



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Sanitaria y  
Recursos Hidráulicos (ERIS)

## **USO DEL SUELO COMO TRATAMIENTO SECUNDARIO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS**

**Ivis Nohelia Peralta Salgado**

**Wilber Javier Pérez Flores**

Asesorado por el MSc. Ing. Adán Ernesto Pocasangre C.

Guatemala, junio de 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**USO DEL SUELO COMO TRATAMIENTO SECUNDARIO  
DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS**

ESTUDIO ESPECIAL

PRESENTADO A LA ESCUELA REGIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA Y  
RECURSOS HIDRÁULICOS (ERIS)  
POR LOS INGENIEROS

**IVIS NOHELIA PERALTA SALGADO  
WILBER JAVIER PÉREZ FLORES**

ASESORADO POR EL MSC. ING. ADÁN ERNESTO POCASANGRE C.

COMO REQUISITO PREVIO PARA OPTAR AL GRADO ACADÉMICO DE

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

GUATEMALA, JUNIO DE 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL I	
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Narda Lucía Pacay Barrientos
VOCAL V	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

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

MSc. Ing. Pedro Cipriano Saravia Celis

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN DE ESTUDIO ESPECIAL**

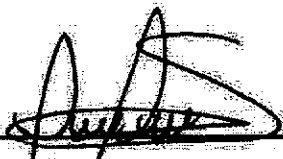
EXAMINADOR	Msc. Ing. Adán Ernesto Artemio Pocasangre Collazos
EXAMINADOR	Msc. Ing. Pedro Cipriano Saravia Celis
EXAMINADOR	Msc. Ing. Zenón Much Santos

## HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

### USO DEL SUELO COMO TRATAMIENTO SECUNDARIO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS

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), en junio de 2014.




---

Inga. Ivís Nohelia Peralta Salgado

201490162

[ivisperalta@yahoo.com.mx](mailto:ivisperalta@yahoo.com.mx)



---

Ing. Wilber Javier Pérez Flores

201490280

[pwilberj@gmail.com](mailto:pwilberj@gmail.com)



Guatemala, 1 de junio de 2015

Señores  
Comisión de Admisión y Otorgamiento de Grado  
Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos  
Universidad de San Carlos de Guatemala

Respetuosamente les informo que en mi calidad de Asesor y Coordinador de la Maestría de Ingeniería Sanitaria he revisado el trabajo de estudio especial Titulado: "Uso del suelo como tratamiento secundario de aguas residuales domésticas" presentado por los estudiantes: Ingeniera Ivis Nohelia Peralta Salgado y el Ingeniero Wilber Javier Pérez Flores.

Manifestando que los estudiantes antes mencionados, han cumplido de manera satisfactoria con los requisitos de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos-ERIS y la Universidad de San Carlos de Guatemala.

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

Atentamente,

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

Msc. Ing. Adán Ernesto Artemio Pocasangre Collazos  
Asesor del Estudio  
Coordinador de la Maestría de Ingeniería Sanitaria



Guatemala, 2 de junio de 2015

El director de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos –ERIS- después de conocer el dictamen del tribunal examinador integrado por los siguientes profesores: Msc. Ing. Adán Ernesto Artemio Pocasangre Collazos, Msc. Ing. Pedro Saravia Celis, Msc. Ing. Zenon Much Santos, así como el visto bueno del coordinador de la Maestría en Ingeniería Sanitaria, Msc. Ing. Adán Ernesto Artemio Pocasangre Collazos, la revisión lingüística realizada por la Lic. Rosa Amelia Gonzalez Dominguez, colegiada No. 5284 al trabajo de los estudiantes Ingeniera Ivis Nohelia Peralta Salgado y Wilber Javier Pérez Flores, titulado “**Uso del suelo como tratamiento secundario de aguas residuales domésticas**”, en representación de la comisión de Admisión y Otorgamiento de Grado, procede a la autorización del mismo, en Guatemala, 2 de junio del año dos mil quince.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

IMPRIMASE



Msc. Ing. Pedro Saravia Celis Asesor del Estudio  
Director  
Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos

# FIUSAC

Oficina de Lingüística

Guatemala, 29 de mayo de 2015

Ingeniero Pedro Saravia  
Director de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos de Guatemala

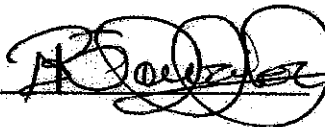
Estimado Ing. Saravia:

Por este medio extiendo constancia a la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos, de la Facultad de Ingeniería, que se ha realizado satisfactoriamente la revisión y corrección de estilo del trabajo de graduación de Maestría en Ciencias de Ingeniería Sanitaria: **Uso de suelo como tratamiento secundario de aguas residuales domésticas** de los estudiantes ingenieros **Ivis Nohelia Peralta Salgado (carné: 201490162) y Wilber Javier Pérez Flores (carné: 201490280).**

Para los requerimientos que su despacho necesite.

Atentamente,

(f) y sello



Licda. Rosa Amelia González Domínguez

Unidad de Lingüística  
Facultad de Ingeniería

*Rosa Amelia González Domínguez*  
LICENCIADA EN LETRAS  
Colegiado No. 5284

## **ACTO QUE DEDICO A:**

- Dios** Por ser mi guía y por darme la oportunidad de estudiar esta maestría y alcanzar este logro profesional.
- Mi madre** Mirna Salgado, por su dedicación, comprensión y paciencia.
- Mi hermana** Amelia Peralta, por su cariño y por estar pendiente de mí.
- Mi madrina** María Delia Calix, por sus consejos, buenos deseos y por estar siempre pendiente de mí.
- Mi abuela** Por su cariño, buenos deseos y oraciones.

**Ivis Nohelia Peralta Salgado**



## **ACTO QUE DEDICO A:**

<b>Dios</b>	Por darme la sabiduría, dedicación y fortaleza para estar lejos de mi familia, para perseverar aún en los momentos difíciles.
<b>Mi esposa</b>	Hazell Rivera, por su amor, por esperar pacientemente a que cumpla esta meta, por comprenderme y estar a mi lado en todo momento.
<b>Mi madre</b>	Justa Flores, por apoyarme, motivarme y brindarme su amor incondicional.
<b>Mi hija</b>	Mónica Regina, por ser la más linda bendición en mi vida.
<b>Mis hermanas</b>	Eveling Pérez y Jenny Estrella, mi prima Nereyda Jacamo, por estar siempre pendientes de mí y darme su cariño.
<b>Mi abuela</b>	Josefa Centeno, gracias por todo su apoyo y cariño.

**Mis tíos**

Leopoldina, José, Ramón, Pedro Flores  
y don Alejandro Estrella, por el apoyo  
brindado siempre.

**Wilber Javier Pérez Flores**

## **AGRADECIMIENTOS A:**

**Servicio Alemán de Intercambio  
Académico (DAAD)**

Por haberme brindado la oportunidad de cursar mis estudios de maestría.

**Servicio Autónomo de Acueductos  
Alcantarillado (SANAA)**

Por su apoyo en el desarrollo de mi vida profesional.

**Catedráticos de la Escuela  
Regional de Ingeniería Sanitaria y  
Recursos Hidráulicos**

Por su dedicación y conocimientos brindados que serán muy útiles en mi vida profesional

**Al señor Tereso Pérez Bor**

Por su apoyo en la construcción del sistema piloto de tratamiento de aguas residuales.

**Moisés Dubón**

Por su apoyo brindado en el Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria “Dra. Alba Tabarini Molina”.

**Compañeros de ERIS**

Por su amistad, paciencia, fortaleza y hospitalidad.

**Ivis Nohelia Peralta Salgado**

## **AGRADECIMIENTOS A:**

**Servicio Alemán de Intercambio  
Académico (DAAD)**

Por haberme brindado la oportunidad de cursar mis estudios de maestría.

**Catedráticos de la Escuela  
Regional de Ingeniería Sanitaria y  
Recursos Hidráulicos**

Por todos los conocimientos brindados que sabemos que serán de gran utilidad en nuestra vida profesional.

**Dra. Maribel Duriez**

Por su amistad, apoyo, confianza y sabios consejos.

**Universidad Nacional Autónoma  
de Nicaragua UNAN-Managua**

Por apoyar mi superación y crecimiento profesional.

**Compañeros de ERIS**

Por su amistad y hospitalidad.

**Wilber Javier Pérez Flores**



## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
GLOSARIO .....	IX
LISTA DE SÍMBOLOS .....	XIII
RESUMEN.....	XV
OBJETIVOS.....	XVII
INTRODUCCIÓN .....	XIX
ANTECEDENTES.....	XXI
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	XXIII
HIPÓTESIS.....	XXV
JUSTIFICACIÓN.....	XXVII
LIMITANTES.....	XXIX
1. MARCO TEÓRICO.....	1
1.1. Aguas residuales .....	1
1.1.1. Aguas residuales domésticas .....	1
1.1.1.1. Composición de las aguas residuales domésticas .....	2
1.2. Situación actual de saneamiento en Centroamérica .....	3
1.3. Marco legislativo de las descargas de aguas residuales vigente en Guatemala.....	3
1.4. Uso del suelo como sistema de tratamiento .....	5
1.4.1. Características del suelo .....	9
1.4.2. Características físicas.....	10
1.4.2.1. Textura .....	10
1.4.2.2. Estructura .....	12

	1.4.2.3.	Porosidad .....	12
	1.4.2.4.	Color.....	13
	1.4.2.5.	Profundidad .....	13
1.4.3.		Características hidráulicas .....	14
	1.4.3.1.	Ensayo de percolación .....	16
	1.4.3.2.	Carga hidráulica .....	16
1.4.4.		Características químicas .....	17
	1.4.4.1.	Potencial de hidrógeno.....	18
1.5.		Criterios de diseño para el sistema de infiltración- percolación.....	18
1.6.		Sistemas de tratamiento de aguas residuales que utilizan el suelo.....	19
	1.6.1.	Tratamientos sobre el suelo .....	20
		1.6.1.1. Infiltración lenta o sistemas de baja carga .....	20
		1.6.1.2. Infiltración rápida .....	21
		1.6.1.3. Flujo superficial o riego superficial .....	23
	1.6.2.	Sistemas de tratamiento por infiltración al subsuelo.....	24
		1.6.2.1. Zanjas de infiltración .....	25
		1.6.2.2. Lechos de infiltración.....	27
		1.6.2.3. Pozo de infiltración .....	27
		1.6.2.4. Montículos.....	29
2.		METODOLOGÍA .....	31
	2.1.	Localización y ubicación del área de estudio .....	31
	2.2.	Caracterización del suelo en estudio.....	32
	2.3.	Descripción del sistema .....	36
		2.3.1. Unidad de regulación de caudal .....	37

2.3.2.	Fosa séptica .....	40
2.3.3.	Caja de distribución de caudal.....	41
2.3.4.	Sistema de infiltración.....	42
2.3.5.	Sistema de drenaje.....	46
2.3.6.	Número de muestras .....	47
2.3.7.	Puntos de muestreo.....	51
2.3.8.	Frecuencia de toma de muestras .....	52
2.3.9.	Parámetros de control .....	53
3.	RESULTADOS .....	55
3.1.	Variación del caudal de entrada .....	55
3.2.	Comportamiento del sistema de tratamiento .....	57
3.2.1.	Comportamiento del material flotante .....	57
3.2.2.	Comportamiento de la temperatura .....	58
3.2.3.	Comportamiento del potencial de hidrógeno .....	58
3.2.4.	Comportamiento de los sólidos suspendidos totales, SST .....	59
3.2.5.	Comportamiento del color.....	60
3.2.6.	Comportamiento de la DBO <sub>5</sub> .....	61
3.2.7.	Comportamiento del DQO .....	62
3.2.8.	Comportamiento del nitrógeno total.....	63
3.2.9.	Comportamiento del fósforo total.....	64
3.2.10.	Resultado coliformes fecales .....	65
3.2.11.	Resultado de aceites y grasas.....	66
3.2.12.	Resultado de metales pesados.....	67
4.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	69
4.1.	Caudal .....	69
4.2.	Material flotante .....	70



4.3.	Temperatura y potencial de hidrógeno.....	70
4.4.	Sólidos suspendidos totales.....	70
4.5.	Color.....	71
4.6.	Demanda biológica de oxígeno, DBO <sub>5</sub> .....	72
4.7.	Demanda química de oxígeno DQO.....	73
4.8.	Nitrógeno total.....	74
4.9.	Fósforo total .....	78
4.10.	Coliformes fecales.....	79
4.11.	Metales pesados .....	80
4.12.	Aceites y grasas .....	80
4.13.	Comparación de rendimiento con otros sistemas de tratamiento .....	81
CONCLUSIONES.....		83
RECOMENDACIONES .....		85
BIBLIOGRAFÍA.....		87
APÉNDICES.....		93
ANEXOS.....		97

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Sección de un sistema convencional de tratamiento en sitio .....	9
2.	Diagrama triangular de clases textulares .....	11
3.	Destino del agua descargada a los sistemas de tratamiento en sitio ...	17
4.	Tratamiento de baja carga o infiltración lenta.....	21
5.	Infiltración rápida.....	22
6.	Flujo superficial o riego superficial .....	23
7.	Zanja de infiltración .....	26
8.	Lecho de infiltración .....	28
9.	Pozo de infiltración.....	28
10.	Montículos.....	29
11.	Localización del sistema de tratamiento.....	32
12.	Diagrama general del sistema de tratamiento de aguas residuales.....	37
13.	Orificio de tubo corto .....	38
14.	Caja distribuidora de caudal.....	42
15.	Esquema del sistema de infiltración.....	43
16.	Tubo de distribución de caudal en el suelo .....	43
17.	Gráfica de densidad seca-humedad .....	44
18.	Vista en planta del sistema de drenaje.....	46
19.	Vista de frente del sistema de drenaje .....	47
20.	Detalle del sistema de drenaje .....	47
21.	Concentración media .....	49
22.	Esquema del sistema y puntos de muestreo.....	52
23.	Variación del caudal de entrada al sistema.....	69

24.	Eficiencia de remoción de SST a la salida del sistema.....	71
25.	Eficiencia de remoción de color a la salida del sistema .....	72
26.	Eficiencia de remoción de DBO <sub>5</sub> a la salida del sistema.....	73
27.	Eficiencia de remoción de DQO a la salida del sistema.....	73
28.	Eficiencia de remoción de nitrógeno a la salida del sistema.....	74
29.	Eficiencia de remoción de nitrógeno a la salida del sistema sin datos extremos .....	77
30.	Eficiencia de remoción del fósforo a la salida del sistema .....	78
31.	Eficiencia de remoción de los coliformes fecales a la salida del sistema .....	79

## TABLAS

I.	Composición típica del agua residual doméstica cruda .....	2
II.	Composición típica del agua residual doméstica en ciudad Guatemala .....	3
III.	Límites máximos permisibles para entes generadores nuevos .....	4
IV.	Parámetros de comparación en las normas de Honduras y Nicaragua .....	5
V.	Textura y comportamiento probable del suelo .....	11
VI.	Características hidráulicas del suelo.....	15
VII.	Tratamientos que utilizan suelo como tratamiento.....	19
VIII.	Características del suelo.....	33
IX.	Prueba de percolación realizada en el sitio, 25 de julio de 2014 .....	34
X.	Velocidad de infiltración .....	35
XI.	Coeficientes de descarga según relación e/D.....	39
XII.	Características mecánicas del suelo.....	44
XIII.	Datos para la relación de vacíos en el suelo compactado .....	45
XIV.	Resultados análisis estadístico .....	50

XV.	Número de muestras por parámetro de estudio .....	51
XVI.	Variación de caudal a la entrada del sistema de tratamiento .....	55
XVII.	Resumen de resultados .....	56
XVIII.	Comparación de material flotante con las normas de AR .....	57
XIX.	Comparación de temperatura con las normas de AR .....	58
XX.	Comparación de pH con las normas de AR .....	59
XXI.	SST y comparación con normas de AR .....	60
XXII.	Comparación del color con normas de AR.....	61
XXIII.	Comparación de la DBO5 con normas de AR.....	62
XXIV.	Comparación de la DQO con las normas de AR.....	63
XXV.	Comparación de nitrógeno total, con las normas de AR .....	64
XXVI.	Comparación de fósforo, con las normas de AR.....	65
XXVII.	Comparación de coliformes fecales, con las normas de AR .....	66
XXVIII.	Resultados de aceites y grasas .....	67
XXIX.	Resultados de metales pesados .....	67
XXX.	t de Student para un intervalo de confianza del 95 % .....	76
XXXI.	t de Student para un intervalo de confianza del 95 % .....	77
XXXII.	Comparación de eficiencia del sistema .....	81



## GLOSARIO

<b>Acuífero</b>	Formación de roca porosa que permite la infiltración, acumulación y movimiento de importantes masas de agua en condiciones normales y que permiten su suministro por gravedad o bombeo.
<b>Adsorción física</b>	Es la captación de sustancias solubles presentes en la interface de una solución.
<b>Aguas residuales</b>	Aguas que han revivido uso y cuyas calidades han sido modificadas.
<b>Aguas residuales domésticas</b>	Aguas generadas por actividades domésticas tales como: uso en servicios sanitarios, pilas, lavamanos, lavatrastos, lavado de ropa, y otras similares, así como la mezcla de las mismas.
<b>Capa biológica</b>	Es un ecosistema microbiano organizado, conformado por uno o varios microorganismos asociados a una superficie viva o inerte, con características funcionales y estructuras complejas. Este tipo de conformación microbiana ocurre cuando las células planctónicas se adhieren a una superficie o sustrato, formando una comunidad, que se caracteriza por la excreción de una matriz extracelular adhesiva protectora.

<b>Caudal</b>	Volumen de agua por unidad de tiempo.
<b>Coliformes fecales</b>	Parámetro que indica la presencia de contaminación fecal en el agua y de bacterias patógenas, provenientes del tracto digestivo de los seres humanos y animales de sangre caliente.
<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.
<b>Demanda química de oxígeno</b>	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 veinte grados Celsius.
<b>Demanda bioquímica oxígeno</b>	Medida indirecta del contenido de materia orgánica inorgánica oxidable en aguas residuales, que se determina por la cantidad equivalente de oxígeno utilizado en la oxidación química.
<b>Desnitrificación</b>	Proceso por el cual las bacterias reducen los nitratos a nitritos y estos a su vez son reducidos a gas nitrógeno.

<b>ERIS</b>	Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hídricos.
<b>Fosfatos</b>	Son sales o esteres del ácido fosfórico, componente del fósforo total. Forman una parte importante de la carga en las aguas residuales. La incorporación en las formulaciones de detergentes de uso doméstico ha producido fenómenos de eutrofización en los ecosistemas acuáticos continentales y costeros.
<b>Nitrificación</b>	Proceso por el cual las bacterias oxidan el nitrógeno amoniacal a nitrito y estos son convertidos a nitratos.
<b>Parámetro</b>	Variable que identifica una característica de las aguas residuales, aguas para reúso o lodos, asignándoles un valor numérico.
<b>Percolación</b>	Paso lento de fluidos a través de materiales porosos.
<b>pH</b>	Término que indica la concentración de iones de hidrógeno en una disolución. Se trata de una medida de la acidez de una disolución.
<b>PTAR</b>	Planta de tratamiento de aguas residuales.
<b>Remoción</b>	Contaminante reducida del agua residual luego de su tratamiento, mejorando la calidad del agua.



<b>Sólidos suspendidos totales</b>	Cantidad de sólidos que se encuentran en el agua y que son retenidos por una membrana filtrable con tamaño nominal de poro de 1,2 micrómetros.
<b>Tratamiento de aguas</b>	Cualquier proceso físico, químico, biológico o combinación de estos, cuyo propósito es la eliminación de contaminantes presentes en las aguas residuales.
<b>Tratamiento terciario</b>	Grado de tratamiento necesario para alcanzar una calidad fisicoquímica y biológica adecuada; le da una calidad al agua de acuerdo con el reúso que se le pretenda dar a las aguas residuales (remoción de sólidos suspendidos, compuestos orgánicos, inorgánicos, nutrientes y microorganismos patógenos).

## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>AR</b>	Aguas residuales
<b>Q</b>	Caudal
<b>cm</b>	Centímetro
<b>cm<sup>3</sup></b>	Centímetros cúbicos
<b>Col. Fec</b>	Coliformes fecales
<b>Col. Tot</b>	Coliformes totales
<b>DBO<sub>5</sub></b>	Demanda bioquímica de oxígeno a los cinco días
<b>DQO</b>	Demanda química de oxígeno
<b>Ø</b>	Diámetro
<b>°C</b>	Grados Celsius
<b>g</b>	Gramos
<b>hr</b>	Hora
<b>Kg</b>	Kilogramos
<b>lb</b>	Libra
<b>l</b>	Litros
<b>mz</b>	Manzana (unidad de área)
<b>m</b>	Metro
<b>m<sup>2</sup></b>	Metro cuadrado
<b>m<sup>3</sup></b>	Metro cúbico
<b>min</b>	Minuto
<b>Meq</b>	Mol equivalente
<b>N.D</b>	No detectable
<b>ppm</b>	Partes por millón

<b>s</b>	Segundos
<b>SST</b>	Sólidos suspendidos totales
<b>SISAR</b>	<i>Subsurface wastewater infiltration systems</i> (sistemas de infiltración de aguas residuales).
<b>T</b>	Temperatura

## RESUMEN

El propósito de este estudio es evaluar la eficiencia de remoción de contaminantes de las aguas residuales domésticas usando el suelo como tratamiento de estas, para que sea utilizado como una alternativa eficaz y esté al alcance de poblaciones que no tienen acceso a sistemas de alcantarillado y tratamiento de aguas residuales.

Para llevar a cabo el estudio se construyó un sistema piloto de tratamiento de aguas residuales domésticas compuesto por una fosa séptica y zanjas de infiltración. El tratamiento en el suelo consiste en una zanja de infiltración de un 1 m<sup>2</sup> de área y una columna de 1,20 m de profundidad, después se agregó un drenaje tipo francés para la captación de las muestras.

