

# IMPLEMENTACIÓN DE MATERIAL DE DESECHO PET COMO ELEMENTO FILTRANTE EN FILTROS BIOLÓGICOS

Jimmy Cáceres<sup>1</sup>

**RESUMEN.** Esta investigación es la aplicación de material PET proveniente de envases de aguas gaseosas, como material filtrante para el tratamiento de aguas residuales domésticas. Para tal fin se construyó una unidad experimental consistente en un filtro percolador de tres etapas, donde se colocó el medio filtrante de PET, los resultados obtenidos fueron los siguientes: Remoción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>) superior al 90 % y remoción de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) superior al 90 %.

**PALABRAS CLAVE:** Filtro percolador, elemento filtrante, remoción, procesos de tratamiento, polietileno de tereftalato (PET), reciclaje.

**ABSTRAC.** . This paper presents the results of the investigation on the application of polyethylene of tereftalato (PET) from packaging, as filter media for domestic wastewater treatment. It was constructed an experimental unit trickling filter, on which the PET filter media of was placed. The results were as follows: Removal of Biochemical Oxygen Demand (BOD<sub>5</sub>) of more than 90% and removal Chemical Oxygen Demand (COD) greater than 90%.

**KEY WORDS:** *trickling filter, filter material, removal, polyethylene of tereftalato (PET), treatment processes, recycling,*

## INTRODUCCIÓN

Durante las últimas décadas se ha visto un incremento acelerado de la contaminación de las aguas superficiales y del suelo por envases desechables de polietileno de tereftalato, PET, proveniente del envase de bebidas de soda y otros, estos envases constituyen un residuo sólido.

La presente investigación desarrolla una alternativa para el reciclaje y aprovechamiento del envase PET como medio filtrante para el mejoramiento de la calidad del agua residual de origen doméstico.

Para analizar el funcionamiento del PET como medio filtrante fue necesario construir una unidad experimental, de tres etapas, de sección circular de 0.58 metros de diámetro y 2 metros de altura cada una, las cuales fueron rellenas con un elemento filtrante diseñado a partir de material de desecho obtenido de los envases usados en las bebidas gaseosas de tamaño familiar. El elemento filtrante consistió en una tira de lámina PET de 0.38 metros de largo y 0.03 metros de ancho, con un recorte en los extremos para hacer la unión que permitirá mantener la forma del elemento permanente. Se evaluó la eficiencia del medio filtrante PET con relación a la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>),

La Demanda Química de Oxígeno (DQO) y otros parámetros que caracterizan las aguas residuales; adicionalmente se comparo esa eficiencia con relación a dos filtros percoladores que contienen grava y ripio, como material filtrante.

## ANTECEDENTES

Desde su fundación la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos, ERIS, ha realizado investigaciones sobre filtros percoladores entre las que se pueden mencionar Evaluación de los filtros percoladores de la planta de tratamiento de agua residual de la Universidad de San Carlos de Guatemala, Remoción de estreptococos fecales, LÓPEZ (2001), Reutilización de aguas servidas empleando tecnología apropiada, PAZOS (1986).

El uso de piedra volcánica, piedrín, restos de tubería de PVC o piedra bola como elemento filtrante es ya conocido METCALF & EDDY (1997) y existe información sobre el desempeño de los mismos, PAZOS (1986); Sin embargo no se ha investigado sobre filtro biológico o percolador que trabaje con un elemento filtrante a base de PET, por lo que fue necesario realizar una investigación para conocer la aplicación de este material en el tratamiento de las aguas residuales y las ventajas prácticas en lo técnico y en lo económico.

## METODOLOGÍA

Se diseñó y construyó la unidad experimental consistente en un filtro percolador de tres etapas, con las siguientes dimensiones: diámetro 0.58 metros y altura de cada etapa 2.00 metros; para la escogencia y evaluación del medio filtrante se consideraron las siguientes fases:

- 1) Escoger el tipo de envase a utilizar para fabricar el elemento, partiendo de los que existen en el mercado guatemalteco.
- 2) Determinar el sitio apropiado para la posterior construcción de las tres unidades que constituyen el filtro percolador y
- 3) Realizar las evaluaciones de los parámetros a la entrada y salida del filtro percolador, para determinar la eficiencia del medio filtrante.

