



Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos,  
ERIS

## **DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE UN FILTRO INTERMITENTE DE ARENA PÓMEZ**

**Ingeniero, José Ramón López López**

Asesorado por el Dr. Ing. ADÁN POCASANGRE COLLAZOS

Guatemala, noviembre de 2012

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

TESIS

**DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE UN FILTRO INTERMITENTE  
DE ARENA PÓMEZ**

PRESENTADO AL COMITÉ DE LA MAESTRÍA EN INGENIERÍA SANITARIA

POR

**INGENIERO, JOSÉ RAMÓN LÓPEZ LÓPEZ**

ASESORADO POR

Dr. Ing. ADÁN POCASANGRE COLLAZOS

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**MAESTRÍA (MAGISTER SCIENTIFICAE) EN INGENIERÍA SANITARIA**

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2012

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

### **DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE UN FILTRO INTERMITENTE DE ARENA PÓMEZ**

Tema que me fuera asignado por la Comisión de Admisión y Otorgamiento de Grado de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos ERIS, el 1 de septiembre de 2012.

Ing. José Ramón López López  
[ing.joseramonlopez@gmail.com](mailto:ing.joseramonlopez@gmail.com)  
Carné 100022721

Guatemala 26 de noviembre de 2012

Señores  
Comisión de Admisión y Otorgamiento de grado  
Escuela regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos

Respetuosamente les comunico que he revisado, en mi calidad de Asesor y Coordinador de la Maestría en Ciencias en Ingeniería Sanitaria, el documento de Estudio Especial II titulado:

UNIVERSIDAD DE  
SAN CARLOS DE GUATEMALA



Facultad de Ingeniería  
Escuela Regional de Ingeniería  
Sanitaria y Recursos Hidráulicos  
ERIS

Edificio ERIS  
Area de Prefabricados  
Ciudad Universitaria zona 12  
Ciudad de Guatemala 01012  
Guatemala C.A.

Tel (502) 2418 8000  
Ext. 86212, 86213 y 86239  
(502) 2418 9140

## “DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE FILTRO INTERMITENTE DE ARENA PÓMEZ”

Presentado por el estudiante de la maestría antes mencionada,

**Ingeniero Civil José Ramón López López**

Les manifiesto que el estudiante cumplió en forma satisfactoria con los requisitos establecidos por la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos -ERIS- y la Universidad de San Carlos de Guatemala, en la realización de su estudio.

Agradeciendo la atención a la presente, se suscribe de ustedes.

Atentamente,

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

Dr. Ing. Adán Ernesto Pocasangre Collazos  
Coordinador Maestría en Ciencias en Ingeniería Sanitaria

El Director de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos -ERIS- después de conocer el dictamen del tribunal examinador integrado por los profesores siguientes: Dr. Ing. Adán Ernesto Pocasangre Collazos, MSc. Ing. Zenón Much Santos y MSc. Ing. Joram Gil Larroj, así como el visto bueno del Coordinador de la Maestría en Ingeniería Sanitaria, Dr. Ing. Adán Ernesto Pocasangre y la revisión de lingüística efectuada por la Licenciada en Letras Gladys Tobar Aguilar colegiada No. 1450, del trabajo del estudiante Ing. José Ramón López López, Titulado:

**“DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE UN FILTRO INTERMITENTE DE ARENA PÓMEZ”**

En representación de la comisión de admisión y otorgamiento de grado, procede a la autorización del mismo

Guatemala, 28 de noviembre del 2012

**IMPRIMASE**

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

A handwritten signature in black ink is written over a circular official stamp. The stamp contains the text: "ESCUELA REGIONAL DE INGENIERIA SANITARIA Y RECURSOS HIDRAULICOS", "FACULTAD DE INGENIERIA", and "DIRECCION".

MSc. Ing. Pedro Cipriano Saravia Celis  
DIRECTOR

Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos  
Hidráulicos

UNIVERSIDAD DE  
SAN CARLOS DE GUATEMALA



Facultad de Ingeniería  
Escuela Regional de Ingeniería  
Sanitaria y Recursos Hidráulicos  
ERIS

Edificio ERIS  
Area de Prefabricados  
Ciudad Universitaria zona 12  
Ciudad de Guatemala 01012  
Guatemala C.A

Tel. (502) 2418 8000.  
Ext. 86212, 86213 y 86239  
(502) 2418 9140

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE LA JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Juan Carlos Molina Jiménez
VOCAL V	Br. Mario Maldonado Muralles
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**DIRECTOR DE LA ESCUELA REGIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA Y  
RECURSOS HIDRÁULICOS**

M. Sc. Ing. Pedro Cipriano Saravia Celis

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

EXAMINADOR	M.Sc. Ing. Joram Gil
EXAMINADORA	M.Sc. Inga. Zenón Much Santos
EXAMINADOR	Dr. Ing. Adán Pocasangre Collazos

## **ACTO QUE DEDICO A:**

### **Mi madre<sup>†</sup>**

Norma Emilia López Barrios, por darme la vida, su amor, dedicación y paciencia. Infinitas gracias por tus sabios consejos, por acompañarme y desearme en todo momento lo mejor. Este triunfo también es tuyo.

### **Mi padre**

Ramón López Díaz, por su amor y dedicación.

### **Mi hermana**

María Cristina López, por la alegría y apoyo. En mi corazón estarás por siempre.

### **Mi familia**

Por todo el apoyo y cariño que me han brindado. Que Dios los siga bendiciendo.

### **Mis amigos**

Vivian Anaí Lemus Arredondo, José Joaquín Bojórquez Aragón, Mario José Mansilla García y Mario Rolando Velásquez Chen por su amistad, apoyo y cariño.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

**Yahveh**

Todopoderoso, gracias por permitirme concretar este sueño, ser mi protector en todo momento. A tí Dios gracias.

**La Universidad de San Carlos de Guatemala**

Por darme la oportunidad de formarme en su casa de estudios.

**ERIS**

Por su excelente aporte académico.

**Mis catedráticos**

Por compartir sus valiosos conocimientos.

**Todas las personas**

Que me proporcionaron ayuda para la elaboración del presente trabajo de graduación.



## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
TABLAS.....	VI
GLOSARIO.....	XI
LISTA DE SÍMBOLOS.....	IX
RESUMEN.....	XV
ASPECTOS GENERALES.....	XVII
INTRODUCCIÓN.....	XVII
OBJETIVOS.....	XIX
HIPÓTESIS.....	XXI
ANTECEDENTES.....	XXIII
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	XV
JUSTIFICACIÓN.....	XXVII
ALCANCES.....	XXIX
LIMITANTES.....	XXIX
1. MARCO TEÓRICO.....	1
1.1. Sistema de tratamiento para pequeñas comunidades.....	1
1.2. Problemas específicos asociados a las pequeñas comunidades.....	1
1.3. Características de los caudales de origen doméstico.....	2
1.4. Comunidades rurales no conectadas a una red de alcantarillado sanitario.....	3

1.5.	Sistemas de tratamiento para las aguas residuales de origen doméstico .....	5
1.6.	Descripción de la tecnología de los filtros intermitentes .....	6
1.6.1.	Tipos de filtros intermitentes.....	7
1.6.2.	Descripción del proceso .....	8
1.6.3.	Sistema de distribución y dosificación .....	10
1.6.4.	Medio filtrante .....	11
1.6.5.	Consideraciones de diseño .....	12
2.	DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	15
2.1.	Ubicación.....	15
2.2.	Localización geográfica .....	15
2.3.	Clima .....	16
2.4.	Población.....	17
2.5.	Reconocimiento del área de estudio.....	17
3.	METODOLOGÍA.....	19
3.1.	Selección de los parámetros de control.....	19
3.2.	Análisis estadístico para determinar el número de muestras...	20
3.3.	Puntos de recolección de muestras.....	21
3.4.	Frecuencia de análisis de muestras .....	21
3.5.	Selección del tipo de muestra.....	22
3.6.	Medición del caudal de entrada .....	22
3.7.	Cálculo y diseño del filtro intermitente .....	24
3.8.	Análisis granulométrico de la arena pómez .....	27
4.	CONSIDERACIÓN PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL FILTRO INTERMITENTE .....	29
4.1.	Función del geotextil no tejido .....	29

4.2.	Dimensiones y elementos del filtro .....	31
4.3.	Dosificación.....	33
5.	RESULTADOS EXPERIMENTALES.....	37
5.1.	Datos obtenidos de entrada y salida del filtro intermitente .....	37
5.2.	Índice de biodegradabilidad .....	43
5.3.	Desempeño de la unidad de tratamiento .....	46
5.3.1.	Variación de la concentración de la materia orgánica, DBO <sub>5</sub> .....	46
5.3.2.	Variación de la concentración de la demanda química de oxígeno, DQO .....	47
5.3.3.	Variación de la concentración de los sólidos suspendidos, SS .....	48
5.3.4.	Variación de la concentración de fósforo total .....	49
5.3.5.	Variación de nitrógeno total .....	50
5.3.6.	Variación de la temperatura promedio .....	51
5.3.7.	Variación del potencial de hidrógeno, pH.....	52
5.4.	Eficiencia de la unidad de tratamiento .....	53
5.4.1.	Eficiencia de la unidad de tratamiento en la remoción de la materia orgánica, DBO <sub>5</sub> .....	54
5.4.2.	Eficiencia de la unidad de tratamiento en la remoción de la demanda química de oxígeno, DQO .....	55
5.4.3.	Eficiencia de la unidad de tratamiento en la remoción de sólidos suspendidos, SS .....	56
5.4.4.	Eficiencia de la unidad de tratamiento en la remoción de fósforo total .....	57
5.4.5.	Eficiencia de la unidad de tratamiento en la remoción de nitrógeno total .....	58

6.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	59
6.1.	Características del sistema de tratamiento .....	59
6.2.	Remoción de la unidad de tratamiento .....	60
6.3.	Eficiencia del filtro intermitente .....	60
6.4.	Características del efluente del sistema de tratamiento de aguas residuales .....	61
7.	OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO .....	63
7.1.	Administración .....	64
7.2.	Personal para la administración .....	66
7.3.	Reglamento para la administración, operación y mantenimiento del drenaje sanitario y plantas de tratamiento .....	66
7.4.	Estructura organizativa para la operación y mantenimiento ....	66
7.5.	Operación y mantenimiento del sistema de tratamiento .....	68
	7.5.1. Rejilla y caja desarenadora .....	68
	7.5.2. Biodigestor.....	69
	7.5.3. Filtro intermitente .....	71
7.6.	Medidas ambientales.....	71
7.7.	Plan rutinario de operación y mantenimiento.....	73
	CONCLUSIONES.....	75
	RECOMENDACIONES .....	77
	BIBLIOGRAFÍA.....	79

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Biodigestor. ....	4
2.	Filtro intermitente de arena. ....	7
3.	Esquema de un filtro intermitente enterrado. ....	8
4.	Localización geográfica de la Planta de Tratamiento. ....	16
5.	Reparaciones del biodigestor. ....	18
6.	Reparación de la tubería y toma de muestra. ....	18
7.	Diagrama de flujo del sistema de tratamiento ....	21
8.	Curva de caudales. ....	23
9.	Curva granulométrica de la arena pómez. ....	27
10.	Diagrama del filtro intermitente. ....	31
11.	Detalle del filtro intermitente. ....	32
12.	Detalle del lecho filtrante. ....	33
13.	Esquema del sistema de tratamiento. ....	35
14.	Concentración de la DBO <sub>5</sub> del afluente. ....	38
15.	Concentración de la DQO del afluente. ....	38
16.	Concentración de nitrógeno total del afluente. ....	39
17.	Concentración de fósforo total del afluente. ....	39
18.	Concentración de sólidos suspendidos del afluente. ....	40
19.	Concentración de la DBO <sub>5</sub> del efluente. ....	41
20.	Concentración de la DQO del efluente. ....	41
21.	Concentración de nitrógeno total del efluente. ....	42
22.	Concentración de fósforo total del efluente. ....	42
23.	Concentración de sólidos suspendidos del efluente. ....	43

24.	Índice de biodegradabilidad del afluente.....	44
25.	Índice de biodegradabilidad del efluente.....	45
26.	Variación de la concentración de la materia orgánica, DBO <sub>5</sub> . ....	47
27.	Variación de la concentración de la demanda química de oxígeno, DQO.....	48
28.	Variación de la concentración de sólidos suspendidos.....	49
29.	Variación de la concentración de fósforo total... ..	50
30.	Variación de la concentración de nitrógeno total. ....	51
31.	Variación de la temperatura.....	52
32.	Variación del potencial de hidrógeno, pH. ....	53
33.	Eficiencia en la remoción de la DBO <sub>5</sub> . ....	54
34.	Eficiencia en la remoción de la DQO. ....	55
35.	Eficiencia en la remoción de sólidos suspendidos.....	56
36.	Eficiencia en la remoción de fósforo total .....	57
37.	Eficiencia en la remoción de nitrógeno total. ....	58
38.	Estructura administrativa para proyectos.....	65
39.	Estructura organizativa para la operación y mantenimiento del sistema de tratamiento.....	67

## TABLAS

I.	Composición típica del agua residual doméstica.....	3
II.	Opciones de tratamiento de aguas residuales no conectadas a una red de alcantarillado sanitario. ....	5
III.	Eficiencia de los filtros intermitentes.....	9
IV.	Criterios de diseño para filtros intermitentes.....	13
V.	Datos del INSIVUMEH.....	17
VI.	Parámetros de análisis seleccionados.....	19

VII.	Aforo volumétrico. ....	22
VIII.	Criterios de diseño para el filtro intermitente. ....	24
IX.	Análisis con tamices de la arena pómez. ....	26
X.	Análisis de costos del filtro intermitente. ....	34
XI.	Características del afluente del filtro intermitente.....	37
XII.	Características del efluente del filtro intermitente.....	40
XIII.	Índice de biodegradabilidad del afluente. ....	44
XIV.	Índice de biodegradabilidad del efluente.....	45
XV.	Variación de la concentración de la materia orgánica, DBO <sub>5</sub> .....	46
XVI.	Variación de la concentración de la demanda química de oxígeno, DQO. ....	47
XVII.	Variación de la concentración de sólidos suspendidos. ....	48
XVIII.	Variación de la concentración de fósforo total.....	49
XIX.	Variación de la concentración de nitrógeno total.....	50
XX.	Variación de la temperatura promedio. ....	51
XXI.	Variación del potencial de hidrógeno, pH.....	52
XXII.	Eficiencia de la unidad de tratamiento. ....	53
XXIII.	Plan rutinario de operación y mantenimiento. ....	72





## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símblo</b>	<b>Significado</b>
<b>a</b>	Aceleración, área
<b>g</b>	Aceleración de la gravedad = $9,81\text{m/s}^2$
<b>h</b>	Altura de carga, altura o profundidad, altura o carga de presión
<b>H</b>	Altura o carga total (energía por unidad de peso)
<b>z</b>	Altura topografía o cota, elevación
<b>A</b>	Área
<b><math>\rho</math></b>	Densidad
<b>d,D</b>	Diámetro
<b>x</b>	Distancia
<b>F</b>	Fuerza, empuje
<b>L</b>	Longitud
<b><math>\pi</math></b>	Parámetro adimensional
<b>p</b>	Presión, perímetro mojado
<b>y</b>	Profundidad, distancia

<b>r</b>	Radio
<b><math>\varepsilon</math></b>	Rugosidad superficial
<b>T</b>	Temperatura
<b><math>\Delta</math></b>	Término correctivo del flujo
<b>t</b>	Tiempo necesario para aforar
<b><math>t_p</math></b>	Tiempo promedio para aforar
<b>v</b>	Volumen, velocidad del fluido

## GLOSARIO

<b>Aforar</b>	Medir la cantidad de agua que lleva un fluido por unidad de tiempo.
<b>Afluente</b>	Caudal de agua que llega a una planta o unidad de tratamiento.
<b>Agua residual</b>	Las aguas que han recibido uso y cuyas características han sido modificadas.
<b>Carga</b>	El resultado de multiplicar el caudal por la concentración determinados en el efluente y expresado en kilogramos por día.
<b>Caudal</b>	Cantidad de fluido que pasa en una unidad de tiempo.
<b>Coeficiente</b>	Factor multiplicativo vinculado a ciertos elementos matemáticos.
<b>Cuerpo receptor</b>	Embalse natural, lago, laguna, río, quebrada, manantial, humedal, estuario, estero, manglar, pantano, aguas costeras y aguas subterráneas donde se descargan aguas residuales.

**Demanda bioquímica de oxígeno**

La medida indirecta del contenido de materia orgánica en aguas residuales, que se determina por la cantidad de oxígeno utilizado en la oxidación bioquímica de la materia orgánica biodegradable durante un periodo de cinco días y una temperatura de 20°C. Se representa como DBO<sub>5</sub>.

**Demanda química de oxígeno**

La medida indirecta del contenido de materia orgánica e inorgánica oxidable en aguas residuales, que se determina por la cantidad de oxígeno equivalente de oxígeno utilizado en la oxidación química. Se representa como DQO.

**Diámetro**

Línea recta que pasa por el centro del círculo y termina por ambos extremos en la circunferencia.

**Diferencial de presión**

Diferencia entre un determinado valor de presión y otro utilizado como referencia.

**Efluente**

Caudal de agua tratada que sale de una planta o unidad de tratamiento.

**Energía cinética**

Energía que posee el elemento fluido debido a su velocidad.

**Eutrofización**

Proceso de disminución de la calidad de un cuerpo de agua como consecuencia del aumento de nutrientes, lo que a su vez propicia el desarrollo de

microorganismos y limita la disponibilidad de oxígeno disuelto que requiere la flora y fauna.

<b>Fluido</b>	Sustancia o medio continuo que se deforma continuamente en el tiempo ante la aplicación de una sollicitación o tensión tangencial, sin importar la longitud de ésta.
<b>Fluj</b>	Movimiento de una sustancia líquida o gaseosa,
<b>Muestra</b>	La parte representativa, a analizar del agua residual o agua para reuso.
<b>Piezómetro</b>	Instrumento que mide la presión de un fluido en un punto.
<b>Presión</b>	Magnitud física que mide la fuerza por unidad de superficie.
<b>Viscosidad</b>	Oposición de un fluido a las deformaciones tangenciales.
<b>Volumen</b>	Cantidad de espacio que ocupa un cuerpo.



## RESUMEN

El presente estudio recoge la caracterización y eficiencia en la remoción de la materia orgánica, medida como la demanda bioquímica de oxígeno, la demanda química de oxígeno, fósforo total, nitrógeno total y sólidos suspendidos, a la salida del filtro intermitente utilizando como medio filtrante arena pómez, ubicada en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales “Ing. Arturo Pazos Sosa”.

Se determinó la fracción del caudal de agua residual que ingresa al biodigestor, de la Colonia Aurora II ubicada en la zona 13 de la ciudad capital. Se realizó el mantenimiento correctivo y rehabilitación de la unidad, proponiendo un tratamiento secundario el cual se diseñó, construyó y evaluó.

La caracterización de la calidad de agua se evaluó y comparó con los parámetros establecidos en el Acuerdo Gubernativo 236-2006. Por lo cual debe analizarse el reuso del efluente en actividades permitidas o proponer un tratamiento terciario para la remoción de nutrientes.





## **ASPECTOS GENERALES**

### **INTRODUCCIÓN**

En el tratamiento de las aguas residuales de origen doméstico, se caracteriza por ser afluentes con un índice de biodegradabilidad alto, permitiendo utilizar tecnologías de tipo biológico. Por lo que se busca una sostenibilidad de los procesos y una reutilización del efluente, para aquellas comunidades con limitaciones económicas empleando sistemas por gravedad, con su relativo control de operación y mantenimiento.

La investigación se basó en la construcción y evaluación de un tratamiento secundario, previo a la salida de un biodigestor, generado por los vecinos de la Colonia Aurora II. El sistema propuesto es por medio de procesos biológicos del tipo aerobio y cuya tecnología es un filtro intermitente, empleando como medio filtrante arena pómez, ocupando un área superficial de cuatro metros cuadrados.

Esta unidad está colocada en serie, recibiendo un octavo del caudal residual a la salida del biodigestor, obteniéndose una remoción en más del ochenta por ciento. La superficie del lecho se dosifica de forma intermitente, con el efluente el cual se percola en un paso simple hasta el fondo.



## **OBJETIVOS**

### **General**

Diseñar, construir y evaluar el sistema filtración intermitente sin recirculación posteriormente a un tratamiento primario para una vivienda de seis personas, empleando arena pómez como medio filtrante.

### **Específicos**

1. Analizar el sistema de filtración para aguas residuales mediante el empleo de arena pómez.
2. Evaluar la eficiencia del sistema de filtración.
3. Realizar una guía de operación y mantenimiento del biodigestor y el filtro intermitente.
4. Comparar los resultados obtenidos con el Acuerdo Gubernativo 236-2006.