El tratamiento funciona como un sistema de percolación en el subsuelo, donde el agua residual debe atravesar una capa de piedrín en la cual se forma un manto biológico que, además de distribuir el caudal también da inicio al tratamiento, el agua luego pasa a percolarse en el suelo mejorando así su calidad sanitaria.

El estudio se realizó en la planta experimental de tratamiento de aguas residuales “Ing. Arturo Pazos Sosa” ubicada en la colonia Aurora II, zona 13 de la ciudad de Guatemala, durante el periodo comprendido entre octubre del 2014 a mayo del 2015. Con el objetivo de evaluar la capacidad de remoción del suelo con aguas de características domésticas.

Se tomaron como parámetros de estudio los indicados en el *Reglamento de las descargas y reúsos de las aguas residuales y la disposición de lodos* de Guatemala, según el Acuerdo Gubernativo 236-2006 reforma 129, mayo 2015. Los análisis se realizaron en el Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria “Doctora Alba Estela Tabarini Molina”, en la ERIS de la Facultad de Ingeniería en la Universidad de San Carlos de Guatemala, a excepción de los metales pesados, aceites y grasas.

Como resultado de la evaluación del rendimiento del sistema piloto de tratamiento de aguas residuales domésticas este mostró una eficiente remoción promedio de contaminantes, con resultados en sólidos suspendidos de 99 %, color 95 %, DBO<sub>5</sub> de 99 %, DQO de 98 %, fósforo de 87 % y coliformes fecales de 93 %. Al determinar los valores del nitrógeno se eliminaron los resultados extremos obteniéndose una eficiencia de remoción 23 %.

Con esta investigación se comprobó que el suelo es capaz de remover con eficacia la mayoría de los contaminantes de las aguas residuales domésticas a excepción del nitrógeno total, el cual requiere de un estudio más detallado para entender su comportamiento en el proceso de tratamiento.

## OBJETIVOS

### General

Evaluar la capacidad del suelo en la remoción de contaminantes de aguas residuales domésticas y comparar los resultados de los análisis con las normativas de descargas de Guatemala, Honduras y Nicaragua, para su implementación como tratamiento secundario.

### Específicos

1. Analizar las propiedades físicas, químicas e hidráulicas del suelo en estudio.
2. Construir un sistema piloto de tratamiento de aguas residuales domésticas compuesto por una fosa séptica y zanjas de infiltración.
3. Conocer la eficiencia de remoción del sistema piloto de tratamiento aguas residuales, por medio de la medición de material flotante, sólidos suspendidos totales, color, DBO<sub>5</sub>, DQO, nitrógeno total, fósforo total y coliformes fecales.
4. Comparar los resultados de los análisis de calidad de agua a la salida del sistema con las normativas de descarga vigentes en Guatemala (*Reglamento de las descargas y reúso de aguas residuales y de la disposición de lodos*, Acuerdo Gubernativo 236-2006, reforma 129, mayo 2015), Honduras (*Normas técnicas de las descargas de aguas residuales*

*a cuerpos receptores y alcantarillado sanitario*, Decreto No. 058, diciembre 1997) y Nicaragua (Reglamento para vertidos de aguas residuales a cuerpos receptores y alcantarillados sanitario, diciembre 2008).

## INTRODUCCIÓN

Las aguas residuales que se generan en poblaciones que no cuentan con alcantarillado sanitario deben de ser dispuestas en última instancia, a cuerpos receptores o al suelo. Para realizar dicha disposición es necesario cumplir con las leyes y normas reguladoras que establecen la calidad con que las aguas residuales deben ser vertidas.

El tratamiento de las aguas residuales usando el suelo, es una solución viable cuando las condiciones del terreno lo permiten. Para considerar dicho sistema, los factores más importantes son la percolación del suelo, sus propiedades físicas, químicas y la profundidad del nivel freático. En este estudio se presentan algunos ensayos y pruebas que ayudan a medir la capacidad del suelo para mejorar la calidad sanitaria del agua residual.

Para evitar la contaminación de los acuíferos, que pueden ser utilizados para abastecimiento de agua potable, debe existir una distancia mínima entre el fondo del tratamiento, en este caso zanjas de infiltración, y el nivel freático. De acuerdo a Metcalf & Eddy (1997), esta distancia puede estar comprendida entre 0,6 y 1,2 m de profundidad. La Agencia de Protección Ambiental (Environmental Protection Agency (EPA, 2002) propone en consideraciones de diseño para este tipo de tratamiento, una profundidad de 1,5 metros. Wagner y Lanoix en su publicación *Evacuación de excretas en las zonas rurales y pequeñas comunidades* (1960) establece que en suelos homogéneos la posibilidad que se contaminen las aguas subterráneas es prácticamente nula, si el nivel freático se encuentra a una distancia mayor a 1,5 metros. Para efectos de esta



investigación se utilizó una profundidad de 1,20 metros como valor intermedio dentro del rango sugerido por los autores con experimentos desarrollados.

La mayor parte de los suelos con buena capacidad de infiltración pueden remover bacterias, virus, nitrógeno y fósforo. Los parámetros de análisis en este estudio son potencial de hidrógeno, DBO<sub>5</sub>, DQO, nitrógeno y fósforo total, color, sólidos suspendidos totales y coliformes fecales.

Cabe destacar que en esta investigación se enfoca en evaluar la eficiencia del suelo en la remoción de contaminantes del agua residual por medio de zanjas de infiltración convencionales, que utilizan como medio de soporte piedrín y suelo. De manera conjunta se trabajó una investigación paralela, por parte del Ing. Andy Alonzo Vásquez, con la variante que utilizó como medio de soporte material Pet y suelo. En ambos estudios se comparten los resultados del laboratorio de mecánica de suelos, análisis químico del suelo, resultado de los análisis de entrada al sistema, salida de la fosa séptica, metales pesados, aceites y grasas.

## ANTECEDENTES

Existen diferentes tecnologías convencionales para el tratamiento de las aguas residuales domésticas; sin embargo, para viviendas aisladas y comunidades de bajos recursos económicos la mayoría de estas resulta difícil implementarlas, operarlas y mantenerlas. De aquí la importancia de buscar otras alternativas de bajo costo y poco mantenimiento como los tratamientos descentralizados que simulan los procesos naturales y en el sitio.

Las alternativas más seguras y menos costosas de manejar las aguas residuales domésticas es tratarlas lo más cerca posible del lugar donde se generan y permitir que se infiltren en el suelo después de un tratamiento primario, favoreciendo así la recarga de acuíferos.

En este tipo de sistemas la mejora en la calidad sanitaria del agua ocurre debido a diversos mecanismos biológicos, físicos y químicos: tales como: la filtración, degradación biológica, adsorción física, intercambio iónico y precipitación.

El uso del suelo como tratamiento de las aguas residuales ha sido objeto de múltiples investigaciones de las que han surgido una variedad de tecnologías conocidas como tecnologías adecuadas, que se han ido modificando y mejorando desde hace muchos años.

Esta técnica se ha utilizado en los Estados Unidos y Francia conocido como sistemas de percolación a través de dunas, los sistemas tipo SAT (*soil aquifer treatment*) en Chile, Arizona y otros lugares de Estados Unidos, los

sistemas MAR (*managed aquifer recharge*) en Australia, Infiltración-Percolación en Francia e Israel, zanjas de lixiviación capilar en Japón, campos o zanjas de infiltración en Alemania, España y Centroamérica. Por mencionar algunos de las tecnologías de profundidad que emplean suelos y acuíferos.

Guatemala, Honduras y Nicaragua carecen de estudios sobre el uso del suelo como tratamiento del agua residual, generalmente se utilizan pozos de absorción y zanjas de infiltración con información generada de otros países como los mencionados en el párrafo anterior. Es necesario realizar investigaciones en estos países para formar una base científica sobre el tema y así crear normativas acordes a la región centroamericana.

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En las últimas décadas la cobertura de agua potable y de alcantarillado ha aumentado principalmente en las zonas urbanas, no siendo el caso del tratamiento de las aguas residuales. Solo en el área Centroamericana y en la República Dominicana se estima que aproximadamente el 68,7 % (712,48 millones de metros cúbicos por año) de las aguas residuales generadas son descargadas a un cuerpo receptor sin ningún tratamiento. (FOCARD-APS, 2013).

Con frecuencia en aquellas comunidades o zonas urbanas que no cuentan con servicio de alcantarillado sanitario dan al agua el mínimo tratamiento por medio de letrinas o tanques sépticos, los cuales si no se utilizan adecuadamente o no se instalan en los suelos apropiados se convierten en focos de contaminación que ponen en riesgo las aguas subterráneas y superficiales. En muchos casos descargan sus aguas residuales crudas directamente a las calles, a pequeñas parcelas de tierra o cuerpos de agua generando malos olores y poniendo en grave riesgo la salud pública.

Esta situación tiene que ver con el pensamiento común de las personas de considerar las aguas residuales como un problema y nunca son vistas como un recurso potencial.

Dentro de las alternativas están aquellas tecnologías que utilizan la absorción en el suelo del agua residual previamente tratada. De ser implementados debidamente serian una importante fuente de recarga de acuíferos, que posteriormente podrían ser utilizados para suplir las necesidades

de agua potable o riego en regiones donde el vital líquido es cada vez más escaso.

De aquí se deriva la pregunta de investigación ¿Es posible implementar en Guatemala las experiencias e investigaciones de otros países en la utilización del suelo como tratamiento secundario de aguas residuales domésticas, con el cual se obtengan buenos porcentajes de remoción de contaminantes y que además la calidad del efluente cumpla con las normativas de descarga vigentes en Guatemala, Honduras y Nicaragua?

## **HIPÓTESIS**

El suelo usado como tratamiento secundario es capaz de remover en un 80 % los principales contaminantes del agua residual doméstica y el efluente cumple con los límites máximos permisibles de potencial de hidrógeno, color, sólidos suspendidos, DBO<sub>5</sub>, DQO, nitrógeno, fósforo y coliformes fecales, según las normativas de aguas residuales y descargas de Guatemala, Honduras y Nicaragua.



## JUSTIFICACIÓN

En Centroamérica las aguas residuales en su mayoría son vertidas a los cuerpos receptores sin el adecuado tratamiento ocasionando la contaminación de los cuerpos de agua superficiales y subterráneos, originando focos de enfermedades en la población.

El sistema de tratamiento de aguas residuales usando suelo es un proceso controlado que simula la infiltración natural de las aguas en el suelo, reduciendo los contaminantes remanentes por fenómenos físicos, químicos y biológicos; entre ellos se mencionan, filtración, adsorción, intercambio iónico, precipitación química, oxidación y reducción química y biológica, conversión y degradación biológica de los contaminantes (Metcalf & Eddy, 1991).

La eficiencia del tratamiento de estos sistemas puede ser excelente, sin embargo, la remoción de nitrógeno es limitada debido a las altas tasas de infiltración y a la ausencia de vegetación (Reed, 1990). Es por esto que el nitrógeno es considerado un factor limitante o complicado de remoción del sistema.

Por lo tanto, la utilización del suelo como tratamiento secundario se justifica porque este sistema elimina con alta eficiencia la mayoría de contaminantes de las aguas residuales.



Esta investigación es de gran importancia por la carencia de estudios similares en la región. Este sería de gran impacto como alternativa de tratamiento de fácil implementación, de bajo costo y principalmente efectiva en la reducción de contaminantes.

## LIMITANTES

No se trabajó con el suelo en condiciones naturales, porque este fue removido para instalar la unidad de toma de muestras, por consiguiente sus propiedades físicas e hidráulicas se modificaron.

Solamente se estudió un tipo de suelo, a una profundidad de 1,20 m después del fondo de la zanja de infiltración, por tanto los resultados del estudio se limitan a estas condiciones.

No se calcularon caudales a la salida del sistema, por ello no se determinó la carga orgánica contaminante.



# **1. MARCO TEÓRICO**

## **1.1. Aguas residuales**

Según Romero Rojas (2010), “Las aguas residuales (AR) son las aguas usadas y los sólidos que por uno u otro medio se introducen en los sumideros y son transportadas mediante el sistema de alcantarillado. La generación de aguas residuales es una consecuencia de las actividades diarias humanas, estas actividades modifican las características y la calidad del agua, contaminándolas y poniendo en riesgo la salud pública y al medio ambiente.”

### **1.1.1. Aguas residuales domésticas**

Los caudales y características de las aguas residuales en comunidades difieren notablemente de los sistemas de grandes dimensiones. Por lo tanto, para el diseño de instalaciones que sirvan a residencias individuales, urbanizaciones y pequeñas comunidades, es fundamental conocer los caudales y características previsibles de las aguas residuales a tratar.

Las aguas residuales de las casas, provenientes de áreas residenciales, son definidas como aguas residuales domésticas; sus características son relativamente constantes. Las aguas residuales domésticas de una residencia son aproximadamente las mismas de cualquier otra residencia del área de una región o de un país. (McKinney, 1962).

### 1.1.1.1. Composición de las aguas residuales domésticas

Según Metcalf & Eddy (1997), la composición de las aguas residuales se refiere a las cantidades de constituyentes físicos, químicos y biológicos presentes en este tipo de aguas. Las aguas residuales se determinan por su composición física, química y biológica, pero existen parámetros preestablecidos para fijar los principales componentes que ayudan a la caracterización de las aguas, tal como se muestra en la tabla I.

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

Contaminante	Unidades	Concentración		
		Débil	Media	Alta
Sólidos totales	mg/l	350	720	1 200
Sólidos sedimentables	mg/l	5	10	20
DBO <sub>5</sub>	mg/l	110	220	400
DQO	mg/l	250	500	1 000
Nitrógeno total	mg/l	20	40	85
Fósforo total	mg/l	4	8	15
Coliformes totales	NMP/100 cm <sup>3</sup>	106 - 107	107 - 108	107 - 109

Fuente: Metcalf & Eddy (1997).

En esta investigación se realizó una recopilación de información disponible en 29 tesis de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS), desarrolladas en la planta experimental de tratamiento de aguas residuales “Ing. Arturo Pazos Sosa” comprendidas entre 1974 al 2013. Esto permitió conocer la composición promedio de un agua residual doméstica en la ciudad de Guatemala; a continuación se muestran los resultados.

Tabla II. **Composición típica del agua residual doméstica en ciudad Guatemala**

Parámetro	Unidad	Concentración		
		Mínimo	Media	Máximo
DBO <sub>5</sub>	mg/l	89	248	600
DQO	mg/l	123	412	859
Color Aparente	UC	21	400	1900
pH	U Ph	6,7	7,5	9.1
Nitrógeno total	mg/l	12	40	63
Fósforo total	mg/l	3	12	30
Sólidos Suspendidos	mg/l	28,00	253	986

Fuente: elaboración propia.

### 1.2. Situación actual de saneamiento en Centroamérica

En Centroamérica y República Dominicana un 92,07 % de sus habitantes tienen acceso a servicio de alcantarillado y evacuación sanitaria de excretas. Sin embargo, un 7,93 % de las personas carecen de un sistema básico de saneamiento. Al analizar el volumen estimado de las aguas residuales producidas en la región por los sistemas de alcantarillado, contra la capacidad de la región de dar tratamiento; se concluye que aproximadamente el 68,7 % de las aguas residuales son descargadas a un cuerpo receptor sin ningún tratamiento (FOCARD-APS, 2013).

### 1.3. Marco legislativo de las descargas de aguas residuales vigente en Guatemala

En el Acuerdo Gubernativo 236-2006 se establecen los límites permisibles de los parámetros de medición de las aguas residuales, la cual propicia el

mejoramiento progresivo de la calidad de las aguas vertidas a los cuerpos receptores, siendo estos:

Tabla III. **Límites máximos permisibles para entes generadores nuevos**

Parámetros	Unidad	Límites máximos permisibles
Temperatura	°C	TCR +/- 7
Grasas y aceites	mg/l	10
Materia flotante	A/P	Ausente
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/l	100
Sólidos suspendidos	mg/l	100
Nitrógeno total	mg/l	20
Fósforo total	mg/l	10
Potencial de hidrógeno	U. pH	6 a 9
Coliformes fecales	Nmp 100/ml	$< 1 \times 10^4$
Arsénico	mg/l	0,1
Cadmio	mg/l	0,1
Cianuro total	mg/l	1
Cobre	mg/l	3
Cromo hexavalente	mg/l	0,1
Mercurio	mg/l	0,01
Níquel	mg/l	2
Plomo	mg/l	0,4
Zinc	mg/l	10
Color	U	500

Fuente: Acuerdo Gubernativo 236-2006 (reforma 129, mayo 2015).

Se tomaron los parámetros del Acuerdo Gubernativo 236-2006 para entes generadores nuevos, como base para la comparación con las normas de descarga en cuerpos receptores de Honduras y Nicaragua.

Tabla IV. **Parámetros de comparación en las normas de Honduras y Nicaragua**

Parámetros	Unidad	Honduras Decreto No. 58 1997	Nicaragua 2008
Temperatura	°C	<25	
Grasas y aceites	mg/l	10	10
Materia flotante	A/P	Ausente	Ausente
Sólidos suspendidos	mg/l	100	75
Nitrógeno total	mg/l	30	20
Fósforo total	mg/l	5	2
Potencial de hidrógeno	U. pH	6 a 9	6 a 9
DBO <sub>5</sub>	mg/l	50	75
DQO	mg/l	200	150
Coliformes fecales	Nmp 100/ml	5 x 10 <sup>3</sup>	1 x 10 <sup>3</sup>
Arsénico	mg/l	0,1	1
Cadmio	mg/l	0,05	1
Cianuro total	mg/l	0,5	2
Cobre	mg/l	0,5	3
Cromo hexavalente	mg/l	0,1	0,5
Mercurio	mg/l	0,01	0,02
Níquel	mg/l	2	3
Plomo	mg/l	0,5	1
Zinc	mg/l	2	3
Color	U	200	

Fuente: elaboración propia.

#### 1.4. **Uso del suelo como sistema de tratamiento**

El suelo posee una alta capacidad para retener, transformar y reciclar grandes cantidades de contaminantes de las aguas residuales municipales. A medida que esta se filtra a través del suelo, los procesos fisicoquímicos se presentan para proporcionar un alto nivel de tratamiento consistente y confiable. Cuando este sistema se aplica y opera correctamente estos sistemas basados



en el uso del suelo como tratamiento, tienen costos relativamente bajos de capital.

El suelo está constituido por materiales muy complejos compuestos por partículas minerales y orgánicas de composición, tamaño, forma y distribución muy diferente. La existencia de poros o vacíos entre partículas permite la transmisión y retención de agua y aire (Romero, 2010).

El suelo tiene la capacidad de tratar materia orgánica e inorgánica, al igual que organismos patógenos, pues actúa como un filtro, como intercambiador iónico, como adsorbedor y como superficie sobre la cual pueden ocurrir muchos procesos químicos y bioquímicos. Cuando el suelo no está saturado puede retener físicamente materia particulada del agua residual. La mayor parte de los suelos y de la materia orgánica son de carga negativa, por lo que pueden atraer y retener los componentes catiónicos; por ello, la capacidad de intercambio catiónico es una buena medida de la habilidad del suelo para retener compuestos del agua residual.

Este sistema puede incluir el uso de tanques sépticos y sistemas de infiltración superficial diseñados para hogares individuales o en grupos de estos. La selección de un diseño depende de la naturaleza de las aguas residuales a tratar, las características del sitio y los requisitos reglamentarios. Excepto por el flujo superficial, estos diseños son sistemas de "descarga cero", donde la disposición final de las aguas residuales tratadas es el agua subterránea, en lugar de un punto de descarga a las aguas superficiales.

Por lo tanto, para proteger la calidad del agua subterránea, el sitio de aplicación de la tierra debe ser cuidadosamente seleccionado y el sistema diseñado adaptado adecuadamente.

Según Metcalf & Eddy (1997), la evaluación del sitio es el factor más crítico en el desempeño exitoso de los sistemas que usan el suelo como tratamiento de las aguas residuales. Se debe proporcionar suficiente información para predecir la capacidad del suelo para aceptar y tratar la carga de las aguas residuales proyectadas, evaluar el suelo y cómo responderán las aguas subterráneas a dicha carga. Es necesario darle la importancia requerida a la evaluación del sitio para garantizar la eficiencia del uso del sistema.

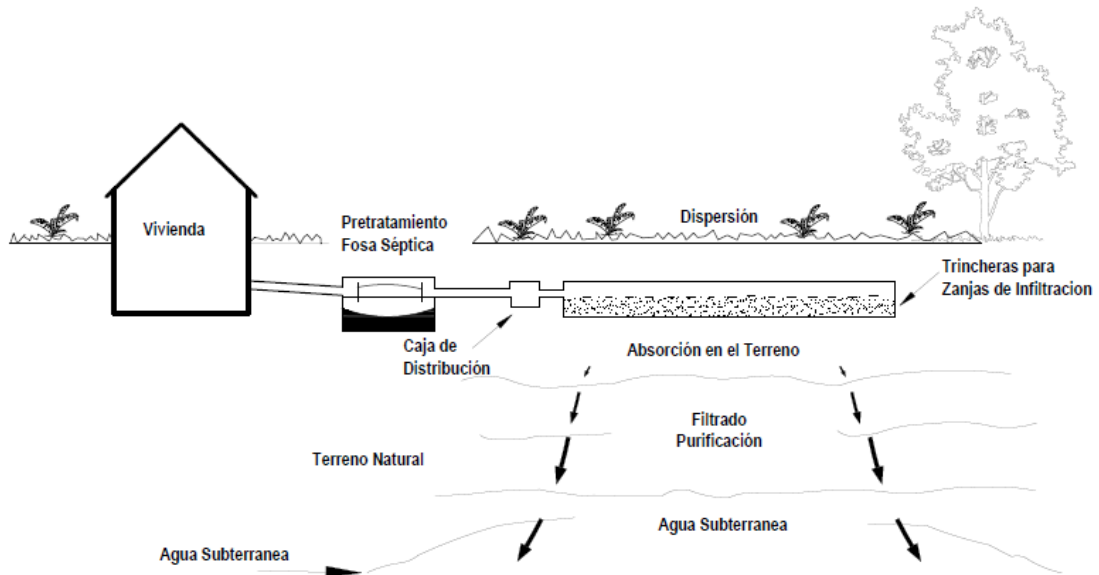
Ubicado el terreno apropiado, el proceso de evaluación comprende generalmente:

- Evaluación preliminar del sitio.
  - Características geográficas tales como barrancos, cauces naturales, humedales naturales.
  - Pendiente de la superficie del terreno
  - Potencial de inundación
  - Estructuras existentes
  - Paisaje
  - Suelo (textura, estructura, color, estratificación, profundidad de la zona no saturada).
  
