

Artículo Científico

Uso de suelo y PET para el tratamiento de aguas residuales domésticas

Andy Williams Alonzo Vásquez

Ingeniero civil, Msc. en ingeniería sanitaria

Facultad de Ingeniería, USAC

Dirección para recibir notificaciones awa2104@gmail.com

Recibido: 07.11.2016 Aceptado: 22.11.2016

Resumen

Se analizaron los porcentajes de remoción entre un prototipo de grava y suelo y otro con pet y suelo, donde se demuestra que la diferencia no supera el 5%, por lo que sustituir el material de grava por pet puede convertirse en una opción más para el tratamiento de aguas residuales domésticas sin afectar el rendimiento que permita la reducción de contaminantes. El sistema consta de un tratamiento primario y 2 prototipos como tratamiento secundario, en una profundidad de 1,5 metros la eficiencia de remoción fue de 95 % en los parámetros de: sólidos suspendidos totales, color, demanda bioquímica de oxígeno a cinco días y demanda química de oxígeno. La reducción de dichos contaminantes llegó a una concentración menor a la establecida en el Acuerdo Gubernativo 236-2006 "Reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos". Sin embargo, parámetros como el nitrógeno, fósforo total y coliformes fecales reducidos en 4 ciclos logarítmicos no superan el 85 % de remoción en ambos prototipos, y por lo tanto, no cumplen con la legislación guatemalteca mencionada.

PALABRAS CLAVE: Análisis del agua, calidad del agua, características de aguas residuales, infiltración.

Abstract

The percentages of removal between a prototype of gravel and soil and other with a pet and soil are analyzed, where it is shown that the difference does not exceed 5%, so that replacing the gravel material by pet may become an option for the Treatment of domestic wastewater without affecting the performance that allows the reduction of contaminants. The system consists of a primary treatment and 2 prototypes as secondary treatment, at a depth of 1.5 meters the removal efficiency was 95% in the parameters of: total suspended solids, color, biochemical oxygen demand to five days and Chemical Oxygen demand. The reduction of these pollutants reached a concentration lower than that established in Acuerdo Gubernativo 236-2006 "Reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos". However, parameters such as nitrogen, total phosphorus and fecal coliforms reduced in 4 logarithmic cycles do not exceed 85% of removal in both prototypes, and therefore do not comply with the mentioned Guatemalan legislation.

KEY WORDS: Water analysis, water quality, wastewater characteristics, infiltration.

Introducción

En Guatemala existen comunidades urbanas, periurbanas y rurales con menos de 10,000 habitantes que no cuentan con un sistema adecuado de tratamiento de aguas residuales domésticas y es necesario concientizar, que para proteger los ecosistemas es necesario implementar como mínimo un tratamiento secundario. En la investigación desarrollada se utilizó arena pómez color café claro con características granulométricas de 12.85% de grava, 86.17% de arena y 0.99% de finos con resultados de infiltración en campo de 17.7 min/cm y coeficiente de permeabilidad de 2.14E-6 cm/s en un medio filtrante de 1.2 metros de profundidad. El método de infiltración en el suelo como tratamiento de aguas residuales domésticas puede ser utilizado como una alternativa de bajo costo, con menos daños ambientales para su construcción e implementación, sin necesidad de buscar un cuerpo de agua como medio receptor, con ventaja para la reutilización de uso agrícola o medio de recarga en los acuíferos. Debido a que el tratamiento en el mismo sitio con suelo reduce algunos parámetros presentes en las aguas residuales domésticas por acción de los microorganismos que crecen en el medio filtrante, es necesario colocar con una primera capa de percolación, que comúnmente es grava de entre ¾" y ½" de diámetro nominal, cuya finalidad es retener algunos sólidos de regular tamaño que pueden sellar los poros de la estructura del suelo. Se realizó una comparación para la sustitución de la primera capa de grava por material pet, y el porcentaje de remoción para los parámetros como los sólidos suspendidos totales, color, demanda bioquímica de oxígeno y demanda química de oxígeno entre grava y pet no supera el 5% de diferencia, por lo que para disminuir los costos de construcción, el tiempo de transporte y dificultad de traslado de materiales puede sustituirse el pet por la grava, siempre y cuando, el sistema cuente con una unidad de tratamiento primario y suelo con capacidad de infiltración como tratamiento secundario.

