

REMOCIÓN DE MICROORGANISMOS PATÓGENOS PRESENTES EN UN LICOR MIXTO BAJO CONDICIONES DE LABORATORIO EMPLEANDO FILTROS EMPACADOS EN ZEOLITA NATURAL*

Diana Rocío Acevedo Cifuentes** ; Sandra Milena Builes Felizzola*** ;
Carlos Andrés Ordoñez Ante**** ; Idalia Jacqueline López Sánchez*****

Recibido: 22/07/2011

Aceptado: 05/10/2012

RESUMEN

En este artículo, se presentan los resultados obtenidos en la remoción de coliformes totales, coliformes fecales y salmonella-shigella, presentes en un licor mixto proveniente de la planta de tratamiento de aguas residuales San Fernando (Medellín, Colombia), mediante el uso de una batería de filtros empacados en zeolita clinoptilolita.

La experimentación se desarrolló bajo condiciones controladas de caudal y pH, a temperatura ambiente. Se empleó zeolita natural tipo clinoptilolita la cual se activó con solución salina y secado, se empacó en una batería compuesta por dos filtros, uno de flujo descendente y otro de flujo ascendente, para facilitar el contacto de la solución contaminada y el material adsorbente (zeolita). Se realizaron cinco ensayos independientes y al final de cada uno de ellos se lavó y se activó el material zeolítico antes de comenzar el siguiente. En cada ensayo se tomaron tres muestras.

Se encontró que la eficiencia de los filtros bajo las condiciones específicas de diseño fue significativamente alta en la remoción de los patógenos evaluados, y el porcentaje de remoción fue independiente del valor de la concentración a la entrada del filtro. Además, la eficiencia en la remoción de los patógenos evaluados no dependió del tipo de microorganismo.

Palabras clave: coliformes totales, coliformes fecales, salmonella-shigella, zeolita, filtros, licor mixto.

* Estos resultados hacen parte del proyecto de investigación "Evaluación de la recuperación de un talud degradado empleando biosólidos y técnicas de bioingeniería", desarrollado conjuntamente por la Universidad de Medellín, Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid y la Universidad Católica de Oriente

** Ingeniera Química, especialista en Ingeniería Ambiental, profesora de cátedra, categoría C2, Facultad de Ingenierías U. de M., Cra 87 No 30-65, teléfono 3405452, dracevedo@udem.edu.co fax 3405216

*** Estudiante Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingenierías U. de M., Cra 87 No 30-65, teléfono 3405452, sandra_felizzola@hotmail.com. fax 3405216

**** Ingeniero geólogo, especialista en Mecánica de Suelos y Cimentaciones, magíster en Ingeniería- Geotecnia, profesor asociado Facultad de Ingenierías PCJIC Cra 48 No 7-151, teléfono 3197900 ext. 399, caordonez@elpoli.edu.co, fax 35129660

***** Ingeniera geóloga, magíster en Ingeniería Ambiental, profesora asistente Facultad de Ingenierías U. de M., Cra 87 No 30-65, teléfono 3405452, ilopez@udem.edu.co, fax 3405216

REMOVAL OF PATHOGENIC MICROORGANISMS PRESENT IN MIXED LIQUOR UNDER LABORATORY CONDITIONS BY USING FILTERS PACKED IN NATURAL ZEOLITE

Abstract

This article displays results obtained when total coliforms, fecal coliforms, and *Salmonella shigella* were removed from mixed liquor taken from San Fernando waste water treatment plant in Medellín, Colombia, by using a battery of filters packed in zeolite clinoptilolite.

Experiments were developed under controlled conditions of flow and pH at room temperature. Natural clinoptilolite-type zeolite was used activated with saline solution and drying; it was packed in a battery consisting of two filters (a downward-flow filter and an upward-flow filter) in order to make contact of contaminated solution and adsorbent material (zeolite) easier. Five independent tests were conducted and zeolite matter was washed and activated at the end of each test before starting the next one. Three samples were taken in each test.

It was found that efficiency of filters under specific conditions of design was significantly high when assessed pathogens were removed, and percentage of removal was independent from the concentration value at the filter entry. Besides, efficiency to remove pathogens assessed was not dependent on the type of microorganisms.

Key words: total coliforms; fecal coliforms; *Salmonella shigella*; zeolite; filters; mixed liquor.

INTRODUCCIÓN

A continuación se presentan los resultados obtenidos bajo condiciones de laboratorio relacionados con la determinación de la eficiencia de una batería de filtros empacados en zeolita Clinoptinolita, en la retención de microorganismos patógenos; Coliformes totales, coliformes fecales y *Salmonella-Shigella*, presentes en una solución acuosa compuesta por licor mixto proveniente de la planta de tratamiento de aguas residuales San Fernando (Itagüí). La remoción de patógenos por medio del uso de estos filtros, podría permitir la implementación de estas baterías en campo, disminuyendo la carga contaminante proveniente de las aguas de escorrentía generadas en taludes cubiertos por una mezcla suelo-biosólido, que facilita el establecimiento de coberturas vegetales, contribuyendo al control de varios tipos de procesos erosivos y al mejoramiento de las condiciones de estabilidad de dichos taludes [1], [2], [3], [4]. Además de ofrecer una alternativa al uso de los biosólidos. [1], [5], [6], [7].

Se eligió la zeolita Clinoptilolita como material filtrante por su alta capacidad de adsorción debido a su estructura microporosa en forma de panel de abeja [7, 8], [8, 9], que posibilita la retención de microorganismos presentes en aguas residuales contaminadas generando un biofilm compuesto

por los microorganismos presentes en el agua a tratar, ya que el área superficial de las zeolitas permiten la adherencia de microorganismos como bacterias, [10] entre ellas los patógenos objeto de interés en esta investigación.