- Evaluación detallada del sitio.
  - Identificación de las características del terreno: (topografía del terreno, textura del suelo, estructura, color, suelos estacionalmente saturados, localización de estratos impermeables, presencia de arcillas expansivas, densidad potencial de inundación).
  - Ensayo de percolación

- Caracterización hidrogeológica: la información hidrogeológica más importante incluye la profundidad del nivel freático, el gradiente hidráulico y la dirección del flujo subterráneo.
  
- Capacidad de asimilación hidráulica del sitio
- Selección del sistema
- Criterios de diseños para el sistema de infiltración
- Dimensionamiento
- Criterios de diseño para las instalaciones físicas

En general, para aprovechar eficazmente la capacidad de asimilación del terreno, los sistemas de infiltración se deben orientar perpendicularmente a la dirección de flujo del agua subterránea (Metcalf & Eddy, 1997).

Figura 1. **Sección de un sistema convencional de tratamiento en sitio**



Fuente: Adaptado de: Onsite Wastewater Treatment Systems Manual. EPA/625/R-00/008, february 2002.

#### 1.4.1. **Características del suelo**

Como se mencionó anteriormente las características físicas e hidráulicas del suelo son importantes para seleccionar el sitio de tratamiento, para efectos de este estudio, también se tomaron en cuenta las características químicas que sirvieron para conocer la cantidad de minerales, nutrientes y materia orgánica en el suelo antes del tratamiento y así averiguar si este podría aportar alguno de dichos elementos al agua a tratar.

## **1.4.2. Características físicas**

A continuación se describen las propiedades físicas del suelo de interés para este tipo de tratamientos.

### **1.4.2.1. Textura**

La textura es importante porque determina dos propiedades fundamentales del suelo como depurador: funcionamiento como filtro mecánico y sus propiedades hidráulicas. La clase textural en la que puede ser incluido un suelo se define con base en el porcentaje relativo de los tres tamaños de partícula principales: arena, limo y arcilla. (L. Moreno, 2003).

La textura del suelo tiene relación con las propiedades de aireación, permeabilidad y capacidad de retención de agua. Una clasificación más detallada se puede obtener por medio del diagrama presentado en la figura 2.

Según *La guía de caracterización edáfica para actividades de regeneración de aguas residuales en usos ambientales*, los suelos se clasifican en tres grandes grupos de acuerdo a la textura:

- Textura gruesa: arenoso, areno-francoso y franco-arenoso.
- Textura media: franco, franco-arcillo-arenoso, franco-limoso, limoso, arcillo-arenoso.
- Textura fina: franco arcilloso, franco-arcillo-limoso, arcillo-limoso, arcilloso.

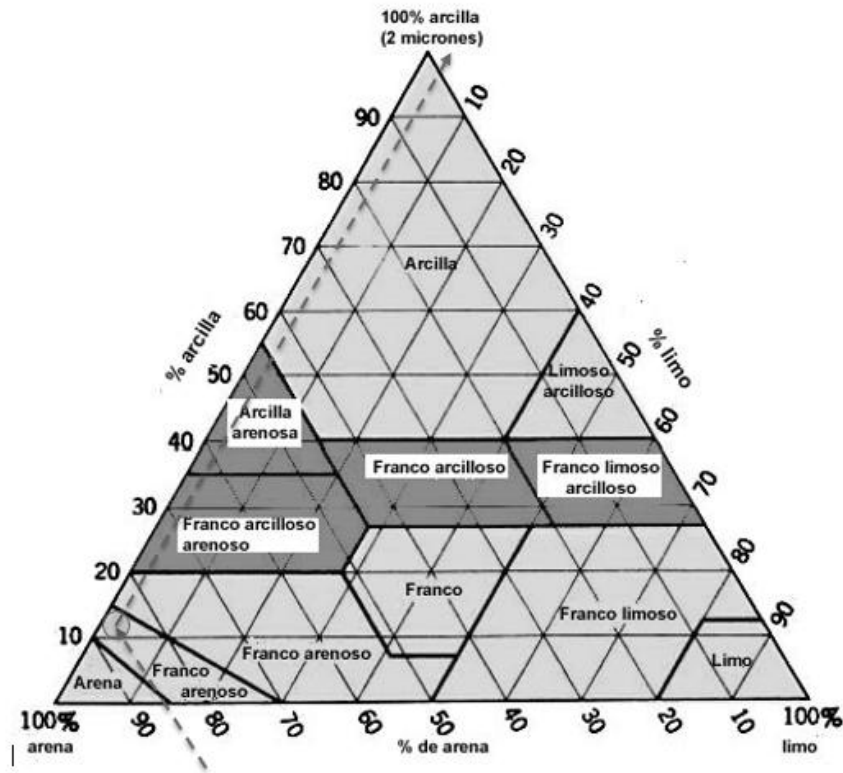
Con esta clasificación, se puede estimar ciertas propiedades físicas del suelo, como se muestra en la tabla V:

Tabla V. **Textura y comportamiento probable del suelo**

Propiedad	Textura		
	Gruesa	Media	Fina
Permeabilidad	Alta	Media	Baja
Superficie específica	Baja	Media	Alta
Compacidad	Baja	Media	Alta
Capacidad de cambio	Baja	Media	Alta
Dificultad de laboreo	Intermedia	Fácil	Difícil
Capacidad de retención de agua	Baja	Media-alta	Alta
Energía de retención de agua	Baja	Media	Alta

Fuente: Maraños et al. (1998).

Figura 2. **Diagrama triangular de clases texturales**



Fuente: USDA (U.S. Department of Agriculture).

#### **1.4.2.2. Estructura**

La estructura del suelo hace referencia al agrupamiento de las partículas primarias de arena, limo y arcilla en partículas compuestas, llamadas agregados o pedios, cuyas propiedades difieren de las que presenta una masa igual de partículas primarias no agregadas (Torrent, 1978).

Según el *Manual de sistemas de tratamiento en Japón, 2013* la estructura agregada de suelo es adecuada para la vegetación, porque los espacios entre las partículas permiten que el agua y aire permanezca, ayudando a la retención del agua. El suelo con estructura agregada contribuye a las actividades microbianas, especialmente de los hongos, los cuales producen hifas y de las bacterias que forman colonias, degradando la materia orgánica.

Para establecer el tipo de estructura se toma en cuenta el contenido y el tamaño de las partículas, debido a que si el suelo posee cantidades de arcilla, puede alterar su estructura conforme el agua residual atraviesa el estrato de tratamiento.

#### **1.4.2.3. Porosidad**

Se define como el espacio de suelo que no está ocupado por sólidos y se expresa en porcentajes. Se define también como la porción de suelo que está ocupada por aire o agua. En suelos secos los poros estarán ocupados por aire y en suelos inundados, por agua. Los factores que la determinan son principalmente la textura, estructura y la cantidad de materia orgánica (Donoso, 1992).

La porosidad junto al pH se relaciona con la capacidad del suelo de remover bacterias.

Según la cita tomada del artículo científico llamado “Tratamiento de aguas residuales mediante sistemas suelo-acuífero, aspectos microbiológicos”, la granulometría del suelo influye en la capacidad de retención de las bacterias; a mayor granulometría menor porosidad, y a su vez, menor capacidad de retención de bacterias (Gerba et al., 1991, Bitton et al. 1992).

#### **1.4.2.4. Color**

Según L. Moreno (2003, p. 50), “Los suelos con colores rojizos, amarillos y marrones amarillentos indican la existencia de buenas condiciones de oxidación y aireación y ausencia de saturación. Por el contrario los suelos que se encuentran en zonas umbrías suelen mostrar colores grises o azulados, si están poco oxigenados, cuando se encuentran en condiciones permanentes de saturación.”

#### **1.4.2.5. Profundidad**

Según L. Moreno (2003, p. 49), “la profundidad del suelo (de la zona no saturada) es muy importante, ya que condiciona el tiempo de contacto entre el agua residual y las partículas responsables de la eliminación de los componentes no deseables”. La profundidad del sistema dependerá también de la textura, por ejemplo texturas gruesas tendrán menor rendimiento debido a la rápida percolación del agua.

De acuerdo a Metcalf & Eddy, la profundidad puede estar comprendida entre 0,6 y 1,2 m. La Agencia de Protección Ambiental (EPA, 2002) propone una profundidad de 1,5 metros. Wagner y Lanoix en su publicación *Evacuación de excretas en las zonas rurales y pequeñas comunidades* (1960) establece que en suelos homogéneos la posibilidad que se contaminen las aguas



subterráneas es prácticamente nula si el nivel freático se encuentra a una distancia mayor a 1,5 metros.

### **1.4.3. Características hidráulicas**

Según Metcalf & Eddy (1997), la capacidad de asimilación de un terreno se define como la capacidad del terreno para aceptar agua. Esto se produce normalmente a través de tres zonas en el suelo: la zona de infiltración, la vadosa (zona no saturada) y la zona saturada.

Las aguas residuales entran en el suelo en la superficie de la zona de infiltración, una zona biológicamente activa, cuyo espesor variará con el tipo de sistema de aplicación de tierra utilizada. Actúa como filtro físico, química y biológica para eliminar los sólidos orgánicos y suspendidos de las aguas residuales.

Por debajo de la zona de la infiltración, el agua entra en la zona vadosa. En esta zona, el agua tiene un bajo potencial de presión negativa o potencial de la matriz; en consecuencia, el flujo se produce solo en los poros más pequeños, mientras que los más grandes permanecen llenos de gas. El transporte de agua se produce principalmente verticalmente sobre superficies de las partículas del suelo y a través de los poros capilares debido a la potencial gravitatoria, pero el potencial de la matriz causa algunos de flujo lateral dispersivo.

Por debajo de la zona no saturada, el agua entra en la zona saturada o capa freática. Todos los poros del suelo se llenan en esta área, y el flujo se produce en sentido vertical y horizontalmente en respuesta a los potenciales de presión gravitacional e hidrostáticos. Es en esta zona que las aguas residuales, aplicado en última instancia, abandonan el sitio.

El agua puede percolar en dirección descendente o transportar lateralmente lejos del terreno, la pueden consumir las plantas, o evapotranspirar conforme se introduce en el ciclo natural del agua. La capacidad de asimilación de un terreno depende de la permeabilidad del estrato subyacente, de la situación y pendiente del nivel freático, de la pendiente de la superficie del terreno y de las características hidráulicas del lugar. En general, la permeabilidad de un suelo está influenciada por el tamaño de las partículas, la relación de vacíos, la composición, el grado de saturación y la temperatura.

Aunque existen correlaciones entre las características hidráulicas del suelo y su textura como las mostradas en la tabla V, la actitud de un suelo para su utilización como campo de infiltración debe de determinarse mediante un ensayo en sitio. (Jairo Romero, 2010).

Tabla VI. **Características hidráulicas del suelo**

Textura	Permeabilidad (cm/hr)	Percolación (min/cm)
Arena	>15	<4
Marga arenosa Marga limosa Porosa Marga Arcillosa Limosa	0,5-15	4-18
Arcillas, margo limosa Marga Arcillosa limosa	<0,5	>18

Fuente: Jairo Romero, 2010.

#### **1.4.3.1. Ensayo de percolación**

Según Rosales Escalante (2003), este ensayo se realiza con el propósito de determinar la aceptabilidad o rechazo del sitio escogido como la zona donde se tendrá colocado el subsistema de drenaje, que complementa el proceso de tratamiento de aguas que se realiza en forma individual, por medio de un sistema de tratamiento previo (tanque séptico, laguna, entre otros). Con los resultados de esta prueba es posible saber si el agua que haya pasado por las etapas de tratamiento será absorbida o no por el terreno.

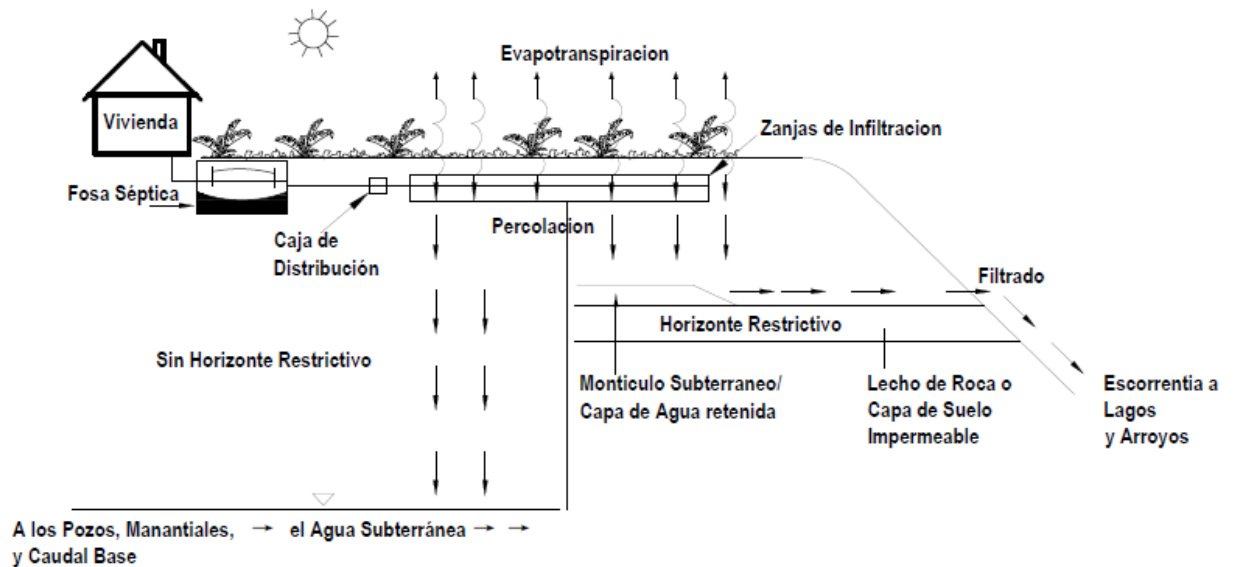
En el ensayo de percolación se perforan agujeros de ensayo de diámetro variable en el emplazamiento general en el que se desea ubicar el sistema de infiltración, y se realizan mediciones o lecturas directas en el sitio. Es una prueba con la que se pretende conocer las velocidades en que el agua se infiltra en ese terreno. El procedimiento por seguir mide cambios en la profundidad del nivel del agua que se coloca en el agujero de prueba durante el tiempo especificado para el trabajo que interesa. Con esos valores o datos de campo, se procede a realizar los cálculos matemáticos requeridos, utilizando también en ello referencias técnicas en las que se encuentran caracterizaciones previas efectuadas a diferentes tipos de suelo, de manera tal que con el trabajo de cálculo se inducen y concluyen las características del sitio en estudio.

#### **1.4.3.2. Carga hidráulica**

Esta es la cantidad de efluente aplicada por pie cuadrado de superficie de la zanja o el campo, un factor importante en el diseño del tanque séptico. Debido a que el agua se filtra a través de suelos arcillosos de manera más lenta que a través de los arenosos o limosos, la tasa de carga hidráulica es menor

para los suelos arcillosos que para los limosos, y menor para estos que para los arenosos (EPA, 2000).

Figura 3. **Destino del agua descargada a los sistemas de tratamiento en sitio**



Fuente: Adaptado de: Onsite Wastewater Treatment Systems Manual. EPA/625/R-00/008, June 2003.

#### 1.4.4. Características químicas

Las propiedades químicas de los suelos son muy importantes en el proceso de tratamiento del agua residual, así como su capacidad de retener algunos elementos. También es importante conocer su composición inicial para determinar los cambios que puedan ocurrir durante la operación.

El análisis químico establece la cantidad de minerales existentes en el suelo, los parámetros que se analizaron fueron pH, nitrógeno, fósforo, cantidad de materia orgánica, hierro y manganeso.

#### **1.4.4.1. Potencial de hidrógeno**

Según la *Guía de caracterización edáfica para actividad de regeneración de aguas residuales en uso ambientales*. Las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo están influenciadas por la acidez o la basicidad del medio. El pH se refiere a la concentración de iones hidrógeno activos ( $H^+$ ) que se da en la interface líquida del suelo, por la interacción de los componentes sólidos y líquidos. Así, la llamada reacción del suelo se caracteriza mediante el pH del sistema suelo-agua. El pH de un suelo está relacionado con otras propiedades de este como son la capacidad de cambio y la disponibilidad de nutrientes. El valor del pH en suelos oscila entre 4 y 9.

Según Maier et al. (2000), el transporte de los virus a través de un medio poroso depende de su punto isoeléctrico el cual es influenciado por el pH del suelo.

#### **1.5. Criterios de diseño para el sistema de infiltración- percolación**

Según Metcalf & Eddy (1997), la capacidad de un sistema de tratamiento para que este funcione correctamente durante un periodo largo de tiempo varía con:

- La calidad del efluente
- El caudal
- El gradiente hidráulico

- El método de aplicación
- La cantidad de oxígeno existente en el interior del sistema y el terreno (condiciones anaerobias, facultativas, aerobias)
- La temperatura

La elección de los criterios de diseño se realiza basándose en los resultados de los ensayos de percolación, en estudios del perfil del terreno, y mediante el uso del criterio más conservador.

### 1.6. Sistemas de tratamiento de aguas residuales que utilizan el suelo

Existen diferentes métodos que utilizan el suelo como tratamiento de aguas residuales, dentro de ellos se tiene la infiltración sobre el suelo y la infiltración al subsuelo, en la tabla VI se resumen los métodos básicos utilizados.

En este tipo de tratamientos es necesario realizar una sedimentación primaria para eliminar los sólidos que pueden obstruir los sistemas de distribución o colmatación prematura del suelo.

Tabla VII. **Tratamientos que utilizan suelo como tratamiento**

Método de aplicación	Tratamiento
Sobre el suelo	Infiltración lenta o sistemas de baja carga Infiltración rápida Flujo superficial o riego superficial
Infiltración al subsuelo	Zanjas de infiltración Pozos de infiltración Lechos de infiltración Montículo

Fuente: elaboración propia.

### **1.6.1. Tratamientos sobre el suelo**

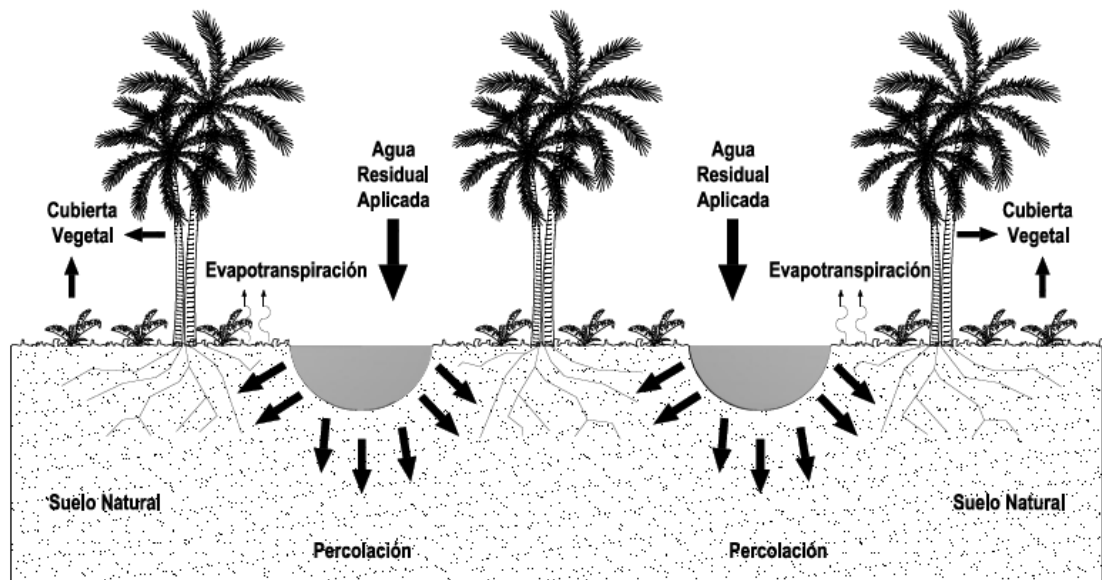
Según L. Moreno (2003), los sistemas enmarcados dentro del término “infiltración directa sobre el terreno” son lo que la literatura anglosajona llama tratamiento suelo-acuífero (soil aquifer treatment (SAT)); ya que el agua infiltrada sigue interaccionando con la matriz sólida del acuífero y el proceso de depuración no termina realmente hasta que es captada, aflora en un manantial o en el lecho de un río.

#### **1.6.1.1. Infiltración lenta o sistemas de baja carga**

Contempla la aplicación del agua residual sobre un terreno con vegetación para conseguir el grado necesario de tratamiento del agua residual como el crecimiento de la vegetación existente. El agua aplicada puede consumirse por evapotranspiración o percolar horizontal y verticalmente en el terreno. Toda el agua que puede fluir en superficie se recoge y vuelve a aplicarse al sistema. El tratamiento se produce conforme el agua aplicada percola en el terreno. En la mayoría de los casos, el agua percolada alcanzará las aguas subterráneas, pero, en algunos casos puede ser interceptada por aguas naturales superficiales o recuperada mediante sistemas de drenaje o pozos.

El caudal aplicado por unidad de superficie del terreno (carga hidráulica) y la elección y control del tipo del tipo de vegetación dependen de los objetivos del sistema y de las condiciones particulares del emplazamiento. (Metcalf y Eddy, 1996).

Figura 4. Tratamiento de baja carga o infiltración lenta



Fuente: Adaptado de: Tecnología de tratamiento de aguas residuales domésticas por métodos naturales, adaptado de Metcalf y Eddy, 1995.