Antecedentes

En Guatemala existen poblaciones urbanas de menos de 10,000 habitantes y en sitios de área rural con algunas centenas de personas con problemas para la disposición ambiental y sanitariamente segura de efluentes de aguas residuales. Existen mediciones de los parámetros típicos de aguas residuales domésticas obtenidos en la planta piloto "Ing. Arturo Pazos Sosa" publicados en el artículo "Composición típica de aguas residuales domésticas crudas en Guatemala" que nos muestra una concentración

aproximada de los contaminantes que pueden ser vertidos a cualquier cuerpo receptor o a flor de tierra sin ningún tratamiento, dañando los ecosistemas. Hay que concientizar a todas las poblaciones que debe darse hasta un tratamiento secundario como mínimo, sin embargo, tecnologías convencionales de tratamiento de aguas residuales hacen considerar un diseño, construcción y operación que podría significar el abandono inmediato al presentarse altos costos de reparación, utilización de productos químicos, consumo de combustibles o energía eléctrica. Hacer uso de un sistema de depuración natural como el suelo, tiene capacidad para darle un adecuado tratamiento a las aguas residuales de una pequeña población, siempre y cuando sean de origen doméstico. Sin embargo, las limitaciones están alrededor de las características físicas, químicas e hidráulicas del suelo.

Metodología

Se llevó a cabo la investigación comparando un sistema de grava y suelo y otro con pet y suelo que tuvo un tiempo de maduración de 45 días.

- Se realizó una caracterización físico-química y bacteriológica del afluente de los prototipos de infiltración. Tabla 1.
- Se determinaron las propiedades físico-mecánicas, químicas e hidráulicas del suelo utilizado para el tratamiento de aguas residuales domésticas. Tabla 2.
- Se construyeron dos prototipos de dimensiones; 1 metro de largo, 1 metro de ancho y 2 metros de profundidad. El prototipo A constituido por 0,30 metros de grava de 3/8" diámetro nominal y 1,2 metros de suelo y el prototipo B constituido por 0,30 metros de material pet y 1,2 metros de suelo. Figura 1.
- Se instaló una tubería perforada como drenaje francés en ambos prototipos.
- Se colocó material plástico al fondo de los dispositivos para mejorar la captación del agua tratada.
- Se utilizaron botellas de diferentes clases de pet y variedad de tamaños colocadas aleatoriamente.
- El agua residual doméstica atravesó por una fase de sedimentación y una fase de infiltración en el suelo, tratamiento secundario, como se muestra en la figura 2.

- Las muestras fueron recolectadas semanalmente durante 2 meses en el sistema de drenaje ubicado en el fondo de los prototipos.

Los parámetros analizados fueron los contemplados en el Acuerdo Gubernativo No. 236-2006 “Reglamento de las Descargas y Reuso de Aguas Residuales y la Disposición de Lodos” de la legislación guatemalteca.

Las características del agua cruda, las propiedades del suelo, el perfil de los prototipos y el esquema del sistema fueron obtenidos en procesos desarrollados en la planta piloto “Ing. Arturo Pazos Sosa” ubicada en colonia Aurora II, zona 13 de la ciudad de Guatemala.

Análisis		Descripción
	Compactación	71% (pet-suelo)
	Relación vacíos	2 (grava-suelo)
	Relación vacíos	2.21 (pet-suelo)
QUÍMICO	pH	6.4 unidades
	Nitrógeno	0.0015%
	Potasio	163 ppm
	Fósforo	4.63 ppm
	Materia orgánica	0.3%
HIDRÁULICO	Humedad natural	17.2%
	Permeabilidad	2.14 E-6 cm/s
	Infiltración del sitio	17.7 min/cm
	Tasa de infiltración	30.68 litros/m ² /día
	Velocidad infiltración	3.38 E-7 m/s
C.U. Coeficiente de Uniformidad		
C.C. Coeficiente de Curvatura		

Fuente: Peralta, I. & Pérez, W. 2015, Alonzo, A. 2015.

