

USO DEL SUELO COMO TRATAMIENTO SECUNDARIO PARA LA REMOCION DE MATERIA ORGANICA DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS

Wilber Javier Pérez Flores

Ingeniero Civil; Msc. en Ingeniería Sanitaria, ERIS, USAC, Guatemala
Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua
Dirección para recibir correspondencia pwilberj@gmail.com
Adan Pocasangre Collazos
Profesor y Coordinador de Ingeniería Sanitaria. ERIS-USAC, Guatemala

Recibido 03.05.2015 Aceptado 25.05.2015

RESUMEN.

El presente artículo consiste en evaluar la eficiencia de remoción de materia orgánica en las aguas residuales domésticas generadas en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales "Ing. Arturo Pazos Sosa", utilizando un suelo modificado de sus condiciones naturales como tratamiento secundario. Se llevaron a cabo 8 muestreos para determinar la DBO₅ y DQO, los valores promedios de entrada al sistema fueron 398.55 mg/l de DBO₅ y 681.25mg/l de DQO, alcanzando valores de eficiencias de remoción del 99% al obtener un valor promedio de 3.41 mg/l de DBO₅ a la salida del sistema y con desviación estándar de 3.8 mg/l. Una eficiencia de remoción de 98% de DQO al obtener un valor promedio de 12.5 mg/l a la salida del sistema y con desviación estándar de 13.25 mg/l, por lo que se concluye que dichos porcentajes de remoción son satisfactorios. Este artículo es parte de la investigación "Uso del suelo como tratamiento secundario de aguas residuales domésticas", realizado por los Msc. Ivis Peralta Salgado y Wilber Pérez Flores, y se comparten resultados con investigación del Msc. Andy Alonzo.

PALABRAS CLAVE: Contaminación, demanda bioquímica de oxígeno, zanjas de infiltración-percolación.

ABSTRACT.

The present article was done to evaluate, the efficiency of removal organic matter in domestic wastewater generated at the Wastewater Treatment Plant "Ing. Arturo Pazos Sosa", using a modified natural soil conditions as a secondary treatment. We took 8 samplings to determine the BOD₅ and COD, the average values for system input were 398.55 mg/l of BOD₅ and 681.25 mg/l of COD, reaching values of removal efficiencies of 99% to obtain an average value of 3.41 mg/l of BOD₅ to the system output and standard deviation of 3.8mg/l. Removal efficiency of 98% of COD to obtain an average value of 12.5 mg/l to the system output and standard deviation of 13.25 mg/l, so it is concluded that such removal percentages are satisfactory. This article is part of research "Soil use as a secondary treatment of domestic waste water" by the MSc. Ivis Peralta and MSc. Wilber Pérez, and research results are shared with the MSc. Andy Alonzo.

KEY WORDS: Pollution, biochemical oxygen demand, infiltration-percolation trenches

INTRODUCCIÓN

El sistema de tratamiento de aguas residuales usando suelo, es un proceso controlado que simula la infiltración natural de las aguas en el suelo, reduciendo los contaminantes remanentes por fenómenos físicos, químicos y biológicos; entre ellos se mencionan, filtración, adsorción, intercambio iónico, precipitación química, oxidación y reducción química y biológica, conversión y

degradación biológica de los contaminantes (Metcalf & Eddy, 1991).

El artículo explica el proceso de caracterización del suelo modificado en el estudio, el caudal equivalente usado, los componentes del sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas y la metodología de obtención del número de muestras. Así mismo muestra los resultados del análisis y evaluación de la eficiencia de remoción de contaminantes expresada en términos de la DBO₅ y DQO.

Se tuvo como efluente un caudal derivado en la entrada del sedimentador primario. El sistema de tratamiento se ubicó en la planta piloto “Ingeniero Arturo Pazos Sosa” de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos ERIS, ubicada en la Colonia Aurora II de la Ciudad de Guatemala.