La evaluación de la eficiencia se dividió en seis evaluaciones iniciales de la calidad del agua, seguidamente se instaló un sistema de distribución del agua sobre la superficie transversal del filtro para determinar el caudal máximo de trabajo.

Para efectos de comparación se realizaron evaluaciones de los filtros que utilizan medio filtrante de ripio, A. LOPEZ (2010) y del filtro percolador de concreto existente que utiliza medio filtrante grava o piedrín, PAZOS (1986), este último tiene alrededor de 30 años de estar en funcionamiento.

Adicionalmente se determinó el caudal máximo a tratar por el medio filtrante PET y ripio.

## RESULTADOS

### Primera evaluación

La unidad experimental se puso en marcha el 18 de abril del año 2009, con caudal constante de 0.01 l/s y luego de una semana, el 27 de abril, se muestreó agua a la entrada y salida, para obtener el tiempo de maduración del filtro, arrojando los resultados mostrados en la tabla 1, en ésta se muestran

	/s	ELEMENTO FILTRANTE		
		ET	RIN	IO
		DA 1	DA 2	DA 3
	0	2.0	0	0
	0	0	0	0

también los resultados de los filtros, objeto de comparación

Tabla 1- Resultados de primera evaluación

### Segunda evaluación

Una semana después, el 4 de mayo, se realizó el segundo análisis, obteniendo los resultados presentados en la tabla 2, en la que se muestran también, los resultados de los filtros objeto de comparación

CAUDAL	0.01 l/s	ENTRADA	ELEMENTO FILTRANTE		
			PET	PIEDRÍN	RIPIO
PARÁMETRO	UNIDAD		SALIDA 1	SALIDA 2	SALIDA 3
DQO	mg/l	466.0	180.0	70.0	82.0
DBO5	mg/l	216.0	108.0	40.0	45.0

Tabla 2 - Resultados de segunda evaluación

### Evaluación de parámetros característicos

Después de realizadas las primeras dos evaluaciones en los parámetros específicos de DBO<sub>5</sub> y DQO, se realizaron 4 pruebas más para diferentes caudales iniciando con 0.01 l/s, el cual fue incrementado en 0.01 con el fin de tener el valor máximo de caudal a tratar por los filtros a base de desechos PET y de ripio. Los resultados se muestran a continuación en la tabla 3

Tabla 3 - Resultados de evaluaciones

CAUDAL Q = 0.01 l/s				
PARAMETRO	UNIDAD	ENTRADA	PET	RIPIO
OXIGENO DISUELTO	mg/L	1.8	3.4	3.5
TEMPERATURA	°C	24.9	24.6	22.6
POTENCIAL DE HIDROGENO		7.14	7.18	7.09
DQO	mg/L	357.0	114.0	68.0
DBO5	mg/L	160.0	28.0	12.0
NITRATOS	mg/L	85.8	37.4	118.8
NITRITOS	mg/L	0.281	0.406	0.050
FOSFATOS	mg/L	8.4	6.8	5.0
SULFATOS	mg/L	16.0	16.0	14.0
SOLIDOS SEDIMENTABLES	mg/L	0.5	0.1	0.7

CAUDAL Q = 0.02 l/s				
PARAMETRO	UNIDAD	ENTRADA	PET	RIPIO
OXIGENO DISUELTO	mg/L	1.3	4.1	3.9
TEMPERATURA	°C	22.7	20.3	20.5
POTENCIAL DE HIDROGENO		7.18	7.09	7.21
DQO	mg/L	324.0	28.0	67.0
DBO5	mg/L	193.0	18.0	20.0
NITRATOS	mg/L	63.8	88.0	92.4
NITRITOS	mg/L	0.149	0.165	0.330
FOSFATOS	mg/L	14.5	12.9	16.0
SULFATOS	mg/L	10.0	16.0	12.0
SOLIDOS SEDIMENTABLES	mg/L	0.2	0.1	2.0