Se obtuvieron porcentajes de remoción entre el 80 y el 99% para Coliformes Fecales, entre un 70 y un 99% para el caso de los Coliformes Totales y para *Salmonella Shigella*, en la mayoría de los ensayos por encima del 80%.

Se realizó un análisis exploratorio de los datos, contraste de hipótesis para análisis de muestras pareadas con el fin de determinar diferencias significativas en las muestras antes y después. Además se hizo el análisis de la dependencia de la eficiencia de los filtros con respecto al tipo de variable en estudio.

1 METODOLOGÍA

Con el fin de evaluar la eficiencia de los filtros empacados en zeolita se diseñó un experimento bajo condiciones controladas de laboratorio. Para ello se realizó el montaje de una batería de filtros, compuesta por un primer filtro de flujo descendente, conectado al segundo de flujo ascendente, ambos con un diámetro de 10.5 cm, una altura de 60 cm, y altura de empaque de la zeolita 50 cm (Ver

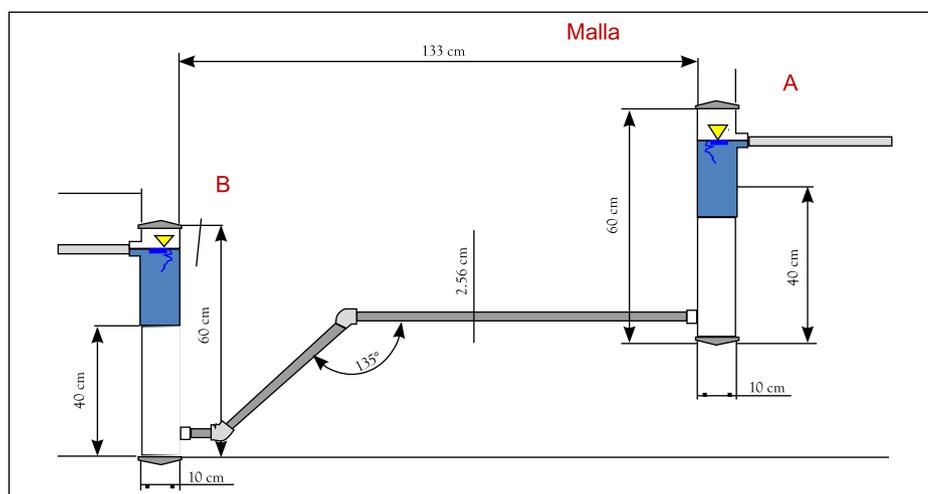


Figura 1. Detalle diseño batería de filtros

Fuente: elaboración propia

figura 1). A cada uno de ellos se le adicionó una mezcla en proporción 1:1 con Zeolita de tamaños 4.75 mm y 2.36 mm, con esto se buscó aumentar la capacidad de adsorción y retención del material en el filtro, sin que la zeolita fuera arrastrada en el proceso de tratamiento[11].

Se usó licor mixto proveniente de la PTAR San Fernando, tomado en el sector LAR (Lodo activado de retorno). A éste licor se le evaluó el contenido de Coliformes totales, Coliformes fecales y *Salmonella-Shigella*, antes de hacerlo pasar por la batería, estos fueron los valores iniciales a considerar para el cálculo de porcentajes de remoción. No se tuvieron en cuenta todos los parámetros de calidad de agua en la caracterización del licor, debido a que el interés del proyecto radicaba en evaluar la remoción de los parámetros microbiológicos de riesgo ambiental, y no otras cuyo objeto sería evaluar la calidad del agua, con parámetros fisicoquímicos.

Este licor se hizo pasar por los filtros con un caudal constante en todas las pruebas, alcanzando la saturación, esto garantizó que la solución estuviera en contacto con la zeolita. Luego de estabilizar el caudal se tomaron tres muestras una inmediatamente después de la otra, con el fin de facilitar el análisis de resultados. Se buscó que el caudal en cada ensayo, estuviera entre 6 y 8 ml/s que correspondía al caudal del agua de escorrentía medido en campo, el cual se obtuvo en una fase anterior de ésta investigación [6], [12], de ésta forma se simulaban condiciones reales, relacionadas con la escorrentía que puede generarse en taludes cubiertos con biosólido.

Para cada ensayo se desmontaron y lavaron todos los elementos del sistema, se empleó en el desarrollo de cada uno de ellos, la misma zeolita que fue lavada y activada en cada ocasión, con una solución de NaCl al 20% (3.5N) que estaría en el rango de 1N a 4N, donde se han tenido buenos resultados en otras experiencias, aunque se puede dejar secando a temperatura ambiente[11], para acelerar el proceso se secó al horno a 100°C por 2

horas, a esta temperatura no hay riesgo de cambios estructurales de la zeolita [13]. Posteriormente se empacó la zeolita en el sistema y se realizó el ensayo siguiente.

Para evaluar la eficiencia de los filtros en la remoción de los microorganismos evaluados se debe tener en cuenta que el pH influye en la supervivencia de los microorganismos, puesto que bajo pHs extremos, éstos no subsisten, por tanto se deben garantizar condiciones cercanas a la neutralidad, de forma que el agua ya tratada cumpla con la condiciones establecidas por el decreto 1594/1984, artículos 38, 39 y 40 [14], que define los criterios de calidad admisibles para la destinación del recurso humano y doméstico.

Los valores de pH hallados en el licor mixto, estuvieron dentro de los rangos determinados por el decreto antes mencionado. Es importante mencionar que el pH no fue modificado. El proceso se realizó a temperatura ambiente, con cinco ensayos independientes uno del otro.