## **HIPÓTESIS**

Los filtros intermitentes empleando como medio filtrante arena pómez, son eficientes para remover más del setenta por ciento de materia orgánica, demanda química de oxígeno, nitrógeno total, fósforo total y sólidos suspendidos, a la salida de un tratamiento primario de origen doméstico.



## ANTECEDENTES

En comunidades cuando estas no se encuentran conectadas a una red de alcantarillado sanitario, el afluente de las residencias individuales y otras instalaciones en la zona, dependerá del sistema de tratamiento y costos con que cuente la comunidad para poder sustentarlo. A pesar de que se emplean varios tipos de sistemas *in situ*, como los tanques separadores de grasas, tanques imhoff, filtros de medio granular con recirculación, lechos y pozos de infiltración, etc. El sistema típico utilizado en el área rural es la fosa séptica, el cual es un tanque prefabricado que permite la eliminación de flotantes y la sedimentación, actuando como un digestor anaerobio sin mezclado ni calentamiento, el tratamiento final y evacuación del efluente, es por percolación en el terreno.

La Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria (ERIS), ha utilizado las instalaciones de la Planta de Tratamiento Aurora II “Ing. Arturo Pazos”, para las actividades didácticas como de investigación. Lo cual ha generado una variedad de estudios relacionados al empleo de piedra pómez como medio filtrante, entre las cuales se pueden mencionar:

Desecado de lodos después de digestión anaeróbica, empleando patios de grava y arena pómez como medio filtrante. Ing. Miguel Omar Montoya Palencia. 1981.

Ensayo de arena pómez como medio filtrante. Ing. Alcides Arosemena González. 1985.

Evaluación de filtro vertical de piedra pómez como post-tratamiento del efluente de una planta de filtros. Ing. Ricardo Ramón Alvarado Cuadra. 1986.

Filtración lenta con arena pómez como post-tratamiento para aguas servidas tratadas biológicamente. Ing. German Eduardo Araya Montoya. 1986.

Todo lo referido anteriormente, tiene como fin esencial emplear arena pómez como medio filtrante, lo cual constituyen un tratamiento utilizado en la antigüedad. El cual era usado frecuentemente para producir efluentes de buena calidad para un número pequeño de usuarios, aunque también se ha empleado para mejorar el efluente de las lagunas de estabilización.



## PLANTAMIENTO DEL PROBLEMA

Cuando se emplean sistemas de tratamiento que requieren el uso de energía eléctrica, estos son abandonados por los costos de operación y mantenimiento. Es por ello que se emplean los sistemas de filtración por gravedad cuyas configuraciones varían de acuerdo al diseño y a los materiales que se dispongan para el tratamiento de los afluentes. Debido a esto, es necesario analizar la eficiencia en la remoción de nutrientes a la salida de un tratamiento primario.

Es importante señalar que Guatemala se encuentra en una zona geográficamente rodeada por volcanes, la arena pómez que es de origen ígneo, facilita su obtención en el mercado, pudiéndolo utilizar como medio filtrante.

Por lo anterior, se plantea el siguiente problema de investigación ¿Es posible tratar aguas residuales con materiales locales disponibles en el subsuelo del territorio nacional?



## JUSTIFICACIÓN

En zonas donde las condiciones particulares de un emplazamiento que pueden coartar el uso de sistemas convencionales de fosas sépticas y sistemas de infiltración incluyen la existencia de una capa de suelo poco profunda, velocidades de percolación lentas o rápidas, nivel freático alto, pendientes muy pronunciadas y limitación de área

El problema reside que el efluente parcialmente tratado alcance la superficie del terreno o inclusive las aguas subterráneas, es necesario tratarlo con un filtro antes de su evacuación. En varias comunidades se ha utilizado el riego por goteo con efluente así tratado, hay que hacer mención que debido a esta tendencia los dispositivos de goteo producen olores, por lo que el efluente de las fosas sépticas no es apto para esa aplicación

Los filtros intermitentes, son capaces de manejar flujos variables de aguas residuales, los componentes que se componen este tipo de tratamiento es: una fosa séptica o un biodigestor, filtro intermitente (en función del material granular), una red de distribución (para distribuir el efluente a través del filtro) y cuerpo receptor.



## **ALCANCES**

El alcance del estudio es la disponibilidad de información técnica sobre la eficiencia de los filtros intermitentes de arena pómez a la salida de un tratamiento primario y la eficiencia en la remoción de materia orgánica. Así mismo, conocer la operación y mantenimiento del sistema.

## **LIMITANTES**

- a) Las muestras recolectadas corresponden al afluente del agua residual en condiciones de días soleados y con lluvia.
- b) El estudio se realizó en los meses de agosto a octubre 2012.
- c) La obtención de las muestras compuestas se realizó en un horario de 9:00 am a 12:00 pm.
- d) Hay poca información bibliográfica acerca del medio filtrante y criterios de diseño con arena pómez.

# **1. MARCO TEÓRICO**

## **1.1. Sistema de tratamiento para pequeñas comunidades**

Las pequeñas comunidades se definen como aquellas cuya población es menor o igual a mil habitantes. Debido a la situación socio-económica, geográfica y cultural, las pequeñas comunidades tienen una serie de problemas específicos por lo que se dificulta la construcción, operación y mantenimiento de los sistemas de tratamiento de aguas residuales como de tratamiento de agua potable.

## **1.2. Problemas específicos asociados a las pequeñas comunidades**

La generación de aguas residuales es un producto inevitable por la actividad humana en la transformación de los recursos naturales en energía. Una fracción que es líquida, está constituida principalmente por las aguas de abastecimiento, descargándolas sin un tratamiento previo a los cuerpos receptores.

Frecuentemente las aguas residuales son gestionadas por las entidades gubernamentales, dando origen a problemas relacionados con normativas estrictas para la regulación de vertidos líquidos, altos costos en la tarifa de alcantarillado sanitario, personal no calificado, equipo de laboratorio para el análisis de la calidad del agua, restricción en la financiación y presupuestos limitados en la operación y mantenimiento de los sistemas de tratamiento.

### **1.3. Características de los caudales de origen doméstico**

Según su origen, las aguas residuales son el resultado de la combinación de los residuos líquidos y sólidos utilizando como medio de transición el agua, que provienen de residencias, oficinas, edificaciones comerciales e instituciones.

Aunque el precio del agua es uno de los factores de gran incidencia, la cantidad para el consumo doméstico no debería alcanzar valores arriba de 200 L/hab/d teniendo un promedio de 60 a 70 por 100 para lavandería, cocina, baño y aseo y una 30 a 40 por 100 para arrastre de sólidos y líquidos de origen antropogénico. Para que exista una disminución en el volumen de agua utilizado, se debe fomentar el uso de inodoros con un bajo porcentaje de volumen por descarga.

En general, las aguas residuales de origen doméstico, son aquellas en que se utilizan con fines higiénicos (sanitarios, cocinas, lavanderías, etc.).

Tabla I. **Composición típica del agua residual doméstica.**

Componente	Unidad	Concentración		
		Fuerte	Media	Diluida
Sólidos totales	mg/L	1.200	720	350
Sólidos disueltos totales	mg/L	850	500	250
Sólidos disueltos fijos	mg/L	525	300	145
Sólidos disueltos volátiles	mg/L	325	200	105
Sólidos suspendidos	mg/L	350	220	100
Sólidos suspendidos fijos	mg/L	75	55	20
Sólidos suspendidos volátiles	mg/L	275	165	80
Sólidos sedimentables	mg/L	20	10	5
Demanda bioquímica de oxígeno, DBO <sub>5</sub>	mg/L	400	220	110
Carbono orgánico total, COT	mg/L	290	160	80
Demanda química de oxígeno, DQO	mg/L	1.000	500	250
Nitrógeno total	mg/L	85	40	20
Nitrógeno orgánico	mg/L	35	15	8
Nitrógeno amoniacal	mg/L	50	25	12
Nitritos	mg/L	0	0	0
Nitratos	mg/L	0	0	0
Fósforo total	mg/L	15	8	4
Fósforo orgánico	mg/L	5	3	1
Fósforo inorgánico	mg/L	10	5	3
Cloruros	mg/L	100	50	30
Sulfatos	mg/L	50	30	20
Alcalinidad en CaCO <sub>3</sub>	mg/L	200	100	50
Aceites y grasas	mg/L	150	100	50
Coliformes totales	NMP/100 mL	10 <sup>7</sup> a 10 <sup>9</sup>	10 <sup>7</sup> a 10 <sup>8</sup>	10 <sup>6</sup> a 10 <sup>7</sup>
Compuestos orgánicos volátiles	µg/L	>400	100 a 400	<100

Fuente: MENDOCA ROLIM, Sérgio. *Sistemas de lagunas de estabilización*. Colombia: Mc Graw Hill 2000. 370 p.

#### 1.4. Comunidades no conectadas a una red de alcantarillado sanitario

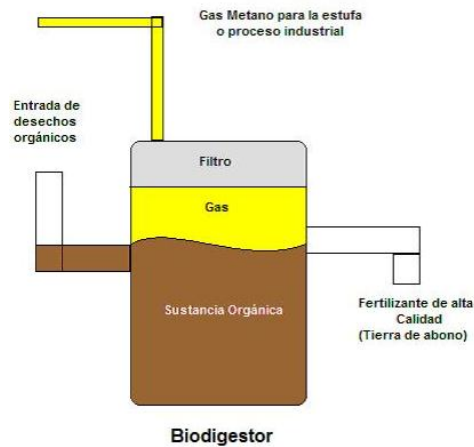
En comunidades cuando estas no se encuentran conectadas a una red de alcantarillado sanitario, los efluentes y otras instalaciones de la zona se suelen tratar mediante sistemas de tratamiento ubicados en las proximidades de las fuentes de generación.

Debido a que existen distintos tipos de tratamiento empleados in situ, uno de los más comunes es la utilización de biodigestores, los cuales tienen mayor



relevancia en los casos en que no se disponga de espacio suficiente para la construcción y/o instalaciones de otros sistemas.

Figura 1. **Biodigestor.**



Fuente: <http://descontamina.cl/blog/wp-content/uploads/2011/05/biodigestor-.jpg>

Un biodigestor está formado por tres partes fundamentales:

- a) **Entrada de mezcla:** es un depósito pequeño cuya finalidad es recibir los desperdicios orgánicos ya licuados, y, a medida que en el interior el biodigestor se realiza la fermentación se van utilizando los residuos dejados en la entrada, todo esto por acción de las bacterias.
- b) **Cámara de fermentación:** es donde se produce la conversión de los desechos orgánicos en biogas y biofertilizante, en la parte superior es donde se almacena la producción de biogás antes de pasar al gasómetro.

- c) Depósito de salida: es un depósito en donde se deja de forma momentánea el fertilizante producido.

### 1.5. Sistemas de tratamiento para las aguas residuales de origen doméstico

Cuando las parcelas de terreno el espacio superficial está muy delimitado para la instalación de sistemas de tratamiento individuales, se instalan servicios para una vivienda o a toda la comunidad, normalmente consisten en una red la cual es la encargada de recolectar y evacuar las aguas residuales de la zona mejorando la calidad del agua. A continuación se presentan las opciones de tratamiento en comunidades rurales.

Tabla II. **Opciones de tratamiento de aguas residuales no conectadas a una red de alcantarillado sanitario.**

Origen del agua residual	Retención y/o tratamiento del agua residual	Evacuación del agua residual
Residencias individuales	Tratamiento primario	Evacuación subsuperficial
Agua residual de redes unitarias	Biodigestor Fosa séptica Tanque imhoff	Lechos de infiltración rápida Lechos de percolación
Aguas negras	Tratamiento secundario	Zanjas de evacuación
Agua grises	Unidad aerobia/anaerobia	poco profundas rellenas de arena
Instalaciones públicas	Unidad aerobia	Soterramiento en terraplenes
Establecimientos comerciales	Filtro de arena intermitente Filtro de medio granular con recirculación Terrenos pantanosos artificiales Sistemas de tratamiento con recirculación Retención in situ Tanque de retención Pozo negro	Lechos de evapotranspiración/percolación Aplicación por goteo Sistemas de evaporación Lechos de evapotranspiración Laguna de evaporación Terreno pantanosos Descarga a cuerpos de agua Combinaciones de los anteriores

Fuente: MEDCALF & EDDY. *Ingeniería de aguas residuales*. México: Mc Graw Hill 1 996. 1 459 p.

## **1.6. DESCRIPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA DE LOS FILTROS INTERMITENTES**

La infiltración intermitente se define como la tasa de aplicación intermitente de las aguas residuales descargadas a un lecho de material granular poco profunda (600 mm a 1 000 mm), el cual es drenado para recoger y descargar el efluente. El filtro de arena es uno de los procesos de tratamiento más antiguos para mejorar la calidad del agua para pequeñas comunidades, aunque en la actualidad se utiliza para mejorar el efluente de lagunas de estabilización

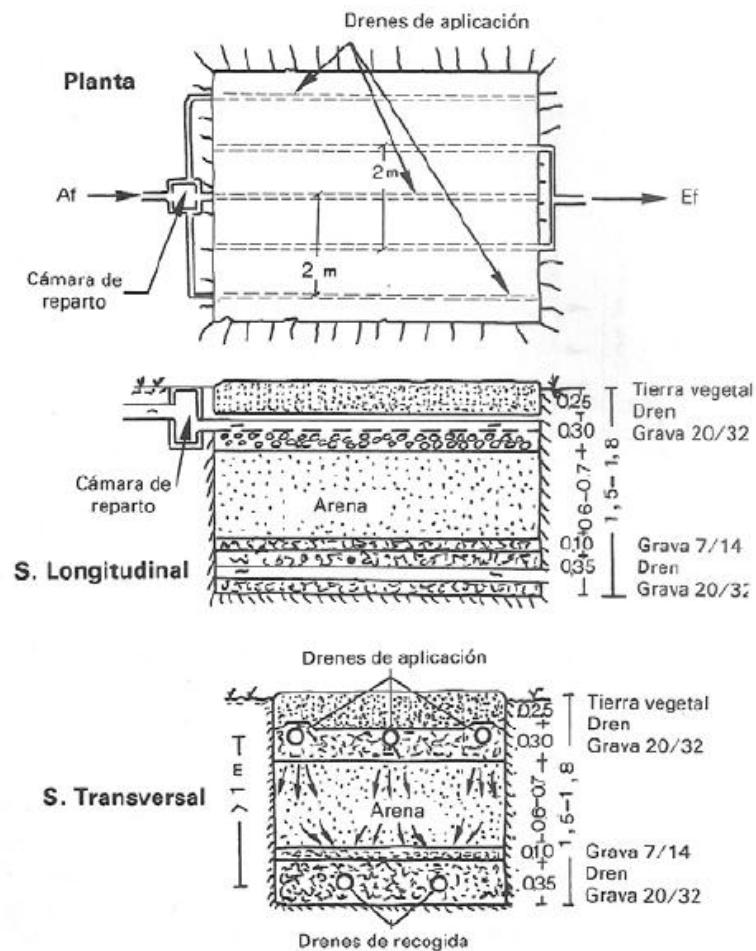
Es importante señalar que los filtros de arena son básicamente a los empleados en 1 868 y de los años veinte. El tratamiento del efluente se produce mediante los cambios y transformaciones físicas, químicas y biológicas.

La eliminación de los sólidos suspendidos se lleva a cabo, por el arrastre mecánico generado por el choque aleatorio y la sedimentación. Esto es debido a que las bacterias forman colonias en el medio granular, la autofiltración provocada por el crecimiento bacteriano favorece aún más la eliminación de sólidos y nutrientes.

La conversión de amoníaco ( $\text{NH}_3$ ) a nitratos ( $\text{NO}_3$ ) que se le conoce como nitrificación, se produce por la acción de los microorganismos presentes en el lecho de arena bajo condiciones aerobias. La desnitrificación es el resultado por la acción de bacterias anaerobias que producen la conversión de los nitratos en gas nitrógeno hasta un 45 por 100, éstas se originan en un ambiente libre de oxígeno desarrollándose dentro del lecho de filtrante.

Ciertos constituyentes específicos se eliminan por absorción (física y química), para que exista eficiencia es necesario que se ventile el sistema de drenaje manteniéndose en condiciones aerobias.

Figura 2. **Filtro intermitente de arena.**



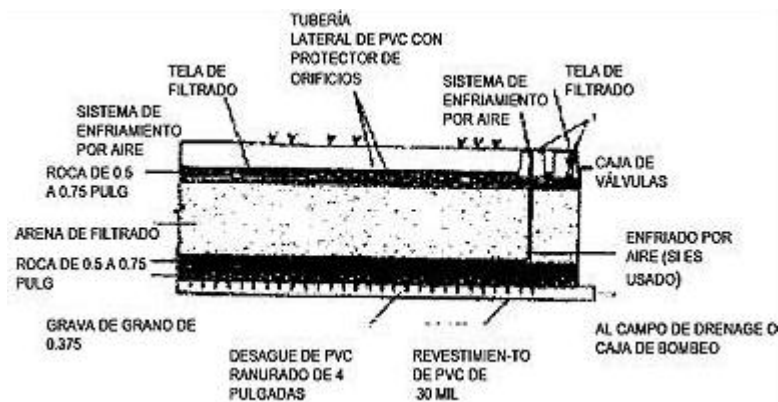
Fuente: <http://upcommons.upc.edu>

### 1.6.1. Tipos de filtros intermitentes

Los filtros pueden ser abiertos o descubiertos, de acceso libre o filtros cubiertos o enterrados. El filtro enterrado se coloca dentro del terreno en un

estrato vegetal de 0,25 m arriba de la corona de la tubería de distribución y el filtro superficial se construye sobre el terreno o dentro de él, este se puede proteger de la intemperie, climas severos, para impedir el albergue de plantas y vectores e inclusive para prevenir olores.

Figura 3. **Esquema de un filtro intermitente enterrado.**



Fuente: <http://www.estrucplan.com.ar>

### 1.6.2. Descripción del proceso

Los filtros intermitentes de arena de origen doméstico, proveen efluentes con DBO < 10 mg/L y SS < 15 mg/L. La remoción del fósforo es función de la capacidad de intercambio de la arena, pero esta disminuye cuando el filtro ha madurado. La carga hidráulica recomendada es de 0,03 a 0,6 m/d y por lo general la literatura no incluye la tasa orgánica.

El uso de un medio filtrante de poca profundidad se tiene una disminución en los costos de operación y mantenimiento, sin embargo con un lecho de

mayor estrato, su periodo de vida útil aumenta sin necesidad de reemplazarlo inmediatamente.

Tabla III. **Eficiencia de los filtros intermitentes.**

<b>Parámetro</b>	<b>% eliminación</b>
DQO	68-90
DBO <sub>5</sub>	80-99
SS	30-99
N total	23-90
P total	20-80
Coliformes fecales	98-99

Fuente: <http://upcommons.upc.edu>

En su gran mayoría estas unidades de tratamiento cuentan con:

- a) Un contenedor aislado donde se confina el medio filtrante.
- b) Un sistema de drenaje para evacuar el líquido tratado.
- c) El medio filtrante.
- d) Un sistema para la alimentación y distribución del líquido a tratar sobre el medio filtrante.
- e) Un medio de soporte.

En este tipo de filtros las variables que afectan en el proceso para la remoción DBO, SST, grasas y aceites, turbiedad, nitrógeno, bacterias y virus están relacionados con la granulometría del lecho empacado.

### **1.6.3. Sistemas de dosificación y distribución**

La dosificación es uno de las variables más importantes para lograr un buen efluente, un periodo de reposo entre las aplicaciones lo suficientemente largo dando como resultado una condición aerobia y biológica adecuada. En filtros pequeños se satura hasta obtener una capa aproximadamente ocho centímetros de espesor como mínimo.

Para que aplicar en el medio filtrante de manera uniforme, se requiere de un sistema de distribución el cual trabaje por gravedad o presión. Los sistemas empleados para la dosificación empleados en la actualidad, cuentan con boquillas de aspersion, cangilones inclinados, moldes especiales de plástico y sistemas en que la tubería es perforada para su distribución a presión.

El diámetro de la tubería de distribución se establece que la diferencia en la descarga entre orificios no sea mayor al 10 por 100. Se debe tener muy en cuenta que la tubería perforada se coloca sobre el medio granular con los agujeros hacia arriba.

La dosificación del fluido que se va a tratar sobre el lecho filtrante puede ser intermitente o con recirculación. El líquido cuando se emplea un filtro intermitente este es aplicado solo una vez, para aumentar la eficiencia de manera uniforme esta varia de 12 a 72 veces por día.