CAUDAL Q = 0.03 l/s				
PARAMETRO	UNIDAD	ENTRADA	PET	RIPIO
OXIGENO DISUELTO	mg/L	1.5	3.8	3.7
TEMPERATURA	°C	23.8	22.5	21.6
POTENCIAL DE HIDROGENO		7.16	7.14	7.15
DQO	mg/L	340.5	34.0	67.5
DBO5	mg/L	176.5	17.0	16.0
NITRATOS	mg/L	74.8	62.7	105.6
NITRITOS	mg/L	0.215	0.285	0.190
FOSFATOS	mg/L	11.5	9.9	10.5
SULFATOS	mg/L	13.0	16.0	13.0
SOLIDOS SEDIMENTABLES	mg/L	0.4	0.1	1.4

CAUDAL Q = 0.04 l/s				
			PET	RIPIO
PARAMETRO	UNIDAD	ENTRADA	SALIDA 2	SALIDA 3
OXIGENO DISUELTO	mg/L	1.9	2.3	3.8
TEMPERATURA	°C	24.7	24.6	23.2
POTENCIAL DE HIDROGENO		7.15	7.16	7.13
DQO	mg/L	360.0	210.0	78.0
DBO5	mg/L	161.0	78.0	30.0
NITRATOS	mg/L	80.0	92.0	110.0
NITRITOS	mg/L	0.320	0.350	0.058
FOSFATOS	mg/L	8.8	8.7	6.9
SULFATOS	mg/L	17.0	16.0	15.0
SOLIDOS SEDIMENTABLES	mg/L	0.6	0.4	1.2

## Evaluación con sistema de distribución

Para determinar la capacidad del filtro al incrementar el caudal, se realizaron tres muestreos adicionales, con los siguientes caudales 0.03, 0.04 y 0.05 l/s. Esta evaluación se realizó solamente para ciertos parámetros. Los resultados se muestran en la tabla 4

Tabla 4 - Resultados de evaluaciones con sistema de distribución

CAUDAL Q = 0.03 l/s				
			PET	RIPIO
PARAMETRO	UNIDAD	ENTRADA	SALIDA 2	SALIDA 3
OXIGENO DISUELTO	mg/L	1.6	4.6	3.9
TEMPERATURA	°C	23.8	22.3	21.9
POTENCIAL DE HIDROGENO		7.18	7.16	7.14
DQO	mg/L	337.0	32.0	50.0
DBO5	mg/L	160.0	16.0	28.0
SOLIDOS SEDIMENTABLES	mg/L	0.5	0.2	0.8

CAUDAL Q = 0.04 l/s				
			PET	RIPIO
PARAMETRO	UNIDAD	ENTRADA	SALIDA 2	SALIDA 3
OXIGENO DISUELTO	mg/L	1.7	4.5	3.6
TEMPERATURA	°C	24.5	23.9	23.9
POTENCIAL DE HIDROGENO		7.11	7.10	7.09
DQO	mg/L	395.0	38.0	75.0
DBO5	mg/L	183.0	18.0	30.0
SOLIDOS SEDIMENTABLES	mg/L	0.9	0.3	1.4

CAUDAL Q = 0.05 l/s				
			PET	RIPIO
PARAMETRO	UNIDAD	ENTRADA	SALIDA 2	SALIDA 3
OXIGENO DISUELTO	mg/L	1.7	3.9	3.5
TEMPERATURA	°C	24.8	24.5	23.6
POTENCIAL DE HIDROGENO		7.12	7.11	7.10
DQO	mg/L	382.0	115.0	78.0
DBO5	mg/L	180.0	48.0	29.0
SOLIDOS SEDIMENTABLES	mg/L	0.7	0.5	1.5

## DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### Oxígeno disuelto

El valor del oxígeno disuelto presente en el agua residual de entrada al filtro percolador en estudio es bajo, lo que demuestra la presencia de materia orgánica, sin embargo luego del proceso de filtración aerobia por medio del PET se logra un incremento de hasta 220% a la salida del mismo, lo que indica un funcionamiento apropiado del elemento filtrante.

### Temperatura

El rango de temperatura presente en el agua tanto a la entrada como a la salida del filtro percolador está entre los 22 °C y 25 °C, temperatura propia para la formación de las bacterias mesófilas.