Los datos obtenidos se evaluaron siguiendo un diseño experimental definido previamente, con el cual se buscó evaluar la eficiencia en la remoción de los patógenos de interés y determinar si la eficiencia depende del parámetro que se está evaluando y de la concentración del parámetro en el momento de ingreso al sistema.

La población en estudio fueron los microorganismos patógenos presentes en la solución acuosa, las unidades de análisis fueron las unidades formadoras de colonia por mililitro y Número más probable por cada 100 mililitros (UFC/ml y NMP/100ml).

Se estudió como variables la cantidad de Coliformes totales en NMP/100ml, coliformes fecales en NMP/100ml y *Salmonella-Shigella*, en UFC/ml. Estas variables son de tipo dependiente y cuantitativo.

Las características del proceso de recolección de datos garantizan la independencia en los ensayos, dado que en cada uno de estos, los filtros se

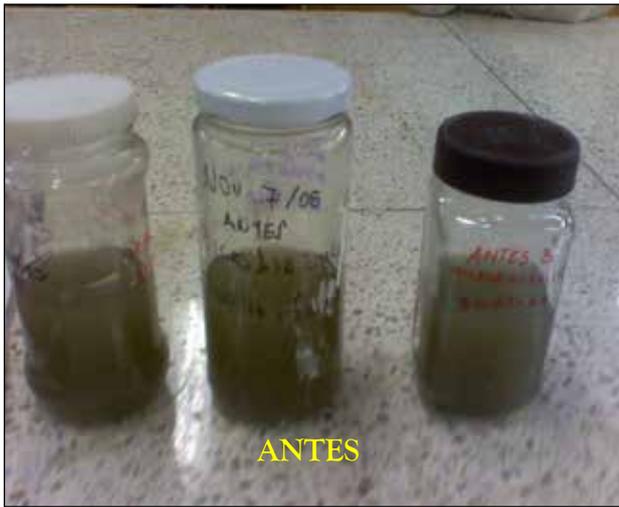


Figura 2. Muestras de agua antes y después de filtrar
Fuente: elaboración propia

encontraban lavados y esterilizados, antes de cada uno de los ensayos.

2 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la tabla 1 se muestran los caudales de trabajo y los pHs obtenidos antes y después de pasar por los filtros, los cuales estuvieron dentro del rango establecido el Decreto 1594/1984, artículos 38, 39 y 40.

Tabla 1. Condiciones de caudal y pH en los ensayos de remoción

Ensayo	Caudal promedio (ml/s)	pH antes del filtro	pH después del filtro
1	6.7	8.4	7.8
2	8.0	8.5	8.2
3	6.0	7.0	8.2
4	8.0	6.8	7.4
5	8.0	6.9	7.6

Fuente: elaboración propia

Como puede observarse en la figura 2, las condiciones de turbiedad disminuyeron luego de que el licor mixto pasó por la batería de filtros, este cambio se observó en los cinco ensayos realizados

y muestra cualitativamente la acción retenedora de la zeolita.

A continuación se presenta el análisis de los resultados cuantitativos obtenidos para las variables evaluadas.

2.1 Remoción de coliformes totales

Como puede observarse en la figura 3, todos los ensayos presentaron valores de remoción por encima del 70%. Las concentraciones iniciales estuvieron por encima de la norma, excepto en el

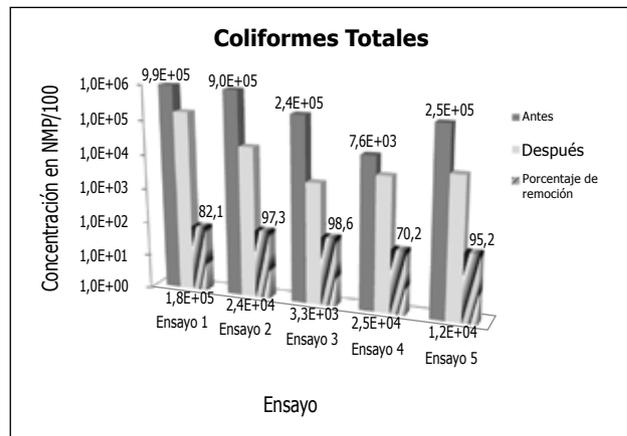


Figura 3. Eficiencia de la batería de filtros en la remoción de Coliformes Totales

Fuente: elaboración propia

ensayo 4. Las concentraciones finales de los ensayos 1, 2 y 4 estuvieron por encima de la norma. Probablemente este comportamiento se deba a que el licor antes de pasar por los filtros presentaba un contenido alto de coliformes fecales. Por lo tanto, aunque se obtuvieron porcentajes de remociones muy altos, los valores finales superan la norma.

2.2 Remoción de coliformes fecales

En la figura 4 se muestra que los ensayos 2, 3 y 5 presentaron concentraciones por encima de la norma a la entrada del filtro. Luego que el agua pasó por los filtros, en los cinco ensayos se presentaron disminuciones en las concentraciones obteniéndose remociones altas independientemente de las concentraciones iniciales. En los ensayos 2 al 5 se observaron remociones mayores al 80%; el ensayo 2 fue el que presentó un valor más alto, con una remoción del 98.5%. Las concentraciones finales en todos los ensayos estuvieron por debajo de la normativa.