Se aclara que los datos de este artículo se tomaron del estudio “Uso del suelo como tratamiento secundario de aguas residuales domésticas” realizado por el autor del presente artículo en coautoría compartida con la Msc. Ivis Peralta, y se compartieron resultados de análisis de laboratorio con el estudio especial “Uso de suelo y pet para el tratamiento secundario de aguas residuales domésticas por infiltración” del Msc. Andy Alonzo.

DESCRIPCIÓN DEL AREA DE ESTUDIO

La planta piloto de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos – ERIS – está ubicada en la colonia Militar Aurora II, en la zona 13. Limitada al Norte con el Observatorio Nacional, al Este con el Aeropuerto Internacional “La Aurora” y al Sur y Oeste con barrancos. Sus coordenadas son 14° 35” de latitud Norte y 90° 32” de longitud Oeste. Su altitud varía desde 1455 m.s.n.m. en la parte más baja hasta 1502 m.s.n.m. en la parte más alta (López Alex, 2010).

METODOLOGÍA

La metodología empleada consistió en el diseño y construcción de un sistema piloto en el que se usa un suelo modificado para el tratamiento de aguas residuales domésticas, compuesto por una fosa séptica de polietileno, un prototipo de zanjas de infiltración seguido de una columna de suelo modificado con una profundidad de 1.20 m después del fondo de la zanja.

Se realizó la caracterización del suelo del sitio donde se emplazó el sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas. Se realizaron tres análisis al suelo: el físico, el químico y el hidráulico. Se obtuvo los resultados indicados en la tabla 1.

Tabla 1. Características físicas y químicas del suelo.

Fuente: Centro de investigaciones de ingeniería, Facultad de Ingeniería, USAC. 2014

Se analizó el suelo en estudio el cual estaba compuesto por arena pómez color café claro de porosidad media, potencial de hidrogeno levemente ácido, con cantidad de

nutrientes y materia orgánica baja, por lo tanto el suelo no apporto ninguno de parámetros químicos indicados en la tabla 1.

Descripción del Sistema

Características físicas	
Textura	Arena pómez limosa color café claro (Textura gruesa)
Estructura	
Granulometría	% de pasa
¾"	100
4	87.16
10	72.08
40	17.82
200	0.99
% de grava	12.85
% de arena	86.17
% de finos	0.99
D ₁₀	0.30 mm
D ₃₀	0.61 mm
D ₆₀	1.50 mm
Gravedad especifica	2.22
Densidad	1.29 gr/cm ³
Características químicas	
Potencial de hidrogeno	6.4
Conductividad eléctrica	218.5 µS/cm
Nitrógeno	0.0015%
Fosforo	4.63 ppm
Potasio	163 ppm
Calcio	3.43 Meq/100gr
Magnesio	1.90 Meq/100gr
Cobre	1.00 ppm
Zinc	0.50 ppm
Hierro	28 ppm
Manganeso	3.50
Materia Orgánica	0.30%
Características Hidráulicas	
Tasa de Infiltración	17.7 cm/s
Velocidad de Infiltración	3.38 x 10 ⁻⁵ cm/s

Se construyó un sistema piloto de tratamiento de aguas residuales domésticas el cual está compuesto por sedimentación primaria. Se utilizó una fosa séptica de polietileno seguida de la absorción en el suelo por medio de zanjas de infiltración. Para efectos de este estudio solo se analizó 1 m² de zanja con una profundidad de 1.20m de columna de suelo. Los componentes del sistema de tratamiento (ver figura 1) implementado son:

- Unidad de regulación de caudal
- Fosa séptica de polietileno
- Caja de distribución de caudal
- Sistema de infiltración