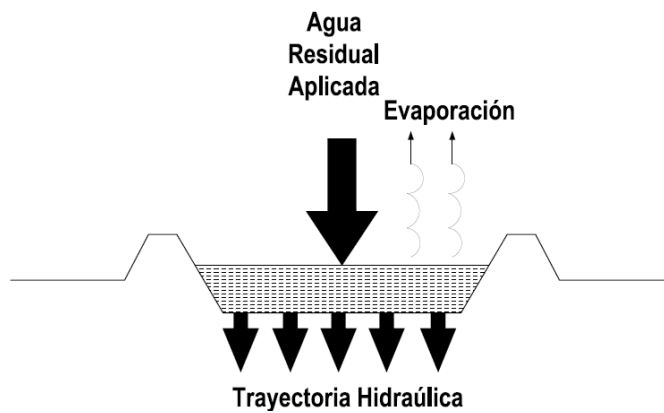
### 1.6.1.2. Infiltración rápida

Según L. Moreno (2003, p. 16), “se define como la aplicación controlada de agua residual sobre balsas superficiales construidas en suelos de permeabilidad media a alta”. Generalmente, la aplicación se realiza de forma cíclica, para permitir la regeneración aerobia de la zona de infiltración y mantener la máxima capacidad de tratamiento. El agua residual requiere, al menos, tratamiento primario previo a la aplicación, siendo las cargas hidráulicas anuales normales de 6 a 100 m<sup>3</sup>/mz. No es necesario que las balsas de infiltración estén cultivadas, pero exigen mantenimiento periódico de la superficie. La evolución del efluente en el suelo y subsuelo es similar a la de los sistemas de infiltración lenta, no obstante por de tratarse de caudales muy

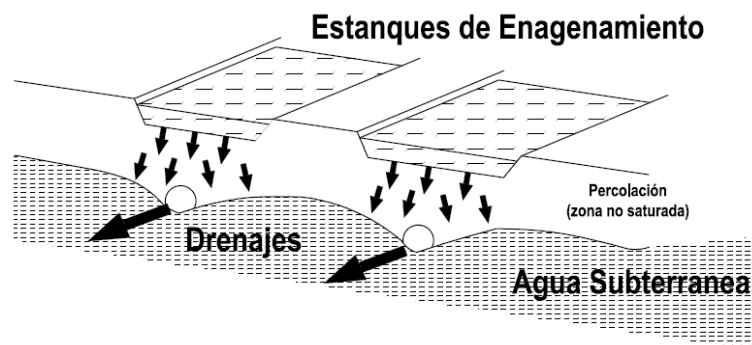


superiores, el suelo y formaciones infrayacentes han de tener mejores características hidráulicas.

Figura 5. **Infiltración rápida**



a) Trayectoria hidráulica



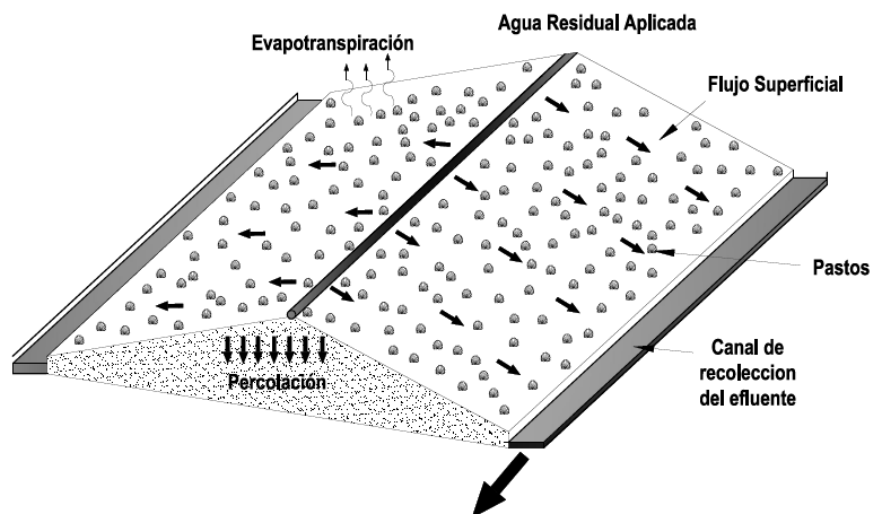
b) Recuperación de agua tratada mediante drenajes

Fuente: Adaptado de: tratamiento de Aguas Residuales, Teoría y Principios de Diseño, Jairo Romero, 2010.

### 1.6.1.3. Flujo superficial o riego superficial

En los sistemas de riego superficial, el agua residual se distribuye en la zona superior de terrenos vegetados con pendiente cuidadosamente seleccionados, de modo que pueda fluir en superficie hasta unas zanjas de recogida de la escorrentía superficial situadas en el terreno de la pendiente. Los sistemas de riego superficial se suelen emplear en emplazamientos con suelos o estratos subsuperficiales relativamente impermeables, aunque el proceso ha adaptado a un amplio rango de permeabilidades ya que el terreno tiene tendencia a impermeabilizarse con el paso del tiempo. Por lo tanto, la percolación en el terreno es una vía hidráulica menor, y la mayor parte del agua aplicada se pierde por evapotranspiración en un porcentaje variable que depende del clima de la región y de la estación del año. Los sistemas se explotan alterando fases de aplicación y de secado, dependiendo de la duración de cada fase de los objetivos de tratamiento. (Metcalf y Eddy, 1996).

Figura 6. Flujo superficial o riego superficial



Fuente: Adaptado de: tecnología de tratamiento de aguas residuales domésticas por métodos naturales, adaptado de Metcalf y Eddy, 1995.

### **1.6.2. Sistemas de tratamiento por infiltración al subsuelo**

Los sistemas de infiltración subsuperficial de aguas residuales (SISAR, *subsurface wastewater infiltration systems*) son sistemas de aplicación al subsuelo comúnmente usados en viviendas individuales, establecimientos comerciales, lotes de casas móviles y terrenos para acampar en áreas que no cuentan con servicio de alcantarillado (EPA, 1992).

Los diseños se diferencian principalmente en el punto en el cual se ubica la superficie de filtro. La superficie puede estar expuesta debajo del perfil natural del suelo o sobre la superficie del suelo natural. La elevación de la superficie del filtro es importante para proporcionar una profundidad adecuada de suelo no saturado entre la superficie de filtro y la condición límite (por ejemplo, el nivel del lecho de roca o del agua subterránea) para el tratamiento del agua residual. Los sistemas de infiltración subsuperficial pueden lograr un alto nivel de tratamiento para la mayoría de los contaminantes del agua residual doméstica. En terrenos de condiciones apropiadas, esos sistemas tienen la capacidad de remover casi el total de los compuestos orgánicos biodegradables, los sólidos en suspensión, el fósforo, los metales pesados, y los virus e indicadores fecales. (EPA, 2000).

El destino final de los compuestos orgánicos y metales tóxicos no está bien documentado, pero una cantidad limitada de estudios sugiere que muchos de estos componentes permanecen dentro o cerca del sistema. El nitrógeno es el parámetro más significativo del agua residual que no es removido fácilmente en el suelo. Concentraciones de nitrato que sobrepasan el estándar establecido para el agua potable de 10 mg N/L son encontradas comúnmente en el agua subterránea subyacente al SISAR (EPA, 1992); sin embargo, estas concentraciones disminuyen con la distancia aguas abajo del SISAR.

En general se diseñan cuatro tipos de campo de infiltración o sistemas de absorción subsuperficial: zanjas de infiltración, lechos de infiltración, pozos de infiltración y montículos.

#### **1.6.2.1. Zanjas de infiltración**

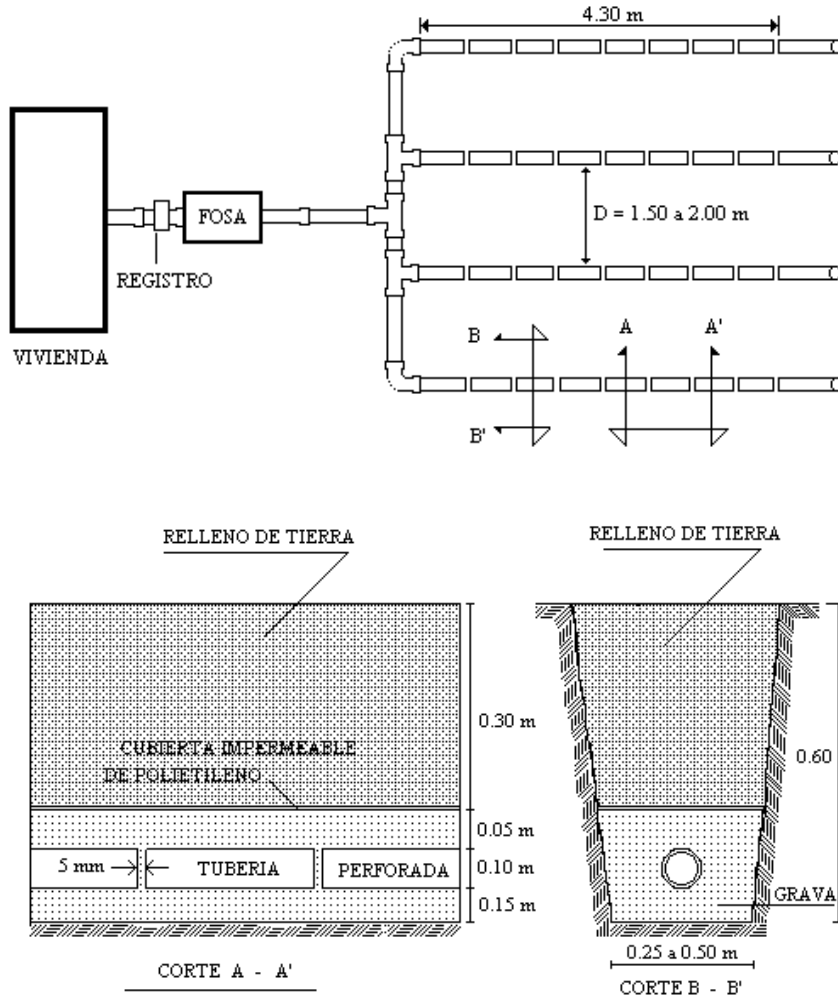
Las zanjas de infiltración, llamadas también campos de infiltración o campos de absorción, son un elemento opcional utilizado para descargar el efluente proveniente del tanque séptico u otro sistema de tratamiento previo (Crites r., Tchobanoglous g. 2000).

Las zanjas de infiltración son sistemas poco profundos de absorción en el suelo. Están compuestas por una serie de tuberías convenientemente ubicadas de acuerdo a la disponibilidad de terreno y son utilizados para recibir directamente el efluente de agua residual proveniente del sistema de tratamiento previo y distribuirla uniformemente en el terreno.

La distancia entre las líneas de tubos puede variar entre 1,8 y 2,4 metros. La profundidad debe ser por lo menos de 30 a 60 cm con el fin de proveer un mínimo de cama de grava y cobertura de tierra. Los tubos se tienden sobre una cama de grava de 15 cm de espesor. Se recomienda tener una profundidad mayor de un metro entre el fondo de la zanja y el nivel freático. El ancho mínimo de la zanja es de 30 cm.

Este tipo de disposición funciona bien en sitios con suelos profundos y permeabilidad relativa, donde se tienen aguas subterráneas profundas y el terreno es relativamente nivelado. El diseño de las zanjas de infiltración depende de la forma y tamaño del área disponible, de la capacidad requerida, de la topografía del terreno y de la tasa de infiltración del subsuelo.

Figura 7. Zanja de infiltración



Fuente: *Guía de normas para la disposición final de excretas y aguas residuales en zonas rurales de Guatemala, 2011.*

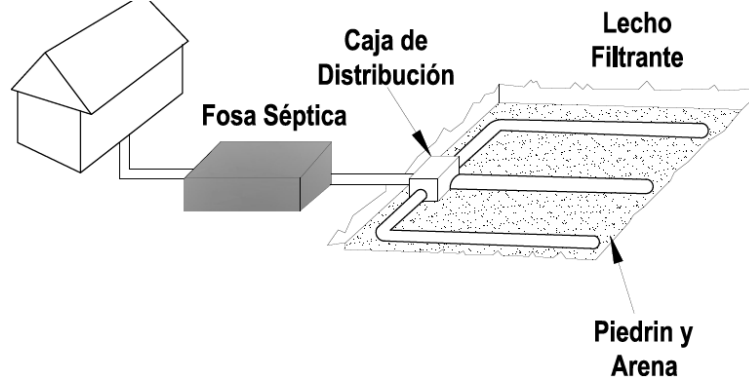
### **1.6.2.2. Lechos de infiltración**

Los lechos de infiltración son zanjas de anchos mayores de 90 cm, los cuales pueden contener más de una línea de tuberías de distribución. En este caso se considera que la superficie principal de infiltración, para el diseño, es el área del fondo del lecho. Los lechos de percolación requieren generalmente menos terreno que las zanjas de infiltración y su construcción tiene un costo menor; son aceptados en terrenos planos, con pendiente menores del 10 % de suelos arenosos, arena margosa o suelos granulares. (Jairo Romero, 2010). (Ver figura 8)

### **1.6.2.3. Pozo de infiltración**

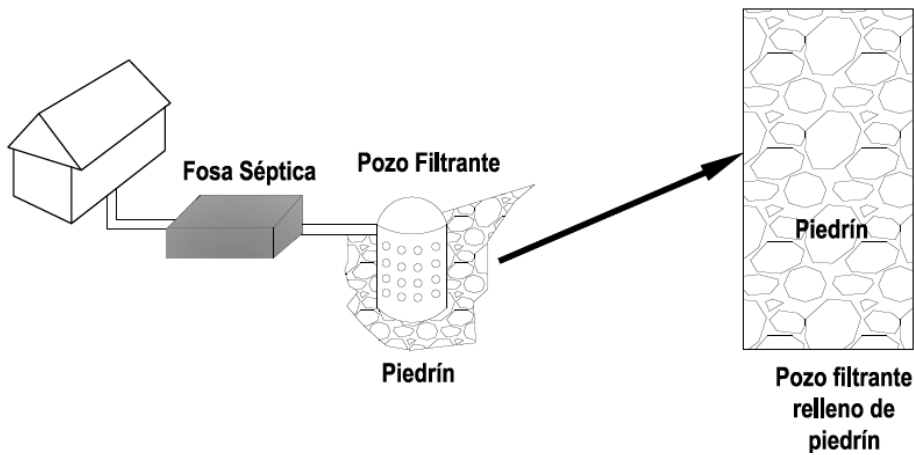
Los pozos de infiltración son excavaciones profundas usadas para disposición subsuperficial de aguas residuales pretratadas. Las paredes del pozo se construyen con ladrillo, bloques, anillos o materiales prefabricados colocados a junta abierta, rodeados de grava o piedra triturada. El agua residual entra en el pozo y se filtra a través de las paredes laterales. Su uso es menos recomendado que el de las zanjas de percolación, pero constituyen un método aceptable de disposición de aguas residuales cuando la disponibilidad del terreno es muy limitada y no existe suficiente área par un lecho de zanjas. Para la protección del nivel freático es aconsejable dejar una separación entre el fondo del pozo y el nivel freático de 1,2 m como mínimo. (Jairo Romero, 2010). (Ver figura 9).

Figura 8. **Lecho de infiltración**



Fuente: Adaptado de: *Tecnologías blandas*. <http://www.tecdepur.com/blog/blog/pagina-2>,  
Consulta: abril del 2015.

Figura 9. **Pozo de infiltración**

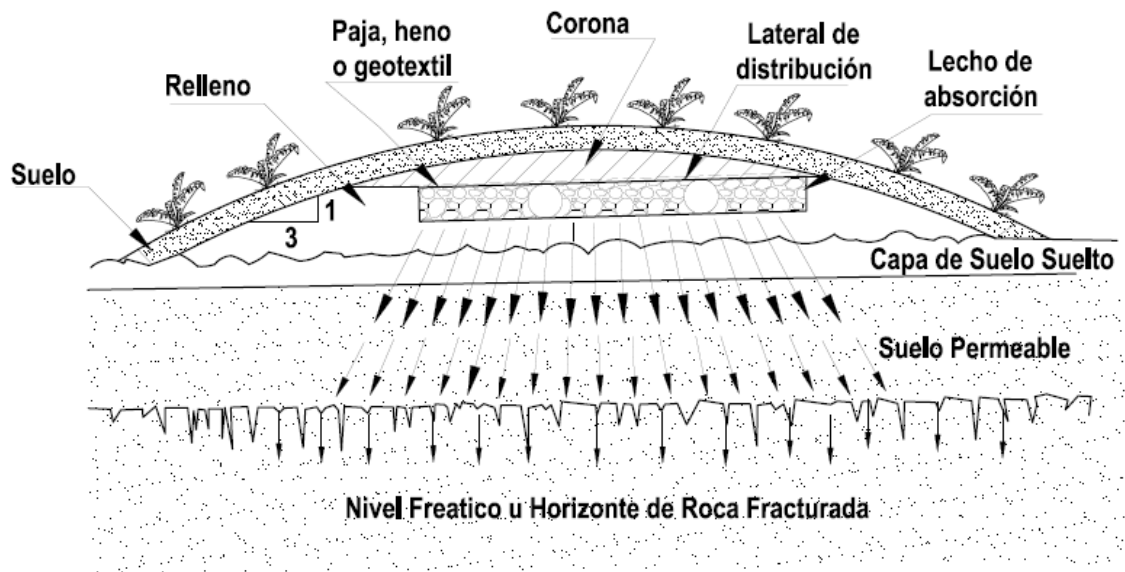


Fuente: Adaptado de: *Tecnologías blandas*. <http://www.tecdepur.com/blog/blog/pagina-2>,  
Consulta: abril del 2015.

#### 1.6.2.4. Montículos

El sistema de montículo es un procedimiento de absorción elevado sobre la superficie natural del suelo mediante un relleno de material apropiado. El propósito es superar las restricciones *in situ* de suelos de permeabilidad baja y suelos permeables de poco espesor sobre horizontes de roca fracturada o porosa, y suelos permeables con el nivel freático alto. El efluente es bombeado o sifoneado al área de absorción a través de una red de distribución localizada en la parte superior del agregado grueso, luego pasa entre el agregado y se infiltra dentro del material de relleno. El tratamiento del agua residual ocurre a medida que el agua pasa por entre el material de relleno y por entre la zona no saturada de suelo natural. La corona provee de protección contra la precipitación y retiene la humedad para una buena cobertura vegetal. (Jairo Romero, 2010).

Figura 10. Montículos



Fuente: Adaptado de: ROMERO, Jairo. *Tratamiento de Aguas Residuales, Teoría y Principios de Diseño*, 2010.





## **2. METODOLOGÍA**

### **2.1. Localización y ubicación del área de estudio**

Para la instalación del sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas se seleccionó la planta experimental de tratamiento de aguas residuales “Ing. Arturo Pazos Sosa” de la ERIS, donde se obtiene una fuente constante de aguas residuales domésticas y suelos típicos de Guatemala.

La planta piloto de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS) se localiza en: diagonal 26, 20-56 de la colonia Militar Aurora II, en la zona 13. Limitada al norte con el Observatorio Nacional, al este con el aeropuerto Internacional La Aurora y al sur y oeste con barrancos. Sus coordenadas son 14° 35” de latitud norte y 90° 32” de longitud oeste. Su altitud varía desde 1 455 m.s.n.m. en la parte más baja, hasta 1 502 msnm. en la parte más alta (López Alex, 2010).

Figura 11. **Localización del sistema de tratamiento**



Fuente: Google Earth.

## 2.2. **Caracterización del suelo en estudio**

Se realizaron tres análisis al suelo: físico, químico e hidráulico para la correcta aplicación del método y la utilización del suelo como tratamiento de aguas residuales domésticas (ver informe del análisis físico del suelo en anexo 5). A continuación se muestran los resultados de los análisis:

Tabla VIII. **Características del suelo**

<b>Características físicas</b>	
Textura y color	Arena pómez limosa color café claro (textura gruesa)
Estructura	
Granulometría	Porcentaje de pasa
¾"	100
4	87,16
10	72,08
40	17,82
200	0,99
% de grava	12,85
% de arena	86,17
% de finos	0,99
D <sub>10</sub>	0,30 mm
D <sub>30</sub>	0,61 mm
D <sub>60</sub>	1,50 mm
Gravedad específica	2,22
Densidad	1,29 gr/cm <sup>3</sup>
<b>Características químicas</b>	
Potencial de hidrógeno	6,4
Conductividad eléctrica	218,5 µS/cm
Nitrógeno	0,0015 %
Fósforo	4.63 ppm
Potasio	163 ppm
Calcio	3,43 Meq/100gr
Magnesio	1,90 Meq/100gr
Cobre	1,00 ppm
Zinc	0,50 ppm
Hierro	28 ppm
Manganeso	3,50
Materia orgánica	0,30 %

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

Al analizar el suelo en estudio se obtuvo que este estaba compuesto por arena pómez color café claro, brindando buenas condiciones de oxidación, aireación y ausencia de saturación beneficiando al drenaje en el suelo. El potencial de hidrógeno es levemente ácido, ambos parámetros se relacionan con la capacidad de remoción de bacterias del suelo. La cantidad de nutrientes y materia orgánica presente en el suelo fue baja, por lo tanto el suelo no aportó ninguno de estos parámetros al agua residual.