#### **1.6.4. Medio filtrante**

La importancia del tamaño de la partícula del material granular y de la tasa hidráulica, se puede comprender al observar cuando el volumen del fluido es aplicado lo suficiente, de manera que puede llenar los espacios vacíos, parte de coloides, material orgánico y microorganismos que puedan atravesar el sistema sin ningún tratamiento.

Cuando hay una disminución entre cada dosis se puede presentar un flujo no saturado, pero si el volumen del líquido aplicado se reduce aún más el líquido fluirá a través del filtro en equivalente a una delgada película. Así mismo, la composición del agua residual aplicada que se encuentran en forma de coloides y en forma soluble son absorbidos y el oxígeno del aire ubicada en los intersticios del medio, este pasa a través de la película bacteriana la cual es la responsable de la oxidación de la materia orgánica carbonácea en un medio aeróbico.

Es importante poner énfasis que la concentración de oxígeno en el aire a 20° C es de aproximadamente 250 mg/L. Para que se tenga una eficiencia en el filtro, los microorganismos deben permanecer en una tasa de crecimiento endógeno.

Si la carga orgánica aplicada al filtro es grande, la tasa de crecimiento aumentara originando una retención de película bacterial dentro del sistema de filtración, provocando en casos extremos que el tratamiento colapse.

La piedra pómez provienen de los depósitos formados de origen ígneo, la granulometría se determina por una serie de tamices graduados, cuyo tamaño de la malla disminuye. Las diferentes cantidades del material son retenidas en



cada tamiz se pesan, agregándose posteriormente en la tapa inferior del juego de tamices, obteniéndose los pesos acumulados.

El tamaño efectivo  $d_{10}$  y el coeficiente de uniformidad (CU) son las principales características del medio granular que afectan el diseño y operación del sistema de tratamiento, el tamaño efectivo  $d_{10}$  es el tamaño de malla que permite pasar 10 por 100 de la masa del material, mediante el ensayo granulométrico (ASTM C117-95).

El coeficiente de uniformidad se define como el 60 por 100 que permite el paso de la partícula dividido por el tamaño que permite el paso del 10 por 100.

$$CU = \frac{d_{60}}{d_{10}} \quad (1)$$

#### **1.6.5. Consideraciones de diseño**

Los factores relevantes para el diseño de filtros intermitentes de arena son: el tipo de las partículas del lecho empacado, la profundidad del lecho filtrante, la tasa de carga orgánica e hidráulica, la frecuencia y duración de la dosificación. Para el diseño del filtro la literatura varia, pero queda a criterio del diseñador las variables que considerará, el resultado final deben ser datos congruentes de manera que satisfaga la necesidad de una persona individual o una comunidad.

Tabla IV. Criterios de diseño para filtros intermitentes.

Factores de diseño	Criterio de diseño		
	Unidades	Intervalo	Tipico
Pretratamiento	Sedimentación (biodigestor o equivalente)		
Medio filtrante			
Material	Arrastre de materia granular		
Tamaño efectivo	mm	0,25-0,5	0,35
Coefficiente de uniformidad	UC	<4	3,5
Profundidad	cm	45-90	60
Drenaje inferior			
Lecho			
Tipo	Arrastre de grava o roca machacada		
Tamaño	cm	0,9-1,8	
Drenes inferiores			
Tipo	Tubería de drenaje perforada o ranurada		
Tamaño	cm	7,5-10	10
Pendiente	%	0-1,0	Horizontal
Ventilación	Aguas arriba		
Distribución por gravedad			
Diámetro de la conducción	mm	25-50	30
Tamaño de los orificios	mm	3-6.	3
Carga sobre los orificios	m.c.a.	0,9-1,5+	1,5+
Espaciamiento lateral	cm	0,45-1,20	0,60
Párametros de diseño			
Carga hidráulica	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /h	0,00068-0,0017	0,001
Carga orgánica	g DBOs/m <sup>2</sup> .h	0,01-0,4	<0,20
Frecuencia de dosificación	veces/d	12-48.	4
Tiempo de dosificación	min	18	
Volumen del depósito de dosificación	caudal diario	0,5-1,0	0,5
Ciclos de filtración	Número	1	1
Temperatura del medio filtrante	°C		>5

Fuente: Metcalf & Eddy. *Ingeniería de aguas residuales*. Volumen 1 y 2. 3ª ed.

México: MacGraw-Hill 1996, 1485 p.



## **2. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO**

Se cuenta con una planta piloto de experimentación para el tratamiento de aguas residuales, la cual da oportunidad al estudiante de realizar sus propios ensayos e investigación. En ella se encuentra localizada distintos tipos de sistemas de tratamiento de agua residual, la cual el estudiante evalúa y determina la eficiencia y propone tratamientos de bajo costo para comunidades rurales.

### **2.1. Ubicación**

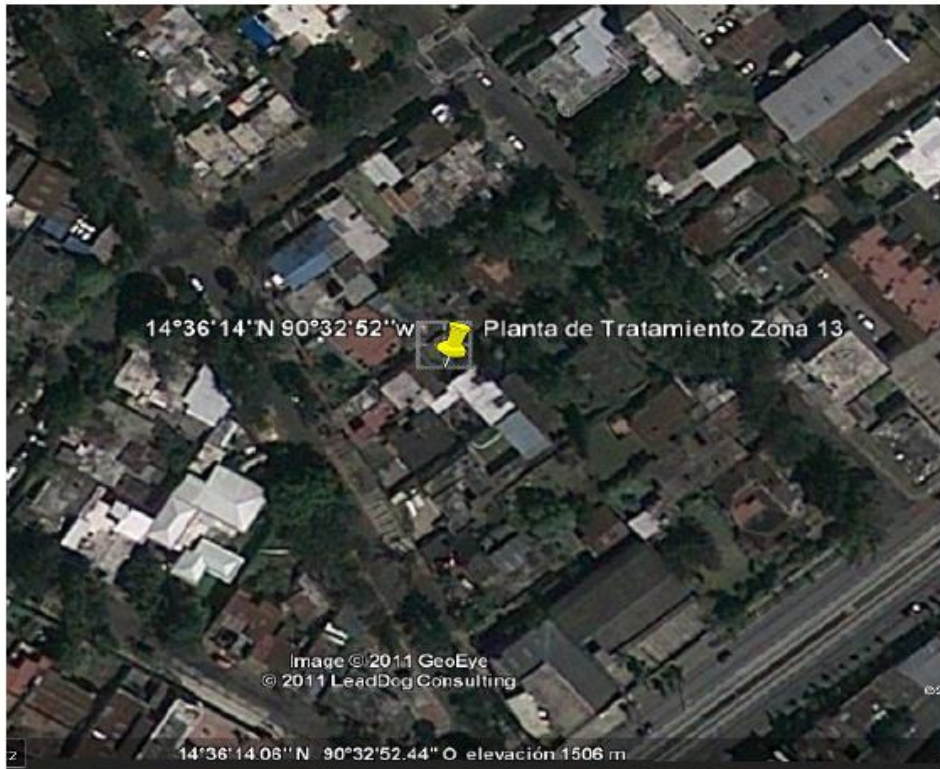
El sistema de filtración intermitente, para la evaluación y análisis, se encuentra localizado en la Planta Piloto de ERIS, el cual recibe y da tratamiento a las aguas residuales de origen doméstico de la Colonia Militar Aurora II, se encuentra ubicado al sur de la ciudad de Guatemala en la zona 13. Teniendo colindancias al norte con el Observatorio Nacional, al este con el Aeropuerto Internacional “La Aurora”, al sur y al oeste por un barranco.

### **2.2. Localización geográfica**

La localización geográfica de la planta de tratamiento es:

- a) Latitud: 14°36'14"N
- b) Longitud: 90°32'52"O
- c) Altitud: 1 506 m.s.n.m.

Figura 4. Localización geográfica de la Planta de Tratamiento.



Fuente: *Google earth, 2012.*

### 2.3. Clima

Para la determinación del clima de la zona, es necesario recopilar la información del instituto nacional de sismología, vulcanología, meteorología e hidrología (INSIVUMEH).

A continuación se presenta un cuadro de resumen de los datos recopilados.

Tabla V. **Datos del INSIVUMEH.**

Temperatura °C		Velocidad del viento	Humedad	Presión mb	Punto de rocío °C
Mínima	Máxima	km/s	relativa %		
17	26	23	51	1024,04	15

Fuente: insivumeh.gob.gt

## **2.4. Población**

La población de la Colonia Aurora II, es de ingresos medio, las cuales cuentan con servicios de infraestructura básica como por ejemplo: servicios de agua potable, electricidad, telefonía, alcantarillado sanitario, calles pavimentadas entre otros.

## **2.5. Reconocimiento del área de estudio**

Se realizó un reconocimiento a la Planta Piloto de Tratamiento de Agua Residual Domestico. Aurora II, ubicada en la zona 13 de la ciudad capital. Se pudo verificar que el sistema donde se obtendría el caudal no tenía operación y mantenimiento por parte del personal, lo cual se realizaron las respectivas reparaciones.

**Figura 5. Reparaciones del biodigestor.**



Fuente: Elaboración propia.

En la figura a la izquierda se observa el daño a la salida del biodigestor y a la derecha su respectiva reparación.

Ya realizada las respectivas correcciones en el biodigestor, se continuo a reparar el tramo para la recolección de la muestra y su aforo.

**Figura 6. Reparaciones de la tubería y toma de muestra.**



Fuente: Elaboración propia.

### 3. METODOLOGÍA

#### 3.1. Selección de los parámetros de control

La tabla siguiente muestra los parámetros seleccionados y su importancia para el análisis y evaluación.

Tabla VI. **Parámetros de análisis seleccionados.**

Parámetro	Importancia
pH/Temperatura	Importantes para conocer si las condiciones son adecuadas para el crecimiento bacteriano.
DBO/DQO	Si se descarga la materia orgánica biodegradable al entorno sin tratar su estabilización biológica puede llevar al agotamiento de los recursos naturales de oxígeno y desarrollo de condiciones sépticas.
Sólidos suspendidos	Pueden dar lugar al desarrollo de depósitos de fango y de condiciones anaerobias cuando se vierte el agua residual sin tratar al entorno acuático.
Nitrógeno/Fósforo	Junto con el carbono son nutrientes esenciales para el crecimiento de vida acuática no deseada, favoreciendo la eutrofización de los cuerpos de agua.

Fuente: Metcalf & Eddy. *Ingeniería de aguas residuales*. Volumen 1 y 2. 3ª ed. México: MacGraw-Hill 1 996, 1 485 p.

Para el análisis químico se utilizó los procedimientos descritos en los folletos utilizados en el curso de Química y Microbiología Sanitaria (ERIS) y casa fabricantes de los reactivos químicos.



### 3.2. Análisis estadístico para determinar el número de muestras

El filtro se analizara durante un periodo de tiempo de dos meses, considerando una muestra diaria a la salida del filtro, nos da como resultado sesenta muestras a analizar, por lo que este dato constituye el conjunto universo.<sup>1</sup>

N= 60 muestras

y= valor promedio de la variable 1

Se= 0,09 valor estándar

V= varianza (por definición Se<sup>2</sup>)

p=90%

Aplicando la fórmula

$$S^2 = p(1 - p) = 0,90(1 - 0,90) = 0,09$$

$$n' = \frac{S^2}{V^2} \quad n' = \frac{0,09}{0,09^2} = 11,11$$

Ajustando los datos se obtiene

$$n' = \frac{11,11}{1 + \frac{11,11}{60}} = 9,37 = 10 \text{ muestras}$$

Se analizará una muestra cada semana, dando un resultado de veinte muestras, estas se recolectaran a la entrada y salida del filtro intermitente.

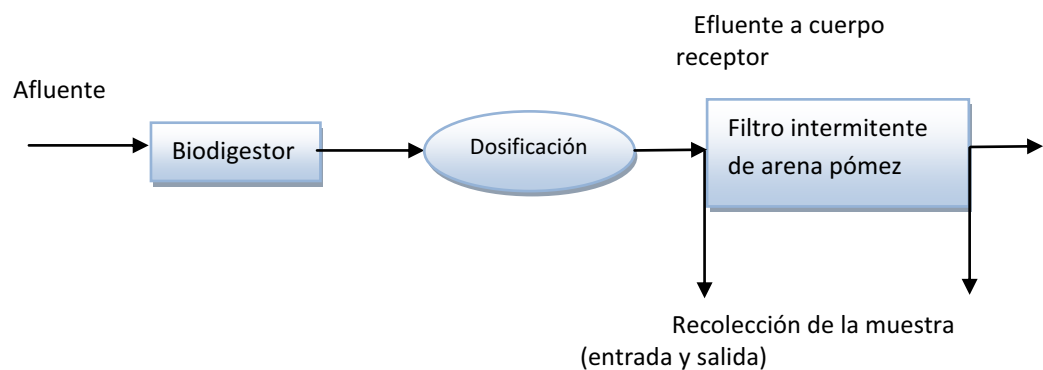
---

<sup>1</sup> SAMPIERI HERNANDEZ, Roberto; COLLADO-FERNANDEZ, Carlos y LUCIO BAPTISTA, Pilar. Metodología de la investigación. 4ª ed. México: Mcgraw-Hill 2006. 265 p.

### 3.3. Puntos de recolección de muestras

Los puntos definidos para la recolección de las muestras de agua residual son el afluente y efluente del filtro intermitente.

Figura 7. Diagrama de flujo del sistema de tratamiento.



Fuente: Elaboración propia.

### 3.4. Frecuencia de análisis de muestras

Se recolectaron y analizaron las muestras a las 9:00 a.m. principalmente los miércoles y viernes. De forma que se minimizó cualquier efecto en los resultados.

### 3.5. Selección del tipo de muestra

Se utilizó el muestreo compuesto, con base en el tiempo, ya que indica las características promedio de las aguas residuales durante un tiempo y el error es admisible a los cambios intermitentes del caudal y concentración.<sup>2</sup>

### 3.6. Medición del caudal de entrada

Para conocer el área que ocupara el filtro intermitente, es necesario determinar el efluente que se descarga del biodigestor, se procede a analizarlo mediante el empleo del aforo volumétrico, se recolectaron nueve muestras para la obtención de la curva de caudales y con ello determinar el error de correlación de los datos registrados.

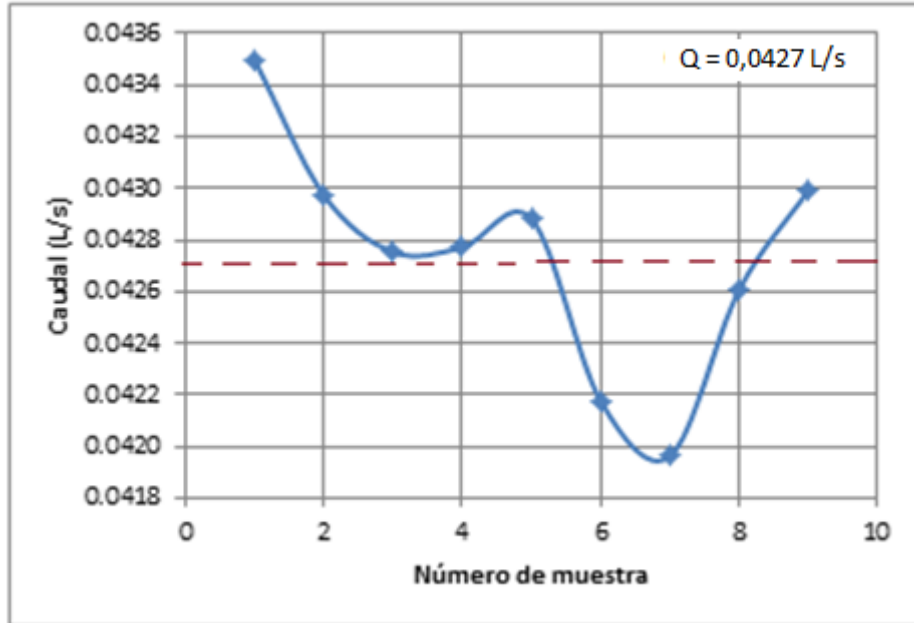
Tabla VII. **Aforo volumétrico.**

<b>No.</b>	<b>t (s)</b>	<b>V (L)</b>	<b>Q (L/s)</b>
1	22.99	1	0.0435
2	23.27	1	0.0430
3	23.39	1	0.0428
4	23.38	1	0.0428
5	23.32	1	0.0429
6	23.71	1	0.0422
7	23.83	1	0.0420
8	23.47	1	0.0426
9	23.26	1	0.0430
<b>Máximo</b>	<i>0.0435</i>	<b>Mínimo</b>	<i>0.0420</i>
<b>Promedio</b>	<i>0.0427</i>	<b>Desviación estándar</b>	<i>0.00045</i>

Fuente: Elaboración propia.

<sup>2</sup> (López, 2 010/ Oakley, 2 011 / Romero, 2 010).

Figura 8. Curva de caudales.



Fuente: Elaboración propia.

Ya obtenido la curva de caudales y el error en los datos, el caudal medio para el diseño del filtro es de 42,7 mL/s equivalente a 3,68 m<sup>3</sup>/día. Este caudal es muy grande para el área superficial que ocupará el sistema de tratamiento, por lo cual se encontrará el caudal para un área de 4 m<sup>2</sup>, empleando una carga orgánica de 0,2 m<sup>3</sup> / m<sup>2</sup>.día.

Los criterios de diseño a considerar para los filtros intermitentes son: la profundidad del lecho filtrante, tamaño de la partícula del medio filtrante, el tipo y la tasa de la carga hidráulica.

### 3.7. Cálculo y diseño del filtro

Al hacer el respectivo análisis de la tabla VII, se puede observar que la tasa hidráulica varía según la fuente de consulta, por lo cual queda a criterio del diseñador el factor a utilizar.

Tabla VIII. Criterios de diseño para el filtro intermitente.

Criterios de diseño para la carga hidráulica (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .d)											
Tschobanoglus		Jairo Romero		Manual de EPA		Metcalf y Eddy		PA Technology Assesmer		Fabian Yanez Cossio	
0.04	0.06	0.08	0.2	0.05	0.1	0.01632	0.0408	0.082	0.204	0.2	0.4
Caudal del filtro en m <sup>3</sup> /d											
0.16	0.24	0.32	0.8	0.2	0.4	0.06528	0.1632	0.328	0.816	0.8	1.6
Caudal del filtro en L/d											
160	240	320	800	200	400	65.28	163.2	328	816	800	1600
Caudal del filtro en L/s											
0.0019	0.0028	0.0037	0.0093	0.0023	0.0046	0.0008	0.0019	0.0038	0.0094	0.0093	0.0185
Población a servir utilizando una dotación de 150 L/hab/día y un factor de retorno de 0.85											
1.25	1.88	2.51	6.27	1.57	3.14	0.51	1.28	2.57	6.40	6.27	12.55
Numero de veces en la reducción del caudal real para el filtro de superficie de 4m <sup>2</sup>											
23	15	12	5	18	9	57	23	11	5	5	2

Fuente: Elaboración propia.

A continuación se describe el diseño del filtro utilizado para el estudio<sup>3</sup>.

a) Dimensiones del filtro utilizando la información de la tabla anterior

Superficie del filtro de arena

$$(Q)/(cargahidráulica) = (Volumen / dia)/(cargahidráulica)$$

$$(0,8m^3 / d)/(0,2m^3 / m^2 .d) = 4,00m$$

Utilizar un filtro de 2 m · 2m

3 ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. *Tratamiento de aguas residuales*. 3ª ed. Colombia: Escuela Colombiana de ingeniería 2 004, 1 248 p.

b) Distribución de los elementos (filtro de arena y sistema de distribución del efluente)

La separación entre tuberías será de 0,45 m

Espaciamiento de 0,50 m para los orificios con un diámetro de 3 mm

Profundidad de 0,60 m para el lecho filtrante

c) Caudal y velocidad de descarga en cada uno de los ramales del sistema  
caudal descargado por 72 dosis/d

$$Q = (\text{volumen al día}) / (\text{dosificación})$$

$$Q = (0,80 \text{ m}^3 / \text{d}) / (72) = 0,0111 \text{ m}^3 / \text{dosis}$$

d) Descarga en cada ramal

$$\frac{Q}{\text{ramal}} = (0,0111 \text{ m}^3 / \text{dosis}) / (10 \text{ ramales}) = 0,00111 \text{ m}^3 / \text{ramal.dosis}$$

e) El caudal que llega al último orificio

$$q_n = 4,75C(D^2)(2gh_n)^{1/2}$$

$$q_n = 4,75(0,61)(0,3)^2(2 * 9,81 * 1,5)^{(1/2)} = 1,41 \text{ L} / \text{min}$$

El caudal en cada ramal (supone 2 orificios por ramal)

$$2 \cdot (1,41 \text{ L} / \text{min}) = 2,82 \text{ L} / \text{min-ramal}$$

f) Pérdida de carga en la conducción

$$\frac{h}{f_p} = 84(L_{1-n}) \left( \frac{Q}{C} \right)^{1,85} (D)^{-4,87}$$

$$h_{fp} = 84(0,75) \left( \frac{2,82}{150} \right)^{1,85} (3)^{-4,87} = 0,000191m$$

g) Pérdida de carga real en la tubería de distribución

$$h_{fdp} = \frac{1}{2} h_{fp} = \Delta h_{1-n}$$

$$h_{fdp} = \frac{1}{3} (0,000191) = 6,3950 * 10^{-0,5} m$$

h) La carga sobre el primer orificio

$$\Delta h_{1-n} = h_1 - h_n$$

$$h_1 = h_n + \Delta h_{1-n}$$

$$h_1 = 1,5 + 6,3950 * 10^{-0,5} = 1,500m = 150,0063cm$$

i) Determinar el valor de m

$$h_n = m^2 h_1$$

$$m = \left( \frac{1,5}{1,51,500063} \right)^{1/2} = 0,9999$$

La diferencia en la descarga, entre el primero y el último orificio en cada lateral

$$(1 - 0,999978)(100) = 0,002$$

El valor anterior es inferior al 2% lo cual el diseño es aceptable.