- Recolección de agua tratada

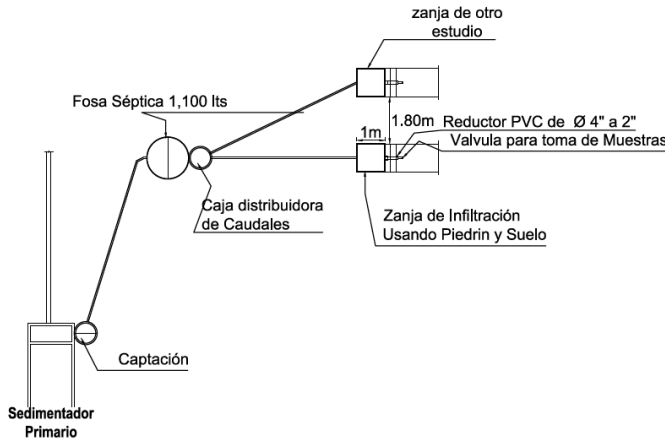


Figura 1. Esquema general del sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas.

El caudal a tratar por el sistema fue asumido para una cantidad de 6 personas con una dotación de 200l/h/d y un factor de retorno de 0.8 se obtuvo un caudal de diseño de 0.011 l/s.

Se colocó una unidad de captación en el efluente para recolectar el agua residual cruda en donde se instaló un regulador de caudal. Se optó por un orificio, por facilidades constructivas e hidráulicas.

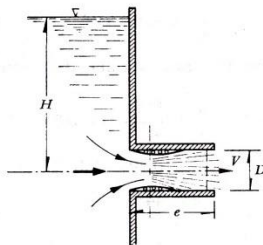


Figura 2. Orificio de tubo corto.

Para determinar el tirante del orificio, se utilizó un tubo corto de 20 centímetros de longitud y 1/2" de diámetro para evitar taponamientos por partículas en suspensión. La ecuación para caudales de tubo corto es:

$$Q = C_d A \sqrt{2gH} \quad (1)$$

Q = Caudal en m³/s
 Cd = Coeficiente de descarga

A = área de la sección del tubo en m²
 g = aceleración de la gravedad en m/s²
 H = Altura de la superficie libre del líquido hasta el centro del orificio en m.

El caudal necesario era de 0.00091 l/s = 9x10⁻⁷ m³/s.
 Cd = 0.75 de acuerdo a la relación e/d de la tabla siguiente:

Tabla 2. Coeficientes de descarga según relación e/D

e/D	≤0.5	1	1.5	2	2.5	3	5
Cd	0.6	0.75	0.78	0.79	0.8	0.82	0.79
e/D	12	25	36	50	60	75	100
Cd	0.77	0.71	0.68	0.64	0.6	0.59	0.55

Fuente: SOTELO, Gilberto. Hidráulica general.

Debido a que la relación del medidor es 20/1.27= 15.74, se interpola entre e/D = 12 y e/D = 25,

$$\frac{15.74 - 25}{12 - 25} = \frac{X - 0.71}{0.77 - 0.71} \therefore X = C_d = 0.7527$$

El tirante del orificio necesario para proporcionar el caudal deseado se despeja de la siguiente ecuación:

$$Q = C_d A \sqrt{2gH} \rightarrow H = \left(\frac{Q}{C_d A} \right)^2 \quad (2)$$

$$H = \frac{\left(\frac{1.111 \times 10^{-5}}{0.75 * 1.26 \times 10^{-4}} \right)^2}{2 * 9.81} = 7.044 \times 10^{-4} m$$

Como la altura H es muy pequeña se ha propuesto un valor de 6.5 centímetros, debido a que, para tener una descarga libre dicho tirante es el mínimo. Al evaluar ese tirante en la ecuación anterior se puede aproximar el caudal en el orificio.

$$Q = 0.75 * 1.26 \times 10^{-4} \sqrt{2 * 9.81 * 0.065} = 1.06 \times 10^{-4} \frac{m^3}{s} = 0.106 \text{ l/s}$$

El caudal teórico del orificio es 0.106 l/s, pero el caudal calculado necesario para una vivienda de 6 habitantes es de 0.011 l/s, por consiguiente fue necesario regular el caudal, con una válvula de compuerta de 1/2"; sin embargo, aún colocando esta válvula el caudal mínimo promedio

que se obtiene es de 0.02096 l/s, equivalente a una población de servicio de 12 personas.