Las características hidráulicas del suelo determinan la cantidad de agua que atraviesa el estrato y su eficiencia como filtro mecánico y resistencia a la colmatación. Se realizó una prueba percolación en la planta experimental de aguas residuales “Ing. Arturo Pazos Sosa”, según la metodología descrita en el “Manual de autoconstrucción de sistemas de tratamiento de aguas residuales domiciliarias” del Dr. Alejandro Mariñela; los resultados se muestran a continuación:

Tabla IX. **Prueba de percolación realizada en el sitio, 25 de julio de 2014**

Pozo	Hora		Medida del nivel (cm)		Capacidad de infiltración del terreno		
	Hora inicial	Hora final	nivel inicial(cm)	nivel final(cm)	Diferencia entre mediciones	Prom. de las tres últimas dif. (cm)	Prom de infiltración (min/cm)
1	10:30	11:00	38,5	39,5	1	0,67	45,00
	11:00	11:30	37,5	38	0,5		
	11:30	12:00	38	39	1		
	12:00	12:30	38	38,5	0,5		
2	10:30	11:00	43,5	46	2,5	1,40	21,43
	11:00	11:30	43,5	44,7	1,2		
	11:30	12:00	43,5	45	1,5		
	12:00	12:30	43	44,5	1,5		
3	10:30	11:00	36,5	39,4	2,9	1,53	19,57
	11:00	11:30	36,7	38,3	1,6		
	11:30	12:00	35,5	37,5	2		
	12:00	12:30	36,5	37,5	1		
4	10:30	11:00	39,5	42	2,5	1,57	19,15
	11:00	11:30	39,8	41	1,2		
	11:30	12:00	39,5	41	1,5		
	12:00	12:30	39,5	41,5	2		
5	10:30	11:00	43,5	47	3,5	2,17	13,85
	11:00	11:30	44	46	2		
	11:30	12:00	43,5	46	2,5		
	12:00	12:30	42,5	44,5	2		
6	10:30	11:00	40,5	43,8	3,3	2,07	14,52
	11:00	11:30	40,8	42,5	1,7		
	11:30	12:00	40	42,5	2,5		
	12:00	12:30	40,5	42,5	2		

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

La prueba de percolación realizada arroja que la infiltración promedio del suelo es 17,7 min/cm

Según las Normas de presentación, diseño y construcción para urbanizaciones y fraccionamientos del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillado (AyA), con la tasa de infiltración en minutos por centímetro de la prueba de percolación, se obtiene la velocidad de infiltración en metros por segundo, de acuerdo a los valores de la tabla X, como se muestra a continuación:

Tabla X. **Velocidad de infiltración**

<b>T (min/cm)</b>	<b>Vp (m/s)</b>
2	$1,00 \times 10^{-6}$
3	$8,20 \times 10^{-7}$
4	$7,10 \times 10^{-7}$
5	$6,35 \times 10^{-7}$
6	$5,80 \times 10^{-7}$
7	$5,37 \times 10^{-7}$
8	$5,02 \times 10^{-7}$
9	$4,73 \times 10^{-7}$
10	$4,49 \times 10^{-7}$
11	$4,28 \times 10^{-7}$
12*	$4,10 \times 10^{-7}$
14	$3,80 \times 10^{-7}$
16	$3,55 \times 10^{-7}$
18	$3,35 \times 10^{-7}$
20	$3,18 \times 10^{-7}$
22	$3,03 \times 10^{-7}$
24**	$2,90 \times 10^{-7}$
25	$2,84 \times 10^{-7}$

\* Resultado mayor, inadecuado para pozos de absorción.

\*\*Resultado mayor, inadecuado para sistemas de absorción

Fuente: Normas de presentación, diseño y construcción para urbanizaciones y fraccionamientos, AyA. Costa Rica.

Por medio de la interpolación se obtiene, para una tasa de infiltración de 17,7 min/cm, la velocidad de infiltración teórica es  $3,38 \times 10^{-7}$  m/s (o  $3,38 \times 10^{-5}$  cm/s). Este valor se encuentra dentro del rango aceptado para la implementación de sistemas de infiltración en tratamiento de aguas residuales.

Es importante mencionar que las condiciones naturales del suelo en el sistema piloto de tratamiento de aguas residuales instalado, se modificaron debido a que fue removido para colocar la unidad de recolección de muestras, como se explica más adelante. Por lo tanto, la capacidad de percolación también fue modificada.

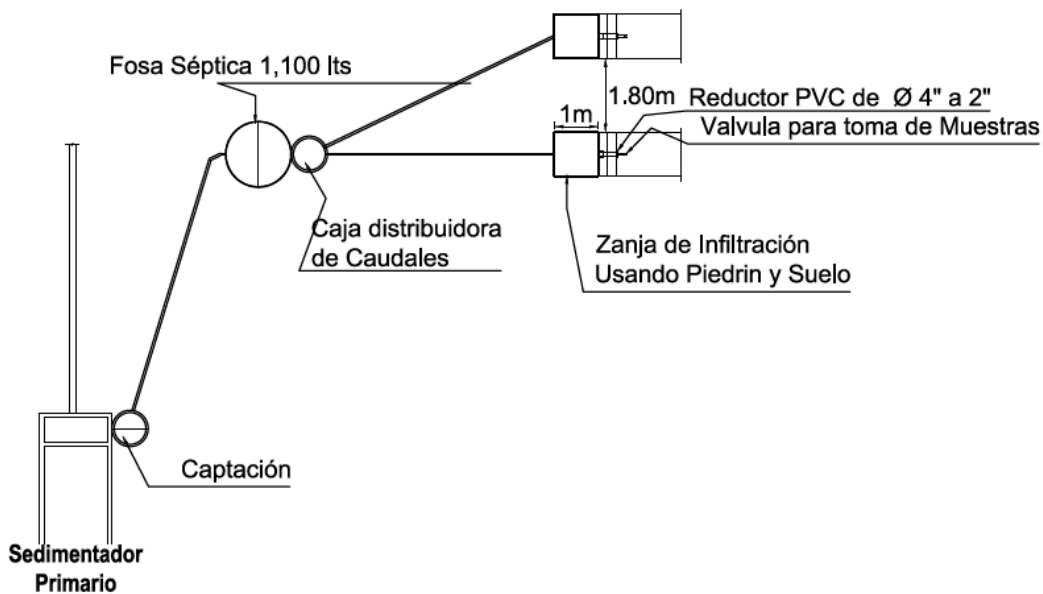
### **2.3. Descripción del sistema**

El sistema de tratamiento piloto de aguas residuales domésticas está compuesto por sedimentación primaria, para la cual se utilizó una fosa séptica de polietileno seguida de la absorción en el suelo, por medio de zanjas de infiltración convencionales. Para efectos de este estudio, se analizó 1 m<sup>2</sup> de zanja con una profundidad de 1,20m de columna de suelo. Las partes del sistema de tratamiento implementado son:

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

Como se trabajó de forma paralela con la investigación del Ing. Andy Alonzo Vásquez, que tiene como variante la utilización de material PET y suelo como medio de soporte, ambos estudios comparten la unidad de regulación de caudal, fosa séptica de polietileno y la caja de distribución de caudal.

Figura 12. **Diagrama general del sistema de tratamiento de aguas residuales**



Fuente: elaboración propia, con AutoCAD.

### 2.3.1. Unidad de regulación de caudal

El sistema de tratamiento fue diseñado para tratar el agua residual de una vivienda, por tanto se asumió la cantidad de 6 habitantes por vivienda, 200 l/h/d de dotación diaria y un factor de retorno de 0,8. El caudal de diseño se calculó de la siguiente manera.

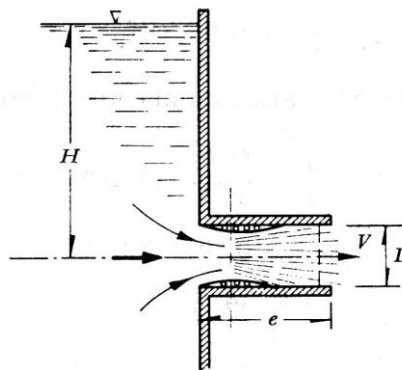


$$Q = \frac{0,8 * 200 \text{ l/h/d} * 6 \text{ personas}}{86,400} = 0,011 \text{ l/s}$$

Se colocó una unidad de captación a la entrada del sedimentador primario para recolectar el agua residual cruda antes de que iniciase el proceso físico de sedimentación, en esta unidad se instaló el regulador de caudal.

Para medir y regular el caudal de entrada al sistema se utilizó un orificio de pared gruesa o tubo corto. Los orificios son recomendados para caudales pequeños, su diseño necesita de un tirante constante para garantizar el valor del caudal; la desventaja es si el orificio es muy pequeño los sólidos flotantes o partículas muy grandes obstruirían el paso del agua. A continuación se detallan los cálculos del mismo:

Figura 13. **Orificio de tubo corto**



Fuente: SOTELO, Gilberto. *Hidráulica general*. p. 209.

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

$$Q = C_d A \sqrt{2gH}$$

Q = caudal en metros cúbicos por segundo

Cd= coeficiente de descarga

A = área de la sección del tubo en metros cuadrados

g = aceleración de la gravedad en metros sobre segundo al cuadrado

H = altura de la superficie libre del líquido hasta el centro del orificio en metros.

De acuerdo a la relación e/D de la tabla XI, se obtuvo el coeficiente de descarga Cd

Tabla XI. **Coeficientes de descarga según relación e/D**

e/D	≤0,5	1	1,5	2	2,5	3	5
Cd	0,6	0,75	0,78	0,79	0,8	0,82	0,79
e/D	12	25	36	50	60	75	100
Cd	0,77	0,71	0,68	0,64	0,6	0,59	0,55

Fuente: SOTELO, Gilberto. *Hidráulica general*. p. 221.

Debido a que la relación del medidor es  $20/1,27 = 15,74$ , se interpoló entre  $e/D = 12$  y  $e/D = 25$ ,

$$\frac{15,74 - 25}{12 - 25} = \frac{X - 0,71}{0,77 - 0,71} \therefore X = Cd = 0,7527$$

El valor del coeficiente de descarga fue 0,75. El tirante del orificio necesario para proporcionar el caudal deseado se despejó de la siguiente fórmula:

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

$$H = \frac{\left( \frac{1,111 \times 10^{-5}}{0,75 * 1,26 \times 10^{-4}} \right)^2}{2 * 9,81} = 7.044 \times 10^{-4} m$$

Como la altura H calculada fue muy pequeña, se propuso un valor de 6,5 centímetros, valor mínimo necesario para tener una descarga libre. Evaluando ese tirante en la ecuación anterior se aproximó el caudal en el orificio.

$$Q = 0,75 * 1,26 \times 10^{-4} \sqrt{2 * 9,81 * 0,065} = 1,06 \times 10^{-4} \frac{m^3}{s} = 0.106 l/s$$

El caudal teórico en el orificio fue 0,106 l/s, pero el valor calculado para una vivienda de 6 habitantes es 0,011 l/s, por consiguiente fue necesario regular el caudal con una válvula de compuerta de ½". No obstante, aun colocando la válvula el caudal mínimo promedio de entrada al sistema es 0,02096 l/s, equivalente a una población de servicio de 12 personas.

### 2.3.2. Fosa séptica

La fosa séptica se diseñó para una vivienda de 6 habitantes, por tanto se asumió una dotación de 200 l/hab/día, un factor de retorno de 0,8 y un tiempo de retención de un día. El volumen de la fosa séptica se calculó de la siguiente manera:

$$Vol_{sep} = Pob * dot * Fr * TR$$

Donde: Vol sep= volumen de la fosa séptica

Dot = dotación

Fr = factor de retorno

Tr = tiempo de retención en días

$$Vol_{sep} = 6 * 200 * 0,8 * 1 = 960 \text{ litros}$$

Para la elaboración de este estudio se contó con la colaboración de la empresa Durman, la cual donó una fosa séptica prefabricada de 1 100 litros de capacidad, dirigida a una población de 6 a 10 habitantes.

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

$$Tr = \frac{Vol_{sep}}{Pob * dot * Fr} = \frac{1100}{6 * 200 * 0,8} = 1,14 \text{ día} > 1 \text{ día}$$

El tiempo de retención teórico con que trabajaría la fosa séptica sería de 1,14 días, lo cual favorecería a la sedimentación. Sin embargo, al sistema entra un caudal mayor, equivalente a la descarga de 12 personas, como se detalló en la sección anterior. Por tanto, el tiempo de retención real es aproximadamente 0,6 días (14 horas).

### **2.3.3. Caja de distribución de caudal**

En este estudio se analizó la capacidad del suelo como tratamiento secundario de aguas residuales domésticas a través de zanjas de infiltración convencionales, también se realizó un estudio paralelo con una modificación a las zanjas de infiltración en las que se utilizara material PET en lugar del pedrín. Por esta razón fue necesario dividir equitativamente el caudal por medio de una caja distribuidora.

Figura 14. **Caja distribuidora de caudal**



Fuente: Planta Piloto de Tratamiento de Aguas Residuales de la ERIS, colonia La Aurora 2, zona 13.

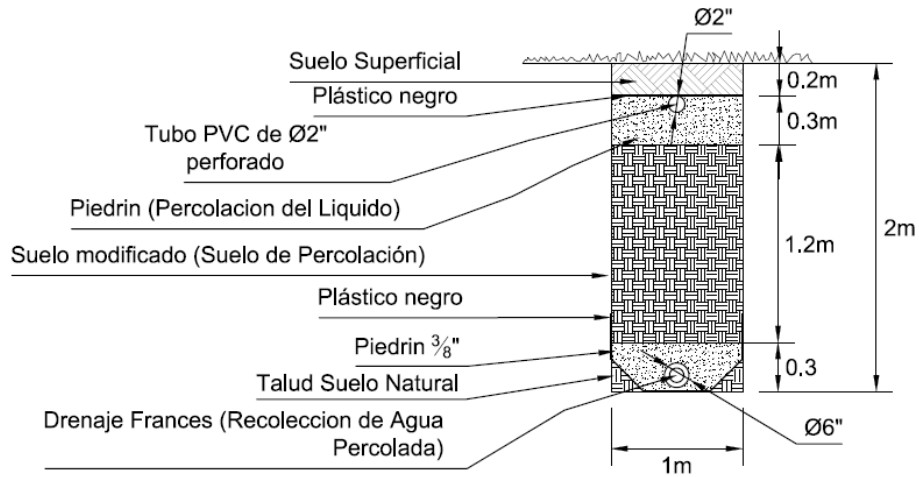
#### **2.3.4. Sistema de infiltración**

El sistema de infiltración consistió en una columna de suelo de 1,20 m de profundidad. Sin embargo, se modificaron sus condiciones naturales al removerlo y utilizarlo como relleno para la instalación de la unidad de recolección de muestras.

La selección del valor de profundidad se tomó de acuerdo a la literatura. Según Metcalf & Eddy (1997), la profundidad puede estar comprendida entre 0,6 y 1,2 m. La Agencia de Protección Ambiental ((EPA), 2002) propone una profundidad de 1,5 metros. Wagner y Lanoix en su publicación *Evacuación de excretas en las zonas rurales y pequeñas comunidades* (1960) establece que en suelos homogéneos la posibilidad que se contaminen las aguas subterráneas es prácticamente nula si el nivel freático se encuentra a una distancia mayor a 1,5 m. Considerando lo anterior se eligió una profundidad de

1,20 m como valor intermedio dentro del rango sugerido por los autores con experimentos desarrollados.

Figura 15. **Esquema del sistema de infiltración**



Fuente: elaboración propia, con AutoCAD.

Figura 16. **Tubo de distribución de caudal en el suelo**



Fuente: Planta Piloto de Tratamiento de Aguas Residuales de la ERIS, colonia La Aurora 2, zona 13.

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

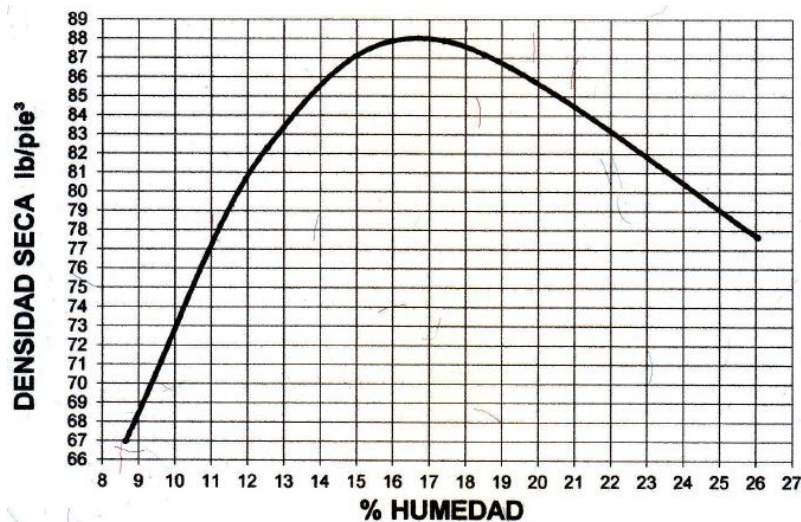
Con la prueba de contenido de humedad se obtuvo la humedad natural del suelo en el sitio. La prueba de compactación permitió conocer la densidad seca máxima y el contenido de humedad óptimo para alcanzar la densidad natural del suelo. Con los valores obtenidos en laboratorio se determinaron las condiciones en las que se dejó instalado el sistema. A continuación se muestran los resultados del laboratorio de suelos:

Tabla XII. **Características mecánicas del suelo**

Características mecánicas del suelo	
Contenido de humedad natural	17 %
Contenido de humedad optima en compactación	16,5 %
Densidad seca máxima	1 409,76 kg/m <sup>3</sup>
	88 lb/pe <sup>3</sup>

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería, USAC. 2014.

Figura 17. **Gráfica de densidad seca-humedad**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería, USAC. 2014.

Los porcentajes de compactación en campo tuvieron sus limitantes porque la compactación se realizó de forma manual y el contenido de humedad estaba por encima del especificado en el laboratorio, debido a que la instalación del sistema se realizó en temporada de invierno para probar el sistema en condiciones críticas saturadas.

El porcentaje de compactación obtenido para el suelo fue del 78 %, a continuación se muestra el detalle del cálculo de dicho porcentaje:

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

$$e = \frac{G_s * \gamma_w}{\gamma_d}$$

Donde:

G<sub>s</sub>: corresponde al valor de la gravedad específica.

γ<sub>w</sub>: corresponde al valor del peso específico del agua 1 000 kg/m<sup>3</sup>.

γ<sub>d</sub>: peso específico seco, resultado de la compactación en campo.

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

Descripción	Valor	Dimensional
Porcentaje de Humedad (%H)	19,04	%
Peso bruto húmedo (Pbh)	623	gramos
Peso neto húmedo (Pnh)	528	gramos
Peso unitario húmedo (PUH)	1320	Kg/m <sup>3</sup>
Peso unitario seco (PUS)	1108,87	Kg/m <sup>3</sup>
Porcentaje de compactación (%C)	78	%

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

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



$$PUH = \frac{Pnh}{Volumen_{agujero}} = \frac{0,528kg}{0,0004 m^3} = 1320 \frac{kg}{m^3}$$

$$PUS = \frac{PUH}{\%H + 100} * 100 = \frac{1320}{119,04} * 100 = 1108,87 \frac{kg}{m^3}$$

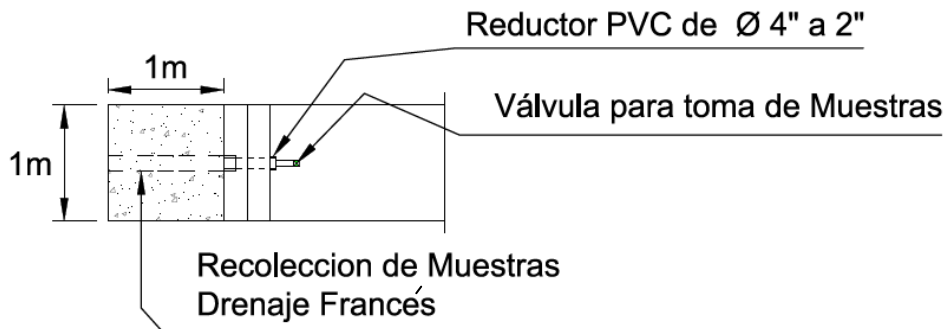
$$\%C = \frac{PUS_{campo}}{PUS_{proctor}} * 100 = \frac{1108,87}{1409,76} = 78 \%$$

$$e = \frac{2,22 * 1000kg/m^3}{1108,87kg/m^3} = 2$$

### 2.3.5. Sistema de drenaje

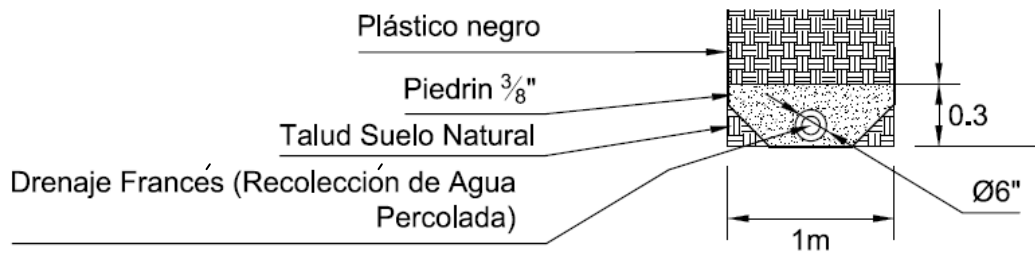
Como se deseaba analizar la calidad del agua después del tratamiento a través de una columna de suelo de 1,20 m de altura, se instaló un drenaje tipo francés para la recolección de muestras, como se muestra en las figuras siguientes:

Figura 18. Vista en planta del sistema de drenaje



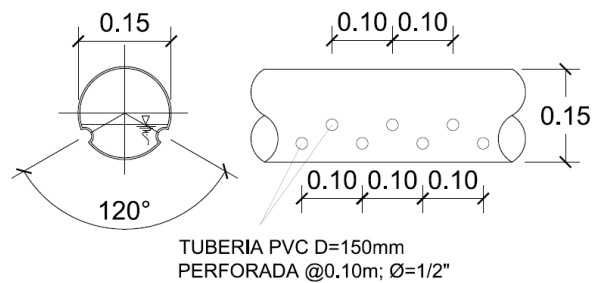
Fuente: elaboración propia, con AutoCAD.

Figura 19. **Vista de frente del sistema de drenaje**



Fuente: elaboración propia, con AutoCAD.

Figura 20. **Detalle del sistema de drenaje**



Fuente: elaboración propia, con AutoCAD.

### 2.3.6. **Número de muestras**

Para conocer el número de muestreos necesarios que permitieran obtener información confiable y a la vez reducir el tiempo y el costo en la elaboración del estudio, se realizó el cálculo del número de muestras por dos métodos estadísticos. El primero de acuerdo con el método 1060B indicado en *Métodos Normalizados para el análisis de aguas potables y residuales*. El segundo por el método de muestreo aleatorio simple.