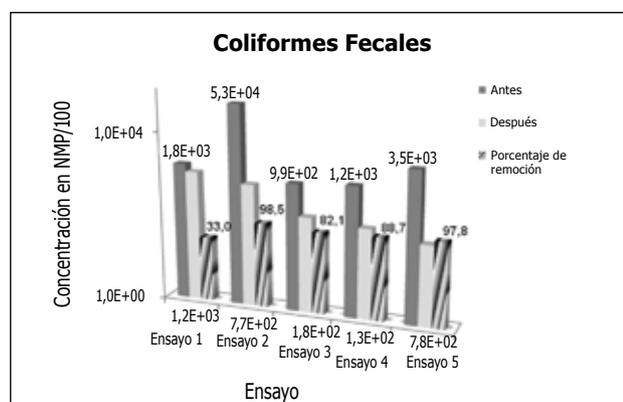


Figura 4. Eficiencia de la batería de filtros en la remoción de Coliformes Fecales

Fuente: elaboración propia

2.3 Remoción de salmonella-shigella

Como puede observarse en la figura 5 los porcentajes de remoción fueron aceptables, estuvieron por encima del 80% en todos los ensayos excepto

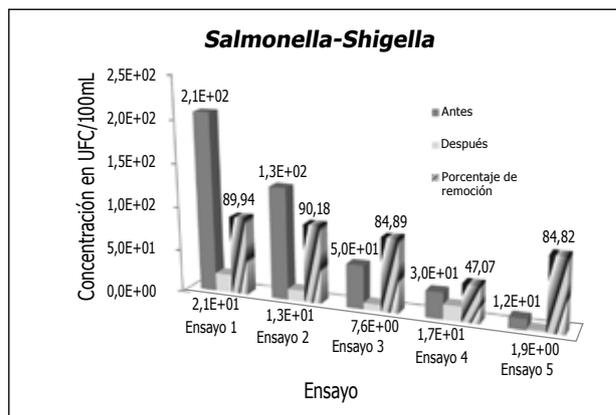


Figura 5. Eficiencia de la batería de filtros en la remoción de Salmonella-Shigella

en el ensayo 4; aunque las concentraciones de entrada no fueron muy altas, la presencia de este patógeno implica un riesgo ambiental, por los efectos que tiene en la salud humana. Las concentraciones halladas a la salida de los filtros también se consideran de riesgo ambiental, ya que en ninguno de los ensayos se logró la eliminación de este patógeno. Aunque no existe una norma en Colombia que establezca un valor límite permisible para este parámetro, la EPA (Environmental Protection Agency) establece la ausencia de estos microorganismos en biosólidos clase A (Norma 40CFR-503) [15], y por tanto, no debe estar presente en las aguas de escorrentía o agua residuales, provenientes de estos lodos, puesto que estos microorganismos pueden ocasionar enfermedades como fiebre tifoidea, salmoneliosis, shigellosis [16].

2.4 Análisis estadístico

A continuación se hace un análisis exploratorio de los datos obtenidos mediante gráficos de frecuencia, razones, gráficos de cajas y bigotes, gráficos de código de nivel, y se contrastan las hipótesis que se consideraron pertinentes para determinar la eficiencia en la remoción de los patógenos de interés. Se hace, además, un análisis comparativo de las proporciones de los datos (antes/después) para determinar si la eficiencia del filtro depende del parámetro que se está evaluando.

2.4.1 Análisis exploratorio

Los gráficos de frecuencia presentados en la figura 6 para coliformes fecales y totales muestran una evidente remoción de los microorganismos. Sobresale el comportamiento que presentan los coliformes fecales en el ensayo 2 antes y después del filtro, ya que la concentración antes del filtro es mucho más alta que la obtenida en los otros ensayos, en tanto que la hallada en el mismo ensayo a la salida del filtro es similar a la de los ensayos restantes; luego se puede afirmar que la concentración hallada a la salida del filtro no es proporcional a la concentración de microorganismos presentes antes de pasar por el filtro.

En cuanto a coliformes totales, la figura 6 muestra en el comportamiento observado en el ensayo 4 una cantidad baja de microorganismos a la entrada, y una salida con un comportamiento similar al de resto de los ensayos, y se mantiene en este caso la afirmación hecha para coliformes fecales referente a la no proporcionalidad de la concentración de microorganismos presentes en la salida del filtro con respecto a la entrada del mismo.

Con el ánimo de determinar la eficiencia del filtro para coliformes totales y fecales, se hizo un gráfico en el que se presentan las proporciones concentración salida filtro / concentración entrada del

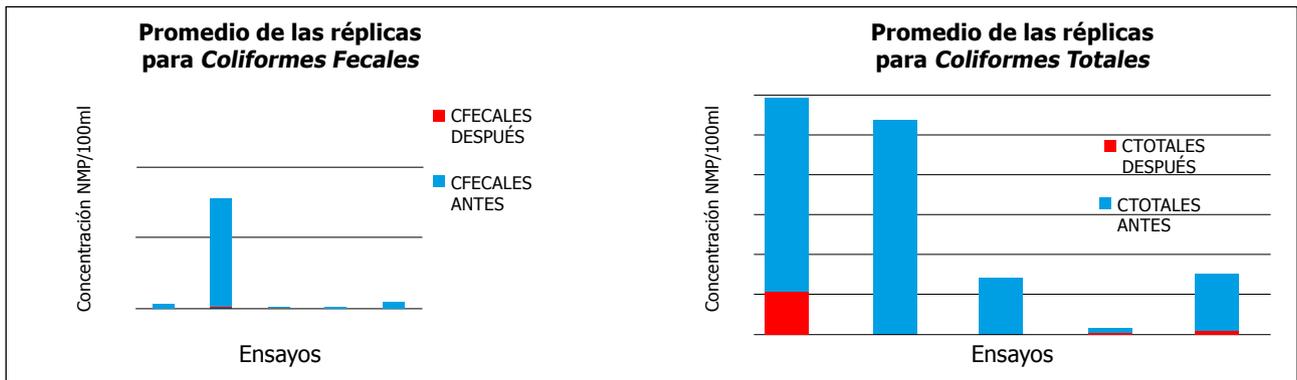


Figura 6. Histograma de las concentraciones halladas antes y después de pasar por el filtro para Coliformes fecales y totales