Tabla 1. Características del agua cruda

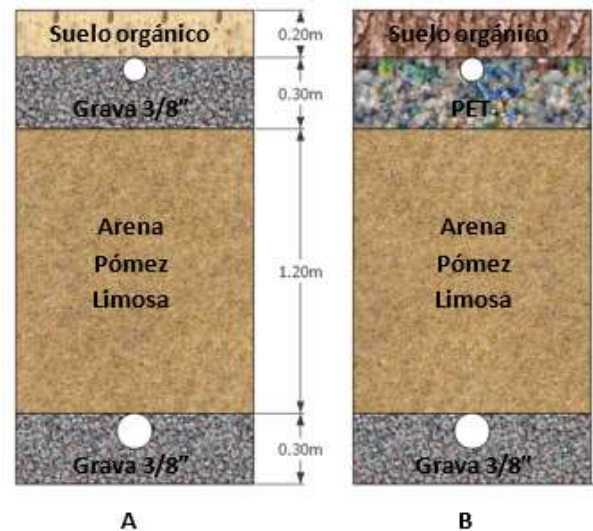
Parámetro	Concentración
Temperatura	23°C
Ph	7.44 Unidades
Color	404 Unidades
Db _{o5}	253 mg/l
D _{qo}	422 mg/l
Sólidos totales	641 mg/l
Sólidos suspendidos totales	283 mg/l
Nitrógeno total	40.5 mg/l
Fósforo total	11.6 mg/l
Coliformes totales	9.7 E+11 NMP
Coliformes fecales	6.8 E+11 NMP

Fuente: MSc. Ivis Peralta & autor

Tabla 2. Propiedades del suelo

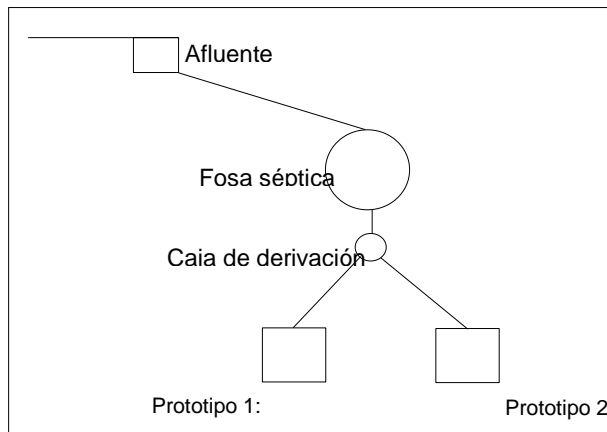
Análisis		Descripción	
FÍSICO	Textura	Franco arenoso	
	Estructura	Arenosa	
	Color	Café claro	
	Plasticidad	No plástico	
	Porosidad	Suelo ígneo (pómez)	
	Profundidad	1.2 metros	
MECÁNICO	Granulometría Clasificación: SCU: SP PRA: A-1-b	Grava	12.85%
		Arena	86.17%
		Finos	0.99%
		C.U.	5
		C.C.	0.83
	Gravedad específica	2.22	
Compactación	78% (grava-suelo)		

Figura 1. Perfil de prototipos



Fuente: Elaboración propia

Figura 2. Esquema del sistema



Fuente: Peralta, I. & Pérez, W. 2015, Alonzo, A. 2015.

RESULTADOS

Tabla 3. Variación del caudal de entrada

Muestra	Fecha	Hora	Q(l/s)
2	11/02/2015	08:50	0.01759
5	04/03/2015	08:15	0.01763
7	18/03/2015	07:30	0.02290
8	08/04/2015	09:30	0.02570
Mínimo			0.01759
Máximo			0.02570
Promedio			0.02096
Desv. estándar			0.00403

Fuente: Peralta, I. & Pérez, W. 2015, Alonzo, A. 2015.