**a) Standard Methods**

Para el método 1060B se utilizaron las curvas de niveles de confianza (ver figura 22) establecidos a partir de la siguiente fórmula. (*Standard methods for the examination of water and wastewater, 2002*).

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

Donde:

N = número de muestras

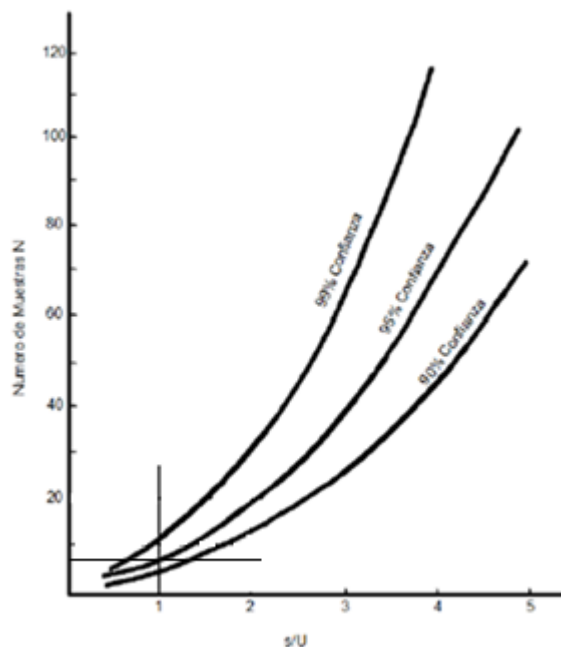
t = es la t de Student para un nivel de confianza determinado

s = desviación estándar global

U = nivel de confianza aceptable

La desviación estándar, s, puede ser 0,020 y el nivel de confianza variar entre un rango de 0,001 a 0,05. Utilizando un nivel de confianza de 0,02 se tiene que la relación s/U es igual a 1. A partir de este resultado se interceptó la gráfica de nivel de confianza del 95 % en la figura 22, obteniéndose entre 7 y 8 muestras. Por tanto de acuerdo a este método se estableció realizar 8 muestras.

Figura 21. **Concentración media**



Fuente: *Standard methods for the examination of water and wastewater*, 2002.

### b) **Método aleatorio simple**

El tamaño de la muestra para determinar la media de una población, depende de estudios previos o similares donde se obtiene el tamaño de la población, la desviación estándar y el error de muestreo aceptable. El cálculo se realiza a partir de la fórmula siguiente:

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

Donde:

Z = 1,96, intervalo de confianza del 95 %

$\sigma$  = desviación estándar

e = error de muestreo aceptable

N = tamaño de la población.

Para aplicar el método se hizo una recopilación de datos disponible en 29 estudios especiales de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS), desarrollados en la planta experimental de tratamiento de aguas residuales “Ing. Arturo Pazos Sosa” comprendidas entre los años 1974 y 2013.

Los parámetros de interés fueron DBO<sub>5</sub>, DQO, temperatura, potencial de hidrogeno, nitrógeno total, fósforo total y sólidos suspendidos a la entrada del sedimentador primario. Una vez ordenados los datos se procedió a calcular las medidas estadísticas de dispersión, los resultados se muestran en las tablas XIV.

Tabla XIV. **Resultados análisis estadístico**

Parámetro	N	Mínimo	Máximo	Media		Desviación estándar
				Estadístico	Error estándar	
Temperatura	116	19	25,80	22,64	0,14	1,527
pH	148	6,7	9,1	7,46	0,04	0,462
Color	31	21	1983	399,74	81,18	451,966
DBO <sub>5</sub>	219	89,45	600	248,42	5,01	74,131
DQO	214	123,50	859,30	412,39	8,85	129,495
Nitrógeno T	61	12	62,80	40,04	1,46	11,415
Fosforo T	64	3,50	30	11,82	0,92	7,382
Sólidos Totales	59	442	932,1	640,79	19,28	148,072
Sólidos Suspendidos	127	28	986	252,93	14,31	161,28

Fuente: elaboración propia mediante el programa IBM SPSS Statics 22, Peralta, I. & Pérez, W. 2015, Alonzo, A. 2015.

Una vez obtenidas las medidas estadísticas de dispersión, se procedió a calcular el número de muestras representativas por parámetro, utilizando la ecuación del método aleatorio simple. Los resultados se muestran a continuación:

Tabla XV. **Número de muestras por parámetro de estudio**

	DBO	DQO	Color	Temperatura	pH	Nitrógeno	Fósforo	SST
N	219	214	31	116	148	61	64	127
e	49	86	301	1	0,3	8	8	107
z	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96
$\sigma$	74,13	129,50	451,97	1,53	0,46	11,42	11,42	161,28
n	8,37	8,36	6,94	8,12	8,23	7,69	7,74	8,17
nprom	7,95 $\approx$ 8							

Fuente: elaboración propia.

De la tabla anterior se observa que el número de muestras varía entre 6 y 8, utilizando el valor promedio se estableció realizar 8 muestras.

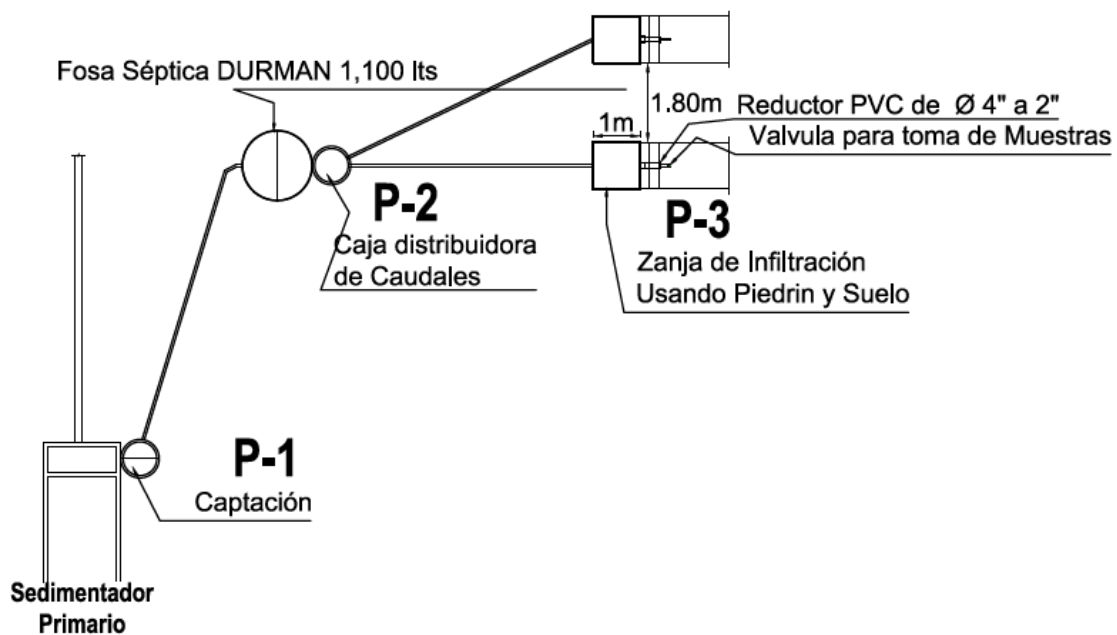
Por ambos métodos se obtuvo que el número de muestras representativas eran 8, por lo tanto se realizaron 8 muestras por punto de muestreo.

### 2.3.7. Puntos de muestreo

El sistema de tratamiento de aguas residuales fue construido entre los meses de octubre y noviembre del 2014, después se dio un tiempo de maduración de dos meses, por lo tanto la toma de muestras se inició a partir del 4 de febrero del 2015 y finalizaron el 8 de abril del mismo año.

Los puntos de muestreos se realizaron en la entrada al sistema, salida de la fosa séptica y salida de la columna de suelo (ver figura 22). El número de muestras por cada punto de muestreo es 8, por lo tanto se obtuvo un total de 24 muestras para hacer el análisis de los parámetros de interés.

Figura 22. **Esquema del sistema y puntos de muestreo**



Fuente: elaboración propia, con AutoCAD.

### 2.3.8. Frecuencia de toma de muestras

Las muestras se recolectaron una vez por semana, para lo cual se seleccionó un día específico para evitar variaciones en los hábitos de consumo de agua de la población servida en la planta experimental de tratamiento de aguas residuales "Ing. Arturo Pazos Sosa". El periodo de toma de muestras

comenzó el 4 de febrero de 2015 y finalizó el 8 de abril del 2015. El día seleccionado fue el miércoles de cada semana en horario de 7 a 10 am.

### **2.3.9. Parámetros de control**

Las mediciones fueron realizadas en sitio y en el Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria Doctora Alba Estela Tabarini Molina, de la ERIS de la Facultad de Ingeniería en la Universidad de San Carlos de Guatemala. Los parámetros a evaluar fueron: temperatura, material flotante, potencial de hidrógeno, color, sólidos suspendidos, DBO<sub>5</sub>, DQO, nitrógeno, fósforo, coliformes fecales, metales pesados, aceites y grasas.

La metodología utilizada en la elaboración de los análisis de laboratorio, fue la descrita en el Standard Method de la AWWA; APHA; WPCF y métodos simplificados Hach y Merck. Para el caso de metales pesados se realizó un análisis en el afluente del sistema para conocer las concentraciones a la entrada de la planta. Para aceites y grasas también se efectuó un análisis a la entrada y salida del sistema.

En el caso del nitrógeno y coliformes fecales debido a la variación de los resultados se tomó la decisión de realizar dos muestreos adicionales a los establecidos.





### 3. RESULTADOS

Los valores y datos estadísticos obtenidos en este estudio son presentados de manera individual y se identificaron de la siguiente manera: variación en la entrada del sistema, comportamiento de cada parámetro a lo largo del sistema, y eficiencia de remoción a la salida del sistema. A continuación se muestran los resultados de cada parámetro en estudio.

#### 3.1. Variación del caudal de entrada

La medición del caudal se realizó en los muestreos 2, 5, 7 y 8 en el periodo comprendido entre 7:30 am a 9:30 am. Se obtuvo un valor promedio de 0,02096 l/s.

Tabla XVI. Variación de caudal a la entrada del sistema de tratamiento

# M	Fecha	Hora	Q(l/s)
2	11/02/2015	08:50	0,01759
5	04/03/2015	08:15	0,01763
7	18/03/2015	07:30	0,02290
8	08/04/2015	09:30	0,02570
Mínimo			0,01759
Máximo			0,02570
Promedio			0,02096
Desv. estándar			0,00403

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVII. **Resumen de resultados**

Punto de muestreo	# M	Fecha	T °C	pH U	MF	SST mg/l	Color UC	DBO <sub>5</sub> mg/l	DQO mg/l	N total mg/l	P total mg/l	Coliformes fecales
Entrada al sistema	1	04/02/15	22	6,9	A	324	357	214	583	29	7	9,4x10 <sup>9</sup>
	2	11/02/15	20	7,2	P	474	567	675	783	38	7	>1,6x10 <sup>9</sup>
	3	18/02/15	22	7,3	A	204	411	360	616	41	10	>1,6x10 <sup>9</sup>
	4	25/02/15	21	7,1	P	122 9	371	290	835	68	12	>1,6x10 <sup>9</sup>
	5	04/03/15	22	7,2	P	368	288	226	589	47	11	>1,6x10 <sup>9</sup>
	6	11/03/15	22	7,1	P	900	530	630	578	187	9	>1,6x10 <sup>10</sup>
	7	13/03/15	21	7,3	P	420 0	377	480	621	25	11	>1,6x10 <sup>10</sup>
	8	08/04/15	21	7,1	P	529	453	292	845	62	12	4,7x10 <sup>10</sup>
	9	15/04/15								41		5,5x10 <sup>8</sup>
	10	22/04/15								41		3,5x10 <sup>12</sup>
Salida fosa séptica	1	04/02/15	22	6,5	A	83	258	210	392	51	7	5,6x10 <sup>7</sup>
	2	11/02/15	20	7,2	A	83	407	230	285	53	5	5,4x10 <sup>10</sup>
	3	18/02/15	22	7,1	A	66	228	10	286	40	8	4,8x10 <sup>8</sup>
	4	25/02/15	21	6,7	A	58	78	163	300	76	7	4x10 <sup>8</sup>
	5	04/03/15	22	7	A	147	146	188	370	37	10	9,3x10 <sup>6</sup>
	6	11/03/15	22	6,7 8	A	82	230	124	218	187	8	2,20x10 <sup>11</sup>
	7	13/03/15	21	6,9	A	174	285	163	423	35	9	1,5x10 <sup>9</sup>
	8	08/04/15	21	6,9	A	102	250	130	342	45	8	4,7x10 <sup>10</sup>
	9	15/04/15								40		4,7x10 <sup>10</sup>
	10	22/04/15								38		1,8x10 <sup>8</sup>
Salida al sistema	1	04/02/15	22	6,6	A	8	7	1	14	17	1	<1,8x10 <sup>5</sup>
	2	11/02/15	21	6,4	A	3	35	2	15	17	1	7,9x10 <sup>6</sup>
	3	18/02/15	21	6,6	A	6	53	6	14	5	2	5,5x10 <sup>5</sup>
	4	25/02/15	21	6,6	A	4	20	11	40	22	2	2x10 <sup>5</sup>
	5	04/03/15	22	7,1	A	1	6	1	7	125	1	<1,8x10 <sup>5</sup>
	6	11/03/15	22	6,8	A	5	27	5	15	187	1	2x10 <sup>4</sup>
	7	13/03/15	21	7,1	A	1	11	0	0	14	1	7,8x10 <sup>3</sup>
	8	08/04/15	21	6,8	A	1	3	1	1	96	1	1,8x10 <sup>4</sup>
	9	15/04/15								53		3,5x10 <sup>8</sup>
	10	22/04/15								29		<1,8x10 <sup>4</sup>

MF: material flotante, A: ausente, P: presente.

Fuente: elaboración propia.

### 3.2. Comportamiento del sistema de tratamiento

Para evaluar el desempeño del sistema de tratamiento se analizó el comportamiento de los parámetros en estudio a la entrada, salida de la fosa séptica y salida del sistema; también se analizó la eficiencia de remoción. A continuación se describe cada uno de los parámetros.

#### 3.2.1. Comportamiento del material flotante

La presencia de material flotante en los primeros tres muestreos en el efluente del sistema fue irregular, luego se comportó de forma regular presentándose en los últimos cinco muestreos. Tanto en la salida de la fosa séptica como la del sistema el comportamiento fue regular al no observarse material flotante, cumpliendo así con lo establecido en las tres normas comparadas. A continuación se muestra la tabla de resultados:

Tabla XVIII. **Comparación de material flotante con las normas de AR**

# M	Fecha	Entrada	Salida fosa	Salida del sistema	Normas
					Guatemala, Honduras y Nicaragua
1	04/02/2015	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
2	11/02/2015	Presente	Ausente	Ausente	Ausente
3	18/02/2015	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
4	25/02/2015	Presente	Ausente	Ausente	Ausente
5	04/03/2015	Presente	Ausente	Ausente	Ausente
6	11/03/2015	Presente	Ausente	Ausente	Ausente
7	18/03/2015	Presente	Ausente	Ausente	Ausente
8	08/04/2015	Presente	Ausente	Ausente	Ausente

Fuente: elaboración propia.

### 3.2.2. Comportamiento de la temperatura

El comportamiento de la temperatura a lo largo del sistema fue muy regular y los valores a la entrada y salida del sistema son menores al límite máximo permisible de la norma Hondureña. En la siguiente tabla se pueden apreciar los resultados:

Tabla XIX. Comparación de temperatura con las normas de AR

# M	Fecha	Temperatura °C			Norma
		Entrada	Salida fosa	Salida del sistema	Honduras
1	04/02/2015	22	22	22	<25
2	11/02/2015	20	20	21	<25
3	18/02/2015	22	22	21	<25
4	25/02/2015	21	21	21	<25
5	04/03/2015	22	22	22	<25
6	11/03/2015	22	22	22	<25
7	18/03/2015	21	21	21	<25
8	08/04/2015	21	21	21	<25
Promedio		21,38	21,38	21,38	
Desv. estándar		0,74	0,74	0,52	

Fuente: elaboración propia.

Guatemala compara la temperatura del efluente con la temperatura del cuerpo receptor del cual no se tiene información.

### 3.2.3. Comportamiento del potencial de hidrógeno

El comportamiento del potencial de hidrógeno a lo largo del sistema fue muy regular y los valores a la salida del sistema se encuentran entre los límites

de las tres normas comparadas. En la tabla siguiente se puede apreciar los resultados. (Ver en apéndices gráfica de variación del pH a lo largo del sistema).

Tabla XX. **Comparación de pH con las normas de AR**

# M	Fecha	pH (unidad)				
		Entrada	Salida fosa	Salida del sistema	Normas	
					Guatemala, Honduras y Nicaragua	
1	04/02/2015	6,94	6,53	6,56	6	9
2	11/02/2015	7,23	7,18	6,37	6	9
3	18/02/2015	7,29	7,14	6,55	6	9
4	25/02/2015	7,05	6,73	6,57	6	9
5	04/03/2015	7,21	7,00	7,10	6	9
6	11/03/2015	7,06	6,78	6,75	6	9
7	18/03/2015	7,26	6,78	7,06	6	9
8	08/04/2015	7,11	6,91	6,79	6	9
Mínimo		6,94	6,53	6,37		
Máximo		7,29	7,18	7,10		
Promedio		7,14	6,88	6,72		
Desv. estándar		0,12	0,22	0,26		

Fuente: elaboración propia.

### 3.2.4. **Comportamiento de los sólidos suspendidos totales, SST**

El comportamiento de los SST fue irregular en la entrada del sistema y salida de la fosa séptica, presentando un pico máximo en el muestreo #7, A la salida del sistema el comportamiento fue regular cumpliendo con los límites máximos permisibles de las tres normas comparadas. También se obtuvieron excelentes valores de porcentajes de remoción. En la tabla siguiente se pueden

apreciar los resultados. (Ver en apéndices gráfica de variación del SST a lo largo del sistema).

Tabla XXI. **SST y comparación con normas de AR**

# M	Fecha	SST (mg/l)				
		Entrada	Salida fosa	Salida del sistema	Normas	
					Guatemala	Honduras y Nicaragua
1	04/02/2015	324,00	83,33	8,20	100	100
2	11/02/2015	474,29	83,33	3,46	100	100
3	18/02/2015	204,00	66,15	6,31	100	100
4	25/02/2015	1228,57	58,46	3,67	100	100
5	04/03/2015	368,00	146,67	0,70	100	100
6	11/03/2015	900,00	82,22	4,80	100	100
7	18/03/2015	4200,00	174,29	1,00	100	100
8	08/04/2015	529,03	102,00	1,20	100	100
Mínimo		204,00	58,46	0,70		
Máximo		4200,00	174,29	8,20		
Promedio		1028,49	99,56	3,67		
Desviación estándar		1324,71	40,43	2,70		

Fuente: elaboración propia.

### 3.2.5. Comportamiento del color

El comportamiento del color a lo largo del sistema fue irregular, presentando sus valores máximos en el muestreo #2 y #6, Las concentraciones a la salida del sistema cumplen con los límites máximos permisibles de las tres normas comparadas. Se obtuvieron excelentes porcentajes de remoción. En la tabla siguiente se pueden apreciar los resultados. (Ver en apéndices gráfica de variación del color a lo largo del sistema).

Tabla XXII. **Comparación del color con normas de AR**

# M	Fecha	Color (UC)				
		Entrada	Salida fosa	Salida del sistema	Normas	
					Guatemala	Honduras
1	04/02/2015	357,00	258,00	7,00	500	200
2	11/02/2015	567,00	407,00	35,00	500	200
3	18/02/2015	411,00	228,00	53,00	500	200
4	25/02/2015	371,00	78,00	20,00	500	200
5	04/03/2015	288,00	146,00	6,00	500	200
6	11/03/2015	530,00	230,00	27,00	500	200
7	18/03/2015	377	285	11	500	200
8	08/04/2015	453	250	3	500	200
Mínimo		288,00	78,00	3,00		
Máximo		567,00	407,00	53,00		
Promedio		419,25	235,25	20,25		
Desv. estándar		92,98	96,72	17,31		

Fuente: elaboración propia.

### 3.2.6. Comportamiento de la DBO<sub>5</sub>

El comportamiento de la DBO<sub>5</sub> fue irregular en la entrada del sistema y salida de la fosa séptica, presentando picos máximos a la entrada en los muestreo #2 y 6, y un pico mínimo a la salida de la fosa en el muestreo #3. A la salida del sistema el comportamiento fue regular cumpliendo satisfactoriamente con los límites máximos permisibles de las tres normas comparadas. Se obtuvieron excelentes porcentajes de remoción. En la tabla siguiente se pueden apreciar los resultados. (Ver en apéndices gráfica de variación del DBO<sub>5</sub> a lo largo del sistema).



Tabla XXIII. **Comparación de la DBO<sub>5</sub> con normas de AR**

# M	Fecha	DBO <sub>5</sub> (mg/l)					
		Entrada	Salida fosa	Salida del sistema	Normas		
					Guatemala	Honduras	Nicaragua
1	04/02/2015	214,00	210,00	0,96	100	50	75
2	11/02/2015	675,00	230,00	2,30	100	50	75
3	18/02/2015	360,00	10,48	6,48	100	50	75
4	25/02/2015	290,00	163,00	11,00	100	50	75
5	04/03/2015	226,00	188,00	0,68	100	50	75
6	11/03/2015	630,00	124,00	5,00	100	50	75
7	18/03/2015	480	163	0,35	100	50	75
8	08/04/2015	292	130	0,54	100	50	75
Mínimo		214,00	10,48	0,35			
Máximo		675,00	230,00	11,00			
Promedio		395,88	152,31	3,41			
Desv. estándar		179,29	67,91	3,81			

Fuente: elaboración propia.

### 3.2.7. Comportamiento del DQO

El comportamiento de la DQO fue irregular en la entrada del sistema y salida de la fosa séptica, presentando picos máximos a la entrada en los muestreo #4 y 8. A la salida del sistema el comportamiento fue regular a excepción del muestreo #4, pero todas las concentraciones cumplieron satisfactoriamente con los límites máximos permisibles de las dos normas comparadas. Se obtuvieron excelentes porcentajes de remoción. En la tabla siguiente se pueden apreciar los resultados. (Ver en apéndices gráfica de variación del DQO a lo largo del sistema).