En general, durante todas las pruebas se obtiene un descenso en la temperatura al pasar el agua residual por el filtro percolador, ésto debido en gran parte por la presencia de ventilación en el proceso.

### Potencial de hidrógeno

El potencial de hidrógeno se encuentra en un rango entre 7 y 7.5 que se considera aceptable para la realización de los procesos biológicos para el crecimiento de las bacterias.

### DBO<sub>5</sub>

Se alcanzan valores promedio de remoción de 74 %, con rango máximo de 91 % y mínimo de 50 %, logrando valores que cumplen con la Acuerdo Gubernativo 236-2006, Reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y de disposición de lodos. En la figura 1 se muestra el comportamiento del filtro de PET, en el tiempo y su comparación con los otros elementos filtrantes

### DQO

La DQO en la entrada, se encuentra en un rango propio de las aguas residuales domésticas y luego de la aplicación del proceso de filtración a través del material PET, esta llega a valores bajos que permiten su vertido a cuerpos receptores, cumpliendo con las normas respectivas.

Con valor promedio de remoción de 73 %, rango máximo de 91 % y mínimo de 53 %, En la figura 2 se muestra el comportamiento del filtro de PET, en el tiempo y su comparación con los otros elementos filtrantes

### Nitritos y nitratos

El comportamiento de su remoción, está en función de la oxidación, por lo que hay un incremento de los nitritos hasta de 44 % y una reducción máxima de nitratos de 54 %.

### Fosfatos

La disminución de los fosfatos al utilizar el desecho PET como elemento filtrante es mínima, logrando un valor máximo de 19 % y un mínimo de 1%.

### Sulfatos

Remoción de sulfatos es mínima, ya que solo en una de las evaluaciones se obtuvo una reducción de 1 %, en el resto fue nula o hubo incremento.

### Sólidos sedimentables

La remoción de los sólidos sedimentables es alta, debido a que el elemento filtrante es totalmente inerte, lo que no permite que exista desprendimiento del material PET; solo se desprenden las bacterias que van muriendo durante el proceso.

### Eficiencia del filtro percolador y su relación con el caudal.

En las figuras 1 y 2, se observa que la eficiencia se afecta cuando se incrementa el caudal de ingreso a la unidad de tratamiento, esto sugiere la necesidad de mantener un control permanente sobre el caudal de entrada, para evitar el barrido de las bacterias que conforman la biopelícula en el elemento filtrante.

La implementación de un sistema de distribución de agua sobre el área transversal del filtro, ayuda a mejorar el rendimiento del sistema, permitiendo aumentar el caudal de entrada a la unidad hasta un 0.04 l/s.