### 3.8. Análisis granulométrico de la arena pómez

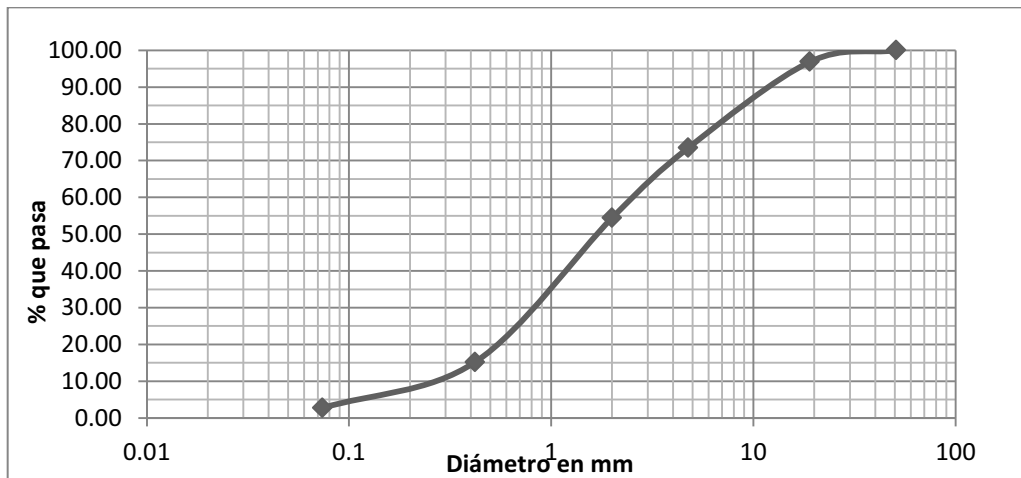
Para la evaluación del medio filtrante se procedió a un análisis granulométrico.

Tabla IX. Análisis con tamices de la arena pómez.

Tamiz	Abertura	% que pasa	
1 1/2"	50.8	100.00	% de Grava: 26.54
3/4"	19.05	96.88	% de Arena: 70.74
4	4.76	73.46	% de Finos: 2.72
10	2	54.43	
40	0.42	15.19	
200	0.074	2.72	

Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos, Facultad de Ingeniería.

Figura 9. Curva granulométrica de la arena pómez.



Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos, Facultad de Ingeniería.





## **4. CONSIDERACIÓN PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL FILTRO INTERMITENTE**

Muchas veces el contratista no cuenta con el suficiente conocimiento para la construcción de los sistemas de tratamiento, el ingeniero o diseñador responsable, debe inspeccionar estrictamente los trabajos a realizar y con ello garantizar que se utilicen los materiales y técnicas de construcción adecuadas. En la construcción se debe procurar la utilización de arena lavada, la instalación de un material apropiado para la impermeabilización, una adecuada instalación del equipo, la tubería sea colocada satisfactoriamente y cumplir con el reglamento del instituto norteamericano para concreto.

En casos ideales se recomienda la utilización de una geomembrana de 30 milésimas de pulgada de espesor y con ello garantizar una protección al sistema cuando ocurra una avería. La utilización de un geotextil no tejido para una separación en el medio filtrante dependerá del tamaño y tipo de material que se esté empleando.

Se deben revisar fugas en el sistema, la altura de descarga en los orificios se debe evaluar anualmente y la tubería de distribución se debe limpiar cada año (ver capítulo 7 operación y mantenimiento del sistema).

### **4.1. Función del geotextil no tejido**

La función filtro impide el paso a través del geotextil de determinadas partículas del terreno (según sea el tamaño de dichas partículas y el del poro

del geotextil), sin impedir el paso de fluidos o gases. En la práctica se utiliza el geotextil como filtro en muchos sistemas de drenaje, en los embalses con sistema de drenaje en la base, a fin de localizar posibles fugas, se utiliza como filtro en los tubos de drenaje a fin de evitar el taponamiento de los orificios de drenaje de dicho tubos.

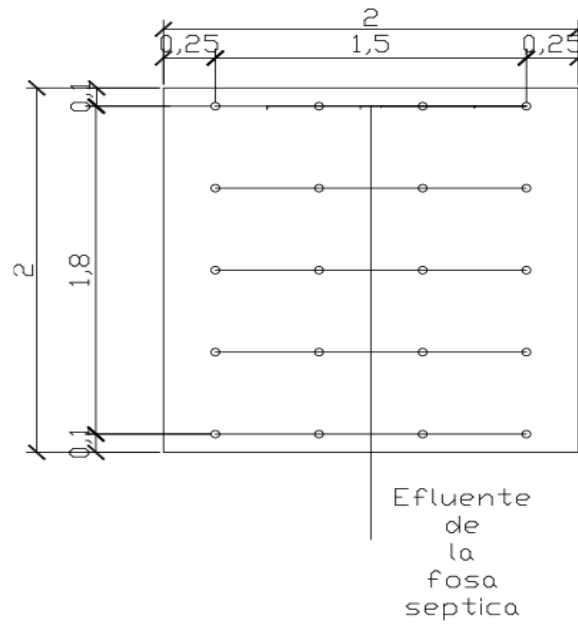
A continuación se referencian las aplicaciones de Robert M. Koerner en su libro "*Designing with geosynthetics*", quinta edición:

- a) En lugar de filtro de suelo granular.
- b) Debajo de base de piedras para caminos y pistas de aterrizaje no pavimentados,
- c) Para filtrar rellenos hidráulicos.
- d) Entre el suelo de relleno y muros de gaviones.
- e) Debajo de los rellenos sanitarios para los lixiviados.
- f) Alrededor de núcleos moldeados en drenes de zanja.
- g) Como cortina a los sedimentos.
- h) Debajo de balasto en vías férreas.
- i) Para proteger el material de drenaje en galerías.

## 4.2. Dimensiones y elementos del filtro

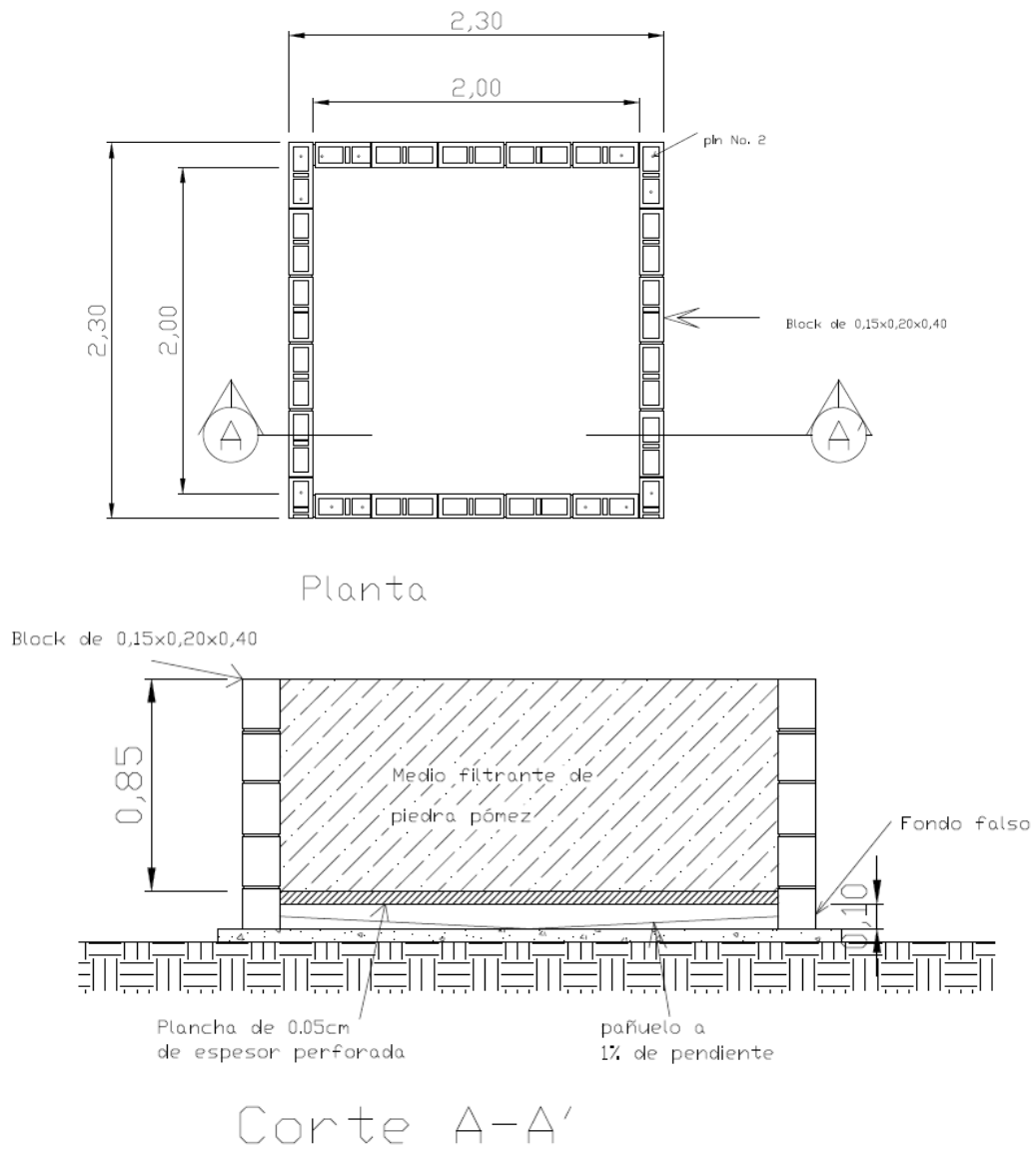
A continuación se detalla el sistema de tratamiento.

Figura 10. Diagrama del filtro intermitente.



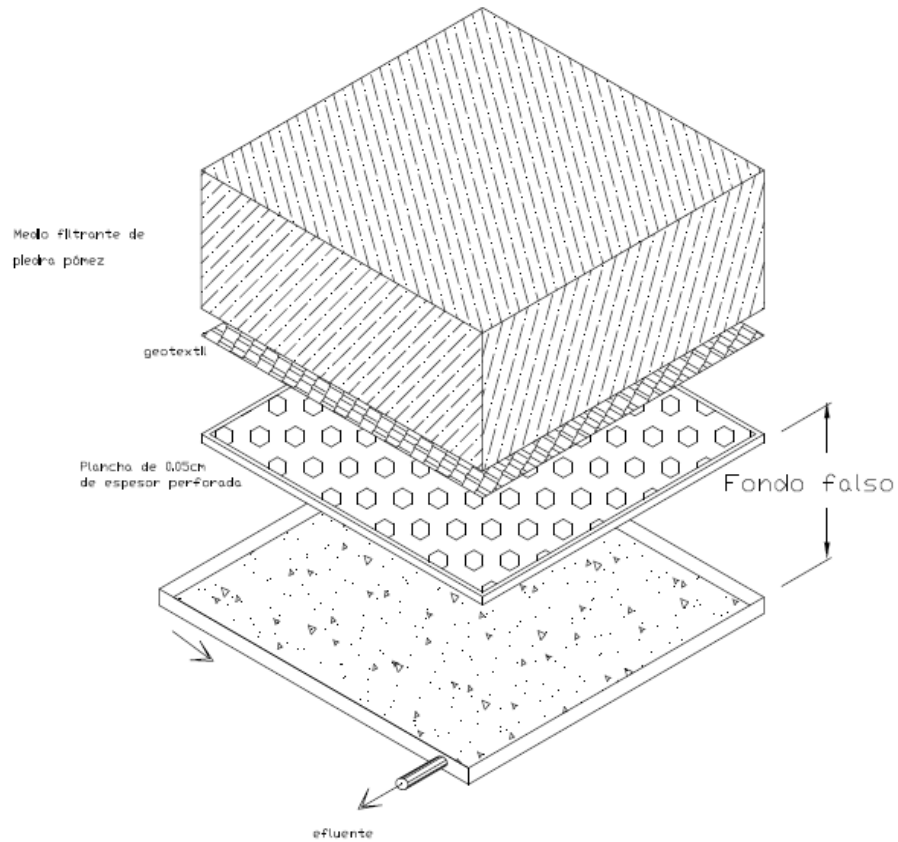
Fuente: Elaboración propia.

Figura 11. Detalle del filtro intermitente.



Fuente: elaboración propia.

Figura 12. **Detalle del lecho filtrante.**



Detalle del lecho filtrante

Fuente: elaboración propia.

### 4.3. Dosificación

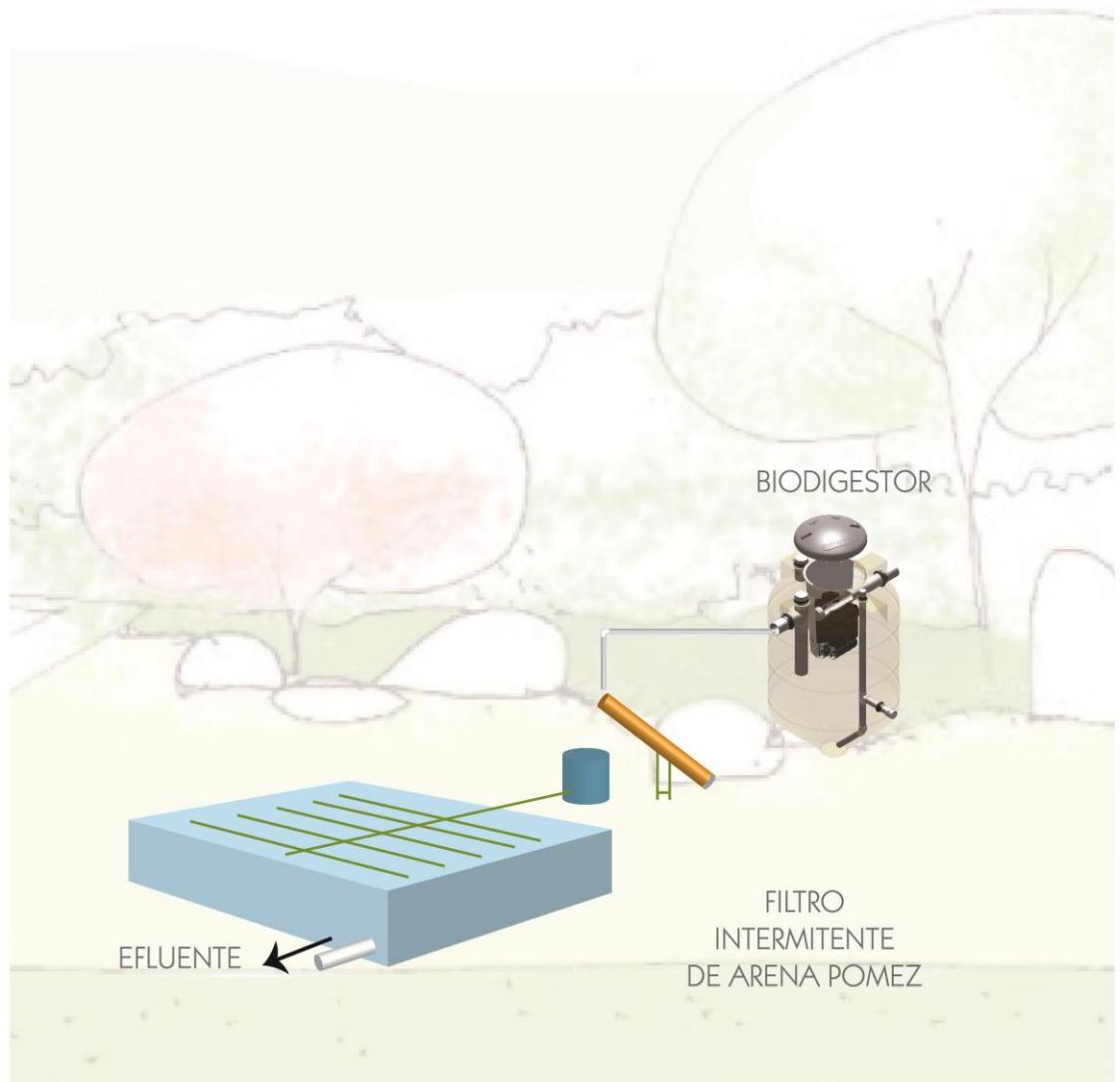
Se empleará un dosificador, el cual es un tubo de pvc de 3 pulgadas de diámetro y 0,24 m de altura, este tendrá un volumen de almacenamiento por descarga de 0,00111 m<sup>3</sup>.

Tabla X. **Análisis de costos del filtro intermitente.**

Descripción	Precio unitario	Cantidad	Dimensionales	Total
Tubería de pvc 1/2"	Q30.00	2	m	Q60.00
Tapones de 1/2"	Q1.80	10	u	Q18.00
accesorios en cruz de 1/2"	Q16.10	4	u	Q64.40
tee de 1/2"	Q1.80	1	u	Q1.80
accesorios de 90	Q1.40	4	u	Q5.60
pegamento	Q12.00	1	u	Q12.00
electromalla	Q150.00	1	u	Q150.00
block de 0,15x0,20,x0,40	Q2.30	120	u	Q276.00
cemento	Q68.00	4	u	Q272.00
pedrin	Q110.00	0.5	m³	Q55.00
arena	Q100.00	0.5	m³	Q50.00
cedazo	Q7.00	3	yarda	Q21.00
geotextil no tejido	Q8.10	4	m²	Q32.40
pedra pómez	Q25.00	3.6	m³	Q90.00
análisis de laboratorio + reactivos	Q7,000.00	1	global	Q7,000.00
total				<b>Q8,108.20</b>
Indirectos 7%				Q567.57
mano de obra				Q800.00
<b>Total</b>				<b>Q9,475.77</b>

Fuente: elaboración propia.

Figura 13. **Esquema del sistema de tratamiento.**



Fuente: elaboración propia.





## 5. RESULTADOS EXPERIMENTALES

### 5.1. Datos obtenidos del filtro intermitente

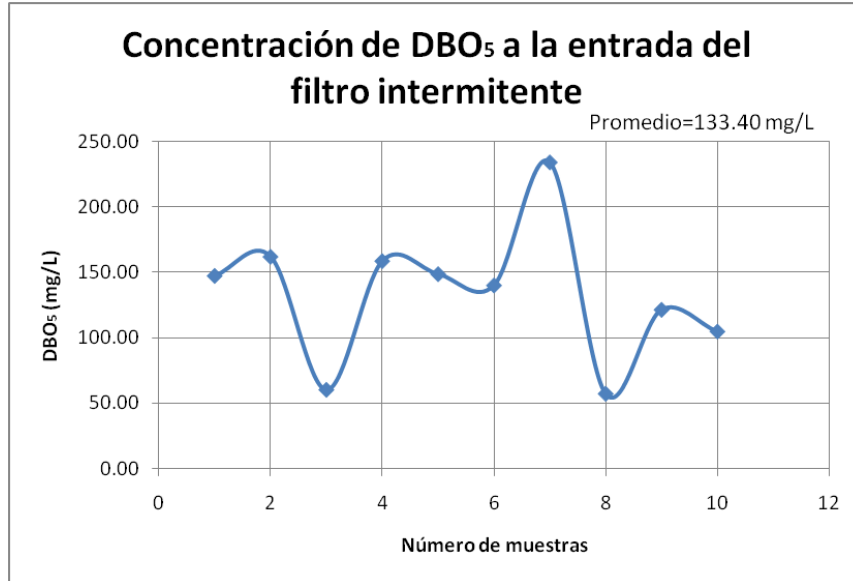
La recolección para las mediciones del agua residual se realizó posterior a la salida del biodigestor, en la Planta Piloto Arturo Pazos.

