia de masa, para obtener resultados confiables que permitan determinar los parámetros de diseño y operación de sistemas biológicos para el tratamiento corrientes gaseosas de origen industrial, contaminadas con COVs.

2.2 Objetivos

General

Evaluar un sistema biológico para la eliminación de COVs en corrientes gaseosas residuales.

Específicos

- Establecer una metodología de aclimatación de un inóculo para la eliminación de COVs (BTX) en sistemas de tratamiento biológico.
- Evaluar la cinética de la biodegradación de compuestos orgánicos volátiles: xileno, tolueno y benceno, realizada por un consorcio microbiano en reactores tipo batch.
- Evaluar la influencia de la carga superficial y contaminante en el rendimiento del sistema de tratamiento biológico.

2.3 Metodología

2.3.1 Aclimatación del Inóculo Microbiano

El Lodo utilizado en el presente estudio se obtuvo de la laguna de oxidación del sistema de tratamiento de aguas residuales de la Fundación Smurfit: Cartón de Colombia S.A. Una vez caracterizado el lodo, acorde con lo establecido en el protocolo de métodos de análisis para suelos y lodos (Zagal and Sadzawka, 2007); se inició la etapa de aclimatación del inóculo a los sustratos en estudio (BTX). La aclimatación del inóculo consistió en los siguientes pasos

secuenciales: (i) preparación del inoculo (ii) aclimatación del inoculo (iii) seguimiento del proceso de aclimatación.

(i) Preparación del inoculo: se tomaron 2 L de lodo y se le adicionaron 5 L de solución nutritiva previamente preparada acorde con lo sugerido por estudios previos (Caicedo and Guerrero, 2011; Trejo, 2001), obteniéndose finalmente un volumen de 7 L de inoculo. Posteriormente, este inoculo, se distribuyó en partes iguales en dos reactores de 5 L de capacidad, con el fin de obtener una concentración de 0.9% de sólidos totales. Finalmente, el lodo en los reactores se dejó en aireación por un tiempo de dos días. El aire se suministró utilizando una bomba marca Resun y fue dosificado por la parte superior de los reactores a través de mangueras de plástico flexible.

(ii) Aclimatación: todo el inoculo preparado anteriormente se distribuyó en partes iguales en cuatro erlenmeyers de vidrio con una capacidad de 3 litros cada uno. Una vez se inocularon los reactores, de cada uno de ellos se tomó una muestra de 20 mL para medir la concentración de sólidos suspendidos volátiles, equivalente a la concentración de biomasa en el tiempo cero. La determinación de SSV se hizo siguiendo el protocolo reportado en métodos de análisis para suelos y lodos (Zagal and Sadzawka, 2007). Es importante aclarar que la medición de SSV se alternó entre los reactores comenzando en el rotulado con el número 1, luego con el 2 y así sucesivamente. Posteriormente, se adicionaron a los reactores, mediante una jeringa de 50 unidades (0,5 mL), una fuente de carbono consistente en una mezcla equimolar de 20 microlitros (μ L) de los contaminantes en fase liquida (BTX). Después de esta adición se agitó la mezcla y se tomó una muestra gaseosa para determinar la concentración en el tiempo cero de los BTX, la cual fue analizada utilizando la técnica del headspace.

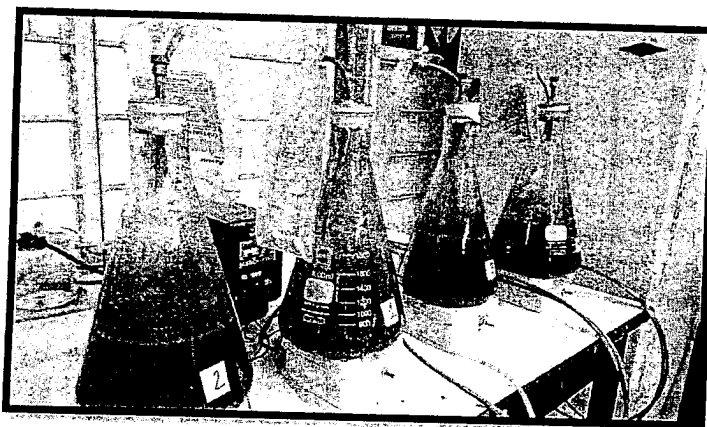


Figura 1 Montaje Experimental Aclimatación

(iii) Seguimiento del Proceso de aclimatación: el proceso de aclimatación tuvo una duración de 37 días y consistió en incrementar gradualmente las dosis de BTX en el reactor hasta alcanzar el estado estacionario, condición que indica que el inoculo se ha aclimatado. Durante la operación se tomaron muestras diarias para determinar la concentración de biomasa y de BTX en los reactores. Cada 7 días se detuvieron los agitadores, se dejó sedimentar el lodo, se retiró el sobrenadante y se repuso solución nutritiva. Además, en los días 0, 19 y 37 se tomaron

muestras del inóculo para realizar un análisis de la evolución de comunidades microbianas durante el proceso de aclimatación mediante técnicas moleculares, específicamente DGGE.

2.3.2 Estudio Cinético

El estudio cinético se llevó a cabo en botellas de 250 mL cerradas herméticamente. Los reactores fueron alimentados adicionando 50 mL del inóculo aclimatado y 50 mL de solución nutritiva. Finalmente, se dosificaron los contaminantes BTX (30, 60, 90 y 120 μ L) y se ubicaron en agitadores previamente armados para asegurar una mezcla completa en cada uno de los sistemas.

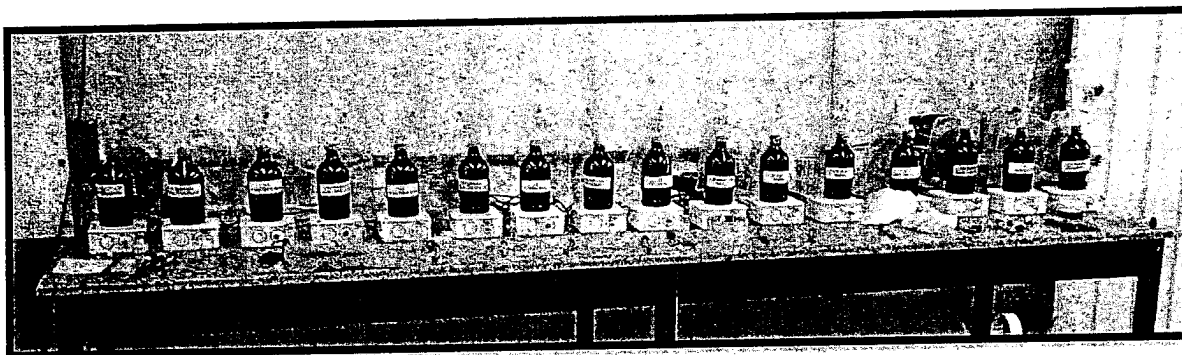


Figura 2 Montaje experimental estudio cinético

Durante los ensayos se tomaron muestras de sustrato y biomasa cada hora por un periodo de 11 horas. Con una jeringa para líquido, se tomaron por cada uno de los reactores 0.5 mL de muestra de biomasa mediante la manguera adaptada con llave de tres vías. Para la concentración de los sustratos, se tomaron muestras gaseosas de 5 mL del headspace del reactor con una jeringa. La determinación de la concentración de la fase gaseosa (sustrato) se realizó en un cromatógrafo de gases con detector de ionización de flama (FID), Shimadzu 14B, equipado con una columna ATTM-1 de polidimetilsiloxano, no polar, semicapilar. El gas de arrastre utilizado fue el nitrógeno, la temperatura de la columna se mantuvo constante a 150°C, y las temperaturas del inyector y detector fueron de 160°C y 220°C respectivamente. Una vez tomada la muestra gaseosa esta se analizó en un cromatógrafo marca Shimadzu de cromatografía de gases. Por su parte las muestras de Biomasa se analizaron mediante el método de Bradford; por otro lado las muestras gaseosas de sustrato se almacenaron en viales con capacidades entre 10 y 20 mL debidamente sellados y se analizaron mediante cromatografía de gases.

En el análisis de los datos cinéticos se utilizaron los modelos de Monod y el modelo de inhibición de Haldane; el modelo de Monod está basado en la asunción de que solo un sustrato limitante se puede considerar, y una variación en su concentración causa alteraciones en el comportamientos de los microorganismos; por su parte el modelo de Haldane considera limitación de sustrato e inhibición del crecimiento celular.

$$\frac{[So]}{\mu} = \frac{[So]}{\mu_{max}} + \frac{Ks}{\mu_{max}} \quad \text{Ecuación 1}$$

$$\frac{[So]}{\mu} = \frac{[So]^2}{\mu^*} + \frac{[So]}{\mu^*} + \frac{Kh}{\mu^*} \quad \text{Ecuación 2}$$

Los parámetros cinéticos del modelo de Monod se obtuvieron linearizando la ecuación 1 mientras que para el modelo de Haldane el ajuste se hizo con una regresión polinómica de segundo orden.