Tabla 4. Porcentaje de remoción de sólidos suspendidos totales y color

Número muestra	SSt		Color	
	% remoción Grava	% remoción PET	% remoción Grava	% remoción PET
1	97.5	90.3	98.0	71.7
2	99.3	98.1	93.8	91.5
3	96.9	95.5	87.1	90.0
4	99.7	98.8	94.6	86.5
5	99.8	99.2	97.9	95.8
6	99.5	99.9	94.9	98.1
7	100.0	99.9	97.1	96.8
8	99.8	98.7	99.3	94.7
Media	99.0	97.6	95.4	90.7

Fuente: Peralta, I. & Pérez, W. 2015, Alonzo, A. 2015.

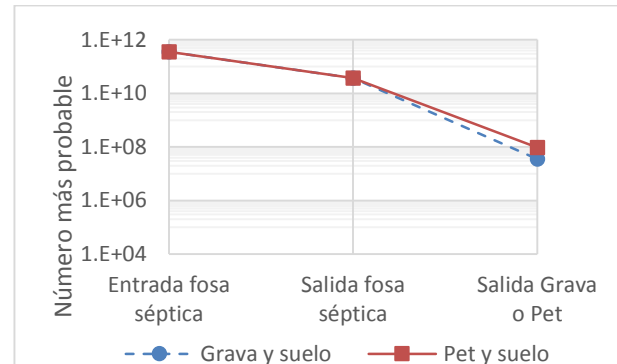
Tabla 5. Porcentaje de remoción DBO₅ y DQO

Número muestra	DBO ₅		DQO	
	% remoción Grava	% remoción PET	% remoción Grava	% remoción PET
1	99.6	83.8	97.6	86.6
2	99.7	98.4	98.1	96.4
3	98.2	96.3	97.7	93.7
4	96.2	85.4	95.2	93.1
5	99.7	99.0	98.8	97.8
6	99.2	99.2	97.4	97.1
7	99.9	99.9	100.0	100.0

Número muestra	DBO ₅		DQO	
	% remoción Grava	% remoción PET	% remoción Grava	% remoción PET
8	99.8	97.3	99.9	97.2
Media	99.0	94.9	98.1	95.2

Fuente: Peralta, I. & Pérez, W. 2015, Alonzo, A. 2015.

Figura 3. Remoción coliformes fecales



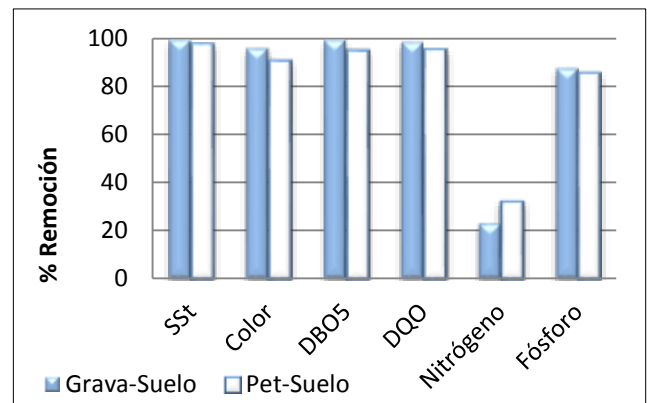
Fuente: Elaboración propia

Tabla 6.: Porcentaje de remoción nitrógeno total y fósforo total

Número muestra	Nitrógeno total		Fósforo total	
	% remoción Grava	% remoción PET	% remoción Grava	% remoción PET
1	41.4	-62.1	87.2	83.7
2	55.3	76.8	87.1	78.6
3	87.4	84.9	81.1	80.0
4	68.1	69.9	85.8	80.8
5	-166.0	-51.1	89.1	90.9
6	44.9	10.2	84.4	88.9
7	22.0	61.3	89.1	89.1
8	29.3	65.9	93.2	91.9
Media	19.1	31.3	87.1	85.5

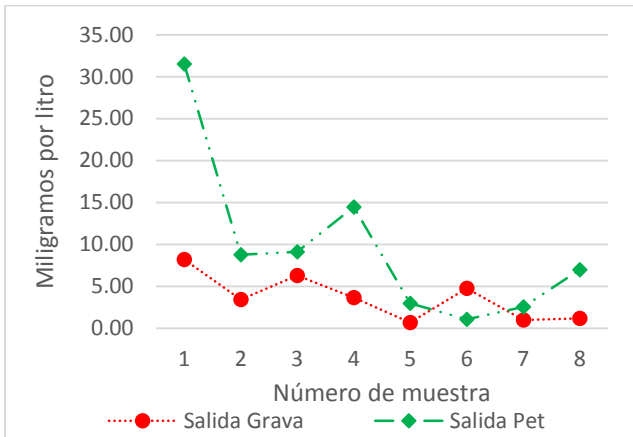
Fuente: Peralta, I. & Pérez, W. 2015, Alonzo, A. 2015.