Se contó con una fosa séptica prefabricada de 1,100 litros de capacidad, dirigida a una población de 6 a 10 habitantes.

Con el volumen de la fosa séptica prefabricada se procedió a calcular el tiempo de retención que tendrá para una población de 6 habitantes

$$Tr = \frac{Vol_{sep}}{Pop * dot * Fr} \quad (3)$$

$$Tr = \frac{1100}{6 * 200 * 0.8} = 1.14 \text{ dia} > 1 \text{ dia}$$

El tiempo de retención teórico con que trabajaría la fosa séptica sería de 1.14 días lo cual favorecería a la sedimentación y periodo de desenlode.

En realidad el dispositivo entrará un caudal mayor, equivalente a la descarga de 12 personas como se detalló en la sección anterior; por tanto, el tiempo de retención real será de aproximadamente 0.6 día (14 horas).

El sistema de infiltración consiste en una columna de suelo de 1.20m de profundidad. Para poder analizar la calidad del agua a la salida del dispositivo se instaló un sistema de recolección, por debajo de la columna de suelo, por lo tanto este se removió y luego se volvió a colocar (ver figura3).

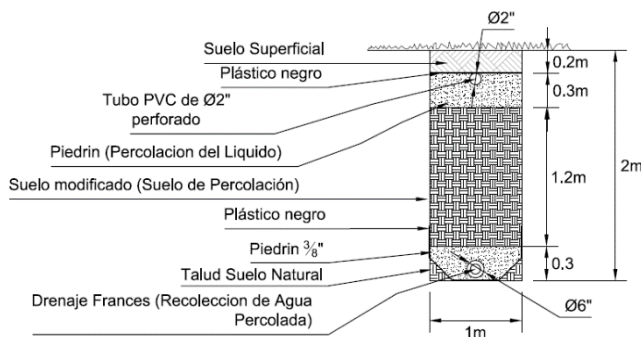


Figura 3. Sistema de infiltración.

Como algunas propiedades del suelo cambiaron al ser removido, se realizaron las pruebas de contenido de humedad y compactación para tratar de llegar a su compactación natural.

Tabla 3. Características mecánicas del suelo

Características mecánicas del suelo	
Contenido de humedad natural	17.0%
Contenido de humedad óptima en compactación	16.5%
Densidad seca máxima	1,409.76 kg/m ³
	88 lb/pie ³

Fuente: Centro de investigaciones de ingeniería, Facultad de Ingeniería, USAC. 2014

La prueba de compactación nos permitió conocer la densidad seca máxima y el contenido de humedad óptimo para alcanzar la densidad natural del suelo.

Con los valores obtenidos en el laboratorio se determinó las condiciones en las que se dejaría instalado el sistema (ver figura 4).

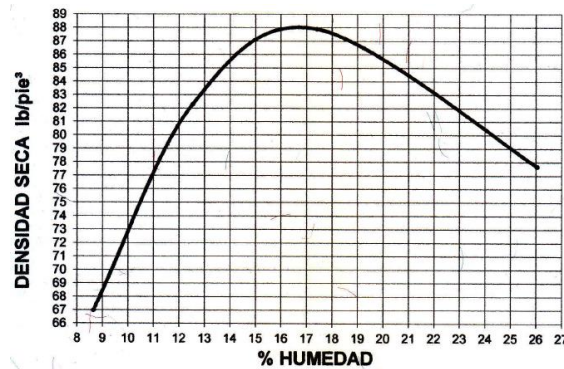


Figura 4. Densidad seca - %humedad

El porcentaje de compactación obtenido para el suelo fue de 78%.