Tabla XI. Características del afluente del filtro intermitente.

No. De muestras	Fecha de recolección	DBOs (mg/L)	DQO (mg/L)	Sólidos suspendidos SS (mg/L)	Nitrógeno Total (mg/L)	Fósforo total (mg/L)	pH	Temperatura °C
1	08/08/2012	147.33	234.00	50.00	41.00	30.00	8.56	21.36
2	15/08/2012	162.00	301.00	46.67	31.00	30.00	8.30	21.20
3	22/08/2012	60.00	294.00	58.00	46.00	30.00	7.43	22.05
4	29/08/2012	158.67	252.00	36.00	40.00	5.00	7.45	22.02
5	05/09/2012	148.67	254.00	40.67	47.00	4.10	7.36	22.54
6	12/09/2012	140.00	277.00	40.00	49.00	5.20	8.00	22.28
7	19/09/2012	234.33	252.00	84.00	34.00	4.60	7.90	22.15
8	26/09/2012	57.00	286.00	42.66	46.00	5.40	8.50	23.54
9	03/10/2012	121.33	189.00	115.00	40.00	4.60	7.98	21.25
10	10/10/2012	104.67	193.00	28.00	28.00	4.80	8.70	22.84
<b>Mínimo</b>		57.00	189.00	28.00	28.00	4.10	7.36	21.20
<b>Máximo</b>		234.33	301.00	115.00	49.00	30.00	8.70	23.54
<b>Promedio</b>		133.40	253.20	54.10	40.20	12.37	8.02	22.12
<b>Desviación estándar</b>		51.97	39.03	26.27	7.18	12.17	0.49	0.74

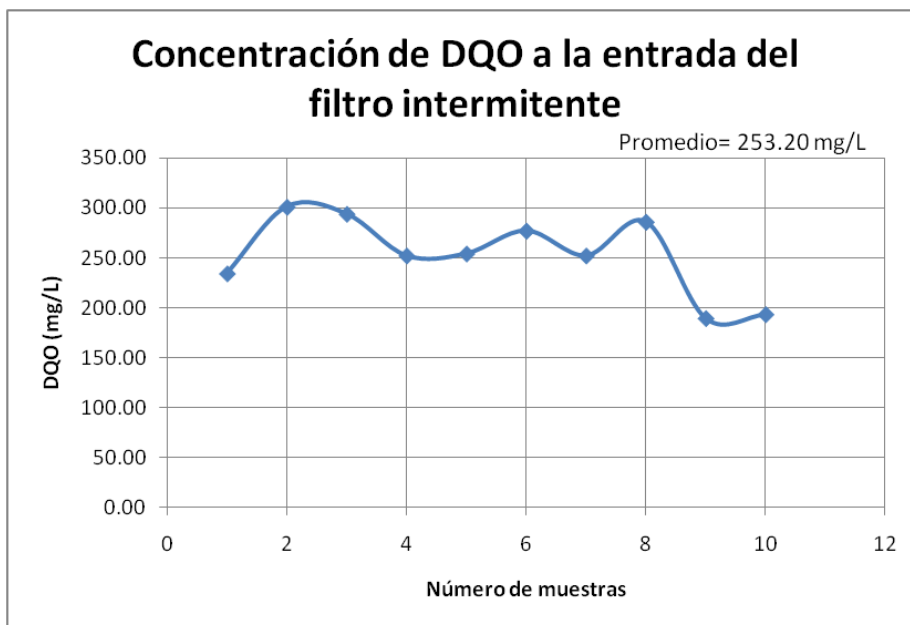
Fuente: elaboración propia.

Figura 14. Concentración de la DBO<sub>5</sub> del afluente.



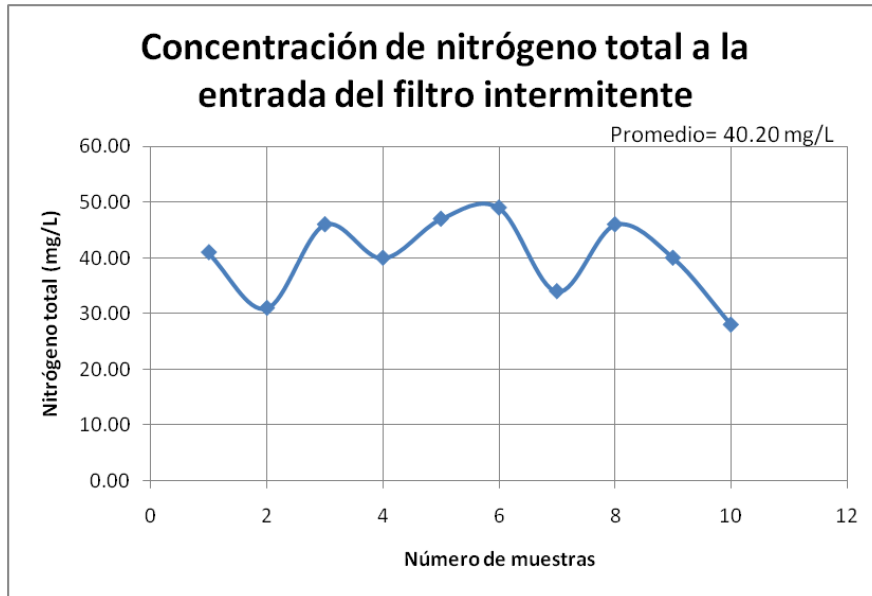
Fuente: elaboración propia.

Figura 15. Concentración de la DQO del afluente.



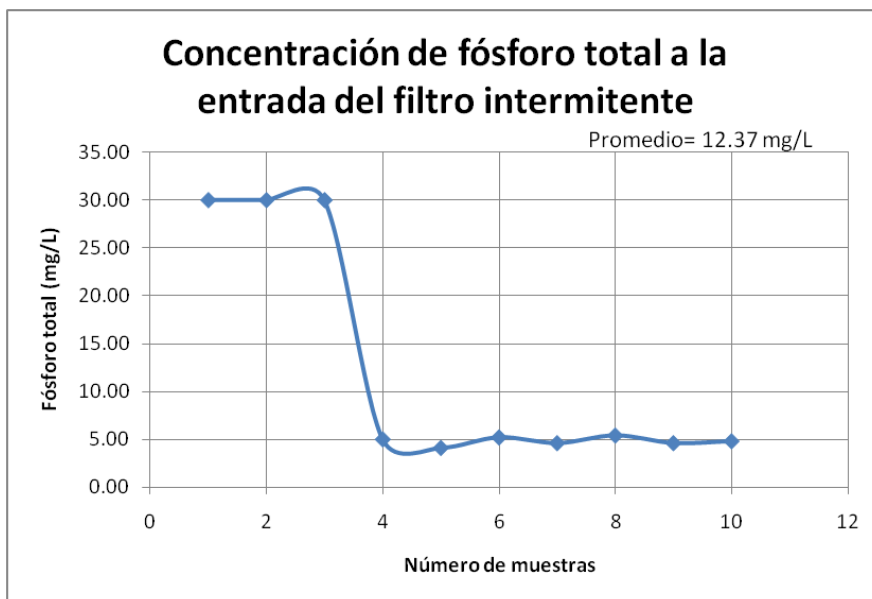
Fuente: elaboración propia.

Figura 16. **Concentración de nitrógeno total del afluente.**



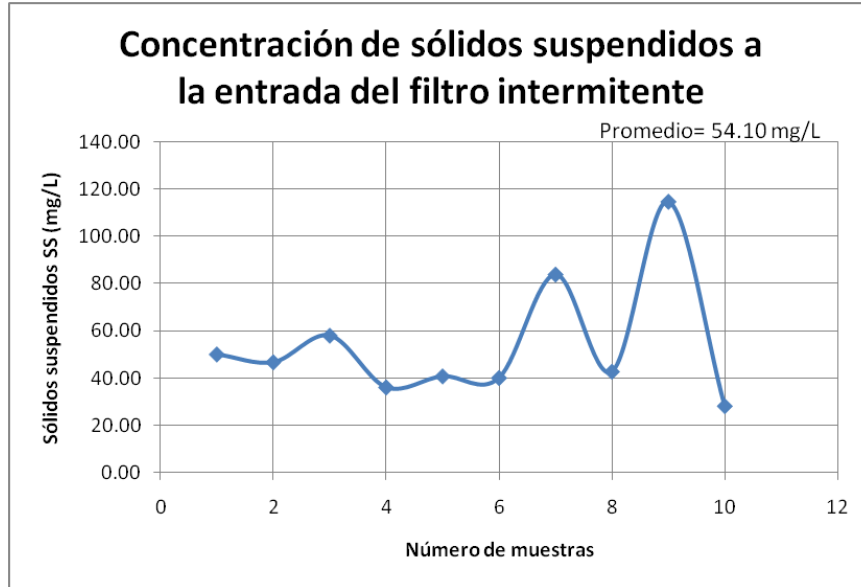
Fuente: elaboración propia.

Figura 17. **Concentración de fósforo total del afluente.**



Fuente: elaboración propia.

Figura 18. Concentración de sólidos suspendidos del afluente.



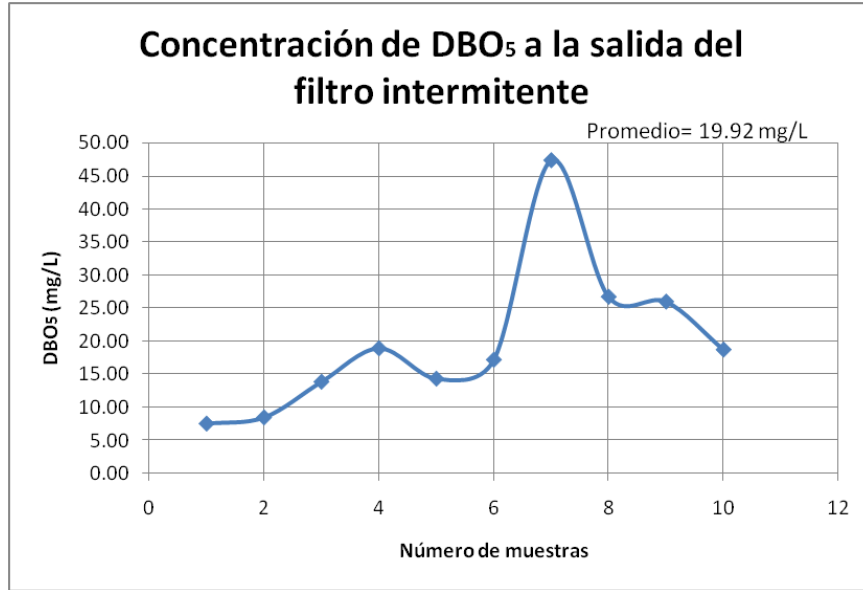
Fuente: elaboración propia.

Tabla XII. Características del efluente del filtro intermitente.

No. De muestras	Fecha de recolección	DBOs (mg/L)	DQO (mg/L)	Sólidos suspendidos SS (mg/L)	Nitrógeno Total (mg/L)	Fósforo total (mg/L)	pH	Temperatura °C
1	08/08/2012	7.53	38.00	25.50	31.00	25.00	7.61	20.06
2	15/08/2012	8.47	24.00	19.34	26.00	28.00	7.12	20.50
3	22/08/2012	13.87	20.00	39.00	32.00	10.00	7.15	21.95
4	29/08/2012	18.93	71.00	24.67	33.00	2.60	7.50	21.50
5	05/09/2012	14.33	16.00	29.20	23.00	2.90	6.93	21.75
6	12/09/2012	17.20	60.00	37.33	32.00	2.70	7.87	21.50
7	19/09/2012	47.40	80.00	54.00	30.00	2.90	8.14	21.97
8	26/09/2012	26.73	31.00	22.00	25.00	3.10	7.98	22.43
9	03/10/2012	26.00	28.67	61.34	34.00	3.30	7.87	20.46
10	10/10/2012	18.73	23.00	36.80	28.00	3.30	8.38	21.80
<b>Mínimo</b>		7.53	16.00	19.34	23.00	2.60	6.93	20.06
<b>Máximo</b>		47.40	80.00	61.34	34.00	28.00	8.38	22.43
<b>Promedio</b>		19.92	39.17	34.92	29.40	8.38	7.66	21.39
<b>Desviación estándar</b>		11.55	22.82	13.84	3.72	9.83	0.48	0.78

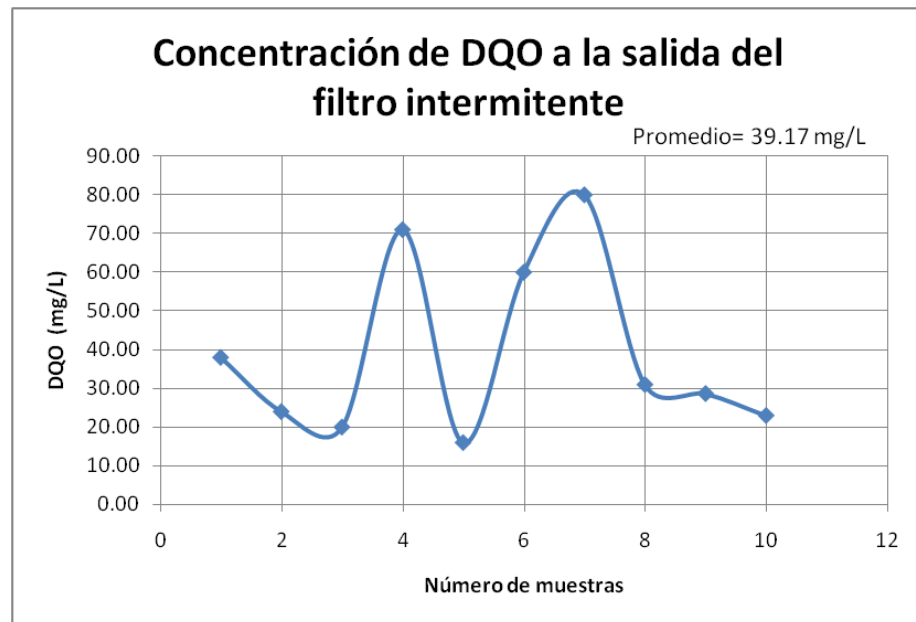
Fuente: elaboración propia.

Figura 19. Concentración de la DBO<sub>5</sub> del efluente.



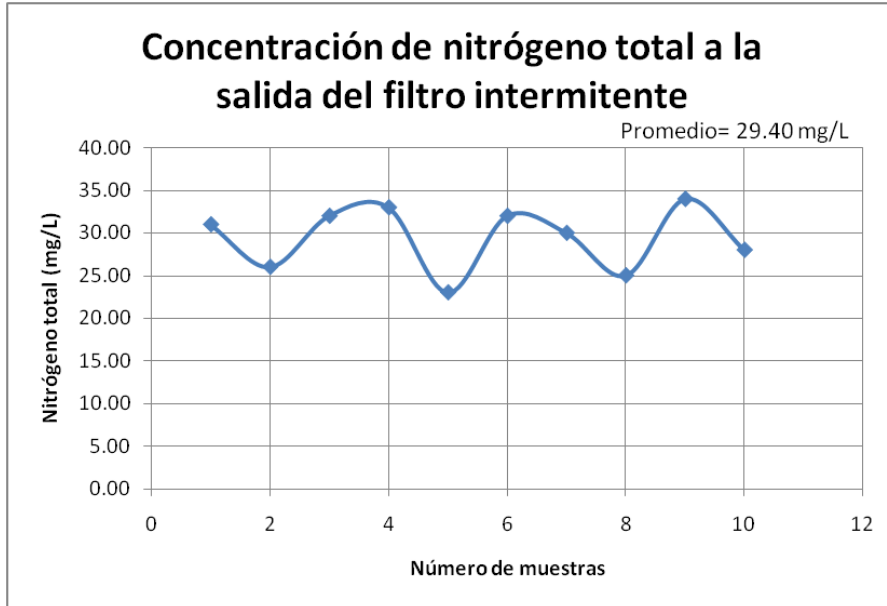
Fuente: elaboración propia.

Figura 20. Concentración de la DQO del efluente.



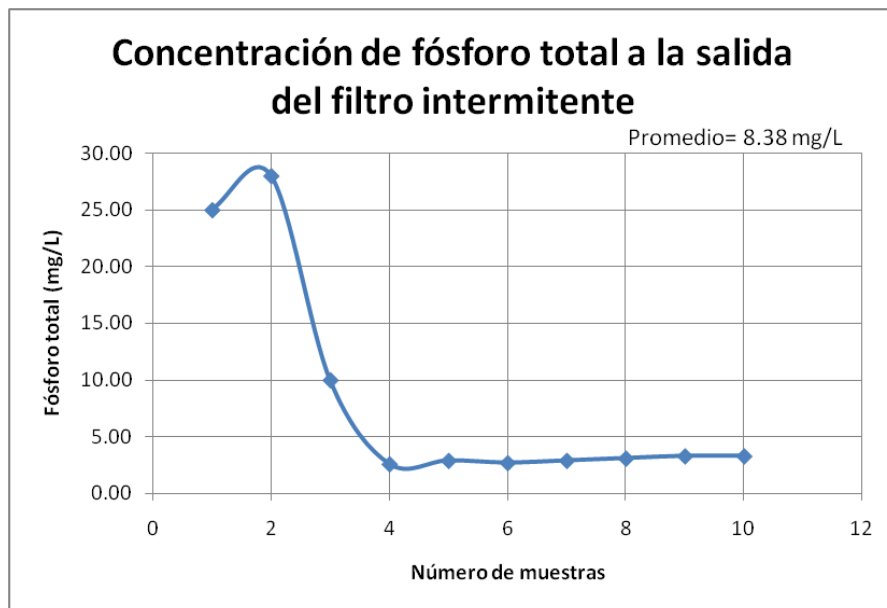
Fuente: elaboración propia.

Figura 21. **Concentración de nitrógeno total del efluente.**



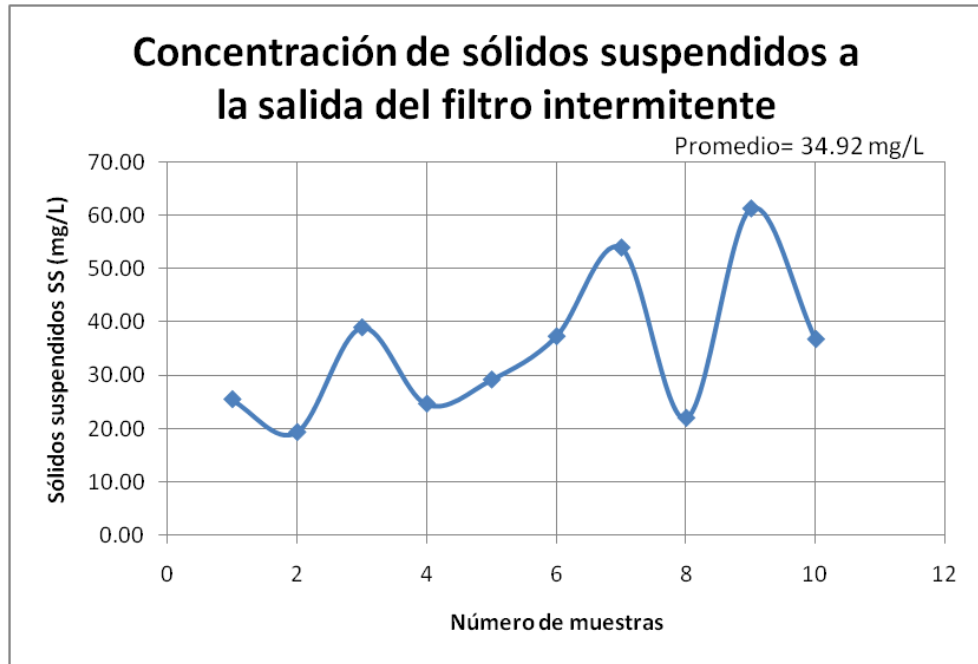
Fuente: elaboración propia.

Figura 22. **Concentración de fósforo total del efluente.**



Fuente: elaboración propia.

Figura 23. **Concentración de sólidos suspendidos del efluente.**



Fuente: elaboración propia.

## 5.2. Índice de biodegradabilidad

A partir de los resultados obtenidos para las concentraciones de materia orgánica,  $DBO_5$  y la demanda de química de oxígeno, DQO. Se procede a calcular el índice de biodegradabilidad (IB) que presenta el agua residual a la entrada y salida del filtro intermitente.