Fuente: elaboración propia

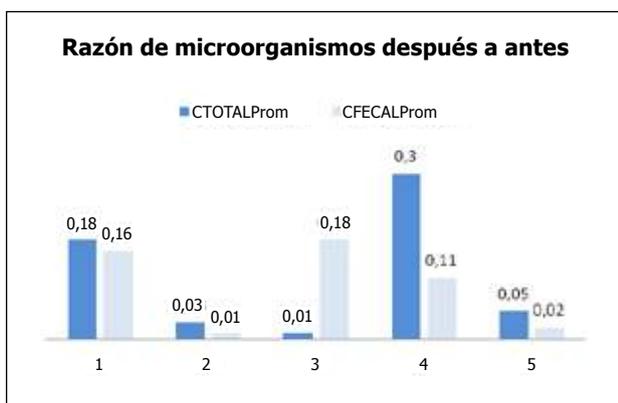


Figura 7. Razón de microorganismos después a antes para Coliformes fecales y coliformes totales

Fuente: elaboración propia

filtro para coliformes fecales y totales, información presentada en figura 7.

Es importante resaltar el comportamiento de los coliformes totales en el ensayo 4. Obsérvese que ya se había notado en la figura 6 que la cantidad de microorganismos que llegaron al filtro en este ensayo fue la más baja; por esto se observa una razón más elevada para este ensayo con respecto a los restantes. Esto se refleja en que la retención de microorganismos para este ensayo fue menos eficiente que en los ensayos restantes. Así, mientras mayor sea la razón, menos eficiente se muestra el filtro. Esto indica que los valores de

las concentraciones a la entrada del filtro se están aproximando a los de salida y confirma también la no proporcionalidad en la concentración salida/ entrada de microorganismos.

Pese a este comportamiento, la batería de filtros retuvo entre el 80 y el 99% de los microorganismos para el caso de coliformes fecales, y entre un 70 y un 99% para el caso de los coliformes totales. Estos resultados nos llevan a concluir que aparentemente el filtro presenta un alto índice de retención de los microorganismos que contiene el licor mixto que se pasa por él.

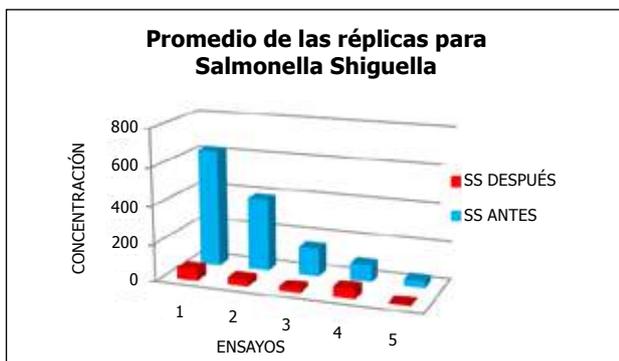


Figura 8. Remoción de Salmonella-Shigella en los filtros empacados en zeolita
Fuente: elaboración propia

La figura 8 muestra las frecuencias antes y después de pasar por el filtro para el parámetro *salmonella shigella*. Se observa una clara retención de los microorganismos por parte del filtro. Si se analiza la razón (cociente salida/entrada) de la concentración de microorganismos a la salida del filtro con relación a la concentración en la entrada se nota que no permanece constante. Esto indica que la concentración medida antes de pasar por el filtro no es directamente proporcional a la concentración hallada luego de pasar por el filtro y por ello las concentraciones a la salida son similares en todos los ensayos independientemente de la concentración que se encontró en la entrada.

La figura 9 muestra la razón entre la concentración de microorganismos a la salida y la entrada

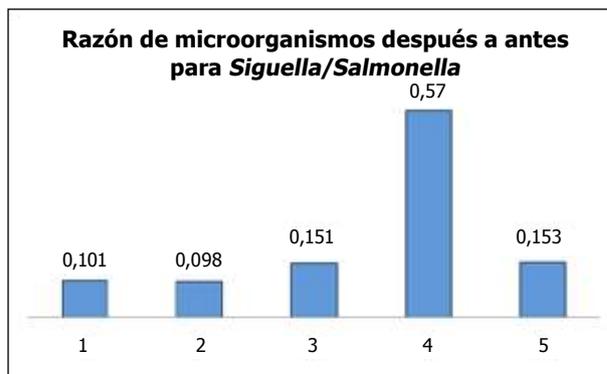


Figura 9. Razón de microorganismos después a antes para Salmonella - Shigella
Fuente: elaboración propia

del filtro. Se observa una razón de 0,57 para el ensayo 4, una cifra bastante mayor con relación al comportamiento de los ensayos restantes, los cuales se encontraron alrededor de 0.1. Salvo por este fenómeno, se podría decir que con el filtro se está logrando una retención del alrededor un 90% de los microorganismos para el caso de *salmonella shigella*.

La figura 10 presenta un resumen de los datos de cada uno de los microorganismos en los diferentes ensayos y con sus respectivas réplicas. Se puede corroborar en estos gráficos el comportamiento eficiente del filtro tanto en los gráficos de cajas y bigotes (parte superior) como en los gráficos de la parte inferior (código de nivel). Los datos muestran una marcada diferencia en la concentración de los microorganismos en los diferentes ensayos antes y después de pasar por el filtro.