Se calculó la relación de vacíos en el sistema con la siguiente ecuación:

$$e = \frac{GS * \gamma_w}{\gamma_d} \quad (4)$$

Donde:

GS: corresponde al valor de la gravedad específica.

γ_w : corresponde al valor del peso específico del agua γ_d : peso específico seco, resultado de la compactación en campo.

La gravedad específica y el peso específico del agua es el mismo valor para ambas pruebas de compactación.

Tabla 4. Datos para la relación de vacíos en el suelo compactado.

Descripción	Valor	Dimensional
Porcentaje de Humedad (%H)	19.04	%
Peso bruto húmedo (Pbh)	623	gramos
Peso neto húmedo (Pnh)	528	gramos
Peso unitario húmedo (PUH)	1320	Kg/m ³
Peso unitario seco (PUS)	1108.87	Kg/m ³
Porcentaje de compactación (%C)	78	%

Fuente: Peralta & Pérez (et. al) 2015, Alonzo (et. al) 2015.

En base a los datos de la tabla 4 se determinó el porcentaje de compactación y la relación de vacíos:

$$Pnh = Pbh - \text{peso del recipiente o tara} = 623g - 95g = 528g$$

$$PUH = \frac{Pnh}{\text{Volumen}_{\text{agujero}}} = \frac{0.528kg}{0.0004 m^3} = 1320 \frac{kg}{m^3}$$

$$PUS = \frac{PUH}{\%H + 100} * 100 = \frac{1320}{119.04} * 100 = 1108.87 \frac{kg}{m^3}$$

$$\%C = \frac{PUS_{\text{campo}}}{PUS_{\text{proctor}}} * 100 = \frac{1108.87}{1409.76} = 78\%$$

$$e = \frac{2.22 * 1000kg/m^3}{1108.87kg/m^3} = 2$$

Se instaló un drenaje tipo francés para analizar la calidad del agua después del tratamiento a través de una columna de suelo de 1.20m de profundidad (ver figura 5).

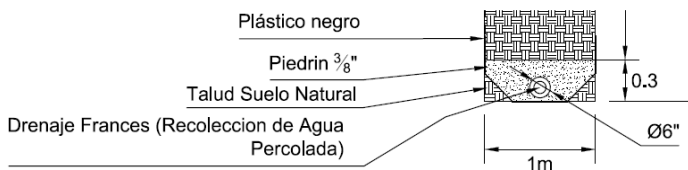


Figura 5. Sección toma de muestras del afluente

Número de Muestras

Para conocer el número de muestreos necesarios que permitieran obtener información confiable y a la vez reducir el tiempo y el costo en la elaboración del estudio, se realizó el cálculo del número de muestras por dos métodos estadísticos. El primero de acuerdo con el Método 1060B (Standard methods) indicado en Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y

Residuales. El segundo por el método de muestreo aleatorio simple.

a) Standard Methods

Para el método 1060B, se utilizaron las curvas de niveles de confianza establecidos a partir de la siguiente fórmula. (Standard methods for the examination of water and wastewater, 2002). (Ver figura 6).

$$N \geq \left(\frac{t.s}{U}\right)^2 \quad (5)$$

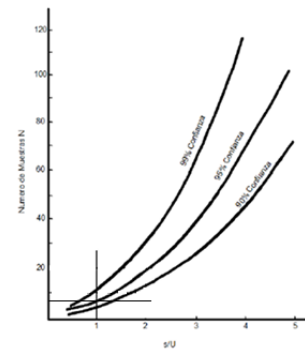


Figura 6. Concentración media

De estudios anteriores se tiene que la desviación estándar, puede ser 0.020 y el nivel de confianza variar entre un rango de 0.001 a 0.05 si se utiliza un nivel de confianza de 0.02 tenemos que la relación s/U es igual a 1. A partir de este resultado, se revisa la gráfica en la figura 6, para un nivel de confianza del 95% y se obtienen entre 7 y 8 muestras, por lo tanto se establece que se deben realizar **8 muestras**.