Tabla XXIV. **Comparación de la DQO con las normas de AR**

# M	Fecha	DQO (mg/l)				
		Entrada	Salida fosa	Salida del sistema	Normas	
					Honduras	Nicaragua
1	04/02/2015	583,00	392,00	14,00	200	150
2	11/02/2015	783,00	285,00	15,00	200	150
3	18/02/2015	616,00	286,00	14,00	200	150
4	25/02/2015	835,00	300,00	40,00	200	150
5	04/03/2015	589,00	370,00	7,00	200	150
6	11/03/2015	578,00	218,00	15,00	200	150
7	18/03/2015	621	423	0	200	150
8	08/04/2015	845	342	1	200	150
Mínimo		578,00	218,00	0,00		
Máximo		845,00	423,00	40,00		
Promedio		681,25	327,00	13,25		
Desv. estándar		118,03	67,16	12,46		

Fuente: elaboración propia.

### 3.2.8. Comportamiento del nitrógeno total

El comportamiento del nitrógeno a lo largo del sistema fue muy irregular en cuanto a datos de entrada con un valor promedio de 57 mg/l, mismo caso en la salida de la fosa séptica, donde se aprecia el aumento de este parámetro. En la salida del sistema tuvo un comportamiento regular al inicio, a la mitad de los muestreos sufrió resultados muy irregulares manteniendo o aumentando los valores de entrada, estos valores se muestran en las tablas y gráficas siguientes, donde también se muestra el cumplimiento de las tres normas comparadas en el inicio de los muestreos. El porcentaje de remoción se vio afectado por las variaciones en los resultados de la salida del sistema. En la tabla siguiente se pueden apreciar los resultados. (Ver en apéndices gráfica de variación del nitrógeno total a lo largo del sistema).

Tabla XXV. **Comparación de nitrógeno total con las normas de AR**

# M	Fecha	Nitrógeno total (mg/l)				
		Entrada	Salida fosa	Salida del sistema	Normas	
					Guatemala y Nicaragua	Honduras
1	04/02/2015	29,00	51,00	17,00	20	30
2	11/02/2015	38,00	53,00	17,00	20	30
3	18/02/2015	40,50	39,50	5,10	20	30
4	25/02/2015	68,00	76,00	21,70	20	30
5	04/03/2015	47,00	37,00	125,00	20	30
6	11/03/2015	187,50	187,50	187,50	20	30
7	18/03/2015	24,5	35	13,5	20	30
8	08/04/2015	62	45	95,5	20	30
9	15/04/2015	41	40	53	20	30
10	22/04/2015	41	38	29	20	30
Mínimo		24,50	35,00	5,10		
Máximo		187,50	187,50	187,50		
Promedio		57,85	60,20	56,43		
Desv. estándar		47,44	46,34	60,52		

Fuente: elaboración propia.

### 3.2.9. Comportamiento del fósforo total

El comportamiento del fósforo a lo largo del sistema fue regular. Las concentraciones a la salida del sistema cumplen con los límites máximos permisibles de las tres normas comparadas y se obtuvieron excelentes porcentajes de remoción. En la tabla siguiente se pueden apreciar los resultados. (Ver en apéndices gráfica de variación del fósforo total a lo largo del sistema).

Tabla XXVI. **Comparación de fósforo con las normas de AR**

# M	Fecha	Fósforo total (mg/l)					
		Entrada	Salida fosa	Salida del sistema	Normas		
					Guatemala	Honduras	Nicaragua
1	04/02/2015	6,50	7,25	0,83	10	5	2
2	11/02/2015	7,00	4,50	0,90	10	5	2
3	18/02/2015	9,50	7,50	1,80	10	5	2
4	25/02/2015	12,00	7,00	1,70	10	5	2
5	04/03/2015	11,00	9,50	1,20	10	5	2
6	11/03/2015	9,00	8,00	1,40	10	5	2
7	18/03/2015	11	9	1,2	10	5	2
8	08/04/2015	12,31	7,82	0,84	10	5	2
Mínimo		6,50	4,50	0,83			
Máximo		12,31	9,50	1,80			
Promedio		9,79	7,57	1,23			
Desv. estándar		2,19	1,51	0,38			

Fuente: elaboración propia.

### 3.2.10. Resultado coliformes fecales

El comportamiento de los coliformes fecales a lo largo del sistema fue muy irregular, la mayoría de las concentraciones a la salida del sistema no cumplieron con los límites máximos permisibles de las tres normas comparadas, pero sí se obtuvieron excelentes porcentajes de remoción. En la tabla siguiente se pueden apreciar los resultados. (Ver en apéndices gráfica de variación de los coliformes fecales a largo del sistema).

Tabla XXVII. **Comparación de coliformes fecales con las normas de AR**

# M	Fecha	Coliformes fecales (NMP)					
		Entrada	Salida fosa	Salida del sistema	Normas		
					Guatemala	Honduras	Nicaragua
1	04/02/2015	9,4E+09	5,6E+07	<1,8E+05	<1,00E+04	5,00E+03	1,00E+03
2	11/02/2015	>1,6E+09	5,4E+10	7,9E+06	<1,00E+04	5,00E+03	1,00E+03
3	18/02/2015	>1,6E+09	4,8E+08	5,5E+05	<1,00E+04	5,00E+03	1,00E+03
4	25/02/2015	>1,6E+09	4,0E+08	2,0E+05	<1,00E+04	5,00E+03	1,00E+03
5	04/03/2015	>1,6E+09	9,3E+06	<1,8E+05	<1,00E+04	5,00E+03	1,00E+03
6	11/03/2015	>1,6E+10	2,2E+11	2,0E+04	<1,00E+04	5,00E+03	1,00E+03
7	18/03/2015	>1,6E+10	1,5E+09	7,8E+03	<1,00E+04	5,00E+03	1,00E+03
8	08/04/2015	4,7E+10	4,7E+10	1,8E+04	<1,00E+04	5,00E+03	1,00E+03
9	15/04/2015	5,5E+08	4,7E+10	3,5E+08	<1,00E+04	5,00E+03	1,00E+03
10	22/04/2015	3,5E+12	1,8E+08	<1,8E+04	<1,00E+04	5,00E+03	1,00E+03
Mínimo		5,5E+08	9,3E+06	7,8E+03			
Máximo		3,5E+12	2,2E+11	3,5E+08			
Promedio		3,6E+11	3,7E+10	3,6E+07			
Desv. estándar		1,1E+12	6,8E+10	1,1E+08			

Fuente: elaboración propia.

### 3.2.11. Resultado de aceites y grasas

La evaluación realizada del sistema con este parámetro fue hecha de forma satisfactoria al no detectarse presencia de este a la salida del sistema y cumpliendo con las tres normas comparadas. (Ver informe en anexo 2)

Tabla XXVIII. **Resultados de aceites y grasas**

Correlativo ecosistemas	Identificación de la muestra	* Aceites y grasas mg/L
256	Entrada del sedimentador	21,7
257	Salida del sistema	N.D.
METODOLOGÍA		EPA 1664

Fuente: Ecosistemas Proyectos Ambientales.

### 3.2.12. Resultado de metales pesados

La evaluación de metales pesados realizada en las aguas del efluente del sistema brindó resultados inapreciables de estos parámetros, los cuales no afectaron el desempeño biológico del sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas. (Ver informe en anexo 3)

Tabla XXIX. **Resultados de metales pesados**

Parámetro	Unidad	Límite de detección	Resultado	Metodología
* Arsénico As	mg/L	0,002	0,007	UNICAM AN40177_E10/03C
* Cadmio Cd	mg/L	0,02	N.D.	SMWW 3111B
Cianuros	mg/L	0,03	N.D.	Colorimétrico Merck, análogo SMWW 3500-Cr-D
* Cobre Cu	mg/L	0,03	N.D.	SMWW 3111B
Cromo hexavalente Cr(VI)	mg/L	0,10	N.D.	Colorimétrico Merck, análogo SMWW 3500-Cr-D
* Mercurio Hg	mg/L	0,005	N.D.	UNICAM AN40181_E10/03C
* Niquel Ni	mg/L	0,05	N.D.	SMWW 3111B
* Plomo Pb	mg/L	0,05	N.D.	SMWW 3111B
* Zinc Zn	mg/L	0,01	0,18	SMWW 3111B

Fuente: Ecosistemas Proyectos Ambientales.

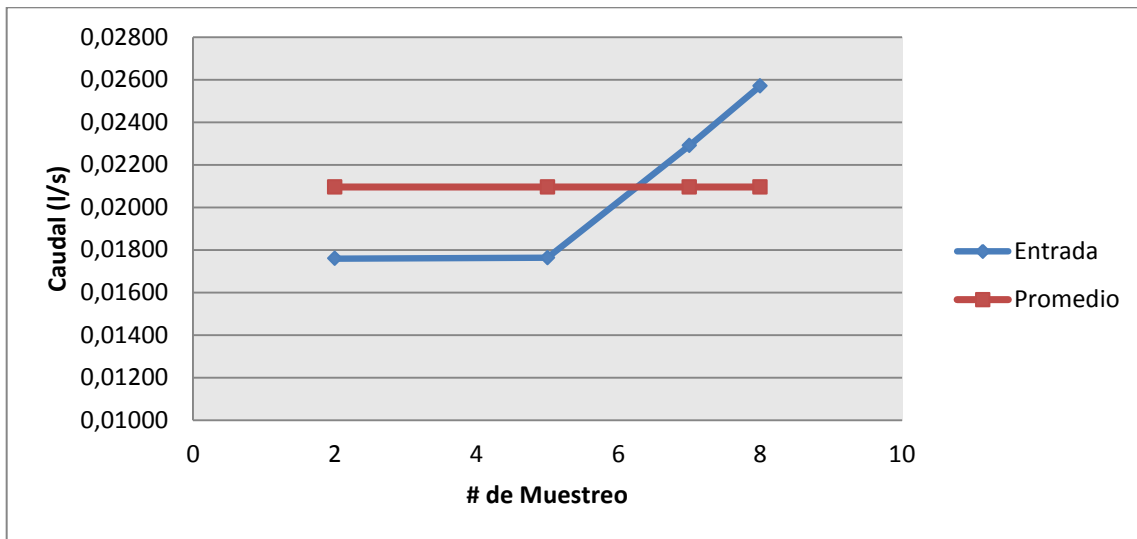


## 4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 4.1. Caudal

El caudal a la entrada del sistema fue irregular con un valor promedio de 0,02096 l/s, siendo este mayor al caudal de diseño de 0,011 l/s. Esto representa una sobrecarga al sistema destinado a una vivienda de 6 habitantes (ver figura 23). Pese a estas condiciones se dieron excelentes porcentajes de remoción de la mayoría de los parámetros, los cuales se detallan a continuación.

Figura 23. Variación del caudal de entrada al sistema



Fuente: elaboración propia.



#### **4.2. Material flotante**

Se pudo observar que la fosa séptica removió el 100 % del material flotante que ingresaba al sistema, por lo tanto su rendimiento fue satisfactorio. Estos resultados cumplen con las normas de Guatemala, Honduras y Nicaragua.

#### **4.3. Temperatura y potencial de hidrógeno**

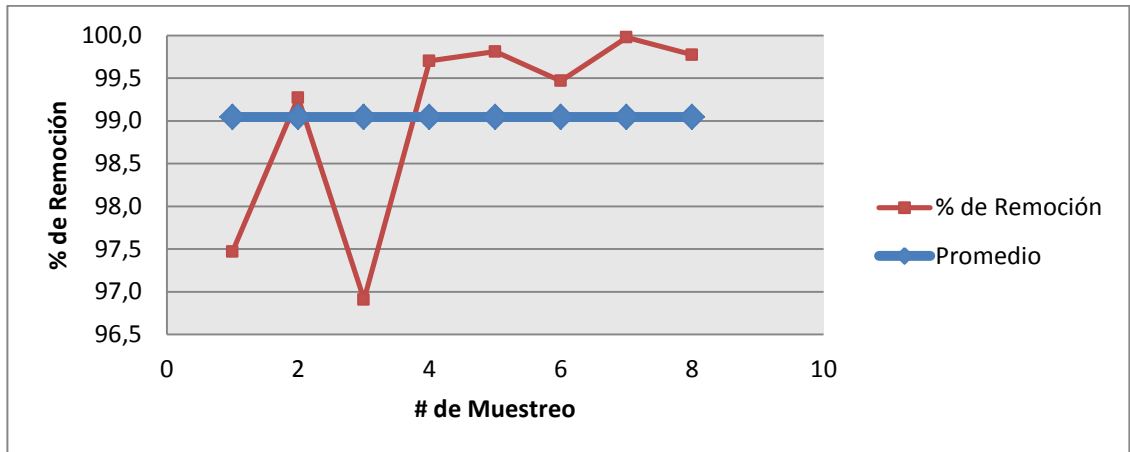
La temperatura y el potencial de hidrógeno son parámetros importantes que favorecen la actividad biológica dentro del medio filtrante, en este caso el suelo. A la entrada y salida del sistema estos parámetros se comportaron de manera regular manteniendo valores entre 20 °C y 22 °C para temperatura y valores entre 6,4 y 7,30 para pH.

La temperatura se mantuvo bajo el valor máximo permisible de la norma de descarga de Honduras, para el caso de Guatemala no se comparó porque en esta norma se hace referencia a la temperatura del cuerpo receptor y en la norma de Nicaragua, no se establece ningún valor. El pH se encuentra dentro del rango establecido por las tres normas comparadas.

#### **4.4. Sólidos suspendidos totales**

La remoción de sólidos suspendidos totales fue de forma regular en todas las muestras, como se observa en la figura 24, la eficiencia de remoción promedio fue del 99 %, siendo esta de 3,67 mg/l con una desviación estándar de 2.7. Estos resultados cumplen con las normas de Guatemala, Honduras y Nicaragua.

Figura 24. **Eficiencia de remoción de SST a la salida del sistema**

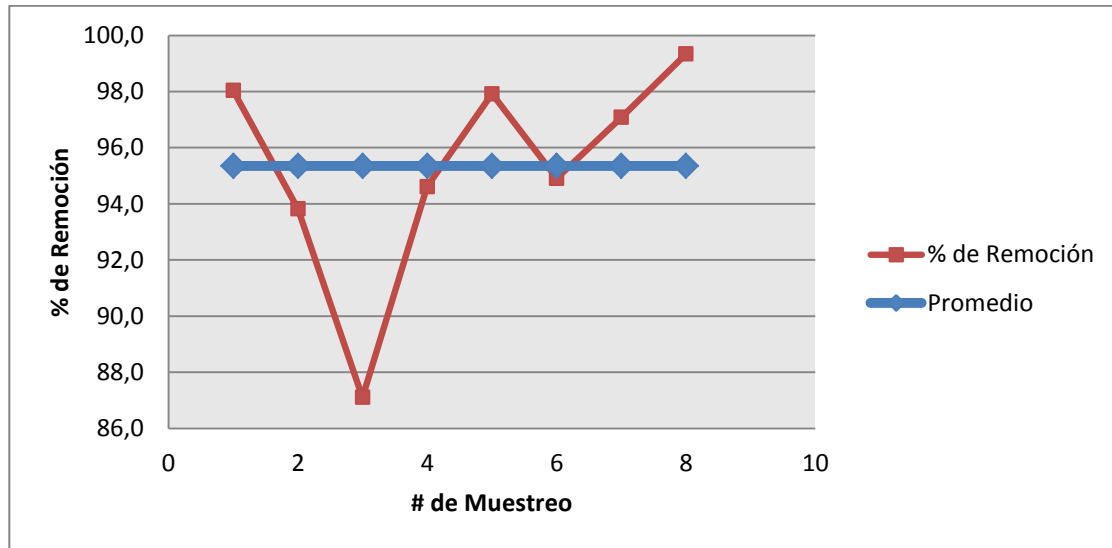


Fuente: elaboración propia.

#### 4.5. **Color**

La remoción de color fue de forma irregular en las muestras como se observa en la figura 25, pero la eficiencia media de remoción fue del 95,4 %, obteniéndose un valor promedio de remoción de 20,25 mg/l. Estos resultados satisfacen las normas de Guatemala, Honduras y Nicaragua.

Figura 25. **Eficiencia de remoción de color a la salida del sistema**

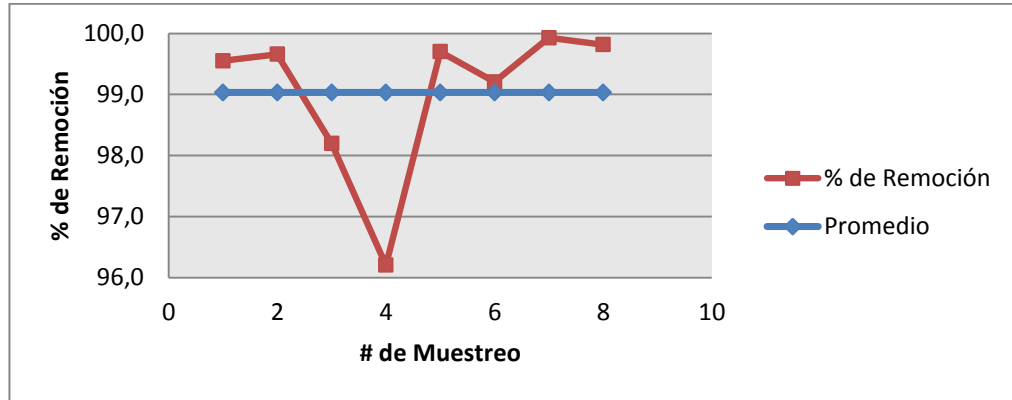


Fuente: elaboración propia.

#### 4.6. **Demanda biológica de oxígeno, DBO<sub>5</sub>**

La reducción de la DBO<sub>5</sub> en el efluente del sistema de tratamiento presenta una eficiencia media de remoción del 99 %, siendo esta de 3,41 mg/l con 3,8 de desviación estándar, resultando exitoso el desempeño de remoción de este parámetro. Estos resultados satisfacen las normas de Guatemala, Honduras y Nicaragua (ver figura 26).

Figura 26. **Eficiencia de remoción de DBO<sub>5</sub> a la salida del sistema**

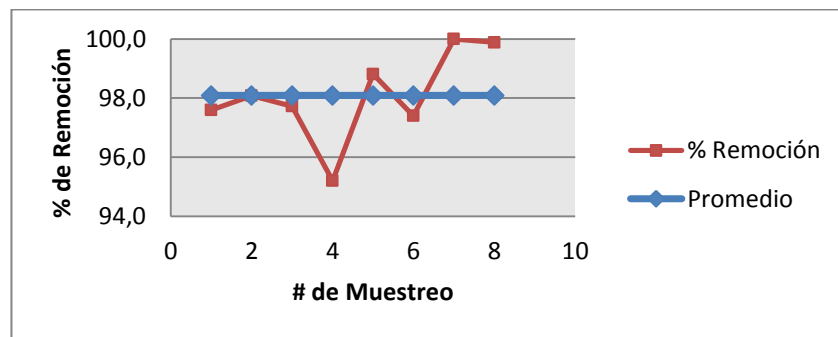


Fuente: elaboración propia.

#### 4.7. Demanda química de oxígeno DQO

La reducción de DQO en el efluente del sistema de tratamiento presenta una eficiencia media de remoción del 98 %, siendo esta 12,25 mg/l con 12,46 de desviación estándar. Estos resultados satisfacen las normas de Honduras y Nicaragua (ver figura 27).

Figura 27. **Eficiencia de remoción de DQO a la salida del sistema**

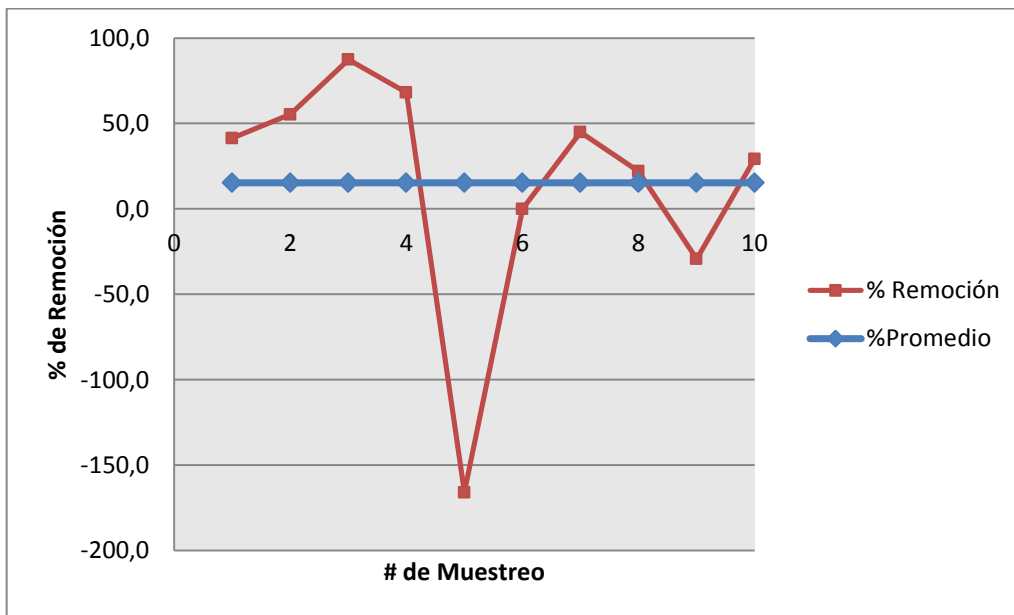


Fuente: elaboración propia.

#### 4.8. Nitrógeno total

La eficiencia del sistema en cuanto a la remoción de nitrógeno tuvo un comportamiento irregular en las muestras 5, 6, 8, así como en la muestra complementaria número 9. En las primeras cuatro muestras presentó un comportamiento progresivo positivo al igual que en la número 10. Los primeros tres resultados cumplieron con las normas de Guatemala, Honduras y Nicaragua, al igual que la muestra complementaria número 10 (ver figura 28).