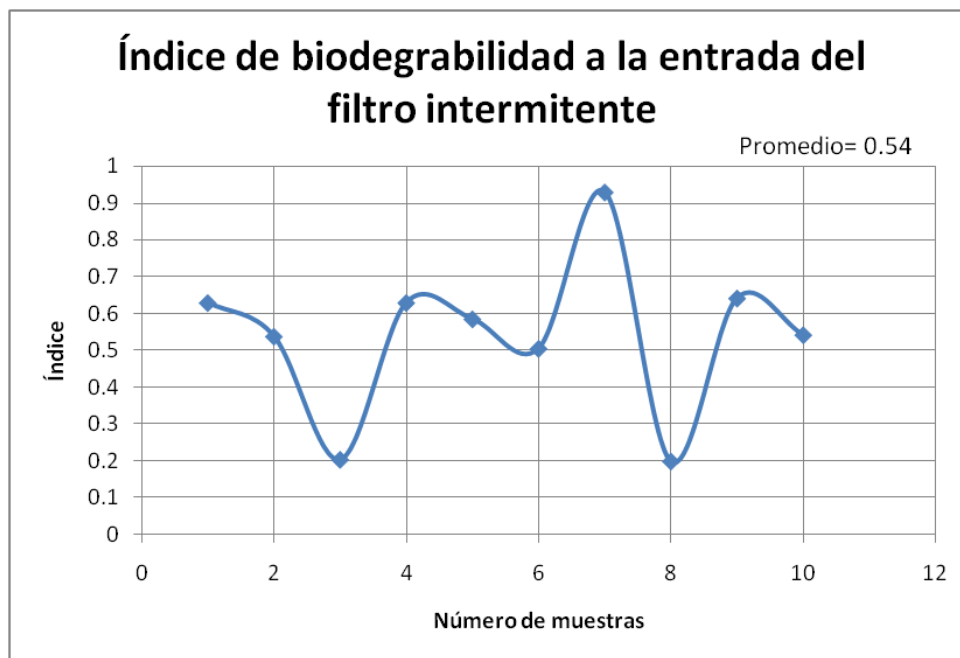


Tabla XIII. Índice de biodegradabilidad del afluente.

Número de muestras	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Índice	0.63	0.54	0.20	0.63	0.59	0.51	0.93	0.20	0.64	0.54
Mínimo	0.20		Promedio		Desviación estándar					
Máximo	0.93		0.54		0.21					

Fuente: elaboración propia.

Figura 24. Índice de biodegradabilidad del afluente.



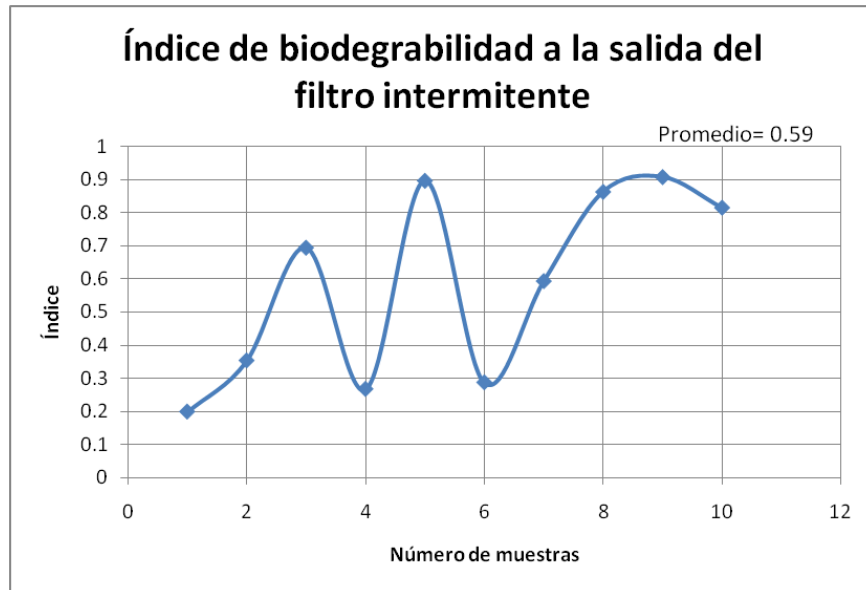
Fuente: elaboración propia

Tabla XIV. Índice de biodegradabilidad del efluente.

Número de muestras	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Índice	0.20	0.35	0.69	0.27	0.90	0.29	0.59	0.86	0.91	0.81
Mínimo	0.20		0.59		0.29		0.91			
Máximo	0.91		0.59		0.29		0.91			
Promedio	0.59									
Desviación estándar	0.29									

Fuente: elaboración propia.

Figura 25. Índice de biodegradabilidad del efluente.



Fuente: elaboración propia

### 5.3. Desempeño de la unidad de tratamiento

Para la unidad de tratamiento se analiza la concentración a la entrada y salida del filtro intermitente.

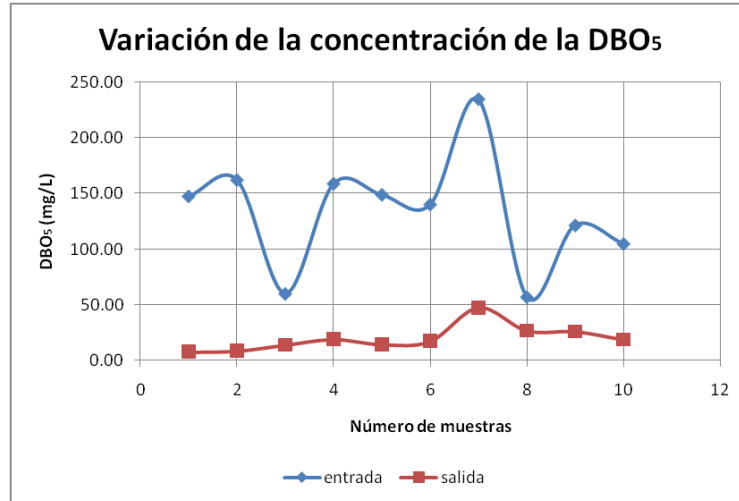
#### 5.3.1. Variación de la concentración de la materia orgánica, DBO<sub>5</sub>

Tabla XV. Variación de la concentración de la materia orgánica, DBO<sub>5</sub>.

No. De muestras	Fecha de recolección	DBO <sub>5</sub> (mg/L)	
		Entrada	Salida
1	08/08/2012	147.33	7.53
2	15/08/2012	162.00	8.47
3	22/08/2012	60.00	13.87
4	29/08/2012	158.67	18.93
5	05/09/2012	148.67	14.33
6	12/09/2012	140.00	17.20
7	19/09/2012	234.33	47.40
8	26/09/2012	57.00	26.73
9	03/10/2012	121.33	26.00
10	10/10/2012	104.67	18.73
<b>Mínimo</b>		57.00	7.53
<b>Máximo</b>		234.33	47.40
<b>Promedio</b>		133.40	19.92
<b>Desviación estándar</b>		51.97	11.55

Fuente: elaboración propia

Figura 26. Variación de la concentración de la materia orgánica, DBO<sub>5</sub>.



Fuente: elaboración propia

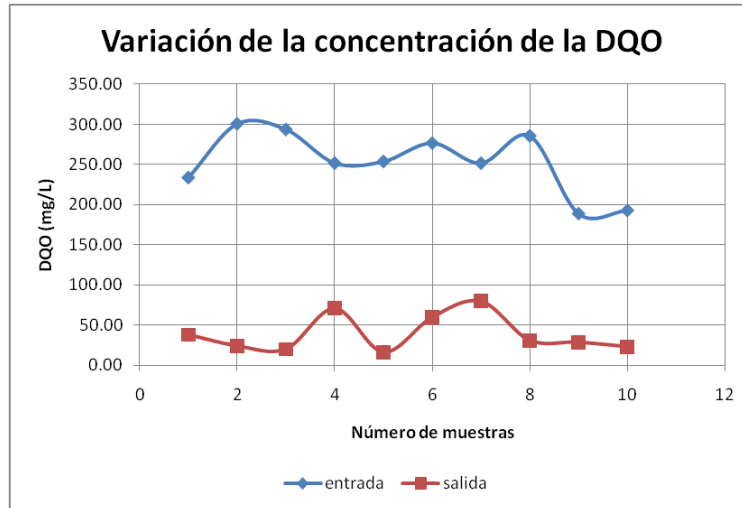
### 5.3.2. Variación de la concentración de la demanda química de oxígeno, DQO

Tabla XVI. Variación de la concentración de la demanda química de oxígeno, DQO.

No. De muestras	Fecha de recolección	DQO (mg/L)	
		Entrada	Salida
1	08/08/2012	234.00	38.00
2	15/08/2012	301.00	24.00
3	22/08/2012	294.00	20.00
4	29/08/2012	252.00	71.00
5	05/09/2012	254.00	16.00
6	12/09/2012	277.00	60.00
7	19/09/2012	252.00	80.00
8	26/09/2012	286.00	31.00
9	03/10/2012	189.00	28.67
10	10/10/2012	193.00	23.00
<b>Mínimo</b>		189.00	16.00
<b>Máximo</b>		301.00	80.00
<b>Promedio</b>		253.20	39.17
<b>Desviación estándar</b>		39.03	22.82

Fuente: elaboración propia

Figura 27. **Variación de la concentración de la demanda química de oxígeno, DQO.**



Fuente: elaboración propia

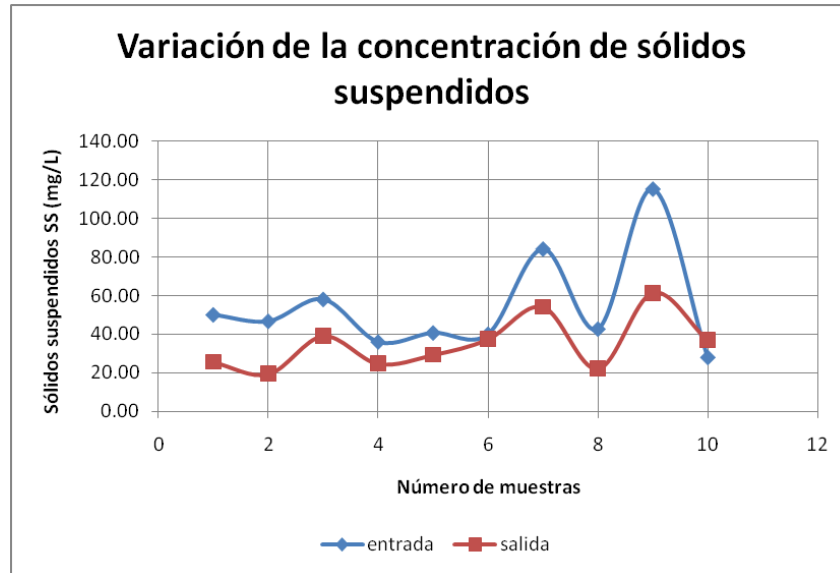
### 5.3.3. Variación de la concentración de los sólidos suspendidos, SS

Tabla XVII. **Variación de la concentración de sólidos suspendidos.**

No. De muestras	Fecha de recolección	Sólidos suspendidos (mg/L)	
		Entrada	Salida
1	08/08/2012	50.00	25.50
2	15/08/2012	46.67	19.34
3	22/08/2012	58.00	39.00
4	29/08/2012	36.00	24.67
5	05/09/2012	40.67	29.20
6	12/09/2012	40.00	37.33
7	19/09/2012	84.00	54.00
8	26/09/2012	42.66	22.00
9	03/10/2012	115.00	61.34
10	10/10/2012	28.00	36.80
<b>Mínimo</b>		28.00	19.34
<b>Máximo</b>		115.00	61.34
<b>Promedio</b>		54.10	34.92
<b>Desviación estándar</b>		26.27	13.84

Fuente: elaboración propia

Figura 28. Variación de la concentración de sólidos suspendidos.



Fuente: elaboración propia

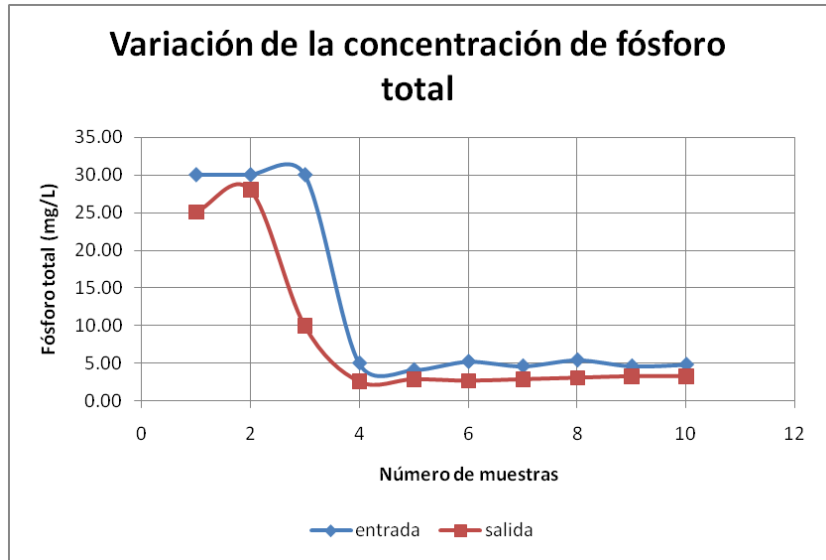
### 5.3.4. Variación de la concentración de fósforo total.

Tabla XVIII. Variación de la concentración de fósforo total.

No. De muestras	Fecha de recolección	Fósforo total (mg/L)	
		Entrada	Salida
1	08/08/2012	30.00	25.00
2	15/08/2012	30.00	28.00
3	22/08/2012	30.00	10.00
4	29/08/2012	5.00	2.60
5	05/09/2012	4.10	2.90
6	12/09/2012	5.20	2.70
7	19/09/2012	4.60	2.90
8	26/09/2012	5.40	3.10
9	03/10/2012	4.60	3.30
10	10/10/2012	4.80	3.30
<b>Mínimo</b>		4.10	2.60
<b>Máximo</b>		30.00	28.00
<b>Promedio</b>		12.37	8.38
<b>Desviación estándar</b>		12.17	9.83

Fuente: elaboración propia

Figura 29. Variación de la concentración de fósforo total.



Fuente: elaboración propia

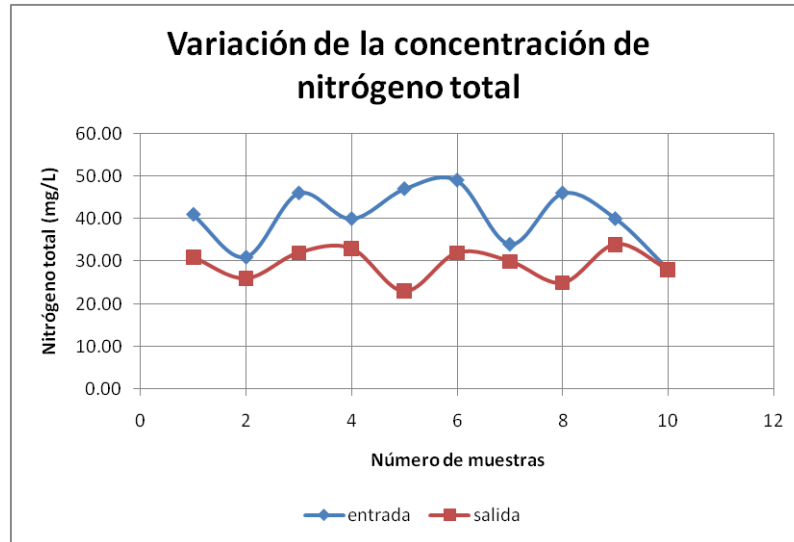
### 5.3.5. Variación de nitrógeno total

Tabla XIX. Variación de la concentración de nitrógeno total.

No. De muestras	Fecha de recolección	Nitrógeno total (mg/L)	
		Entrada	Salida
1	08/08/2012	41.00	31.00
2	15/08/2012	31.00	26.00
3	22/08/2012	46.00	32.00
4	29/08/2012	40.00	33.00
5	05/09/2012	47.00	23.00
6	12/09/2012	49.00	32.00
7	19/09/2012	34.00	30.00
8	26/09/2012	46.00	25.00
9	03/10/2012	40.00	34.00
10	10/10/2012	28.00	28.00
<b>Mínimo</b>		28.00	23.00
<b>Máximo</b>		49.00	34.00
<b>Promedio</b>		40.20	29.40
<b>Desviación estándar</b>		7.18	3.72

Fuente: elaboración propia

Figura 30. Variación de la concentración de nitrógeno total.



Fuente: elaboración propia

### 5.3.6. Variación de la temperatura promedio

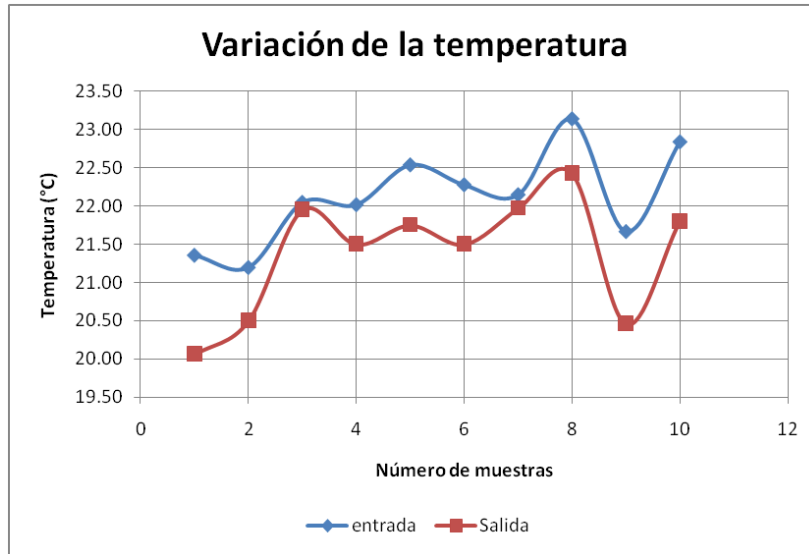
Tabla XX. Variación de la temperatura promedio.

No. De muestras	Fecha de recolección	Temperatura (°C)	
		Entrada	Salida
1	08/08/2012	21.36	20.06
2	15/08/2012	21.20	20.50
3	22/08/2012	22.05	21.95
4	29/08/2012	22.02	21.50
5	05/09/2012	22.54	21.75
6	12/09/2012	22.28	21.50
7	19/09/2012	22.15	21.97
8	26/09/2012	23.14	22.43
9	03/10/2012	21.67	20.46
10	10/10/2012	22.84	21.80
<b>Mínimo</b>		21.20	20.06
<b>Máximo</b>		23.14	22.43
<b>Promedio</b>		22.13	21.39
<b>Desviación estándar</b>		0.61	0.78

Fuente: elaboración propia



Figura 31. Variación de la temperatura.



Fuente: elaboración propia

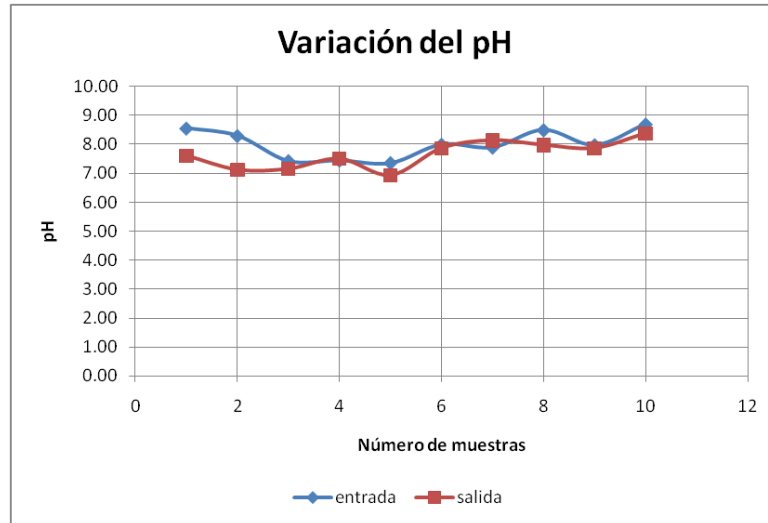
### 5.3.7. Variación del potencial de hidrógeno, pH

Tabla XXI. Variación del potencial de hidrógeno, pH.

No. De muestras	Fecha de recolección	pH	
		Entrada	Salida
1	08/08/2012	8.56	7.61
2	15/08/2012	8.30	7.12
3	22/08/2012	7.43	7.15
4	29/08/2012	7.45	7.50
5	05/09/2012	7.36	6.93
6	12/09/2012	8.00	7.87
7	19/09/2012	7.90	8.14
8	26/09/2012	8.50	7.98
9	03/10/2012	7.98	7.87
10	10/10/2012	8.70	8.38
<b>Mínimo</b>		7.36	6.93
<b>Máximo</b>		8.70	8.38
<b>Promedio</b>		8.02	7.66
<b>Desviación estándar</b>		0.49	0.48

Fuente: elaboración propia

Figura 32. Variación del potencial de hidrógeno, pH.