b) Método aleatorio simple

Este depende de observaciones anteriores y del análisis estadístico para obtener el tamaño de la población, la desviación estándar y el error de muestreo aceptable. El cálculo se realiza a partir de la siguiente fórmula.

$$n = \frac{Nz^2\sigma^2}{(N-1)e^2 + z^2\sigma^2} \quad (6)$$

Donde:

Z = 1.96, intervalo de confianza del 95%

σ = Desviación estándar

e = Error de muestreo aceptable;

N = Tamaño de la población.

Para aplicar el método se hizo una recopilación de información disponible en 29 tesis de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS) desarrolladas en la planta experimental de tratamiento de aguas residuales “Ing. Arturo Pazos Sosa” comprendidas desde el año 1,974 al 2,013. Los parámetros de interés fueron DBO₅, DQO. Una vez ordenados los datos se procedió a realizar el análisis estadístico, los resultados se muestran en las tablas 5 y 6:

Tabla 5. Tamaño de la población estadística

Parámetro	N Estadístico
DBO ₅	68
DQO	40

Fuente: Peralta & Pérez (et. al) 2015, Alonzo (et. al) 2015

Tabla 6. Resultado de análisis estadístico

	DBO ₅	DQO
N	213	214
e	50	48
Z	1.96	1.96
σ	74.13	77.301
n	8.17	8.14
n prom	8.095 ≈ 8	

Fuente: Peralta & Pérez (et. al) 2015, Alonzo (et. al) 2015

De la tabla anterior se observa que el número de muestras está entre 7 y 8 por lo tanto se establece que se deben realizar **8 muestras**.

Por ambos métodos se determinó que el número de muestras representativas es 8, por lo tanto se realizaron 8 muestras por punto de muestreo.

Puntos de Muestreo

Los puntos de muestreos se realizaran en la entrada al sistema, salida de la fosa séptica y salida de la columna de suelo (ver figura 7).

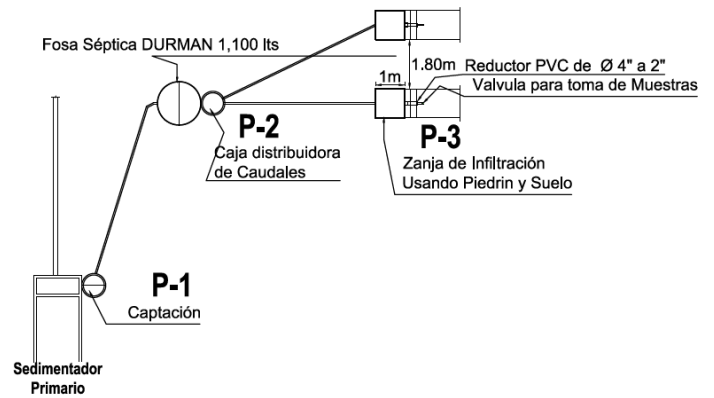


Figura 7. Esquema del sistema de tratamiento y puntos de muestreo

Las muestras se recolectaron una vez por semana, para lo cual se seleccionó un día en específico para evitar variaciones en los hábitos de consumo de agua de la población servida en la planta de tratamiento “Arturo Pasos”. El periodo de toma de muestras comenzó el cuatro de febrero de 2015 y finalizó el ocho de abril del 2015. El día seleccionado fue el miércoles de cada semana en horario de 8 a 10 am.

Los análisis fueron realizados en el Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria Doctora Alba Estela Tabarini Molina, de la ERIS de la Facultad de Ingeniería en la Universidad de San Carlos de Guatemala.

RESULTADOS

Para evaluar el desempeño del sistema de tratamiento se analizó el comportamiento de los parámetros de estudio en la entrada del sistema, la salida de la fosa séptica y la salida del sistema, también se analizó la eficiencia de remoción.