Figura 4. Comparación de remoción



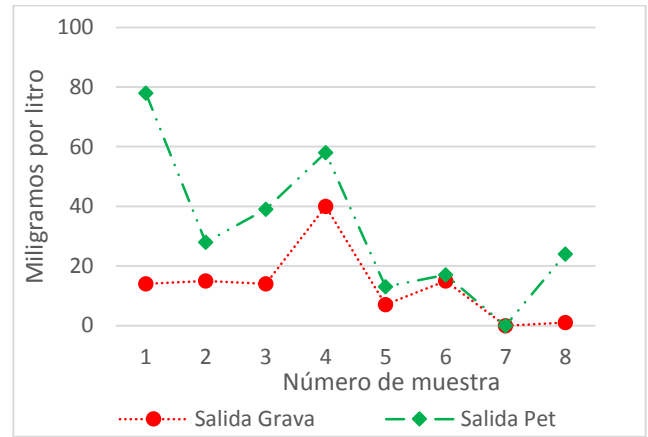
Fuente: Elaboración propia

Figura 5. Comportamiento de los SST



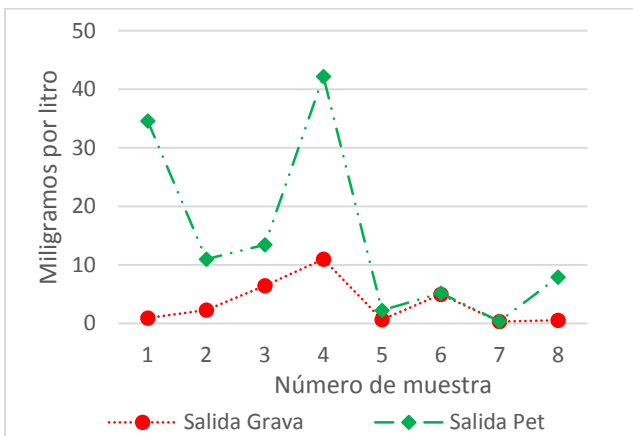
Fuente: Elaboración propia

Figura 7. Comportamiento de la DQO



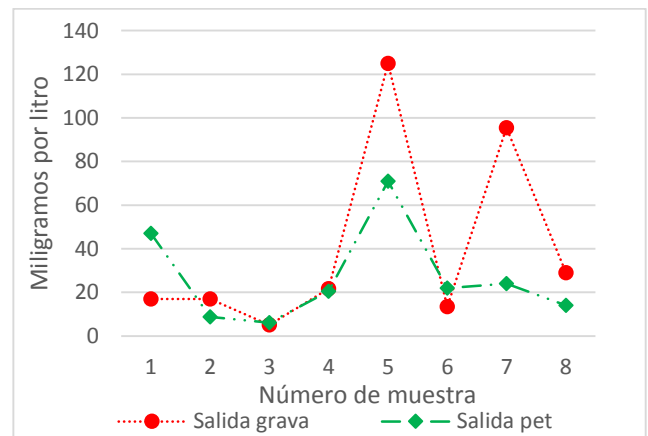
Fuente: Elaboración propia

Figura 6. Comportamiento de la DBO5



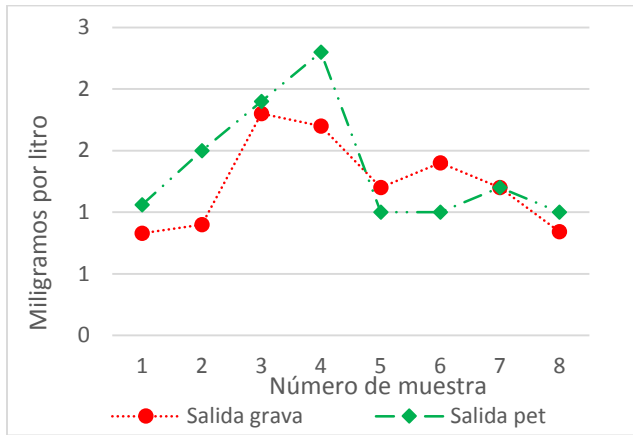
Fuente: Elaboración propia

Figura 8. Comportamiento del nitrógeno



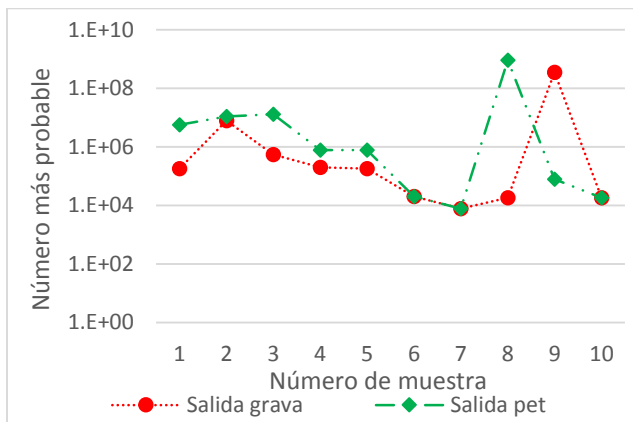
Fuente: Elaboración propia

Figura 9. Comportamiento del fósforo



Fuente: Elaboración propia

Figura 10. Comportamiento de los coliformes fecales



Fuente: Elaboración propia

Análisis de resultados

La tabla 3 muestra que el caudal a la entrada del sistema fue irregular con un valor promedio de 0,021 l/s, siendo este mayor al caudal de diseño de 0,011 l/s. lo que representa una sobrecarga al sistema destinado a una vivienda de 6 habitantes. Aun con estas condiciones se dieron excelentes porcentajes de remoción de la mayoría de los parámetros, los cuales se detallan a continuación.

La tabla 4 evidencia que la remoción de sólidos suspendidos totales fue de forma regular en todas las muestras. La eficiencia de remoción promedio en el sistema completo fue del 99 % para el dispositivo con gravas y 97 % para el de material pet. Estos resultados cumplen con la norma de Guatemala; sin embargo, gran parte de la remoción se debió al sistema primario, pues alcanzó valores hasta de un 60 %.