Fuente: elaboración propia

#### 5.4. Eficiencia de la unidad de tratamiento

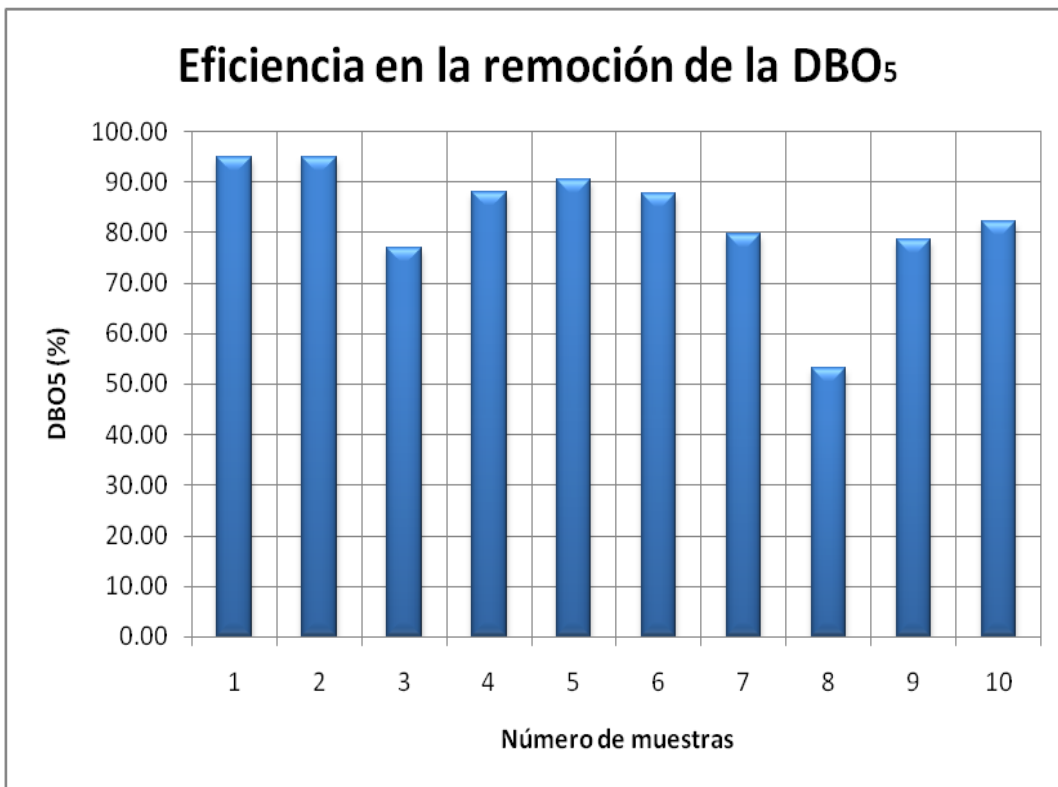
Tabla XXII. Eficiencia de la unidad de tratamiento.

No. De muestras	DBO <sub>5</sub> (%)	DQO (%)	Sólidos suspendidos SS (%)	Nitrógeno Total (%)	Fósforo total (%)
1	94.89	83.76	49.00	24.39	16.67
2	94.77	92.03	58.56	16.13	6.67
3	76.88	93.20	32.76	30.43	66.67
4	88.07	71.83	31.47	17.50	48.00
5	90.36	93.70	28.20	51.06	29.27
6	87.71	78.34	6.68	34.69	48.08
7	79.77	68.25	35.71	11.76	36.96
8	53.11	89.16	48.43	45.65	42.59
9	78.57	84.83	46.66	15.00	28.26
10	82.11	88.08	31.43	0.00	31.25
<b>Mínimo</b>	53.11	68.25	6.68	0.00	6.67
<b>Máximo</b>	94.89	93.70	58.56	51.06	66.67
<b>Promedio</b>	82.62	84.32	36.89	24.66	35.44
<b>Desviación estándar</b>	12.21	8.91	14.57	15.86	17.11

Fuente: elaboración propia

### 5.4.1. Eficiencia de la unidad de tratamiento en la remoción de la materia orgánica, DBO<sub>5</sub>

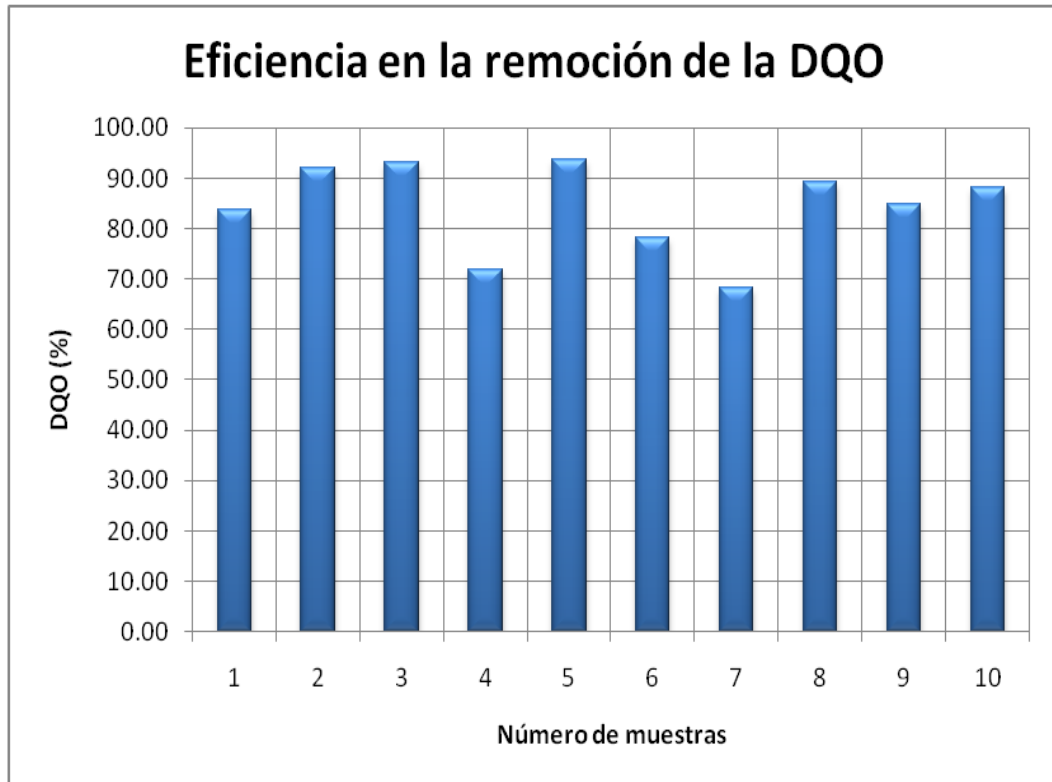
Figura 33. Eficiencia en la remoción de la DBO<sub>5</sub>.



Fuente: elaboración propia

**5.4.2. Eficiencia de la unidad de tratamiento en la remoción de la demanda química de oxígeno, DQO**

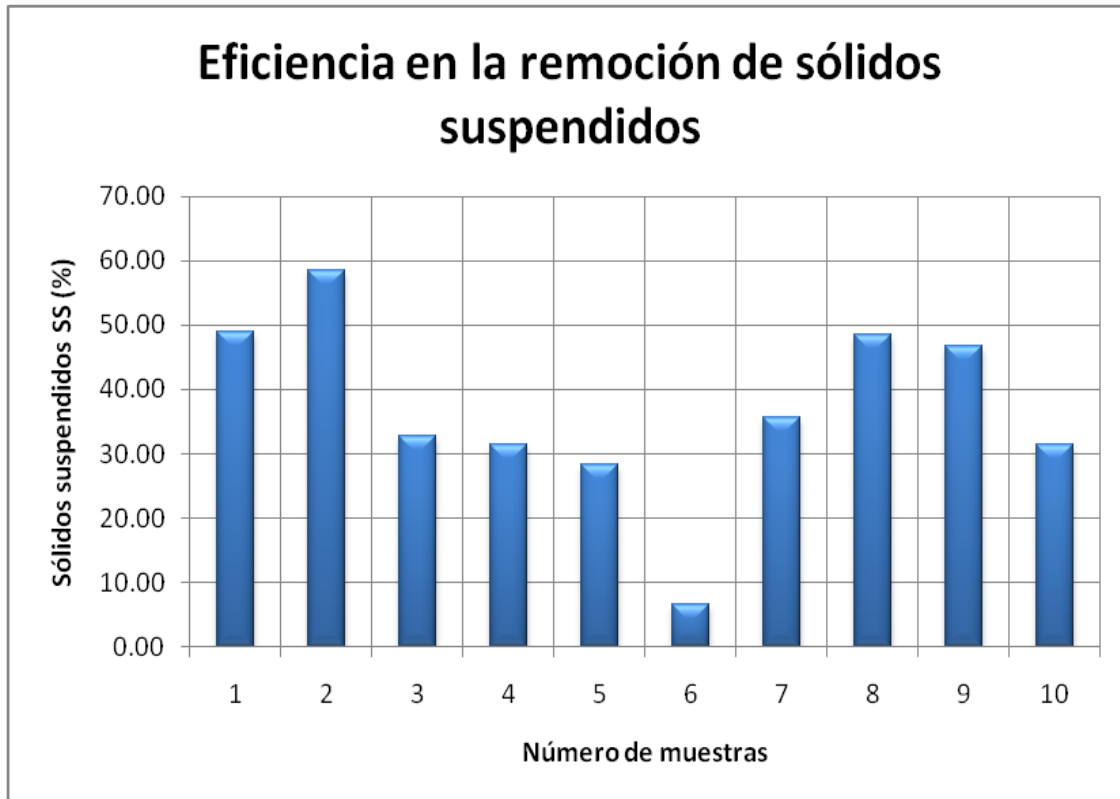
Figura 34. Eficiencia en la remoción de la DQO.



Fuente: elaboración propia

### 5.4.3. Eficiencia de la unidad de tratamiento en la remoción de sólidos suspendidos, SS

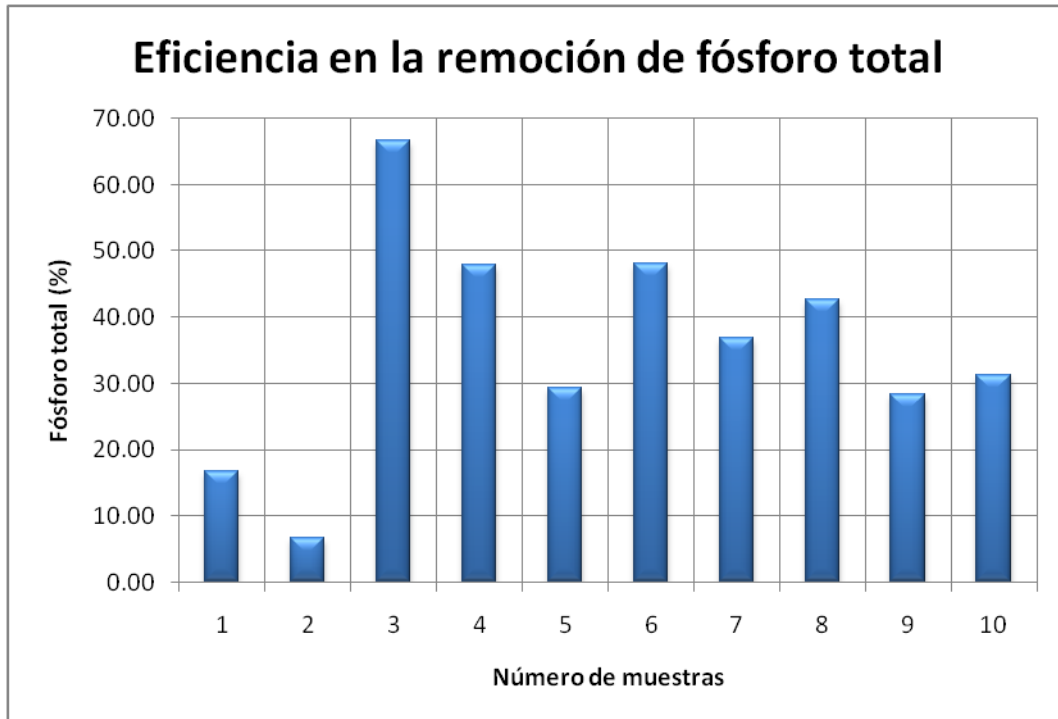
Figura 35. Eficiencia en la remoción de sólidos suspendidos.



Fuente: elaboración propia

#### 5.4.4. Eficiencia de la unidad de tratamiento en la remoción de fósforo total

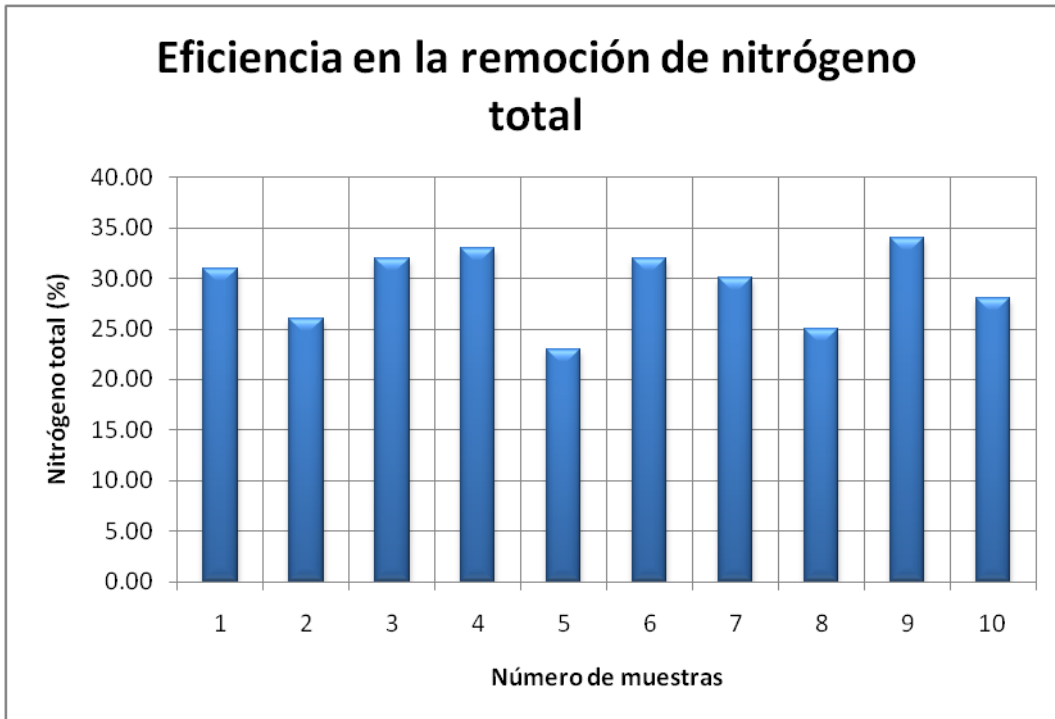
Figura 36. Eficiencia en la remoción de fósforo total.



Fuente: elaboración propia

#### 5.4.5. Eficiencia de la unidad de tratamiento en la remoción de nitrógeno total

Figura 37. Eficiencia en la remoción de nitrógeno total.



Fuente: elaboración propia

## 6. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 6.1. Características del sistema de tratamiento

En la tabla X y XI y figuras 11-20, muestran los resultados obtenidos en la evaluación y análisis del filtro intermitente a la entrada y salida, para los parámetros de materia orgánica medida como la demanda biológica de oxígeno,  $DBO_5$ , demanda química de oxígeno, DQO, sólidos suspendidos, SS, fósforo total, nitrógeno total, temperatura, y pH.

El valor promedio de la demanda bioquímica de oxígeno,  $DBO_5$  a la entrada es de 133,40 mg/L y a la salida de 19,92 mg/L y el valor promedio de la demanda química de oxígeno, DQO a la entrada es de 253.20 mg/L y a la salida de 39.17 mg/L. Con los resultados obtenidos, el afluente posee características de un agua residual de origen doméstico.

Se tiene una baja remoción en nutrientes, a la entrada un promedio de nitrógeno total de 40,20 mg/L y a la salida de 29,40 mg/L y un promedio de fósforo total a la entrada de 12,37 mg/L y a la salida de 8.38 mg/L.

Los resultados obtenidos de sólidos suspendidos, se tiene una alta concentración que ingresa al sistema, a la entrada un valor promedio de 54,10 mg/L y a la salida de 34,92 mg/L.

El índice de biodegradabilidad a la salida del biodigestor es de 0,54 y a la salida del filtro intermitente es de 0.59, coincidiendo con la literatura que es un agua residual biodegradable.



Entre las 9:00 am y 13:00 pm el caudal que ingresa al biodigestor, se tienen valores máximos, debido a el horario de limpieza doméstica y el horario de almuerzo de la personas. Posteriormente, de 16:00 pm a 18:00 pm la tendencia del caudal tratado disminuye.

## **6.2. Remoción de la unidad de tratamiento**

Las figuras 17-21 y 24-30, permiten visualizar la magnitud de la reducción de la concentración de la materia orgánica, demanda química de oxígeno, sólidos suspendidos, nitrógeno total y fósforo total.

La temperatura del efluente promedio es de 21,39°C y el pH de 7,66 los cuales son valores apropiados para el crecimiento y multiplicación del medio biológico para que se desarrolle en el medio filtrante de arena pómez.

Un evento de lluvia, provocó variaciones del efluente del sistema de tratamiento propuesto, obteniendo una disminución en la remoción de nutrientes. Esta situación indica la necesidad de realizar labores de mantenimiento.

## **6.3. Eficiencia del filtro intermitente**

La tabla XXI y figuras 30-34, presentan la eficiencia de la unidad de tratamiento. Puede notarse que en la remoción de la materia orgánica, DBO<sub>5</sub> y la demanda química de oxígeno, DQO el valor promedio es de 82,62 por 100 y 84,32 por 100 respectivamente.

Se tiene una eficiencia baja en remoción de nutrientes, alcanzando valores máximos de fósforo total de 66,67 por 100 y nitrógeno total de 51,06 por 100.

Debe resaltarse pese a que es un agua residual de naturaleza biológica el filtro intermitente de arena pómez, la eficiencia promedio en remoción de sólidos suspendidos es de 36,89 por 100.

Los resultados obtenidos en la Planta Piloto, permiten evaluar el efluente de un tratamiento secundario utilizando como medio filtrante arena pómez, de forma tal que cumpla con la normativa para el vertido en un cuerpo receptor o un posible reuso.

#### **6.4. Características del efluente del sistema de tratamiento de aguas residuales**

El efluente del filtro intermitente de arena pómez, al hacer una comparación con el acuerdo gubernativo 236-2006, cumplen con la etapa dos del artículo 20. Alcanzando un 90 por 100 de eficiencia promedio en remoción de materia orgánica.

El caudal tratado es para una vivienda de 6 habitantes, considerando una dotación de 150 L/hab/día y una carga orgánica de 60 g/hab/día. En caso que se desee diseñar para una población mayor, se deberá redimensionar el sistema y verificar que se cuente con suficiente área para instalar el sistema.

Los resultados obtenidos durante la determinación de la eficiencia en la remoción de la materia orgánica, permiten reconsiderar los conceptos tradicionales utilizados para el diseño, construcción y evaluación de filtros intermitentes, permitiendo valorar su desempeño operativo.



## 7. OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

Los proyectos de plantas de tratamiento de aguas residuales para el área rural, son soluciones recientes adoptadas en Guatemala con pocas excepciones, con el fin de recolectar las aguas negras y las aguas grises. Estas se originan de las actividades de higiene y limpieza diaria en el hogar o centros de servicios públicos y de su tratamiento previo a su disposición final.

Tradicionalmente se han utilizado letrinas, las cuales han tenido mejoras recientes en el diseño, dada la ausencia de drenajes en las áreas rurales. Al incrementarse la demografía en las comunidades es necesario un tratamiento de aguas residuales previo a la descarga de un cuerpo receptor, en estas áreas ya se a motivado por el desarrollo mismo o por la campaña necesaria de la protección del ambiente, se hace indispensable considerar en tales obras los medios mínimos para su adecuada administración, operación y mantenimiento.

Para la construcción de un filtro intermitente previo a un tratamiento primario, se ha planificado la elaboración de un manual, el cual será un aporte para la conservación de la obra en beneficio de los usuarios y a la preservación de la inversión.