La cinética de biodegradación de mezclas se determinó empleando el modelo SKIP (Ec. 3). Este modelo establece la interacción que existe entre los BTX. La solución del modelo involucra los parámetros cinéticos: tasa de crecimiento máximo (μ_{max}) y la constante de saturación (K_s) obtenidos con el modelo de mejor ajuste a los datos experimentales en la degradación de los compuestos individuales. Finalmente, se realizó un algoritmo de optimización y ajuste en Matlab, para establecer el modelo cinético adecuado para los datos experimentales obtenidos.

$$\mu = \frac{\mu_{max1} * S_1}{K_{S1} + S_1 + (I_{2,1}) * S_2} + \frac{\mu_{max2} * S_2}{K_{S2} + S_2 + (I_{1,2}) * S_1} \quad \text{Ecuación 3}$$

2.3.3 Determinación de los Coeficientes de Transferencia de Masa

El BTF utilizado para determinar los coeficientes cinéticos consistió en un reactor diferencial de forma cilíndrica con un diámetro interno de 9.4×10^{-2} m y una altura total de 5×10^{-1} m. Igualmente, el BTF contó con dos puertos de entrada por donde se alimentaron las corrientes gaseosa contaminada y la corriente líquida; así como dos puertos de salida para la corriente gaseosa y la solución líquida residual. En total se utilizaron dos BTFs cada uno empacado con dos diferentes medios de soporte: Anillos plásticos (AP) y espuma de poliuretano (PUF). La tabla 1, resume sus principales características.

Tabla 1. Características de los materiales de soporte

Propiedad	AP	PUF
Densidad aparente ($\text{g} \cdot \text{ml}^{-1}$)	0.46	0.34
Densidad real ($\text{g} \cdot \text{ml}^{-1}$)	0.85	0.75
Porosidad	0.91	0.81
Diámetro de partícula (cm)	1.6	1.5
Area superficial específica ($\text{m}^2 \cdot \text{m}^{-3}$)	472	600

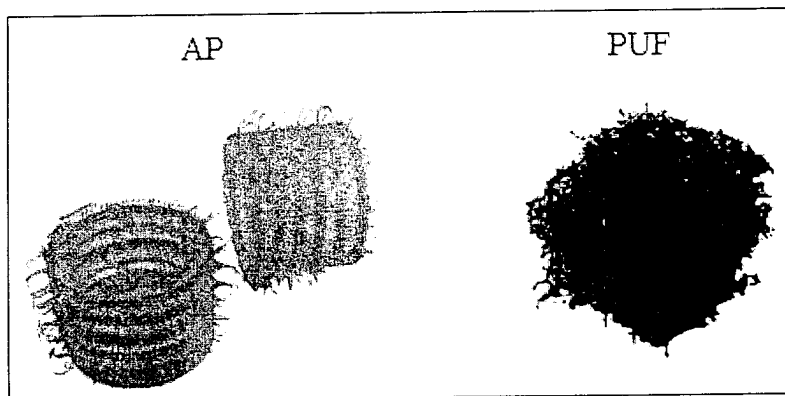


Figura 3. Materiales de soporte no comerciales utilizados en el estudio. Anillos plásticos (AP) y Espuma de poliuretano (PUF)

Los coeficientes globales de transferencia de masa fueron determinados a través de un modelo dinámico. Las consideraciones del modelo fueron: (i) Estado transitorio (ii) Temperatura constante a través del bioreactor (iii) Mezcla completa a través de la columna del BTF (iv) comportamiento ideal (ley de Henry). Las ecuaciones del 1 al 4 indican las ecuaciones de balance de masa que se da en las fases gas y líquida a través de la columna del biofiltro. Estas ecuaciones fueron resueltas en MatLab utilizando la rutina ODE45.

$$K_{La} = HK_{Ga} \quad (1)$$

$$\frac{dC_{G,out}}{dt} = \frac{Q_G}{V_P} (C_{G,in} - C_{G,out}) - K_G a (C_{G,out} - HC_{L,out}) \quad (2)$$

$$\frac{dC_{L,out}}{dt} = \frac{Q_L}{V_L} (C_{L,in} - C_{L,out}) + K_L a \left(\frac{C_{G,out}}{H} - C_{L,out} \right) \quad (3)$$

$$\frac{dC_{L,in}}{dt} = \frac{Q_L}{V_T} (C_{L,out} - C_{L,in}) \quad (4)$$

Una función objetivo para calcular el coeficiente de transferencia de masa global para el xileno (ecuación 5)

$$F_{obj} = \sum \left(\left| C_{G,in_{mod}} - C_{G,in_{exp}} \right| + \left| C_{L,out_{mod}} - C_{L,out_{exp}} \right| + \left| C_{L,in_{mod}} - C_{L,in_{exp}} \right| \right) \quad (5)$$

2.3.4 Evaluación del BTF a escala piloto



El montaje experimental consistió en una planta a escala banco para estudiar la eliminación biológica de una mezcla de BTX presente en una corriente de aire. La planta fue dividida en dos secciones, en la primera sección de la planta se generó aire contaminado con vapores de BTX y en la segunda sección se llevó a cabo el proceso de biodegradación en un dos biorreactores (BTF1 y BTF2). Los biorreactores se encuentran divididos en tres secciones cilíndricas de acrílico transparente. La longitud de la sección superior mide 0.4 m, la parte media 0.35 m y la parte inferior 0.5 m, mientras que el diámetro es constante para las tres secciones y equivale a 0.096 m. Así, la altura total de los biorreactores es 1.25 m y el lecho empacado fue de 0.9 m (0.3 m para cada sección del biofiltro).

Inicialmente se realizó la inoculación de los reactores mediante la distribución uniforme del inóculo previamente aclimatado, sobre las secciones del lecho empacado y agregando solución nutritiva hasta llenar completamente los dos biorreactores. A continuación, el sistema se dejó en estado de reposo durante un periodo de 24 horas con el objetivo de asegurar la adherencia de la biomasa al material de soporte. Durante este intervalo de tiempo se recirculo completamente la solución nutritiva presente en ambos reactores.

Una vez concluida la inoculación, se realizó el arranque y operación de los biofiltros percoladores. En esta etapa, el sistema fue alimentando con cuatro cargas contaminantes de BTX, variando la proporción de los contaminantes en la mezcla. El tiempo de residencia se mantuvo constante, equivalente a 90 segundos, de modo que la carga contaminante que ingreso al sistema varió en función de la concentración afluente del contaminante.

Las cargas contaminantes de $239.7 \text{ g m}^{-3} \text{ h}^{-1}$, $299.6 \text{ g m}^{-3} \text{ h}^{-1}$ y $449.4 \text{ g m}^{-3} \text{ h}^{-1}$ fueron evaluadas durante un periodo de tiempo de 31, 19 y 20 días respectivamente. Diariamente se realizó la medición de variables de control como temperatura, caída de presión y pH para garantizar que se conservan las condiciones favorables para el crecimiento microbiológico. Además, se tomaron muestras de gases del afluente y efluentes de cada reactor. Las muestras de aire se tomaron de acuerdo al procedimiento para la captura y almacenamiento de muestras empleado por Valencia & Sánchez (2002) pero utilizando volúmenes de muestra de 5 mL y viales con volúmenes de 15 mL.

2.4 Resultados

2.4.1 Aclimatación

En la fase inicial del experimento se presentaron hasta el día 10, porcentajes de remoción de BTX por debajo del 40%, lo que refleja un periodo inicial de adaptación del inóculo a las condiciones del nuevo sustrato. Sin embargo, a partir de este día hubo un incremento en las eficiencias hasta alcanzar un 100% en el día 14. Por otra parte, al duplicarse la dosis de contaminante y adicionarse 40 μL de BTX (día 16), se observó un descenso de la eficiencia de remoción (65%), alcanzandose eficiencias de remoción de 100% el día 21.

El siguiente declive en la eficiencia se debe a que la dosis de BTX que ingresa al sistema en el día 23 volvió a duplicarse, alcanzando en 5 días una eficiencia del 100% (día 29), a pesar de que se observaron eficiencias menores, el tiempo de respuesta del inóculo para lograr eficiencias del 100% del contaminante fue el mismo que para el incremento en la dosis anterior. El último aumento en la dosis de BTX para llegar a la concentración deseada en el sistema se realizó en el día 30 provocando inicialmente una reducción en la eficiencia de remoción

alrededor del 60 en los 4 reactores, para el día 33 las eficiencias estaban en el orden del 100% manteniéndose así hasta la última medición de contaminantes realizada.