La tabla 5 infiere que la remoción de DBO₅ tiene diferencia mínima de 0,7 % y máxima de 15,7 %, entre la utilización de grava y pet. Mientras que la gráfica 4 ilustra que en 7 muestras la remoción fue mejor con grava y en la muestra 7 no hubo diferencia.

La tabla 5 muestra una remoción de DQO con diferencia mínima de 0,3 % y máxima de 11 %, entre la utilización de grava y pet. Mientras que la gráfica 5 ilustra que en 7 muestras la remoción fue mejor con grava y en la muestra 7 no hubo diferencia.

La eficiencia del sistema en cuanto a la remoción de nitrógeno tuvo un comportamiento irregular debido a que hubo dos aumentos de nitrógeno. Esto ocurrió por el tiempo corto de maduración de 45 días para el primer muestreo, y por la interrupción del paso del caudal al realizar reparaciones de tuberías. Las condiciones aerobias permitieron que el paso del oxígeno del aire penetrara el suelo. Al secarse el sistema de infiltración se activó la descomposición de la materia orgánica y el proceso de nitrificación. Cuando vuelve a restablecerse el paso del agua residual, el nitrato formado sufre una lixiviación hasta alcanzar condiciones anaerobias para la desnitrificación.

La tabla 6 muestra que la remoción de nitrógeno total tiene diferencia mínima de 2,47 % y máxima de 34,69 %, entre la utilización de grava y pet. Mientras que la gráfica 6 ilustra que en 2 muestras la remoción fue mejor con grava y en 3 muestras la remoción fue mejor con pet. El resto de los muestreos se ve afectado por la intermitencia del caudal en el sistema.