El tratamiento de las aguas residuales de origen doméstico por medio de un biodigestor como tratamiento primario y un filtro intermitente de arena pómez como tratamiento secundario, como todo proceso de tratamiento debe de tener para su debida operación y mantenimiento una guía accesible y de fácil seguimiento, para lograr el objetivo del tratamiento y no dejar su funcionamiento al azar, lo cual puede conllevar riesgos mayores que las propias aguas crudas.

Se incluye la administración que contiene principalmente la estructura de organización, el personal, principales acciones sobre sus componentes y el análisis de vulnerabilidad de los mismos.

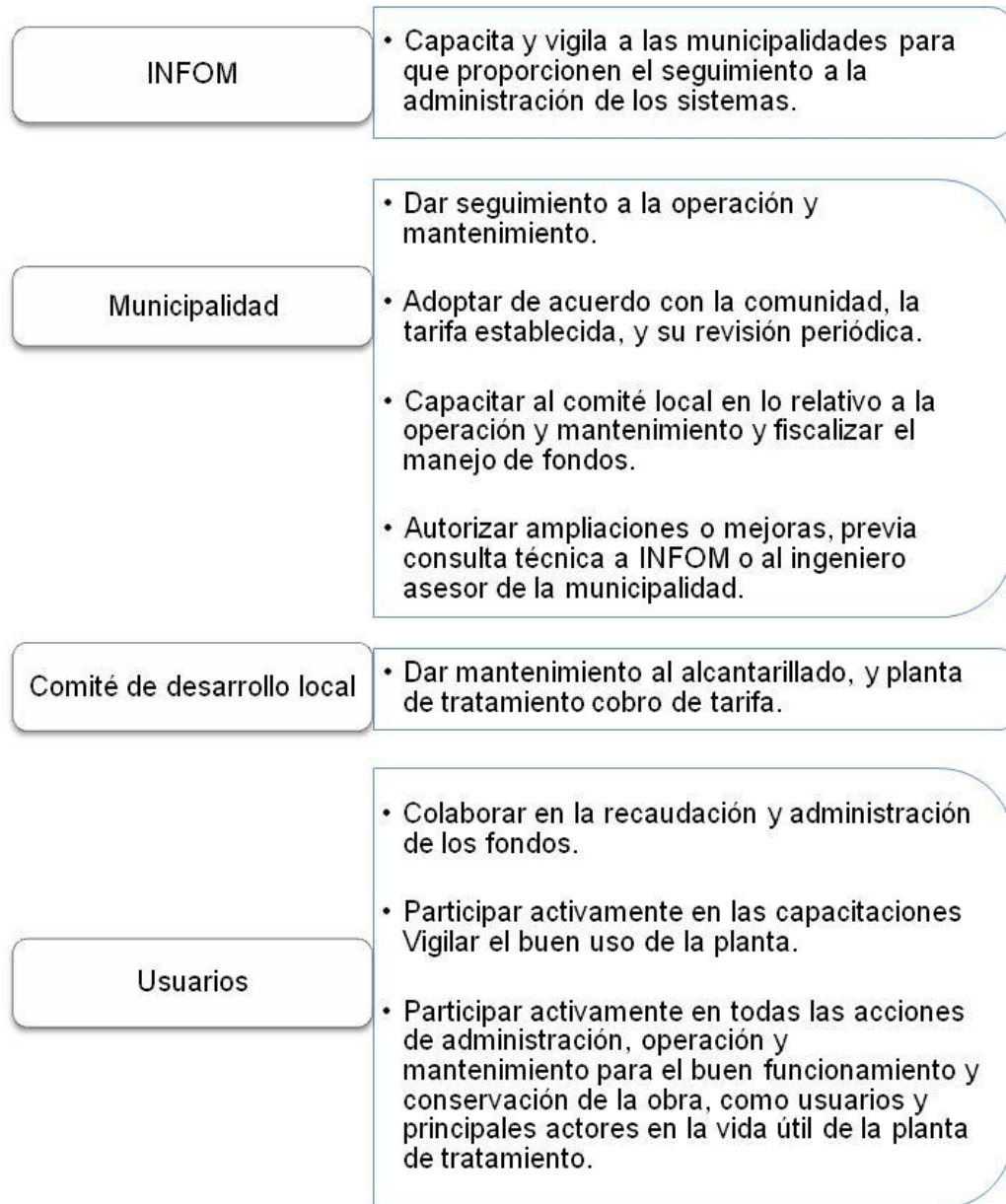
El manual es simplificado, con el fin de un contenido concreto, sencillo y claro que permita ser una guía para el mejoramiento de las condiciones de vida de la comunidad y se refleje en los índices de salud y de bienestar.

### **7.1. Administración**

Únicamente si se opera y mantiene en forma efectiva y eficiente, una planta de tratamiento que haya sido concebida, diseñada y construida adecuadamente, se convierte en un sistema de tratamiento eficiente para la comunidad y para los participantes en el proyecto. Esta es la función de la administración, la de planear, organizar, coordinar y controlar que la operación y mantenimiento se realicen en la forma programada.

El Instituto de Fomento Municipal (INFOM), ha establecido el modelo básico para proyectos de abastecimiento de agua potable, saneamiento básico, educación sanitaria y ambiental, donde está plasmada la estructura administrativa que deberá regir en los proyectos.

Figura 38. Estructura administrativa para proyectos.



Fuente: INFOM.

## **7.2. Personal para la administración**

- a) Ente máximo en la administración y decisiones ejecutivas. Comité de desarrollo local.
- b) Encargado de coordinar y supervisar la operación y mantenimiento del sistema de tratamiento. Unidad técnica de la municipalidad.
- c) Encargado de control de usuarios, cobros de tarifa y egresos del servicio de planta de tratamiento. Comité de desarrollo local.
- d) Encargado de la operación y mantenimiento de la planta de tratamiento. Comité de desarrollo local y usuarios.

## **7.3. Reglamento para la administración, operación y mantenimiento del drenaje sanitario y plantas de tratamiento**

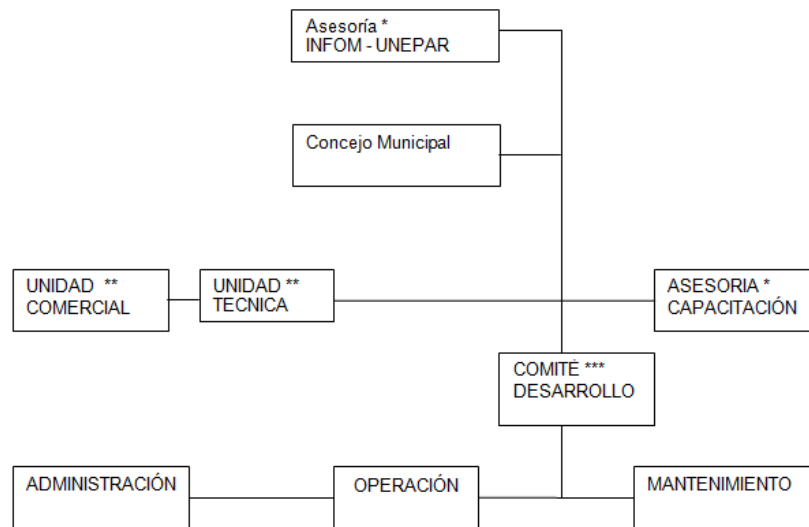
La municipalidad deberá emitir un reglamento que determine las funciones y actividades específicas para la debida administración, operación y mantenimiento de las obras de infraestructura de saneamiento de las comunidades rurales, esto en base al artículo 40 del código municipal, principalmente en los incisos (b) y (m), que establecen la facultad a la corporación municipal de emitir ordenanzas y reglamentos de su municipio.

## **7.4. Estructura organizativa para la operación y mantenimiento**

La estructura organizativa para la administración, operación y mantenimiento del sistema se presenta a continuación, indicando los niveles

recomendados de las interrelaciones entre los participantes que corresponden a una organización funcional más eficaz, oportuna y coordinada las acciones necesarias.

Figura 39. **Estructura organizativa para la operación y mantenimiento del sistema de tratamiento.**



\* Asesoría eventual  
 \*\* Asesoría durante la vida útil del proyecto  
 \*\*\* El comité de desarrollo es el responsable directo de la administración, Operación y mantenimiento

**PERSONAL DIRECTO**  
 Comité de Desarrollo local Vecinos  
 1 encargado  
 1 auxiliar de apoyo comunal.

Fuente: INFOM.



## **7.5. Operación y mantenimiento del sistema de tratamiento**

### **7.5.1. Rejilla y caja desarenadora**

La función es remover la arena que arrastra el drenaje y que es indeseable en el sistema de tratamiento, anteponiendo una rejilla para detener el paso de materia inorgánica u objetos que pueden producir atascamientos en tuberías, canales o medio filtrante. Para hacer efectivas estas funciones se deben realizar las siguientes acciones de operación y mantenimiento.

- a) Limpieza de la rejilla: por lo menos 4 veces al día debe limpiarse la rejilla por medio de un rastrillo específico para esa operación. Los materiales removidos deben almacenarse en un recipiente plástico recubierto con una bolsa plástica para al final del día transportarlo a un hoyo y cubrirlos con tierra para su disposición final. El material inorgánico que se remueva debe depositarse previamente en el escurridor para que se elimine el agua y se elimine la mayor parte de humedad para facilitar su disposición final. El operador deberá contar con el equipo adecuado para el manejo de estos residuos como son guantes, botas de hule.
  
- b) Caja desarenadora: la arena depositada en el fondo debe removerse por medio de una pala específica y depositarla en las mismas bolsas y recipientes plásticos del material inorgánico siendo llevados al mismo hoyo en la tierra y cubrirlos con tierra para su disposición final. La caja desarenadora tiene un depósito previsto de 0.30 m de profundidad, esto con el fin de facilitar la sedimentación de arenas al retener el caudal de entrada, pero las arenas deben ser removidas cuando presenten una altura máxima de 4 cm. La frecuencia de limpieza debe ser de una vez al

día si no se llega a los 4 cm. de espesor y 4 veces al día en período de lluvias. La caja desarenadora sirve a la vez de caja distribuidora de caudales para la repartición proporcional del caudal dosificador para el filtro intermitente, debiéndose observar que se mantenga limpia cada entrada y no presente ninguna materia inorgánica indeseable. Esta revisión se hace cada vez que se limpie la rejilla o la caja desarenadora

### **7.5.2. Biodigestor**

Los lodos y las espumas acumuladas deben ser removidos equivalentes al periodo de limpieza del proyecto. Estos intervalos se pueden ampliar o disminuir, siempre que estas alteraciones sean justificadas y no afecten los rendimientos de operación ni se presenten olores indeseables.

Debe realizarse una remoción periodo de lodos por personal capacitado que disponga del equipo adecuado para garantizar que no haya contacto entre el lodo y las personas. Antes de cualquier operación en el interior del tanque debe mantenerse abierta durante un tiempo suficiente (mayor a 15 min) esto con el fin de que se dispersen los gases tóxicos.

En ningún caso los lodos removidos, pueden se arrojados a los cuerpos de agua, en zonas aisladas los lodos pueden disponerse en lechos de secado. Los lodos secos pueden disponerse en rellenos sanitarios o en campos agrícolas, cuando estos últimos no estén dedicados al cultivo de hortalizas, frutas o legumbres que se consumen crudas.

Cuando la limpieza sea manual del tanque solo debe hacerse como última opción y siguiendo el plan para la seguridad humana, porque el tiempo

para realizar la operación puede llevar varios días, Las acciones serían las siguientes:

- a) Abrir las tapaderas del tanque a limpiar hasta evacuar gases.
- b) Cierre de válvulas de entrada
- c) Sacar la nata superior, con cubeta plástica y lazo.
- d) Sacar agua de la zona neutra desde arriba, con cubeta plástica.
- e) Proceder al vaciado del tanque evacuando agua, natas y lodos, dejando una altura de estos de aproximadamente de 0,30 m. esto sobre el fondo.
- f) Las aguas, los lodos y las natas se depositan en los lechos de secado de arena, para su posterior uso como abono orgánico, debiendo ser los sobrantes enterados en hoyos quedando con una capa de tierra a no menos de 0,5 m de profundidad.

El mantenimiento de este tratamiento empieza con una buena operación, ya que las estructuras que se utilizan no requieren ningún mantenimiento, salvo la entrada o registro correspondiente, la cual se tendrá el cuidado de mantenerla en buen estado. Los aditamentos, utensilios y equipo de trabajo deberá reemplazarse al empezar a observar su deterioro o inoperatividad.

### **7.5.3. Filtro intermitente**

Los filtros intermitentes debe estar localizados aguas abajo del tanque séptico y aguas arriba de la desinfección si se requiere para el sistema. Se recomienda usarlos cuando exista poca cobertura vegetal y las tasas de percolación rápidas. Para realizar el mantenimiento es necesario:

- a) Suspender la operación por tiempo.
- b) Realizar el rastrillado de la superficie para remover la costra que se forma y actúa como inhibidora del proceso
- c) Reemplazar la capa superior con material limpio.
- d) Limpieza de las tuberías.

En el momento en que el nivel de encharcamiento por encima de la superficie exceda de 0,30 m debe pararse la aplicación de agua residual. Para filtros que reciben efluentes de un tratamiento primario por ejemplo, tanques sépticos, se recomienda rastrillar o cambiar la capa superior en intervalos de 30 a 150 días, para tamaños efectivos de 0,2 mm y 0,6 mm respectivamente. Para filtros recirculantes con medio grueso (1,0 a 1,5 mm) se recomiendan periodos de hasta un año.

### **7.6. Medidas ambientales**

En la operación y mantenimiento de tratamientos primarios, deberá tomarse las siguientes medidas.

- a) El cieno y natas retirados se prevé disponerlos en hoyos en la tierra, enterrándolos de inmediato con una capa de tierra de al menos 0.5 m.
- b) Nunca debe ser vaciado el cieno y las natas en el alcantarillado de la aldea, en drenes de aguas de lluvia o en el río u otras corrientes de agua superficial.
- c) Si se utiliza otro medio de disposición, deberán ser aprobados por las autoridades de salud.

## 7.7. Plan rutinario de operación y mantenimiento

Tabla XXIII. Plan rutinario de operación y mantenimiento.

FRECUENCIA	OPERACIÓN	MANTENIMIENTO	EJECUTOR	ACTIVIDAD
				<b>ALCANTARILLADO SANITARIO</b>
				<b>Conexiones domiciliars.</b>
mensual	X		encargado	Vigilancia del tipo de aguas residuales que descargan al sistema las viviendas y estado físico de la misma
semestral		X	encargado	Revisión del estado físico.
eventual		X	encargado	Reparación de conexiones
				<b>Tubería del colector:</b>
semestral	X		encargado	Limpieza de las tuberías
eventual		X	encargado	Desentupimiento y/o reparación de tuberías.
				<b>Pozos de Registro o Visita</b>
mensual	X		encargado	control de acumulación de lodos o natas
eventual		X	encargado	Extracción de lodos, reparación de daños principalmente la tapadera
				<b>PLANTA DE TRATAMIENTO</b>
				<b>Caja desarenadora y rejilla</b>
diario	X		encargado	Limpieza de la rejilla
diario	X		encargado	Remoción de arena de la caja desarenadora
eventual		X	comité	Reparación de daños o cambio de rejilla
				<b>Biodigestor</b>
periódico	X		encargado	Remoción de natas cuando el nivel este a 0.10 m sobre la parte inferior del tubo de salida
periódico	X		comité y encargado	Remoción de lodos cuando la medida de la parte inferior de la tolva este a una altura de los lodos Para su extracción
eventual		X	comité	Reparaciones en la estructura o instalaciones de las fosas
				<b>Filtro Intermitente</b>
bimestral		X	encargado	Limpiar las tuberías de descarga
periódico		X	encargado	Limpiar el lecho filtrante cuando el monitoreo de la planta lo indique al bajar la eficiencia del 70 %
periódico		X	encargado	Limpieza del fondo del filtro, Limpiar El Tanque correspondiente al filtro.
eventual		X	comité	Reparación de cualquier daño o deterioro.
				<b>Lechos de Secado.</b>
periódico	X		encargado	Esparcir el lodo con azadón y pala en el momento del vaciado para su distribución uniforme
periódico		X	encargado	Limpieza de la ciza abierta de la superficie de los lechos para evitar su taponamiento y que se dificulte la filtración del agua. Acción después de remover el lodo seco.
periódico		X	encargado	Remover malezas o hierbas que tienden a aparecer en los lechos, si es necesario remover los lodillos
eventual		X	comité	Reparaciones a daños o deterioros.

Fuente: elaboración propia.



## CONCLUSIONES

1. La hipótesis planteada es verdadera, en la remoción de materia orgánica,  $\text{DBO}_5$  y la demanda química de oxígeno, DQO, teniendo una eficiencia mayor a 70 por 100 pero no cumple en remoción de fósforo total, nitrógeno total y sólidos suspendidos.
2. Para comunidades con limitados recursos económicos, la arena pómez es eficiente en 80 por 100 en la remoción de materia orgánica.
3. El agua residual generada por la Colonia Aurora II, posee a la salida del filtro intermitente un índice de biodegradabilidad promedio de 0,52 permitiendo tratamientos biológicos, empleando como medio filtrante arena pómez.
4. Los filtros intermitentes utilizando como medio filtrante arena pómez, alcanza una remoción promedio de materia orgánica,  $\text{DBO}_5$  de 19,92 mg/L, demanda química de oxígeno, DQO de 39,17 mg/L, fósforo total de 8,38 mg/L, nitrógeno total de 29,40 mg/L y sólidos suspendidos de 34,92 mg/L con un afluente de origen doméstico.
5. Los parámetros analizados para el efluente del filtro intermitente, cumplen con los valores máximos permisibles en el artículo 24, según el Acuerdo Gubernativo 236-2006, vigente hasta el dos de mayo de dos mil veinte, en la etapa dos.





## RECOMENDACIONES

1. Es importante la operación y el mantenimiento del sistema de tratamiento, por lo que se debe efectuar periódicamente una revisión de las uniones para evitar posteriores fugas, cambiar el medio filtrante y el aporte de la carga orgánica que ingresa al biodigestor y con ello garantizar la calidad del efluente.
2. Gestionar ante las autoridades gubernamentales y no gubernamentales, el apoyo a la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria, de forma tal que se convierta en un centro de investigación e innovación de tecnologías apropiadas para afluentes de origen doméstico en comunidades con limitados recursos económicos.
3. Debido a que se realizó las mediciones en época de lluvia, se debe complementar la misma con análisis del agua residual para época sin condiciones de lluvia.
4. Realizar una caracterización de la descarga de agua residual previo al filtro intermitente de la Colonia Aurora II.
5. Para que el sistema de tratamiento cumpla con el Acuerdo Gubernativo 236-2006 de vertido de aguas residuales para entes no conectados a un alcantarillado público, en la etapa cuatro. Se debe analizar un tratamiento terciario para la remoción de nutrientes y sólidos suspendidos.



## BIBLIOGRAFÍA

1. ALVARADO CUADRA, Ricardo Ramón. *Evaluación de filtro vertical de piedra pómez como post-tratamiento del efluente de una planta de filtros*. Trabajo de graduación de Maestría en Ciencias de Ingeniería Sanitaria de la Universidad de San Carlos de Guatemala: Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos 1986. 37 p.
2. ANDERSON, Damann L.; SIEGRIST, Robert L.; OTIS, Richard J. *Technology assessment of intermittent sand filters*. Washington, DC: EPA 1992. 30 p.
3. AROSEMENA GONZALEZ, Alcides. *Ensayo de arena pómez como medio filtrante*. Trabajo de graduación de Maestría en Ciencias de Ingeniería Sanitaria de la Universidad de San Carlos de Guatemala: Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos 1985. 20 p.
4. CRITES, Ron; TCHOBANOGLUS, G. *Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones*. Colombia: Mcgraw-Hill 2000. 739 p.
5. Metcalf & Eddy. *Ingeniería de aguas residuales*. Volumen 1 y 2. 3ª ed. México: MacGraw-Hill 1996, 1485 p.
6. ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. *Calidad del agua*. 3ª ed. Colombia: Escuela Colombiana de ingeniería 2009. 485 p.
7. ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. *Tratamiento de aguas residuales*. 3ª ed. Colombia: Escuela Colombiana de ingeniería 2004. 1248 p.

8. SAMPIERI HERNANDEZ, Roberto; COLLADO-FERNANDEZ, Carlos y LUCIO BAPTISTA, Pilar. *Metodología de la investigación*. 4ª ed. México: Mcgraw-Hill 2006. 265 p.
9. U.S. ENVIROMENTAL PROTECTION AGENCY, *Manual wastewater Treatment / disposal for small communities*. Washington, DC: EPA 1992. 110 p.
10. YANEZ COSSIO, Fabián. *Normas de diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales borrados de discusión*. Guatemala: OPS 1993. 70 p.