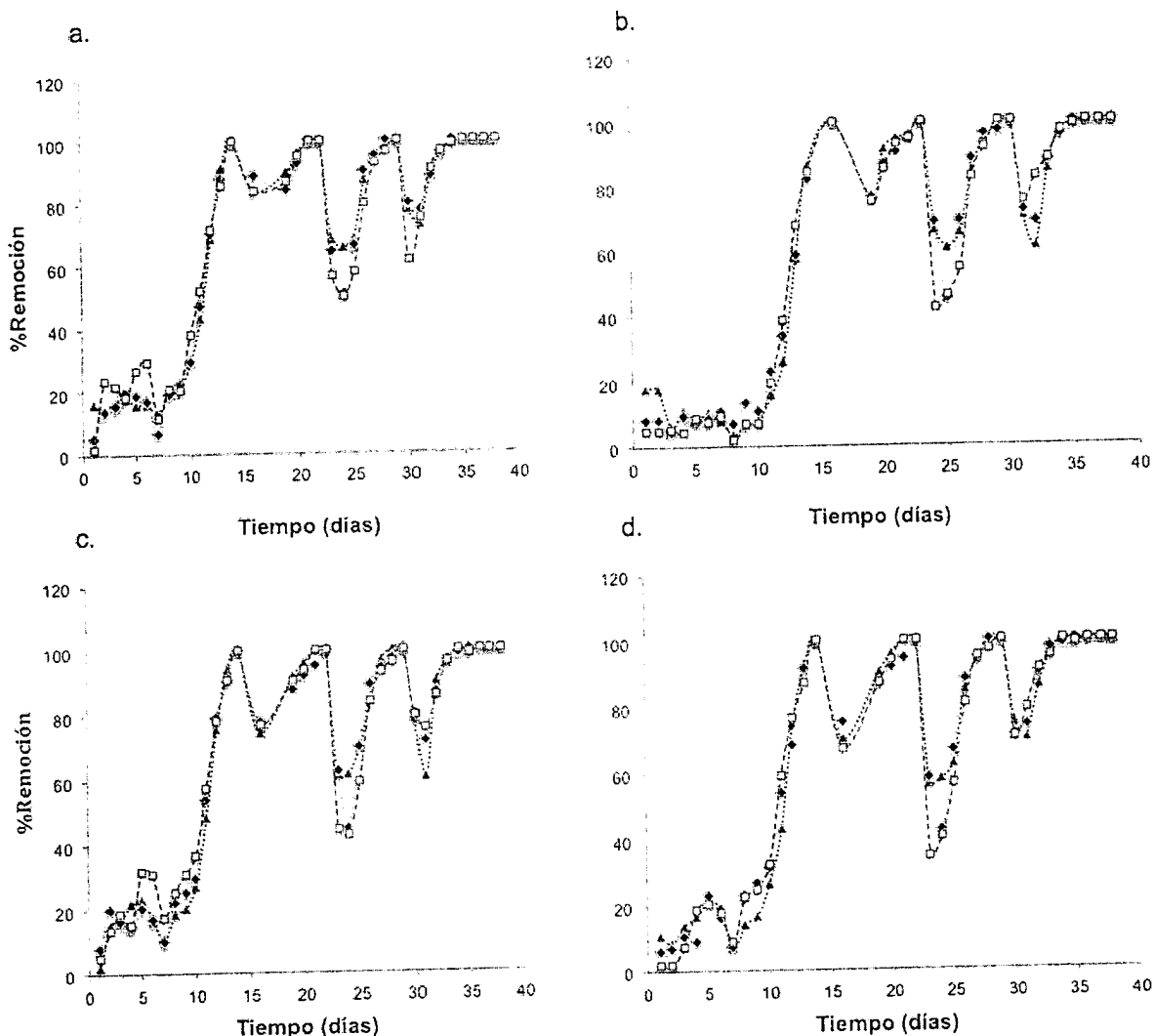


Figura 4. Porcentaje de Remoción de los contaminantes en el tiempo. Benceno $\square$, Tolueno $\blacklozenge$, Xileno $\blacktriangle$. Reactor 1 b. Reactor 2 c. Reactor 3 d. Reactor 4

Aproximadamente en los primeros 10 días la biomasa decae, lo que sugiere una escasa adaptación a los contaminantes a pesar de que la concentración de BTX es baja. Este comportamiento es el esperado si se observan los porcentajes remanentes de los contaminantes (por encima del 60%), para esta situación los sólidos alcanzaron un valor mínimo (0,75%) el día 8. Pasado el día 13 los sólidos suspendidos volátiles se mantienen por encima de 1,23%. En la gráfica después de este punto se evidencia un crecimiento de estos a través del tiempo, a pesar de que las dosis de BTX se incrementaron.

Los puntos de aumento en las dosis de contaminantes se reflejan en disminuciones en los SSV, sin embargo la reposición de solución nutritiva y la progresiva adaptación de los

microorganismos a los contaminantes permite que los sólidos vuelvan a aumentar en el tiempo. Al final del día 52 se obtuvo un inoculo aclimatado a los contaminantes en estudio, capaz de utilizarlos como sustrato y así generar un crecimiento de biomasa

El estudio de evolución de comunidades microbianas durante el proceso de aclimatación sugiere que la especie *Flavobacterium* spp. se mantuvo hasta el final de la experimentación, mientras que las especies *Halomonas* spp., *Thauera* sp., *Sphingobacterium* spp. y *Pseudomonas* sp. aumentaron al final de la aclimatación, siendo estos cinco grupos los más abundantes al final del proceso. *Pseudomonas* sp. y *Thauera* sp. clasificadas en las clases Gammaproteobacteria y Betaproteobacteria respectivamente se han encontrado en consorcios degradadores de BTX. La especie *Hydrogenophaga* sp. clasificada en la clase Betaproteobacteria aunque no fue una de las más abundantes fue una de las especies representativas que se mantuvo hasta el final de la aclimatación. Esta especie se ha encontrado como parte de las comunidades bacterianas adaptadas a hidrocarburos que tienen la capacidad de degradar la mezcla benceno-tolueno. Parece que cepas de la especie *Hydrogenophaga* o *Rhodoferrax* se favorecen cuando ambos contaminantes están presentes en la misma concentración (Aburto & Peimbert, 2011).

2.4.2 Estudio Cinético

2.4.2.1 Sustratos individuales

Los datos obtenidos para tolueno, benceno y xileno como sustratos individuales ajustan al modelo cinético de Haldane, sugiriendo una inhibición del proceso biológico de degradación, debido a altas concentraciones de los contaminantes (Fig. 5). Las concentraciones de inhibición encontradas para tolueno, benceno y xileno son 154, 190 y 135 mg/L, respectivamente. Los coeficientes cinéticos del modelo de Haldane para tolueno son: $\mu^* = 1.04 \text{ h}^{-1}$; $K_h = 365.4 \text{ mg/L}$; $K_i = 78.4 \text{ mg/L}$. En el caso de Benceno los coeficientes cinéticos son: $\mu^* = 0.87 \text{ h}^{-1}$; $K_h = 712.5 \text{ mg/L}$; $K_i = 107.8 \text{ mg/L}$. Finalmente, para xileno se encontraron los siguientes coeficientes cinéticos: $\mu^* = 0.74 \text{ h}^{-1}$; $K_h = 276.8 \text{ mg/L}$; $K_i = 141.2 \text{ mg/L}$.

Este resultado indica que la modelación de sistemas de tratamiento biológico de gases basados en BTF exige considerar el modelo de Haldane más que la cinética propuesta por Monod. Los compuestos evaluados se caracterizan por su difícil degradación y sus altas concentraciones afectan el desempeño microbiológico del sistema afectando la eliminación de los sustratos.

2.4.2.2 Sustratos en Mezcla

Los datos obtenidos para mezclas compuestas por benceno, tolueno y xileno; ajustaron al modelo cinético SKIP (sum kinetics with interaction parameters). En la tabla 2 se muestran los valores obtenidos para los parámetros de interacción del modelo.

Los datos experimentales para los sustratos en mezcla a las diferentes proporciones evaluadas se ajustaron mejor (mayores coeficientes de correlación) al modelo SKIP en la concentración inicial más alta. Esto comprueba que este modelo se ajusta mejor a concentraciones altas reportado por Grady et al. (1996) y reafirmado por Reardon et al. (2000) que concluyó que la relación entre S_0/X_0 más alta era la que debía ser evaluada pues brindaría la mejor correlación.

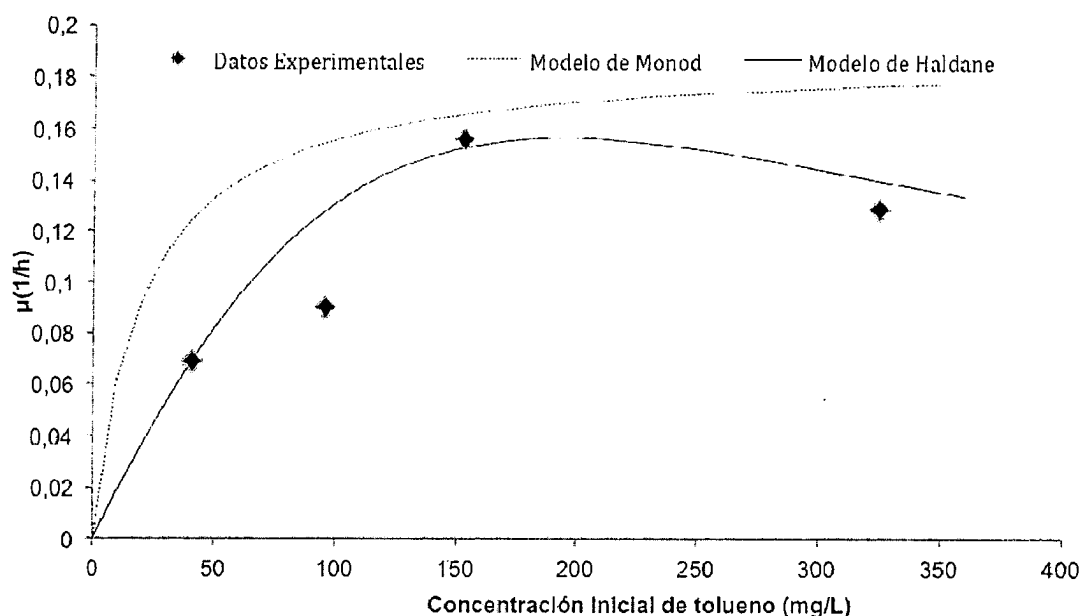


Tabla 2. Principales resultados del modelo de mezcla SKIP

Proporción	Concentración Biomasa máx		Concentración inicial (g/m ³)			Constante de velocidad de degradación (h ⁻¹)			Parametro de interacción	
	Valor (mg/L)	Tiempo	b	t	x	b	T	x	Mayor	Menor
>Benceno	2.7	6	162	72	82	0.62	0.36	0.53	XT 3.8	TX -0.5
>Tolueno	2.2	5	62	160	72	0.45	0.41	0.46	BT 3.5	TX -0.75
>Xileno	2.2	4	80	62	148	0.53	0.31	0.64	XT 4.4	TX -0.05
Equimolar	1.9	8	97	98	101	0.61	0.39	0.57	XT 1.9	TX 0.3

Los parámetros de interacción resultantes del presente estudio están acordes con lo reportado por algunos autores, no obstante no se encontró ningún estudio donde se muestre la influencia de diferentes proporciones de mezcla usadas. Lo obtenido en este estudio coincide con lo encontrado por (Reardon et al., 2000) que evaluando diferentes modelos (inhibición no competitiva, acompetitiva, competitiva y SKIP) encontrando que el modelo SKIP proporcionó la mejor descripción de los resultados de parejas de sustrato. El modelo suministro una excelente predicción de la cinética de biodegradación para las mezclas de 3 componentes.