La tabla 6 evidencia que la remoción de fósforo total tiene diferencia mínima de 1,1 % y máxima de 5 %, entre la utilización de grava y pet. Mientras que la gráfica 7 ilustra que en 5 muestras la remoción fue mejor con grava, en 2 muestras la remoción fue mejor con pet y en la muestra 7 no hubo diferencia.

En la gráfica 1 se infiere que la remoción de coliformes fecales tiene diferencia mínima de 1 y máxima de 4 ciclos logarítmicos, entre la utilización de grava y pet. Mientras que la gráfica 8 ilustra que en 5 muestras la remoción fue mejor con grava, en 1 muestra la

remoción fue mejor con pet y en las muestras 2, 6, 7 y 10 no hubo diferencia.

Conclusiones

Desde la entrada del sistema a la salida de cada prototipo, grava-suelo y pet-suelo tienen una eficacia de tratamiento que pueden utilizarse como opción de depuración y la sustitución de grava por material pet puede realizarse debido a que la diferencia promedio no es mayor al 5%. Gráfica 2.

La profundidad de 1,2 metros del suelo utilizado redujo los parámetros de pH, SSt, DBO₅ y DQO a concentraciones que satisfacen lo establecido en el Acuerdo Gubernativo 236-2006 y sus reformas.

La arena pómez tiene un porcentaje de remoción mayor al 95 % para SSt, color, DBO₅, DQO, y coliformes fecales. La remoción de los nutrientes importantes para la reutilización en riego, nitrógeno y fósforo total, no son mayores al 19 % en grava y 30 % en pet y mayor al 85 % respectivamente. Esta remoción es mayor a la mencionada en la hipótesis, y se comprueba que tiene desventajas para remover nitrógeno y fósforo total.

Las pruebas físico-mecánicas e hidráulicas del suelo utilizado permitieron evaluar las capacidades de tratamiento, para suelos moderadamente permeables y con tamaño de partículas para que en espacios vacíos propicien el crecimiento de bacterias. En esta investigación pudo observarse que entre los primeros 15 - 20 centímetros del estrato del suelo existió lodo biológico que brindó el tratamiento.

La remoción de coliformes fecales tuvo una disminución de 4 ciclos logarítmicos en ambos dispositivos con mejor eficiencia en el de grava y suelo. Sin embargo, no satisface lo permitido en el Acuerdo Gubernativo 236-2006. En 4 de las 10 muestras se verificó que en ambos prototipos se obtuvo la misma reducción de bacterias.

Referencias

- ALONZO, ANDY WILLIAMS. Suelo y pet como tratamiento secundario de aguas residuales domésticas. Estudio especial de maestría en Ciencias de Ingeniería Sanitaria, Universidad de San Carlos, ERIS. 2016.
- HERNÁNDEZ JUAN. Diseño, construcción y evaluación de un modelo experimental de filtro percolador utilizando estopa de coco como medio filtrante, para la reducción de nitrógeno y fósforo total de las aguas

residuales de la planta de tratamiento Aurora II "Ing. Arturo Pazos Sosa"

METCALF Y EDDY, Ingeniería de aguas residuales, redes de alcantarillado y bombeo, segunda edición revisada, McGraw-Hill, España, 1995

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.

PERALTA, Ivis & PÉREZ, Wilber. Uso de suelo como tratamiento secundario de aguas residuales domésticas. Estudio especial de maestría en Ciencias de Ingeniería Sanitaria, Universidad de San Carlos, ERIS. 2015.

ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. Tratamiento de Aguas Residuales, Teoría y Principios de Diseño, Escuela Colombiana de Ingeniería, Colombia, 2010.

WAGNER, E. G. Y LANOIX, I. N. Evacuación de excretas en las zonas rurales y en las pequeñas comunidades. Monografía nº 39. Ginebra. OMS, 1960.

Información del autor

Ingeniero civil y maestro en ciencias en ingeniería sanitaria graduado en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Profesor de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad de San Carlos de: Laboratorio de mecánica de suelos, laboratorio de mecánica de fluidos e hidráulica.

Profesor de taller del Curso: Alcantarillado e instalaciones sanitarias en edificaciones y poblaciones en la maestría de ingeniería sanitaria, ERIS.