En las tablas 7 y 8 se muestran los valores de la DBO₅ y DQO en el efluente del sistema, la salida de la fosa séptica y de la salida del sistema.. En las figuras 8 y 9 se muestra la eficiencia de remoción de la DBO₅ y DQO en la salida del sistema.

Remoción de la DBO₅ en el sistema

Es el ensayo más importante para determinar la concentración de la materia orgánica en aguas residuales (Romero, 2010)

Tabla 7. Resultado de DBO₅ a lo largo del sistema.

# M	Fecha	DBO ₅ (mg/l)			Remoción %
		Entrada (P-1)	Salida Fosa (P-2)	Salida del Sistema (P-3)	
1	04/02/2015	214.00	210.00	0.96	99.6
2	11/02/2015	675.00	230.00	2.30	99.7
3	18/02/2015	360.00	10.48	6.48	98.2
4	25/02/2015	290.00	163.00	11.00	96.2
5	04/03/2015	226.00	188.00	0.68	99.7
6	11/03/2015	630.00	124.00	5.00	99.2
7	18/03/2015	480	163	0.35	99.9
8	08/04/2015	292	130	0.54	99.8
Promedio		395.88	152.31	3.41	99
Desviación estándar				3.81	

Fuente: Peralta & Pérez (et. al) 2015, Alonzo (et. al) 2015.

El comportamiento de la DBO₅ fue irregular en la entrada del sistema y salida de la fosa séptica, presentó picos máximos a la entrada en los muestreo #2 y 6, y un pico mínimo a la salida de la fosa en el muestreo #3. A la salida del sistema el comportamiento fue regular. Se removió en promedio 99% de DBO₅, equivalente a 149 mg/l (ver figura 8).

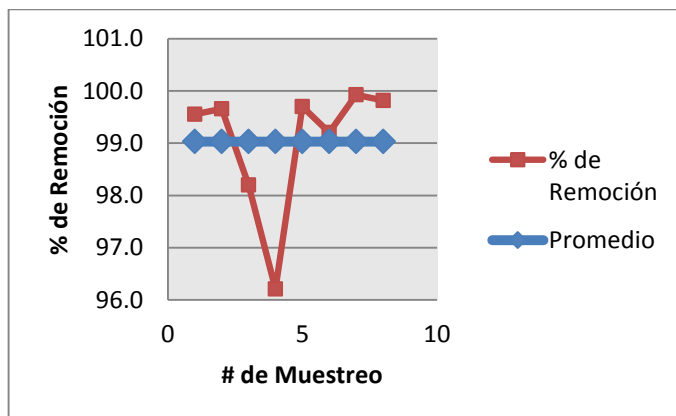


Figura 8. Eficiencia de remoción de DBO₅ a la salida del sistema.

Remoción de la DQO en el sistema.

El valor de la DQO es usado extensivamente, en el análisis de las aguas residuales; junto con el valor de la DBO₅, permiten determinar las condiciones de biodegradabilidad y el contenido de sustancias tóxicas en la muestra, así como las eficiencias de las unidades de tratamiento (Romero, 2010).

Tabla 8. Resultado de DQO a lo largo del sistema.

# M	Fecha	DQO (mg/l)			Remoción %
		Entrada (P-1)	Salida Fosa (P-2)	Salida del Sistema (P-3)	
1	04/02/2015	583.00	392.00	14.00	97.6
2	11/02/2015	783.00	285.00	15.00	98.1
3	18/02/2015	616.00	286.00	14.00	97.7
4	25/02/2015	835.00	300.00	40.00	95.2
5	04/03/2015	589.00	370.00	7.00	98.8
6	11/03/2015	578.00	218.00	15.00	97.4
7	18/03/2015	621	423	0	100
8	08/04/2015	845	342	1	99.9
Promedio		681.25	327.0	13.25	98.1
Desviación estándar				12.46	

Fuente: Peralta & Pérez (et. al) 2015, Alonzo (et. al) 2015.