2.4.4 Determinación de los Coeficientes de Transferencia de Masa

La figura 5 muestra las concentraciones de xileno obtenidas en la etapa experimental en función del tiempo de operación. Los resultados muestran que una vez alcanzado el estado estacionario, la concentración de xileno en la corriente líquida fue aproximadamente 16g.m⁻³; mientras que la concentración de xileno en la corriente gaseosa de salida fue 5 g.m⁻³. Cuando el BTF se empacó con AP, el estado estacionario se logró en un menor tiempo de operación (60 min) al operarse a un EBRT de 10 s; cuando el EBRT fue de 20s, el estado estable se logró en

un tiempo de operación de 80min; esta tendencia se mantuvo con los demás EBRT evaluados.

Cuando el BTF se empacó con PUF la tendencia fue similar; en este caso se observa que un tiempo de operación de 120 min no fue suficiente para que el sistema alcance el estado estable con EBRTs de 40 y 60s. En este sentido, se observó que el EBRT condicionó el tiempo de operación del sistema necesario para alcanzar el estado estable; un menor EBRT hizo que se alcance el estado estacionario a un menor tiempo de operación. Esto indica que la saturación de la corriente líquida con xileno ocurrió a altas velocidades cuando el BTF fue operado a bajos EBRTs, tal como se reportó en otros estudios (Lebrero et al., 2012, Estrada et al., 2013). EBRTs bajos corresponden a flujos volumétricos de gas (Q_G) altos; de acuerdo a los resultados de este estudio, un incremento de Q_G implica una mayor tasa de transferencia de masa de xileno de la fase gaseosa a la fase líquida.

Aunque la transferencia de masa es de primera importancia en la operación de los BTFs, ésta es solo una de las operaciones que se llevan a cabo en estos bioreactores para el tratamiento de corrientes gaseosas contaminadas (Dorado et al., 2009); en este sentido, a partir de los resultados obtenidos en este estudio no es posible establecer que los BTFs se deben operar a altas velocidades de flujo del gas. Las condiciones óptimas de operación se deben definir a partir de estudios o ensayos que tengan en cuenta todos los procesos que insiden en el sistema, entre ellos la cinética de biodegradación y la pérdida de presión.

2.4.4 Evaluación del Sistema Biológico

Se puede observar un aumento de la capacidad de eliminación (CE) de benceno a medida que se incrementa la carga de operación en el sistema. Los valores máximos encontrados para la CE de benceno fueron de 122.4 y 181.2 $\text{g m}^{-3} \text{h}^{-1}$, para el BTF1 y BTF2 respectivamente. Por otra parte, se observa un incremento proporcional de la CE de tolueno con la carga contaminante afluente, con decaimientos en los días de cambio de proporción y carga contaminante. El BTF2 presentó una mayor capacidad de eliminación, con un valor máximo de 165.6 $\text{g m}^{-3} \text{h}^{-1}$, en comparación con el BTF1 en el cual se obtuvo una CE máxima de 136.5 $\text{g m}^{-3} \text{h}^{-1}$. Finalmente, se observó una mayor capacidad de eliminación de xileno en la primera carga contaminante, para una concentración de 800 ppmv de BTX, y se observó un incremento en la CE, en la fase de operación en la cual se cambió la proporción del xileno, siendo esta el doble de la aplicada para el benceno y el tolueno, obteniendo como valores máximos 184.2 y 185.6 $\text{g m}^{-3} \text{h}^{-1}$, para los BTF1 y BTF2, respectivamente.

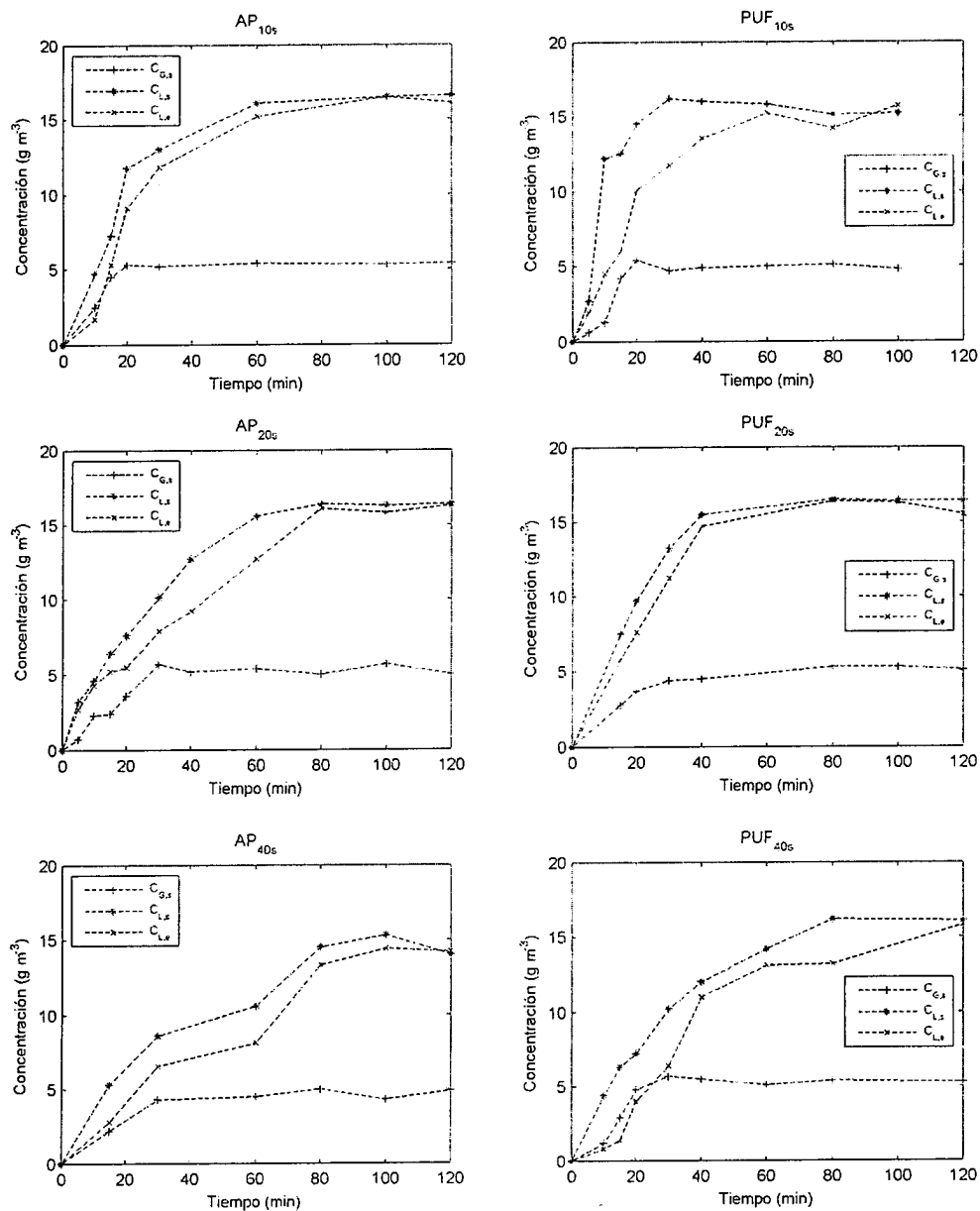


Figura 5 Concentraciones experimentales en el BTF empacado con anillos plásticos (AP) y Espuma de poliuretano (PUF) a diferentes EBRTs

Se observó en ambos biorreactores que a menor carga contaminante, la CE alcanza valores

próximos a la carga contaminante, lo cual representa una mayor eficiencia de remoción como se observa en las figuras 6 y 7. El BTF2 presentó mayor capacidad de eliminación para BTX a lo largo del periodo de estudio, respecto al BTF1. La CE del xileno, fue mayor en ambos reactores en comparación con el benceno y tolueno, por lo cual las mayores eficiencias de remoción en este estudio, se obtuvieron para el xileno como parte de una mezcla. Sin embargo se presentaron tendencias similares para los tres contaminantes en el BTF2, en el cual se obtuvieron los máximos valores de eficiencia de remoción de BTX para las tres concentraciones empleadas (800, 1000 y 1500 ppmv).