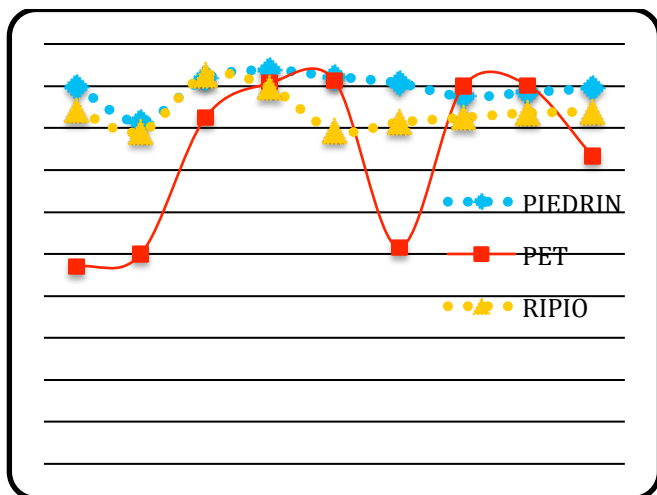


Figura 1 Porcentaje de remoción de DBO5

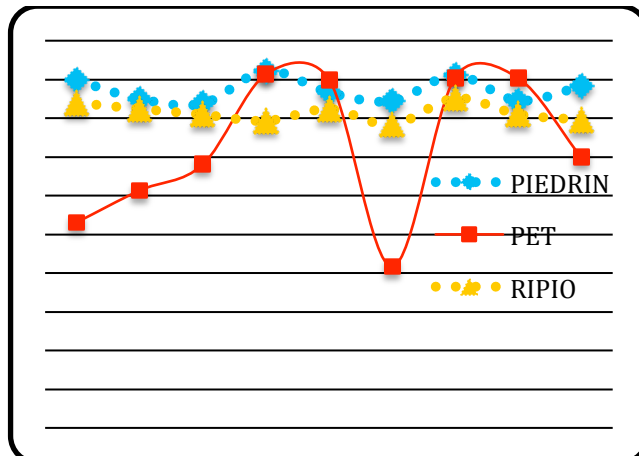


Figura 2 Porcentaje de remoción de DQO

## CONCLUSIONES

- 1.- El material de desecho PET puede ser usado como elemento filtrante en filtros biológicos, logrando eficiencias en remoción de  $DBD_5$  y DQO superiores al 90 %, lo que lo convierte en una alternativa de bajo costo, por la fácil adquisición de la materia prima.
- 2.- El tiempo de maduración para lograr una remoción significativa de los parámetros de  $DBO_5$  y DQO al emplear desechos PET no supera quince días, esto indica la buena capacidad del elemento filtrante para adaptarse al medio y hacer la degradación de la materia orgánica presente en las aguas residuales.
- 3.- El caudal máximo a tratar con las dimensiones establecidas en la unidad experimental es de 0.04 l/s, lo que equivale a una población de hasta 30 personas en el área urbana.
- 4.- El bajo peso específico de los elementos de desechos PET, permiten la construcción de una estructura ligera para el montaje del filtro percolador.
- 5.- La instalación de un sistema de distribución, para la irrigación del agua sobre toda el área transversal del filtro percolador, mejora la capacidad del filtro hasta tratar un caudal máximo de 0.04 l/s, el cual sin este dispositivo, era de 0.03 l/s.
- 6.- Se logra incrementar el área de contacto en un treinta y cinco por ciento en comparación a la de cualquier objeto sólido de volumen similar.

## AGRADECIMIENTO

Se agradece al Servicio Alemán de Intercambio Académico (DAAD) por el apoyo financiero y a la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos ERIS, por brindar las instalaciones físicas, así como, el conocimiento académico y apoyo de laboratorio, que permitieron realizar esta investigación.

## REFERENCIAS

- CRITES R; TCHOBANOGLIOUS G. Sistemas de manejo de aguas residuales para núcleos pequeños y descentralizados. Santa Fe de Bogotá, Colombia. McGraw-Hill. Quebecor. t1-t2-t3. 2000.
- LÓPEZ MAGDA; Evaluación de los filtros percoladores de la planta de tratamiento de agua residual de la Universidad de San Carlos de Guatemala, a través de la eficiencia en la remoción de estreptococos fecales. Tesis de maestría de ciencias. Guatemala, USAC, ERIS. 2001.
- METCALF Y EDDY. Ingeniería de las aguas residuales: Tratamiento, vertido y reutilización. 3ed. México, DF, McGraw-Hill. t1-t2. 1996.
- MINISTERIO DE AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES, Acuerdo Gubernativo 236-2006, Reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos, 2006.
- MOREIRA ESQUIVEL, F. Evaluación de la eficiencia de una planta piloto de tratamiento de aguas residuales con un reactor anaeróbico de flujo ascendente y un filtro percolador. Tesis de maestría de ciencias. Guatemala, USAC, ERIS. 1989.
- PAZOS S, A. Reutilización de aguas servidas empleando tecnología apropiada. Trabajos de investigación realizados en ERIS. 1986.
- ROMERO ROJAS, JA. Calidad del agua. 2 ed. México, DF, Alfa Omega. 1999.
- VEGA, TA. Evaluación de eficiencia de tanques plásticos modificados, para el tratamiento de aguas residuales domésticas. Tesis de maestría de ciencias. Guatemala, USAC, ERIS. 2006.
- YANEZ COSSIO, F. Normas de diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales; Borrador para discusión. Organización Panamericana para la Salud, Programa de Desarrollo Tecnológico en el campo de tratamiento de aguas residuales en Guatemala. 1993.