El comportamiento de la DQO fue irregular en la entrada del sistema y salida de la fosa séptica, presentó picos máximos a la entrada en los muestreo #4 y 8. A la salida del sistema el comportamiento fue regular a excepción del muestreo #4. Se alcanzó una eficiencia de remoción promedio de 98.1% de DQO, equivalente a 313.75 mg/l (ver figura 9).

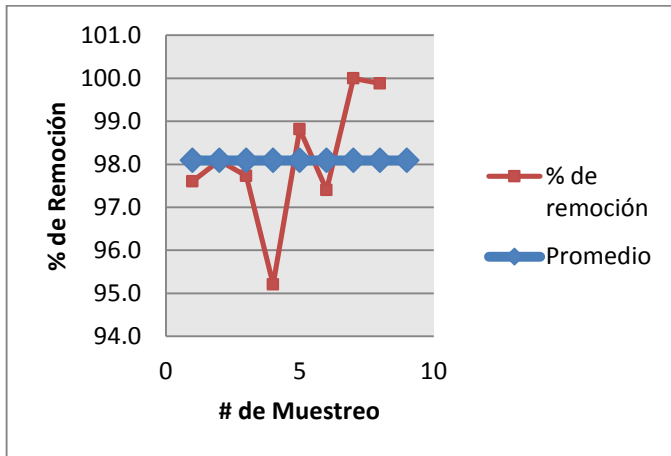


Figura 9. Eficiencia de remoción de DQO a la salida del sistema.

CONCLUSIONES

Para un suelo en el que se modificó sus condiciones naturales y a una profundidad de 1.20m abajo del fondo de la zanja, el comportamiento de la DBO₅ fue irregular en la entrada del sistema y salida de la fosa séptica. Presentó picos máximos a la entrada en los muestreo #2 y 6, y un pico mínimo a la salida de la fosa en el muestreo #3. A la salida del sistema el comportamiento fue regular.

La DBO₅ promedio en la entrada del sistema fue de 395.55 mg/l, obteniéndose una eficiencia media de remoción del 99%, saliendo del sistema 3.41 mg/l con 3.8 mg/l de desviación estándar, resultando exitoso el desempeño de remoción de este parámetro.

El comportamiento de la DQO fue irregular en la entrada del sistema y salida de la fosa séptica, presentando picos máximos a la entrada en los muestreo #4 y 8. A la salida del sistema el comportamiento fue regular a excepción del muestreo #4.

La DQO promedio en la entrada del sistema fue de 681.25 mg/, obteniéndose una eficiencia media de remoción del 98%, saliendo del sistema 13.25 mg/l con 12.46 mg/l de desviación estándar.

AGRADECIMIENTOS

A las instituciones que hicieron posible la elaboración de la siguiente investigación: El Servicio Alemán de Intercambio Académico (DAAD Centroamérica), La Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS) y al Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria “Doctora Alba Estela Tabarini Molina” de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos ERIS”

BIBLIOGRAFÍA

ALONZO, ANDY. Uso de suelo y pet para el tratamiento secundario de aguas residuales domesticas por infiltración (investigación pendiente de publicación) 2015.

CALERO VINELO, Arístides. Técnicas de muestreo. La Habana. Editorial: pueblo y educación.1978.

LOPEZ ALEX. Implementación del material denominado Ripio clasificado de concreto como material filtrante en filtros percoladores en la planta piloto “Ing. Arturo Pazos Sosa. Estudio especial ERIS, 2010.

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

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

PERALTA IVIS. & PEREZ WILBER., Uso del Suelo como tratamiento secundario de aguas residuales domésticas (investigación pendiente de publicación). 2015.

SOTELO AVILA, Gilberto. Hidráulica General. Editorial LIMUSA. 1997