2.4.2 Contraste de hipótesis

Puesto que se tomó una muestra de la misma solución antes y después de pasar por el filtro y que se realizaron tres replicas, se puede pensar entonces en realizar una prueba para muestras pareadas, considerándose como muestra 1 la información recolectada antes de pasar por el filtro y como muestra 2 la información registrada después del filtro. Un análisis de muestras pareadas permitirá determinar si el valor promedio de las diferencias

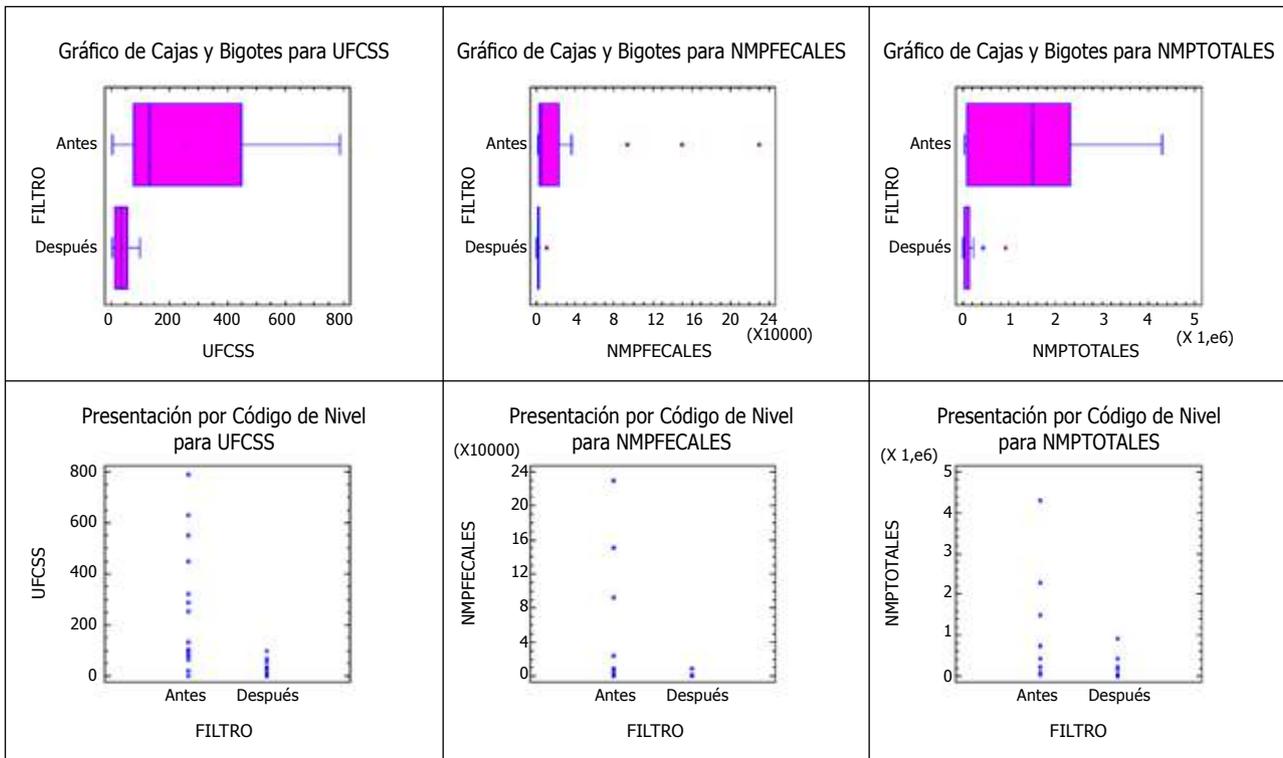


Figura 10. Gráficos de cajas y bigotes y código de nivel para microorganismos

Fuente: elaboración propia

de los datos en el antes y el después son iguales a cero o no, lo cual permitirá determinar si hay o no diferencias significativas en las concentraciones en las muestras antes y después de pasar por el filtro.

El estudio de muestras pareadas se trabajó sobre la variable que se obtiene al restar los resultados obtenidos en un mismo ensayo, (después del filtro menos el antes del filtro). Así si, en general, X_a representa la variables concentración de microorganismos en la solución antes de pasar por el filtro, y Y_d la concentración de microorganismos en la solución después de pasar por el filtro, se estudiará la variable $D = X_a - Y_d$; se pretende entonces contrastar para esta diferencia las siguientes hipótesis:

H0:	La diferencia promedio de las muestras es igual a cero.
H1:	La diferencia promedio de las muestras es diferente de cero.

Este análisis se realizará para coliformes totales, coliformes fecales y *salmonella shigella*. Se utilizó el método paramétrico de la t-student para las variables coliformes totales y *salmonella shigella*, cuyas diferencias satisfacen la condición de normalidad. Con el fin de obtener los estadísticos necesarios que permitan realizar el contraste de la hipótesis de interés, se trabajó con el método no paramétrico para muestras pareadas de Wilcoxon en el caso de coliformes fecales, cuyas diferencias no se ajustan a un modelo normal.

- COLIFORMES FECALES, en la tabla 2 se presenta el resumen estadístico para la variable de diferencias $D = CF_a - CF_d$

Dado que para esta variable la asimetría típica y la curtosis se encuentran por fuera del rango $(-2, 2)$, no se puede afirmar que los datos procedan de una muestra normal, supuesto necesario para aplicar la prueba t-student para muestras apareadas. En

este caso se aplicó la prueba no paramétrica para muestras pareadas de Wilcoxon. Es importante resaltar que para el caso de coliformes fecales la concentración de microorganismos siempre se encuentra por encima de 25, restricción puesta por la herramienta para este análisis.