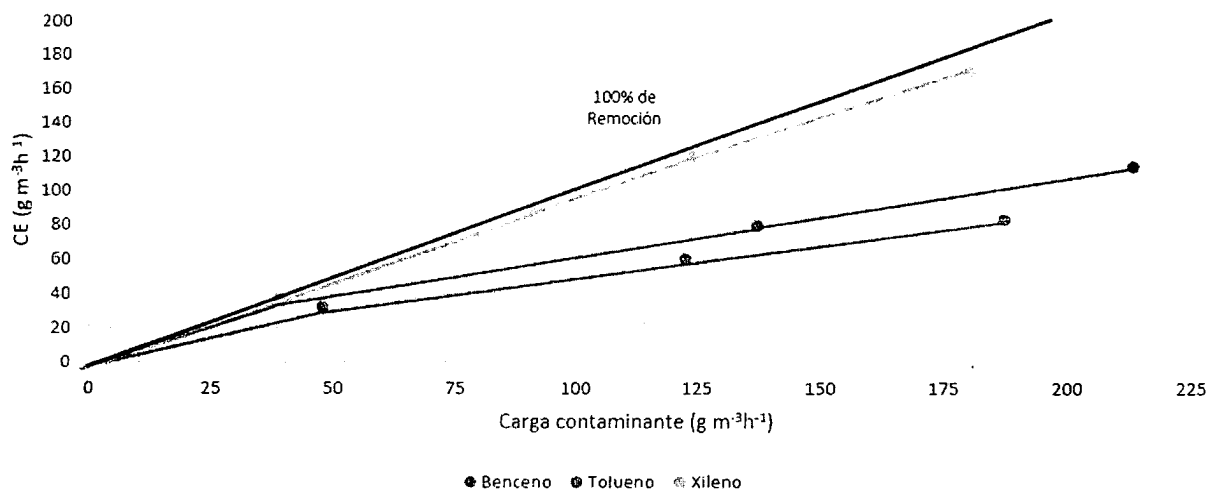


Figura 6. Capacidad de Eliminación de BTX en el BTF1

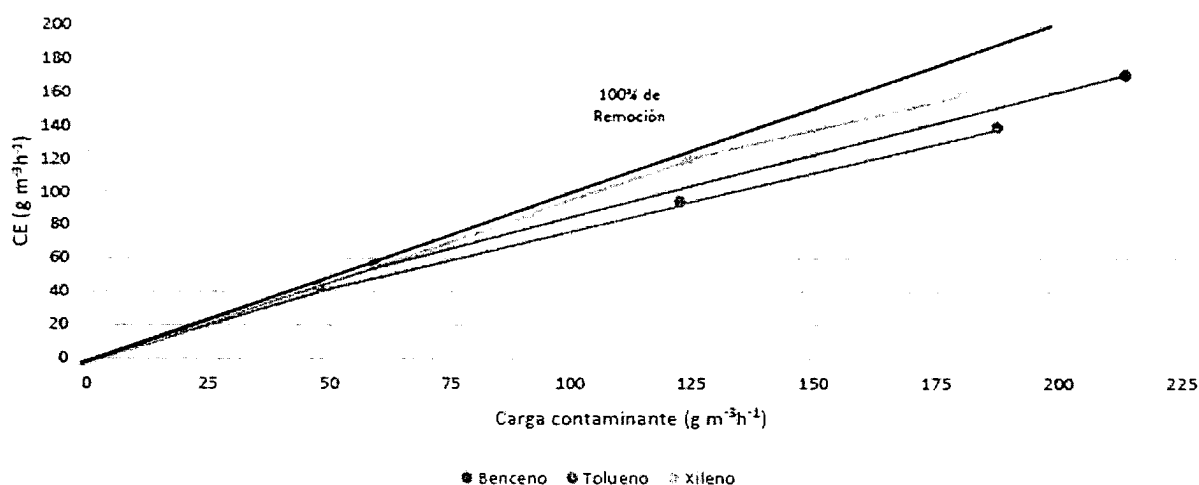


Figura 7. Capacidad de Eliminación de BTX en el BTF2

2.5 Principales Conclusiones



- El lodo utilizado como inóculo mostró una adaptación rápida a los contaminantes en estudio (BTX), mediante el protocolo establecido para su aclimatación en 37 días el inóculo llegó al estado estacionario y a un buen desarrollo de las especies microbiológicas de interés para los BTXs. Esto indica que la metodología utilizada puede ser aplicada en la generación de inóculos microbianos para depuración de BTX en corrientes gaseosas mediante sistemas biológicos.
- El modelo de Haldane resultó ser el más adecuado para describir el comportamiento del inóculo degradando los contaminantes puros benceno, tolueno y xileno, debido principalmente por las altas concentraciones de sustrato utilizadas; igualmente para esas concentraciones las tasas de crecimiento de los microorganismos degradando BTX fueron significativas lo que sugiere que a pesar de que hubo inhibición se presentó biodegradación.
- Cuando los compuestos son alimentados en mezcal con diferentes proporciones su velocidad de biodegradación es afectada esto fue comprobado mediante la aplicación del modelo SKIP. Este modelo sugiere que las interacciones entre los sustratos no son específicas y son más complejas que las establecidas por los otros modelos cinéticos propuestos, a pesar de que los contaminantes evaluados son considerados homólogos. Por ejemplo, la biodegradación del el tolueno se vio influenciada por la presencia de benceno y xileno.
- A partir de los K_{La} experimentales y ecuaciones derivadas del modelo se identificaron limitaciones de transferencia de masa de xileno; estas limitaciones generan que el desempeño del biorreactor disminuya. De acuerdo a estos resultados, el diseño de biorreactores para el tratamiento de corrientes gaseosas contaminadas con xileno debe basarse en las ecuaciones obtenidas de los fenómenos de transferencia de masa.
- De acuerdo a los resultados obtenidos, se observó una relación directamente proporcional entre la carga contaminante y la capacidad de eliminación en ambos biorreactores. El rendimiento del sistema para remover BTX de la corriente de aire, disminuyó con el incremento de la carga contaminante, presentándose altas eficiencias de remoción, para cargas de BTX bajas. En cuanto a los medios de empaque empleados en el estudio, se evidenció un mayor rendimiento en el BTF2, en el cual se utilizó espuma de poliuretano, presentando mayores eficiencias de remoción y capacidades de eliminación.
- Las proporciones en la mezcla de BTX son un factor importante para la eficiencia de remoción de los contaminantes; en la condición de concentraciones equimolares, el orden preferente de biodegradación en los biorreactores fue xileno, benceno y tolueno; sin embargo, se presentaron eficiencias de remoción por encima del 80% para los tres contaminantes. Se observó que el incremento de la proporción de xileno, favoreció la remoción de benceno y tolueno; y al aumentar al doble la proporción de benceno respecto a la del xileno y tolueno, se presentó un efecto positivo en la biodegradación del tolueno; mientras que el incremento en la proporción de tolueno, no afectó la ER del xileno ni la del benceno.

2.6 Bibliografía



BORIN, S., MARZORATI, M., BRUSETTI, L., ZILLI, M., CHERIF, H., HASSEN, A., CONVERTI, A., SORLINI, C. & DAFFONCHIO, D. 2006. Microbial succession in a compost-packed biofilter treating benzene-contaminated air. *Biodegradation*, 17, 79-89.

CAICEDO, C., & GUERRERO, C. (2011). *Biodegradación de Vapores de Xileno Mediante un Biofiltro Percolador*. Universidad del Valle.

DEVINNY, J. S. & RAMESH, J. 2005. A phenomenological review of biofilter models. *Chemical Engineering Journal*, 113, 187-196.

ELÍAS, A., BARONA, A., GALLASTEGI, G., ROJO, N., GURTUBAY, L. & IBARRA-BERASTEGI, G. 2010. Preliminary acclimation strategies for successful startup in conventional biofilters. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 60, 959-967.

GRADY, C. L., SMETS, B. F. & BARBEAU, D. S. 1996. Variability in kinetic parameter estimates: a review of possible causes and a proposed terminology. *Water research*, 30, 742-748.

IRANPOUR, R., COX, H. H., DESHUSSES, M. A. & SCHROEDER, E. D. 2005. Literature review of air pollution control biofilters and biotrickling filters for odor and volatile organic compound removal. *Environmental Progress*, 24, 254-267.

JIANG, X., LUO, Y., YAN, R. & TAY, J. H. 2009. Impact of substrates acclimation strategy on simultaneous biodegradation of hydrogen sulfide and ammonia. *Bioresource Technology*, 100, 5707-5713.

JONES, K. D., MARTINEZ, A., MAROO, K., DESHPANDE, S. & BOSWELL, J. 2004. Kinetic evaluation of H₂S and NH₃ biofiltration for two media used for wastewater lift station emissions. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 54, 24-35.

KHODER, M. I. 2007. Ambient levels of volatile organic compounds in the atmosphere of Greater Cairo. *Atmospheric Environment*, 41, 554-566.

KUMAR, T. P., RAHUL, M. & CHANDRAJIT, B. 2011. Biofiltration of volatile organic compounds (VOCs)—An overview. *Research Journal of Chemical Sciences*

ISSN, 2231,
606X.

KWON, K. H. & YEOM, S. H. 2009. Optimal microbial adaptation routes for the rapid degradation of high concentration of phenol. *Bioprocess and Biosystems Engineering*, 32, 435-442.

MALHAUTIER, L., KHAMMAR, N., BAYLE, S. & FANLO, J.-L. 2005. Biofiltration of volatile organic compounds. *Applied microbiology and biotechnology*, 68, 16-22.

MALIYEKKAL, S. M., RENE, E. R., PHILIP, L. & SWAMINATHAN, T. 2004. Performance of BTX degraders under substrate versatility conditions. *Journal of hazardous materials*, 109, 201-211.

MUDLIAR, S., GIRI, B., PADOLEY, K., SATPUTE, D., DIXIT, R., BHATT, P., PANDEY, R., JUWARKAR, A. & VAIDYA, A. 2010. Bioreactors for treatment of VOCs and odours - A review. *Journal of Environmental Management*, 91, 1039-1054.

PRADO, Ó. J., VEIGA, M. C. & KENNES, C. 2005. Treatment of gas-phase methanol in conventional biofilters packed with lava rock. *Water research*, 39, 2385-2393.