Tabla 2. Resumen estadístico para las diferencias D en Coliformes fecales

Parámetro	Valor
Frecuencia	15
Media	35498,6
Varianza	4,55749E9
Desviación típica	67509,2
Mínimo	0,0
Máximo	227700,0
Rango	227700,0
Asimetría tipi	3,52483
Curtosis típificada	3,47839

Fuente: elaboración propia

La tabla 3 presenta el resumen estadístico de cada una de las muestras que se quieren comparar, y en la tabla 4 se presentan los estadísticos hallados para el análisis de las muestras pareadas con base en las diferencias entre las muestras.

En la tabla 4 se presenta un valor $P = 0,001 < 0,05$ lo que significa que con un nivel de significancia del 95% no tienen argumentos para aceptar la hipótesis nula de que la igualdad de las diferencias de las muestras de coliformes fecales es igual a cero; se concluye entonces que con una significancia del 95% se puede decir que la concentración promedio de microorganismos coliformes fecales en el licor mixto a la entrada del filtro es significativamente diferente de la concentración de dicho parámetro a la salida del filtro; es decir, una vez más el filtro ha mostrado estadísticamente ser eficiente.

Tabla 3. Resumen estadístico de cada una de las muestras a comparar para Coliformes fecales. Wilcoxon

Muestra	Antes	Después
Frecuencia	15	15
Media	36434,000	935,400
Varianza	4645086782,857	809138,829
Desviación típica	68154,874	899,521
Desviación típica de la media	17597,513	232,255
Mínimo	230,000	21,000
Primer Cuartil	2300,000	230,000
Mediana	7500,000	430,000
Tercer Cuartil	23000,000	2300,000
Máximo	230000,000	2300,000

Fuente: elaboración propia

Tabla 4. Estadísticos en la prueba de independencia para coliformes fecales

Parámetro	Valor
T	119,000
T(esperanza)	59,500
T(varianza)	309,625
Z(valor observado)	3,381
Z (valor crítico)	1,960
p-value bilateral	0,001
Alpha	0,05

Fuente: elaboración propia

- *Coliformes totales.* En la tabla 5 se presenta el resumen estadístico para la variable de diferencias $D = CTa - CTd$. Como puede observarse, el valor obtenido para la curtosis y la asimetría se encuentra en el rango de $(-2, 2)$; por tanto, puede decirse que los datos proceden de una

muestra normal; luego se cumplen los supuestos para aplicar la prueba t de students para muestras pareada. Con la ayuda del Statgraphics se encuentra:

Estadístico $t = 3,50809$

P-valor = 0,00385412

Tabla 5. Resumen estadístico para la variable de diferencias D en coliformes totales.

Parámetro	Valor
Frecuencia	14
Media	1,29944E6
Varianza	1,92086E12
Desviación típica	1,38595E6
Mínimo	0,0
Máximo	4,15E6
Rango	4,15E6
Asimetría tipi	1,61269
Curtosis tipificada	0,185163

Fuente: elaboración propia

Como el valor P de la prueba se encuentra por debajo de 0.05 se tienen argumentos para rechazar la hipótesis nula de que la diferencias promedios de las muestras son iguales con una confiabilidad del 95%, lo que significa que efectivamente hay diferencia significativa entre la cantidad de microorganismos de coliformes totales que entran al filtro y los que salen de este, lo que muestra la eficiencia por parte del filtro en la remoción de estos microorganismos.

De manera análoga, al análisis realizado para el caso de coliformes totales se hace el análisis para *salmonella-shigella*.

- *Salmonella shigella*. En la tabla 6 se presenta se presenta el resumen estadístico para la variable de diferencias D =SSa-SSd.

Tabla 6. Resumen Estadístico para la variable de diferencias D en Salmonella-Shigella

Parámetro	Valor
Frecuencia	14
Media	231,0
Varianza	54339,4
Desviación típica	233,104
Mínimo	-5,0
Máximo	690,0
Rango	695,0
Asimetría tipi	1,24775
Curtosis tipificada	-0,4516388

Fuente: elaboración propia

Una vez más la asimetría y la curtosis se encuentran dentro del rango (-2, 2), lo que indica que la muestra procede de una distribución normal, y se puede realizar el contraste de la hipótesis mediante la prueba t-student. A continuación se presentan los valores del estadístico t y el valor P de la prueba.

Estadístico $t = 3,70782$

P-valor = 0,00263054

Como puede observarse el valor es mucho menor que 0.05 entonces, con una confiabilidad del 95%, se puede afirmar que la diferencia promedio de la concentración de *salmonella shigella* a la entrada y a la salida del filtro es diferente de cero; por lo tanto, nos indica este resultado que la concentración a la entrada del filtro es significativamente diferente de la concentración hallada en la solución después de pasar por el filtro. Esto evidencia la eficiencia del filtro en la remoción de este parámetro.

2.4.3 Análisis de la dependencia de la eficiencia de los filtros con respecto al tipo de variable

Los análisis anteriormente realizados dejan clara la eficiencia del filtro en cada una de las di-

ferentes variables. Es importante saber ahora si la eficiencia de este depende de la variable en estudio. Para esto se obtuvo la proporción de concentración de salida contra la concentración de entrada en cada una de las variables y se hizo una prueba de igualdad de proporciones para las tres muestras.

Las hipótesis son las siguientes:

H0:	La proporción salida entrada en las tres muestras es igual.
H1:	La proporción salida entrada en las tres muestras no es igual.

En la tabla 7 se presenta el estadístico para la prueba de hipótesis de las proporciones de las tres muestras. Como puede observarse, el valor P es igual a 0.139, y por tanto, mayor que el nivel de significancia que es de 0,05. Puede afirmarse que no hay razones para rechazar la hipótesis nula, esto es, la diferencia entre las muestras no es significativa; se tiene entonces que la retención que hace el filtro es igual para cualquiera de las variables que se han estudiado (coliformes totales, coliformes fecales y *salmonella-shigella*) y, por lo tanto, el comportamiento eficiente del filtro no depende de la variable que se está estudiando.

Tabla 7. Estadístico para la prueba de hipótesis

Parámetro	Valor
H (valor observado)	3,941
H (valor crítico)	5,991
GDL	2
p-value unilateral	0,139
Alpha	0,05

Fuente: elaboración propia

3 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se encontró que la eficiencia de los filtros empacados con zeolita clinoptilolita bajo las con-

diciones específicas con las que se construyeron las baterías de filtros es significativamente alta en la remoción de los microorganismos evaluados en un licor mixto proveniente del sector LAR (Lodo activado de retorno) de la PTAR San Fernando.

Con base en los resultados obtenidos en la prueba de contraste de hipótesis se determinó que sí hay diferencias significativas en las concentraciones de los parámetros evaluados en las muestras antes y después de pasar por la batería de filtros.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos del análisis exploratorio se tiene que la concentración de microorganismos presente en la salida del filtro empacado en zeolita no es directamente proporcional a la concentración en la entrada. Es decir, que sin importar el valor de la concentración en la entrada, en la salida se observó una remoción muy importante en los contaminantes evaluados.

Con base en los resultados obtenidos al hacer la prueba de igualdad de proporciones para las muestras, en el análisis estadístico se encontró que la eficiencia de la batería de filtros en la remoción de los patógenos evaluados no depende del tipo de microorganismo.

Considerando los resultados obtenidos puede justificarse la instalación de una batería de filtros empacados con zeolita en campo, con el fin de remover los microorganismos patógenos evaluados en esta investigación, que puedan ser arrastrados en el agua de escorrentía luego de que aplicar biosólido a una superficie que presente procesos erosivos y esté expuesta a la precipitación y escorrentía.

Se recomienda realizar nuevos ensayos bajo condiciones de laboratorio donde se evalúe la remoción de los parámetros de riesgo ambiental estudiados en esta investigación, en aguas contaminadas y sin lavar el sistema de filtros para así evaluar el tiempo de saturación del material zeolítico y observar la eficiencia de remoción en el tiempo.

REFERENCIAS

- [1] J. López, C. Ordoñez, D. Acevedo, "Evaluación de la recuperación de un talud degradado empleando biosólido y técnicas de bioingeniería," Medellín. 2011. p. 112.
- [2] C. Ordoñez, J. López, D. Acevedo, D., "Metales presentes en biosólidos empleados como enmienda en un talud recuperado con bioingeniería," Memorias sexto encuentro nacional e internacional de investigaciones, pp. 205-219, 2008.
- [3] C. Ordoñez, R. Agudelo, C. Castro, G.I. Velásquez, "Protección de taludes por medio de aplicación de biosólidos provenientes de P.T.A.R vol. 1: Universidad Nacional de Colombia, 2006.
- [4] J. Castro, Rodríguez M, "Estudio preliminar de aplicación de biosólidos en suelos para control de erosión y estabilización de taludes," Rev. Ing. Univ. de Los Andes, vol. 22, 2005. p. 169.
- [5] G. P. Daguer, "Gestión de biosólidos en Colombia," CONGRESO NACIONAL DE ACODAL. Sociedad, Ambiente y Futuro. 2003.
- [6] S. Builes, D. Acevedo, C. Ordoñez, J. López, "Evaluación de la eficiencia de una batería de filtros empacados en zeolita en la remoción de metales pesados presentes en un licor mixto bajo condiciones de laboratorio," Rev. Ing. Univ. Medellín., vol. 10, 2011. pp. 31-42.
- [7] M. Mengel, "Zeolitas de criba molecular," Rev. de Ing. Química, vol. 17, 1985. pp. 133-140.
- [8] O. Corona, L., Hernández, M.A, "Propiedades de adsorción en zeolitas con anillos de 8 miembros. Microporosidad y superficie externa," Rev. Materia, vol. 14, 2009. pp. 918-931.
- [9] N. Widiastuti, Wu, H., Ang, M., Zhang, D, "The potential application of natural zeolite for greywater treatment," Rev. Desalination, vol. 218, 2008. pp. 271-280.
- [10] D. Acevedo, "Síntesis, caracterización y evaluación de zeolitas naturales y sintéticas como adsorbentes," Rev. Contaminación Ambiental. UPB vol. 14, 1993. pp. 19-25.
- [11] B. R. Pavón T., E Ilangovan K, "Evaluación del efecto de la temperatura en la remoción de cadmio, cobre, hierro, níquel, plomo y zinc del agua utilizando zeolita natural tipo clinoptilolita," Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- [12] D. Acevedo, J. López, C. Ordoñez, "Seguimiento a patógenos presentes en biosólido empleado como enmienda para revegetalizar un talud," Univ. de Medellín vol. 9, 2010. pp. 29-40.
- [13] M. Olguín, "Zeolitas características y propiedades," departamento de Química, Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares, México.
- [14] D. 1594/1984, "Modificado por el Decreto 3930 de Octubre 25 de 2010. Esta modificación deroga las disposiciones que le sean contrarias, a los artículos 193, 213 a 217 y 231 del Decreto 1541 de 1978 y el Decreto 1594 de 1984," ed, 2010.
- [15] E. P. Agency, ed, 2011.
- [16] B. Mandigan, "Biología de los microorganismos," 1999.