REARDON, K. F., MOSTELLER, D. C. & BULL ROGERS, J. D. 2000. Biodegradation kinetics of benzene, toluene, and phenol as single and mixed substrates for *Pseudomonas putida* F



1. *Biotechnology and Bioengineering*, 69, 385-400.
- STEELE, J. A., OZIS, F., FUHRMAN, J. A. & DEVINNY, J. S. 2005. *Structure of microbial communities in ethanol biofilters*. *Chemical Engineering Journal*, 113, 135-143.
- TREJO, G. (2001). *Caracterización de un Biorreactor de Lecho Escurrido para la degradación de metanol durante un período largo de operación*. Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa
- YANG, C., CHEN, H., ZENG, G., YU, G. & LUO, S. 2010. *Biomass accumulation and control strategies in gas biofiltration*. *Biotechnology Advances*, 28, 531-540.
- ZAGAL, E. & SADZAWKA, A. 2007. *Protocolo de métodos de análisis para suelos y lodos*. Universidad de Concepción Facultad de Agronomía Chillán. Elaborado con la participación de la Comisión de Normalización y Acreditación de la Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo por encargo del Servicio Agrícola y Ganadero, Chile.
- ZHANG, G., XIE, S. & HO, Y.-S. 2009. *A bibliometric analysis of world volatile organic compounds research trends*. *Scientometrics*, 83, 477-492.

3. Productos:

Tabla No. 1. Cantidad y tipo de productos pactados en el *Acta de Trabajo y Compromiso* y productos finalmente presentados

TIPO DE PRODUCTOS	No. de PRODUCTOS PACTADOS	No. de PRODUCTOS PRESENTADOS
Productos de nuevos conocimientos		
Artículo completo enviado para publicación en revistas A1 o A2	2	2
Artículo completo publicados en revistas B		
Artículo completo publicados en revistas C		
Libros de autor que publiquen resultados de investigación		
Capítulos en libros que publican resultados de investigación		



TIPO DE PRODUCTOS	No. de PRODUCTOS PACTADOS		No. de PRODUCTOS PRESENTADOS	
Productos o procesos tecnológicos patentados o registrados				
• Prototipos y patentes				
• Software				
Productos o procesos tecnológicos usualmente no patentables o protegidos por secreto industrial				
Normas basadas en resultados de investigación				
Formación de recursos humanos	No. de estudiantes vinculados	No. de tesis	No. De estudiantes Vinculados	No. De tesis
Estudiantes de pregrado	2	2	4	3
Semillero de Investigación	2		2	
Estudiantes de maestría	1		2	
Estudiantes de doctorado	1		1	
Productos de divulgación				
Publicaciones en revistas no indexadas				
Ponencias presentadas en eventos (congresos, seminarios, coloquios, foros)	No. de ponencias nacionales	No. de ponencias internacionales	No. de ponencias nacionales	No. de ponencias internacionales
Propuesta de investigación	1	1	1	1
Propuestas presentadas en convocatorias externas para búsqueda de financiación.	1			

Tabla No. 2. Detalle de productos.



Tipo de producto:	Artículo enviado para publicación
Nombre General:	Revista Colombiana de Biotecnología
Nombre Particular:	TRATAMIENTO BIOLÓGICO DE CORRIENTES GASEOSAS CONTAMINADAS CON XILENO
Ciudad y fechas:	Enviado 10 de abril de 2016.
Participantes:	Francisco J. Caicedo, Ubaldo Agudelo Paz, Yesid Rivera Díaz y Juan P. Silva
Sitio de información:	
Formas organizativas:	Grupo de Investigación ECCA
Tipo de producto:	Artículo enviado para publicación
Nombre General:	Biochemical Engineering Journal
Nombre Particular:	DETERMINATION OF MASS TRANSFER COEFFICIENTS IN BIOTRICKLING FILTERS TREATING WASTE GAS STREAMS CONTAMINATED WITH XYLENE
Ciudad y fechas:	Enviado 10 de abril de 2016.
Participantes:	Francisco J. Caicedo, Daniel Eugenio Melo Cruz y Juan P. Silva
Sitio de información:	
Formas organizativas:	Grupo de Investigación ECCA
Tipo de producto:	Tesis de Pregrado
Nombre General:	
Nombre Particular:	EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO DE DOS BIOFILTROS PERCOLADORES EN LA ELIMINACIÓN DE VAPORES DE BENCENO, TOLUENO Y XILENO (BTX)



Ciudad y fechas:	10 de junio de 2015.
Participantes:	Andrea Peña Lizcano, Diego Quintero Navia y Juan Pablo Silva
Sitio de información:	Biblioteca Mario Carvajal - Univalle
Formas organizativas:	Grupo de Investigación ECCA- GAOX
Tipo de producto:	Tesis de Pregrado
Nombre General:	
Nombre Particular:	ESTUDIO CINÉTICO DE LA BIODEGRADACIÓN DE VAPORES DE BTX EN REACTORES BATCH: FUNDAMENTO PARA LA MEJORA DE LOS PROCESOS DE UN BIOFILTRO PERCOLADOR
Ciudad y fechas:	09 de junio de 2015.
Participantes:	Sandra Marcela Lozano Caicedo y Juan Pablo Silva
Sitio de información:	Biblioteca Mario Carvajal - Univalle
Formas organizativas:	Grupo de Investigación ECCA-GAOX
Tipo de producto:	Tesis de Pregrado
Nombre General:	
Nombre Particular:	INFLUENCIA DE LA CARGA CONTAMINANTE EN LA ELIMINACIÓN DE XILENO MEDIANTE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN BIOFILTRO PERCOLADOR
Ciudad y fechas:	19 de marzo de 2015.
Participantes:	Yesid Rivera Diaz y Juan Pablo Silva
Sitio de información:	Biblioteca Mario Carvajal - Univalle
Formas organizativas:	Grupo de Investigación ECCA



Tipo de producto:	Semillero de Investigación
Nombre General:	
Nombre Particular:	Pasantía en Investigación I
Ciudad y fechas:	Semestre Agosto – Diciembre de 2014
Participantes:	Andrea Peña Lizcano y Juan P. Silva
Sitio de información:	
Formas organizativas:	Grupo de Investigación ECCA
Tipo de producto:	Semillero de Investigación
Nombre General:	
Nombre Particular:	Pasantía en Investigación I
Ciudad y fechas:	Semestre Agosto – Diciembre de 2014
Participantes:	Diego Quintero Navia y Juan P. Silva
Sitio de información:	
Formas organizativas:	Grupo de Investigación ECCA
Tipo de producto:	Tesis de Maestría
Nombre General:	
Nombre Particular:	EVALUACIÓN DE LOS COEFICIENTES GLOBALES DE TRANSFERENCIA DE MASA EN BIOFILTROS PERCOLADORES PARA EL TRATAMIENTO DE CORRIENTES GASEOSAS RESIDUALES CONTAMINADAS CON XILENO



Ciudad y fechas:	13 de abril de 2016.
Participantes:	Daniel Melo Cruz y Juan Pablo Silva
Sitio de información:	Biblioteca Mario Carvajal - Univalle
Formas organizativas:	Grupo de Investigación ECCA
Tipo de producto:	Tesis de Maestría
Nombre General:	
Nombre Particular:	ELIMINACIÓN DE VAPORES DE XILENO PRESENTES EN UNA CORRIENTE DE GAS EN UN BIOFILTRO PERCOLADOR
Ciudad y fechas:	31 de marzo de 2016.
Participantes:	Ubaldo Agudelo Paz y Juan Pablo Silva
Sitio de información:	Biblioteca Mario Carvajal - Univalle
Formas organizativas:	Grupo de Investigación ECCA
Tipo de producto:	Estudiante Doctorado
Nombre General:	
Nombre Particular:	
Ciudad y fechas:	
Participantes:	Francisco Javier Caicedo Messa y Juan Pablo Silva
Sitio de información:	
Formas organizativas:	Grupo de Investigación ECCA
Tipo de producto:	Presentación de Resultado en Evento Nacional



Nombre General:	XXVIII Congreso Colombiano de Ingeniería Química
Nombre Particular:	EFFECTO DE LA CARGA CONTAMINANTE EN EL RENDIMIENTO DE UN SISTEMA BIOLÓGICO DISEÑADO PARA TRATAR CORRIENTES GASEOSAS CONTAMINADAS CON VAPORES DE XILENO
Ciudad y fechas:	Bogotá, 28 al 30 de octubre de 2015.
Participantes:	Francisco Javier Caicedo, Ubaldo Agudelo Paz y Juan Pablo Silva
Sitio de información:	
Formas organizativas:	Grupo de Investigación ECCA
Tipo de producto:	Presentación de Resultado en Evento Internacional
Nombre General:	BioTechniques Ghent 2015. The 6th international conference on biotechniques for air pollution control
Nombre Particular:	DETERMINATION OF MASS TRANSFER COEFFICIENTS IN BIOTRICKLING FILTERS TREATING WASTE GAS STREAMS CONTAMINATED WITH XYLENE
Ciudad y fechas:	Ghent (Belgica), 2 al 4 de septiembre de 2015.
Participantes:	Francisco Javier Caicedo, Daniel Melo Cruz y Juan Pablo Silva
Sitio de información:	
Formas organizativas:	Grupo de Investigación ECCA
Tipo de producto:	Presentación de Resultado en Evento Institucional
Nombre General:	XI Semana de la Ingeniería. 7 Simposio de Investigaciones. Univalle
Nombre Particular:	ELIMINACIÓN D VAPORES DE XILENO PRESENTES EN UNA CORRIENTE DE GAS EN UN BIOFILTRO PERCOLADOR
Ciudad y fechas:	Cali, 18 al 21 de noviembre de 2014.
Participantes:	Francisco Javier Caicedo, Daniel Melo Cruz , Yesid Rivera Diaz y Juan Pablo Silva



Sitio de información:	
Formas organizativas:	Grupo de Investigación ECCA

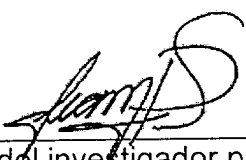
4. Impacto potencial

Los resultados de la presente investigación responden a retos y deficiencias encontradas en el campo de la investigación de sistemas de tratamiento biológicos de compuestos peligrosos en corrientes gaseosas residuales. Específicamente esta investigación contribuye en el estudio de modelos cinéticos para mezclas de contaminantes y sus interacciones, así como el cálculo de parámetros cinéticos, siendo esta una limitación encontrada investigaciones previas. Por otra parte, la determinación experimental de los coeficientes de transferencia de masa y su posterior aplicación en modelos matemáticos de sistemas biológicos, es referenciada como un aporte significativo, que disminuye las limitaciones de modelos que toman estos parámetros de valores teóricos.

Además, se espera que los resultados de la investigación propuesta sirvan como insumo científico para la innovación tecnológica de los sistemas biológicos para el tratamiento de corrientes gaseosas contaminadas con COVs de origen industrial, contribuyendo a mejorar la calidad del aire en las zonas urbanas y consecuentemente la salud de las comunidades expuestas a COVs y las condiciones ambientales del entorno.

Por otra parte, se busca aportar soluciones innovadoras para las industrias que emiten COVs permitiéndoles cumplir con la normatividad ambiental (res 909 de 2008 MAVDT). En este sentido, contribuir con soluciones a los problemas de contaminación atmosférica en Colombia, la cual según el Conpes 3344 afecta la salud y productividad de las personas, en particular de los grupos sociales con menores recursos económicos.

Finalmente se desea destacar el aporte del presente proyecto a la formación en investigación a estudiantes del pregrado, la maestría y doctorado en Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Esto contribuye al fortalecimiento de capacidades humanas con posibilidad de intervención en temas innovadores como el del tratamiento biológico de gases abordado en esta investigación.


Firma del investigador principal

VoBo. Vicedecano de Investigaciones



FRANCISCO JAVIER CAICEDO MESSA <francisco.caicedo@correounivalle.edu.co>

Submission Confirmation

1 mensaje

BEJ <a.arulanandaraj@elsevier.com>

10 de abril de 2016, 22:46

Para: francisco.caicedo@correounivalle.edu.co

Cc: daniel.eugenio.melo@correounivalle.edu.co, juan.silva@correounivalle.edu.co

A1

****BEJ changed its classifications in August 2014 - have you re-selected yours yet?****

Re: DETERMINATION OF MASS TRANSFER COEFFICIENTS IN BIOTRICKLING FILTERS TREATING WASTE GAS STREAMS CONTAMINATED WITH XYLENE
by Francisco Caicedo; Daniel Melo; Juan P. Silva
Full Length Article

Dear Mr. Francisco Caicedo,

Your submission entitled "DETERMINATION OF MASS TRANSFER COEFFICIENTS IN BIOTRICKLING FILTERS TREATING WASTE GAS STREAMS CONTAMINATED WITH XYLENE" has been received by Biochemical Engineering Journal

You may check on the progress of your paper by logging on to the Elsevier Editorial System as an author. The URL is <http://ees.elsevier.com/bej/>.

Your username is: francisco.caicedo@correounivalle.edu.co

If you need to retrieve password details, please go to: http://ees.elsevier.com/BEJ/automail_query.asp

Your manuscript will be given a reference number once an Editor has been assigned.

Thank you for submitting your work to this journal.

Kind regards,

Elsevier Editorial System
Biochemical Engineering Journal

For further assistance, please visit our customer support site at <http://help.elsevier.com/app/answers/list/p/7923>. Here you can search for solutions on a range of topics, find answers to frequently asked questions and learn more about EES via interactive tutorials. You will also find our 24/7 support contact details should you need any further assistance from one of our customer support representatives.



FRANCISCO JAVIER CAICEDO MESSA <francisco.caicedo@correounivalle.edu.co>

[Rev.Colomb.Biote] Envío recibido

1 mensaje

Dolly Montoya Castaño <revcbib_bog@unal.edu.co>

10 de abril de 2016, 18:51

Para: Francisco Javier Caicedo Messa <francisco.caicedo@correounivalle.edu.co>

A2

Francisco Javier Caicedo Messa:

Gracias por enviarnos su manuscrito "TRATAMIENTO BIOLOGICO DE CORRIENTES GASEOSAS CONTAMINADAS CON XILENO" a Revista Colombiana de Biotecnología. Gracias al sistema de gestión de revistas online que usamos podrá seguir su progreso a través del proceso editorial identificándose en el sitio web de la revista:

URL del manuscrito:

<http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/biotecnologia/author/submission/56945>

Nombre de usuario/o: fjcaicedom

Si tiene cualquier pregunta no dude en contactar con nosotros/as. Gracias por tener en cuenta esta revista para difundir su trabajo.

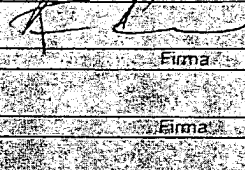
Dolly Montoya Castaño

Revista Colombiana de Biotecnología

Revista Colombiana de Biotecnología

INFORMACIÓN GENERAL

INFLUENCIA DE LA CARGA CONTAMINANTE EN LA ELIMINACIÓN DE XILENO MEDIANTE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN BIOFILTRO PERCOLADOR	FECHA	DIA	MES	AÑO
	HORA	08:00 a.m.		
Estudiante(s)		Código		
YESID RIVERA DIAZ		200931287		

Nombre del director 1	Firma
JUAN PABLO SILVA VINASCO	
Nombre del director 2	Firma
FRANCISCO CAICEDO	
Nombre del Asesor 1	Firma
Nombre del Asesor 2	Firma

COMITÉ EVALUADOR

Nombre del evaluador 1	Firma
CARLOS ROSA TORERO	
Nombre del evaluador 2	Firma

EVALUACIÓN

Escala de evaluación

Bastante Bueno	Bueno	Regular	Aceptable	Deficiente
4.0 - 4.5	3.5 - 4.0	3.0 - 3.5	2.5 - 3.0	2.0 - 2.5

	Nota	Ponderación	Total
Nota de Evaluación de la Tesis (Trabajo de Grado)	4.8	60%	
Nota de Evaluación de la Tesis (Trabajo de Grado)	4.8	40%	
NOTA FINAL		100%	

OBSERVACIONES

DEFINICIÓN Y COMPROMISOS MENCION
El estudiante ha cumplido con los requisitos establecidos en la Resolución xxx
El estudiante ha cumplido con los requisitos establecidos en la Resolución xxx

DEFINICIÓN Y COMPROMISOS MENCION
El estudiante ha cumplido con los requisitos establecidos en la Resolución xxx
El estudiante ha cumplido con los requisitos establecidos en la Resolución xxx

Firma del Director de Programa



FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA DE RECURSOS
NATURALES Y DEL AMBIENTE

ACTA DE APROBACIÓN TRABAJO DE GRADO

El Trabajo de Grado titulado **"Evaluación de los coeficientes globales de transferencia de masa en biofiltros percoladores para el tratamiento de corrientes gaseosas residuales contaminadas con xileno"** presentado por el estudiante Daniel Eugenio Melo Cruz de la Maestría en Ingeniería, énfasis en Ing. Sanitaria y Ambiental, en cumplimiento parcial de los requisitos para optar al título de Magíster en Ingeniería, fue APROBADO, por el Jurado Evaluador el día 13 de abril de 2016.

Ing. PhD. DIANA CAICEDO CONCHA
Jurado Evaluador

Ing. PhD. FRANCISCO MOLINA PÉREZ
Jurado Evaluador

Ing. MSc. JUAN PABLO SILVA VINASCO
Director Trabajo de Investigación

Ing. PhD. LUIS FERNANDO MARMOLEJO REBELLON
Programa de Posgrado en
Ingeniería Sanitaria y Ambiental

Santiago de Cali, Junio 10 del 2015

Señora:
Yenny Rodriguez
Directora de programa
Ingeniería Sanitaria y Ambiental
Santiago de Cali

Cordial Saludo.

Mediante la presente me permito remitir el trabajo de grado titulado: "Evaluación del rendimiento de dos biofiltros percoladores en la eliminación de vapores de Benceno, Tolueno y Xileno (BTX)", realizado por los estudiantes: Lizeth Andrea Peña Lizcano, código 1034756, y Diego Alejandro Quintero Navia, código 1032606, pertenecientes al programa de Ingeniería Sanitaria y Ambiental.

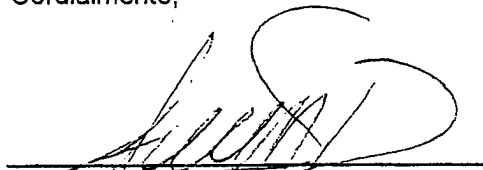
Los siguientes son los potenciales evaluadores del mencionado trabajo:

José González Gnecco
Correo electrónico: ggnecco@sucomiles.com.co
Empresa Sucromiles

Deyanira Muñoz Muñoz
Correo electrónico de contacto: demunoz@unicauca.edu.co

Gracias por la atención prestada.

Cordialmente,



Ing. JUAN PABLO SILVA VINASCO
Docente

Escuela de Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente – EIDENAR

Facultad de Ingeniería



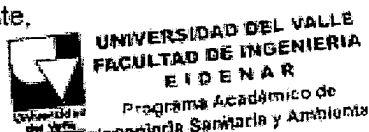
LA DIRECTORA DEL PROGRAMA DE INGENIERIA SANITARIA Y AMBIENTAL DE
LA UNIVERSIDAD DEL VALLE

INFORMA

Que la estudiante de Ingeniería Sanitaria y Ambiental SANDRA MARCELA LOZANO CAICEDO, identificada con la cédula de ciudadanía No. 11438488904, cursó las asignaturas del Pensum Académico y su Trabajo de Grado se encuentra en evaluación.

Esta información se da a solicitud de la estudiante a los dieciocho (18) días del mes de Junio de Dos Mil Quince (2015).

Cordialmente,



Jenny A. Rodríguez V.
JENNY A. RODRIGUEZ V.

Directora

Programa Académico de Ingeniería Sanitaria y Ambiental

PROGRAMA DE INGENIERIA SANITARIA Y AMBIENTAL

Universidad del Valle
Ciudad Universitaria Meléndez - Apartado Aéreo 25360
Commutador 3212100 Ext. 2183 - 2266 Telefax 3312175
Santiago de Cali - Colombia

Facultad de Ingeniería



Santiago de Cali, Junio 9 de 2015

Ingeniera
Jenny Rodriguez
Directora de programa Ingeniería Sanitaria y Ambiental

Cordial Saludo.

Mediante la presente me permito remitir para evaluación el documento final del trabajo de grado titulado: "Estudio cinético de la biodegradación de vapores BTX en reactores batch: fundamento para la mejora de los procesos en un biofiltro percolador", realizado por la estudiante Sandra Marcela Lozano Caicedo, código 1036604, perteneciente al Programa de Ingeniería Sanitaria y Ambiental.

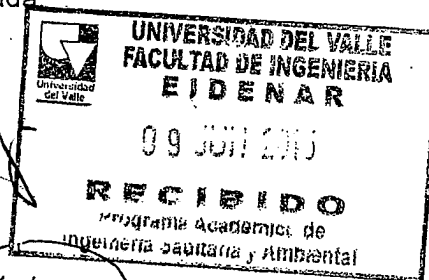
Los siguientes son los potenciales evaluadores del mencionado trabajo:

Luz Estella Cadavid Rodriguez.
Correo electrónico de contacto: iscadavidr@unal.edu.co

Juan manuel barraza ingeniero quimico
Correo electrónico de contacto: juan.barraza@correounivalle.edu.co

Gracias por la atención prestada

Atentamente,



Juan Pablo Silva Vinasco
Profesor EIDENAR

[Cerrar](#)

Estudiante : 201034756 – PEÑA LIZCANO LIZETH ANDREA

Documento: C.C.1062296558

Programa Académico : 3754-00-DIU-INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL



Email Institucional: lizeth.pena@correounivalle.edu.co

Tipo de Ingreso: ADMISION

Resolución del estudiante: (311) 075 de 2008

Tipo de Currículo: RF -> REFORMA CURRICULAR

PERIODO: AGOSTO/2014 - DICIEMBRE/2014

Fecha Matricula:			2014-08-06							
CÓDIGO	GR	ASIGNATURA	TM	CAL	HAB	FUND	COMP	CRED	CANCELA	REACTIVACIÓN
720183M	01	CONSTRUCCIONES ISAM	N	4.5		AP	SIN	3		
730054M	01	REMOCIÓN DE AGUAS	N	3.2		AP	TEC	3		
730080M	01	GESTIÓN EN SALUD AMBIENTAL	N	4.5		AP	SIN	3		
730114M	01	TRABAJO DE GRADO I IS	N	4.7		AP	SIN	2		
730230M	01	GESTIÓN DEL RIESGO EN AGUA POTABLE	N	4.8		EP	TEC	3		
760105M	02	EVALUACIÓN Y ADMINISTRACIÓN DE PROYECTOS	N	4.9		AB	TEC	3		
999034M	01	PASANTÍA EN INVESTIGACIÓN I - INGENIERÍAS	N	4.5		EC	SIN	3		

Resumen de Finalización por periodo

Créditos Matriculados:	20	Núm. Créd. Aprobados :	20	% Créd. Aprobados :	100%
Créditos Acumulados:	20	Num. Créd. Aprobados Acumulados:	20	Promedio Semestral :	4.43


[Cerrar](#)

Estudiante : **201032606 – QUINTERO NAVIA DIEGO ALEJANDRO**

Documento: **C.C.1144169343**

Programa Académico : **3754-00-DIU-INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL**



Email Institucional: **No tiene asignado**

Tipo de Ingreso: **ADMISION**

Resolución del estudiante: **(311) 075 de 2008**

Tipo de Currículo: **RF -> REFORMA CURRICULAR**

PERIODO: AGOSTO/2014 - DICIEMBRE/2014

Fecha Matricula:		2014-08-06								
CÓDIGO	GR	ASIGNATURA	TM	CAL	HAB	FUND	COMP	CRED	CANCELA	REACTIVACIÓN
720183M	01	CONSTRUCCIONES ISAM	N	4.4		AP	SIN	3		
730054M	01	REMOCIÓN DE AGUAS	N	3.2		AP	TEC	3		
730080M	01	GESTIÓN EN SALUD AMBIENTAL	N	4.7		AP	SIN	3		
730114M	01	TRABAJO DE GRADO I IS	N	4.7		AP	SIN	2		
730230M	01	GESTIÓN DEL RIESGO EN AGUA POTABLE	N	4.8		EP	TEC	3		
760105M	02	EVALUACIÓN Y ADMINISTRACIÓN DE PROYECTOS	N	4.1		AB	TEC	3		
999034M	01	PASANTÍA EN INVESTIGACIÓN I - INGENIERÍAS	N	4.5		EC	SIN	3		

Resumen de Finalización por periodo

Créditos Matriculados:	20	Núm. Créd. Aprobados :	20	% Créd. Aprobados :	100%
Créditos Acumulados:	20	Num. Créd. Aprobados Acumulados:	20	Promedio Semestral :	4.32

Certifica que los autores:

*Juan Pablo Silva, Ubaldo Fillol Agudelo Paz, Yesid Rivera y
Francisco Caicedo*

Participaron en el 7° Simposio de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería
con su ponencia titulada:

*Eliminación de vapores de xileno presentes en una corriente de gas en
un biofiltro percolador*

Realizado en Cali, entre el 18 y 21 de Noviembre de 2014


Carlos Arturo Lozano Moncada
Decano


Patricia Torres Lozada
Vicedecana de Investigación y Posgrados

J. Torres

XXVIII

Congreso
Colombiano de
Ingeniería Química

Bogotá

28 AL 30 DE OCTUBRE 2015

Medellín, 6 de septiembre de 2015

Señor (a)

Francisco Javier Caicedo Messa

Respetuoso Saludo,

Le informamos que ante la alta calidad de las contribuciones presentadas y con el fin de permitir una mayor visibilidad e interacción con los asistentes, el comité académico del XXVIII Congreso Colombiano de Ingeniería Química determinó que todos los trabajos van a ser presentados en formato Poster con un tiempo de exposición de dos horas en el Salón Rojo del Hotel Tequendama bajo una programación que será informada oportunamente.

Adicionalmente, nos complace informarle que su trabajo **EFFECTO DE LA CARGA CONTAMINANTE EN EL RENDIMIENTO DE UN SISTEMA BIOLÓGICO DISEÑADO PARA TRATAR CORRIENTES GASEOSAS CONTAMINADAS CON VAPORES DE XILENO** fue aceptado.

Con el fin que su trabajo pueda ser incluido en las memorias del Congreso con su respectivo ISSN, le solicitamos confirmar su participación antes del 15 de septiembre de 2015 y realizar el pago de la inscripción, la cual tiene un costo de \$400.000 + IVA.

Mayores informes: Contáctica Comunicaciones (4) 4442154 -- 3136619964

ana.zapata@contacticacomunicaciones.com



XXXVIII Congreso Colombiano de Ingeniería Química

Bogotá

28, 29, 30 DE OCTUBRE DE 2015
SALÓN ROJO / HOTEL TEQUENDAMA / BOGOTÁ

La Asociación Colombiana de Ingeniería Química Capítulo Bogotá
y el Consejo Profesional de Ingeniería Química de Colombia

Certifican que:

JUAN PABLO SILVA VINASCO

Asistió al XXXVIII Congreso Colombiano de Ingeniería Química,
celebrado el 28, 29 y 30 de octubre de 2015 en el Hotel Tequendama de Bogotá, Colombia

En calidad de:

ASISTENTE



JAIRO ERNESTO PERILLA PERILLA
Presidente Asociación Colombiana de
Ingeniería Química Capítulo Bogotá



MARCELO ENRIQUE RIVEROS ROJAS
Presidente Consejo Profesional
de Ingeniería Química de Colombia

To whom it may concern

your reference

our reference

date
02/09/2015

contact

e-mail
Christophe.Walgraeve@UGent.be

Phone and fax
T +32 9 264 9379



Proof of Lecture

This is to confirm that the following lecture has been given:

Determination of mass transfer coefficients in biotrickling filters treating waste gas streams contaminated with xylene on Thursday, September 3, 2015;
on the 6th international conference on BioTechniques for air pollution control in Ghent, Belgium, September 2-4, 2015.

On behalf of the organizing committee,

Christophe Walgraeve

<http://www.biotechniquesghent2015.com/>