Figura 28. **Eficiencia de remoción de nitrógeno a la salida del sistema**



Fuente: elaboración propia.

El sistema no trabajó en forma continua, existiendo dos periodos de inactividad, y el aumento en las concentraciones de nitrógeno a la salida del sistema se presentó cuando se restableció el flujo de agua.

Según Sans Fonfria y Pablo Ribas en los tratamientos de infiltración rápida es necesario el funcionamiento intermitente para permitir que el oxígeno atmosférico penetre en el suelo y se restablezcan las condiciones aerobias. Al secarse la superficie se activa la descomposición aerobia de la materia orgánica, así como la nitrificación cuando se vuelve a poner agua residual, el nitrato formado sufre una lixiviación, hasta que encuentra las condiciones anaerobias para la desnitrificación.

Esto explica el fenómeno del aumento de nitrógeno total a la salida del sistema, cuando se interrumpía el flujo por un periodo de tiempo. Según la experiencia, la disminución del nitrógeno se reflejaba en los resultados de los análisis hasta los 8 días después que el flujo fuese detenido.

En el supuesto que el flujo fuera continuo, es necesario conocer el comportamiento del nitrógeno sin datos extremos, por consiguiente se procedió a realizar la eliminación de dichos valores por métodos estadísticos. El rechazo de datos en un análisis estadístico se puede realizar por varias técnicas, entre ellas los límites de confianza. Esta técnica es recomendada para un número de datos menor a 30 y se utiliza la t de Student de acuerdo a la siguiente tabla:

Tabla XXX. **t de Student para un intervalo de confianza del 95 %**

Grados de Libertad	t	Grados de libertad	t
1	12,706	16	2,12
2	4,303	17	2,11
3	3,182	18	2,101
4	2,776	19	2,093
5	2,571	20	2,086
6	2,447	21	2,080
7	2,305	22	2,074
8	2,306	23	2,069
9	2,262	24	2,064
10	2,228	25	2,060
11	2,201	30	2,048
12	2,179	40	2,021
13	2,160	60	2,000
14	2,145	120	1,980
15	2,131		

Fuente: ROMERO, Jairo. *Tratamiento de aguas residuales, teoría y principios de diseño.*

Los límites de confianza para un intervalo con el 95 % de probabilidad, se calculan por medio de la siguiente fórmula:

$$LC = \bar{X} \mp t \frac{s}{\sqrt{n}}$$

Donde LC= valor del límite del intervalo de confianza

X= valor promedio de la muestra

n= número de observaciones de la muestra

s= valor de la desviación estándar

t= valor de la t de Student para n-1 grados de libertad

De la tabla XXV se tiene que la desviación estándar para el nitrógeno total es 60,52 y el valor promedio es 56,43, para n igual a 10 el grado de libertad es 9 y la t de Student es 2,262. Por consiguiente, se determina que el valor mínimo del intervalo de confianza es 13,13 y el valor máximo es 99,72.

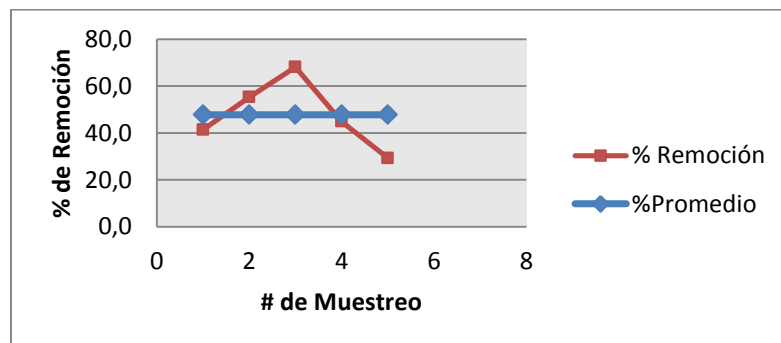
De acuerdo a la información anterior se eliminan de la tabla XXV los valores de los muestreos #3, 5 y 6, la nueva tabla queda de la siguiente manera:

Tabla XXXI. **t de Student para un intervalo de confianza del 95 %**

# M	Fecha	Entrada sistema	Salida fosa	Salida sistema
1	04/02/2015	29,00	51,00	17,00
2	11/02/2015	38,00	53,00	17,00
4	25/02/2015	68,00	76,00	21,70
7	18/03/2015	24,5	35	13,5
8	08/04/2015	62	45	95,5
9	15/04/2015	41	40	53
10	22/04/2015	41	38	29
Mínimo		24,50	35,00	13,50
Máximo		68,00	76,00	95,50
Promedio		43,36	48,29	35,24
Desv. estándar		16,11	13,90	29,74

Fuente: elaboración propia.

Figura 29. **Eficiencia de remoción de nitrógeno a la salida del sistema sin datos extremos**



Fuente: elaboración propia.

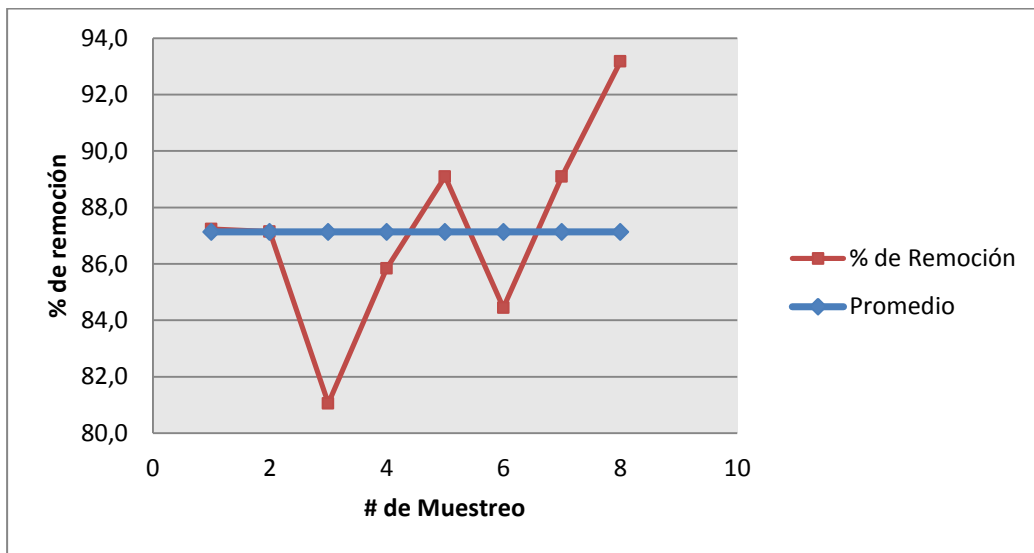


El porcentaje de remoción promedio de nitrógeno al eliminar los datos extremos fue de 22 %.

#### 4.9. Fósforo total

La eficiencia del sistema en cuanto a la remoción del fósforo promedio fue del 87 %, siendo esta 1,23 mg/l, con una desviación estándar menor de 1, dando resultados homogéneos. Estos resultados satisfacen las normas de Guatemala, Honduras y Nicaragua.

Figura 30. Eficiencia de remoción del fósforo a la salida del sistema

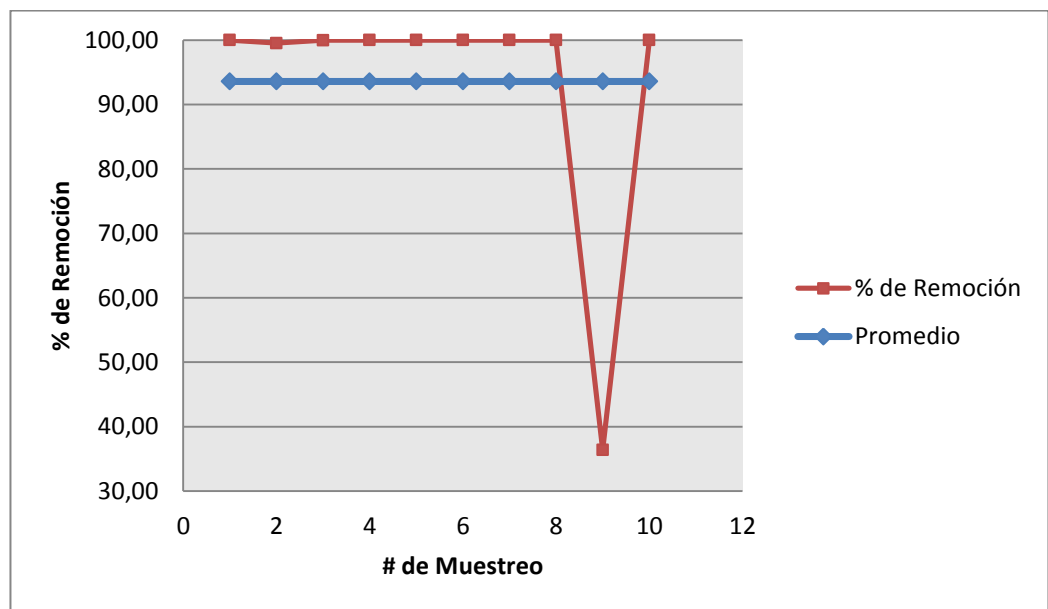


Fuente: elaboración propia.

#### 4.10. Coliformes fecales

La eficiencia en remoción de coliformes fecales tuvo un comportamiento irregular, sin embargo, se logró reducir en más de cuatro unidades logarítmicas este parámetro, y en los últimos muestreos en más de 7 unidades logarítmicas. Pese a esto, los resultados no cumplieron con las normas de Guatemala, Honduras y Nicaragua.

Figura 31. **Eficiencia de remoción de los coliformes fecales a la salida del sistema**



Fuente: elaboración propia.

Según se cita en el artículo científico llamado *Tratamiento de aguas residuales mediante sistemas suelo-acuífero, aspectos microbiológicos*, la granulometría del suelo influye en la capacidad de retención de las bacterias; a mayor granulometría menor porosidad, y a su vez, menor capacidad de

retención de bacterias (Gerba et al., 1991, Bitton et al. 1992). El transporte de los virus a través de un medio poroso depende de su punto isoelectrico el cual es influenciado por el pH del suelo (Maier et al, 2000). Esto se comprobó en este estudio ya que el suelo utilizado estaba conformado en un 86 % de arena, que indica una granulometría alta y el pH fue de 6,4 levemente ácido.

Otro factor que influye en la remoción de bacterias es la profundidad de tratamiento, en este estudio se utilizó 1,2 m, menor a los 1,5 m en suelos naturales recomendado por los autores Wagner y Lanoix y por la Agencia de Protección Ambiental (Environmental Protection Agency (EPA)).

Estos factores y el hecho que las condiciones naturales del suelo en estudio fueron modificadas, influyeron a que la remoción de bacterias fecales no llegara a cumplir con la normas de Guatemala, Honduras y Nicaragua.

#### **4.11. Metales pesados**

El análisis del muestreo de metales pesados a la entrada del sistema dio como resultado concentraciones inapreciables. Estos resultados satisfacen las normas de Guatemala, Honduras y Nicaragua.

#### **4.12. Aceites y grasas**

El análisis del muestreo realizado de aceites y grasas dio como resultado una remoción del 100 % de estos parámetros por parte del sistema. Estos resultados satisfacen las normas de Guatemala, Honduras y Nicaragua.

#### 4.13. Comparación de rendimiento con otros sistemas de tratamiento

Al comparar los porcentajes de remoción obtenidos en la investigación con otros sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas como: lodos activados, filtros percoladores y lagunas de estabilización; mostradas en las publicaciones de los autores citados, resaltan los rendimientos obtenidos por el presente estudio logrando iguales o mejores eficiencias. Como se muestra en la tabla siguiente:

Tabla XXXII. **Comparación de eficiencia del sistema**

Sistema Autor	Lodos activados			Filtros percoladores			Lagunas			Fosas sépticas y zanjas de infiltración		
	DBO <sub>5</sub>	DQO	SSt	DBO <sub>5</sub>	DQO	SSt	DBO <sub>5</sub>	DQO	SSt	DBO <sub>5</sub>	DQO	SSt
S. Oakley	55-95		55-95	50-95		50-90	70-95		55-93			
Metcalf & Eddy	80-95	80-85	80-90	65-80	60-80	60-85						
CEDEX	85-95	80-90	85-95	85-95	80-90	85-95	40-50	40-50	50-60			
L. Moreno							80-95	60-80	70-90			
Peralta & Perez										99	98	99

\*Investigación en proceso "Uso de suelo como tratamiento secundario de aguas residuales domésticas".

Fuente: elaboración propia.



## CONCLUSIONES

1. Al evaluar el rendimiento del sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas este presentó una eficiente remoción promedio de contaminantes, con resultados en sólidos suspendidos de 99 %, color 95 %, DBO<sub>5</sub> de 99 %, DQO de 98 %, fósforo de 87 % y coliformes fecales de 93 %. Al determinar los valores del nitrógeno se eliminaron los resultados extremos obteniéndose una eficiencia de remoción 23 %. Por lo tanto, la hipótesis planteada es verdadera a excepción del nitrógeno.
2. Los resultados de calidad del agua de los parámetros evaluados cumplen con los límites máximos permisibles de las normativas de aguas residuales y descargas de Guatemala, Honduras y Nicaragua, debido a que se mantuvieron por debajo de dichos límites, a excepción del nitrógeno y coliformes fecales.
3. Se comprobó en este estudio que la porosidad, el pH y la profundidad se relacionan con la remoción de bacterias. Dado que el suelo utilizado estaba conformado en un 86 % de arena que indica una granulometría alta, un pH de 6,4 levemente ácido, y la profundidad evaluada fue de 1,2 m; menor a la recomendada por algunos autores, la remoción de bacterias fecales no llegó a cumplir con la normas de Guatemala, Honduras y Nicaragua.

4. Por sus características físicas, facilidad de instalación, mínimo mantenimiento y alta eficiencia en el tratamiento de aguas residuales domésticas hacen a este sistema viable y sostenible para usarse como alternativa de saneamiento en zonas periurbanas y rurales, donde no existen sistemas de alcantarillado ni tratamiento a las aguas residuales en Guatemala.
  
5. El sistema fosa séptica y zanjas de infiltración demostró que tiene eficiencias de remoción de DBO5, DQO y SST mayor a los sistemas convencionales de tratamiento de aguas residuales como: lodos activados, filtros percoladores y lagunas de estabilización.

## RECOMENDACIONES

1. Por el aumento de la concentración del nitrógeno total a la salida de sistema, el cual se experimentó por la suspensión del flujo durante un periodo de días, se recomienda hacer un estudio utilizando ciclos de llenado y secado, como en un tratamiento por infiltración rápida. Según la literatura se aprovecha el tiempo de secado para permitir que el oxígeno atmosférico penetre en el suelo y active la descomposición aerobia y el proceso de nitrificación y desnitrificación. Con dicho estudio determinar el tiempo necesario para lograr la remoción satisfactoria del nitrógeno una vez que se vuelve a colocar agua residual al sistema.
2. Hacer un estudio detallado del nitrógeno en el que se incluya todas sus formas para entender su comportamiento dentro del sistema de filtración.
3. Investigar más sobre el uso del suelo como tratamiento de aguas residuales domésticas, utilizando otros tipos de suelo a diferentes profundidades de tratamiento. Debido a que el suelo en estudio presentó una buena remoción de coliformes fecales disminuyendo la concentración de bacterias fecales en un promedio de 4 unidades logarítmicas. Sin embargo, no se llegó a cumplir con las normas de Guatemala, Honduras y Nicaragua. Porque además de las características de porosidad y pH del suelo la remoción de bacterias se ve afectada por el tiempo de retención y contacto en el suelo.





## BIBLIOGRAFÍA

1. Alonzo, A. (2015). *Uso de suelo y pet para el tratamiento secundario de aguas residuales domésticas por infiltración* (Estudio especial de maestría en Ciencias de Ingeniería Sanitaria de ERIS, Universidad de San Carlos Guatemala).
2. Bitton, G. & Harvey, R. W. (1992). *Transport of pathogens through soils and aquifers*. New York, Wiley-Liss.
3. Calero, A. (1978). *Técnicas de muestreo*. La Habana, Pueblo y Educación.
4. Cardoza Meza, D.M. (2015) *Tesario de estudios especiales de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos de la Universidad de San Carlos de Guatemala (1974-2013)*. Guatemala: ERIS-USAC.
5. Castillo, G., Mena, M., Dibarrart, F., Honeyman, G., Moreno F., Vallejos, J., (2000). *Tratamiento de aguas residuales mediante sistemas suelo-acuífero, aspectos microbiológicos*. XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental. Brasil, ABES- Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental.
6. Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas. (2010). *Manual para la implantación de sistemas de depuración en pequeñas poblaciones*. España, CEDEX.

7. Crites, R., Tchobanoglous, G. (2000). *Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones*. Colombia, McGraw-Hill.
8. Donoso, C. (1992) *Ecología forestal*. Valdivia, Chile, Universidad Austral de Chile
9. EPA. (2005). *Guía del dueño de hogar para sistemas sépticos*, Washington, U.S.A.
10. EPA. (2000). *Folleto informativo de sistemas descentralizados*, Washington, U.S.A.
11. Espinoza, C. & Herrera, P. (2000). *Comportamiento hidráulico de un sistema de infiltración de aguas servidas tratadas en el suelo*. XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental. Brasil, ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental.
12. Folch, M., Salgot, M. y Brissaud, F. (2009). *La infiltración-percolación como sistema de depuración avanzada de aguas residuales por zona vadosa*. Barcelona, España.
13. Foro Centroamericano y República Dominicana de Agua Potable y Saneamiento. (2013). *Gestión de las excretas y aguas residuales en Centroamérica y República Dominicana*. SICA, FOCARD-APS.
14. Gerba, C. P., Powelson, D. K., Yahya, M. T., Wilson, L. G. & Amy, G. L. (1991). *Fate of viruses in treated sewage effluent during SAT treatment designed for wastewater reclamation and reuse*. undergraduate thesis, Department of Civil Engineering and Engineering Mechanics, The University of Arizona, Tucson.

15. González, V., Leal, M., Lillo J., Bustamante I., Palacios P. *Guía de caracterización edáfica para regeneración de aguas residuales en usos ambientales*. España, Consolider Tragua.
16. *Guía técnica sanitaria para la instalación y funcionamiento de sistemas de tratamiento individuales de aguas negras y grises*, El Salvador, Ministerio de Salud Pública.
17. Honeyman G. (1999). *Estudio experimental para la recuperación de aguas servidas de arica mediante el sistema de tratamiento suelo-acuífero (SAT)*. Tesis de pregrado para optar al título de Ingeniero Civil, Universidad de Chile. Chile.
18. Moreno, L. (Ed). (2003). *La depuración de aguas residuales urbanas de pequeñas poblaciones mediante infiltración directa en el terreno I*. Madrid, Instituto Geológico y Minero de España.
19. López, Alex. (2010). *Implementación del material denominado Ripio clasificado de concreto como material filtrante en filtros percoladores en la planta piloto "Ing. Arturo Pazos Sosa*. Estudio especial de maestría en Ciencias de Ingeniería Sanitaria, Universidad de San Carlos, ERIS.
20. Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. (2015). *Acuerdo Gubernativo 236-2006. Reglamento de las descargas y reúso de aguas residuales y de la disposición de lodos*. Guatemala, MARN.
21. Maraños, A., Sánchez, J. A., Lozano, H., S., Sánchez, S. T., Torres, F. (1998). *Análisis de suelos. Metodología e interpretación*. Universidad de Almería, España, Servicio de Publicaciones.

22. Mariñelarena, A. (2006). *Manual de autoconstrucción de sistemas de tratamiento de aguas residuales domiciliarios*. Argentina, FREPLATA
23. Mena, M. P., Castillo, G., Dibarrart, F. y Honeyman G. (1999). *Tratamiento de aguas residuales mediante el sistema suelo-acuífero (SAT), simulación en columnas. Aspectos físico-químicos*. XIII Congreso Chileno de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Antofagasta 20 - 23 Octubre.
24. Metcalf & Eddy. (1995). *Ingeniería de aguas residuales, redes de alcantarillado y bombeo*. España, McGraw-Hill.
25. Moreno, F. (2000). *Evaluación experimental del Tratamiento Suelo-Acuífero (SAT) en Copiapó*. Tesis de pregrado para optar al Título de Ingeniero Civil. Universidad de Chile. Chile.
26. Much Santos, Z. (2005). *Manual de laboratorio. Curso de Maestría en Ingeniería Sanitaria*. USAC, ERIS.
27. *Normas de presentación, diseño y construcción para urbanizaciones y fraccionamientos, AyA*. Costa Rica.
28. *Normas Técnicas de las Descargas de Aguas Residuales a Cuerpos Receptores y Alcantarillados Sanitarios (1997)*. Acuerdo No. 058. Honduras, ministerio de salud pública.
29. *Onsite Wastewater Treatment Systems Manual*. EPA/625/R-00/008, February 2002.

30. Pastran, C. & Millán, R. *Metodología para el dimensionamiento de zanjas de infiltración para el tratamiento de aguas residuales*. Universidad de Oriente. Venezuela.
31. Sans, R. Y Ribas, J. (1999). *Ingeniería ambiental: Contaminación y tratamientos*. España, MARCOMBO, S.A.
32. *Reglamento para los Vertidos de Aguas Residuales a cuerpos Receptores y Alcantarillados Sanitarios*. (2008). Nicaragua.
33. Romero Rojas, J. A. (2010) *Tratamiento de aguas residuales, teoría y principios de diseño*, Escuela Colombiana de Ingeniería. Colombia.
34. Rosales E. (2003). *Tanques sépticos, conceptos teóricos base y aplicaciones*. Costa Rica, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Escuela de Ingeniería en Construcción, Centro de Investigaciones en vivienda y construcción.
35. Reed, C. (1990). *Natural systems for wastewater treatment. Manual of Practice SD-16. Water Environmental Federation*. Direction of Task Force on Natural Systems.
36. Sotelo, Á. G. (1997). *Hidráulica General*. México, LIMUSA.
37. Torrent, J., Schwertmann, U. & Schulze, D. G.(1980): *Iron oxide mineralogy of some soils of two river terrace sequences in Spain*, Geoderma.

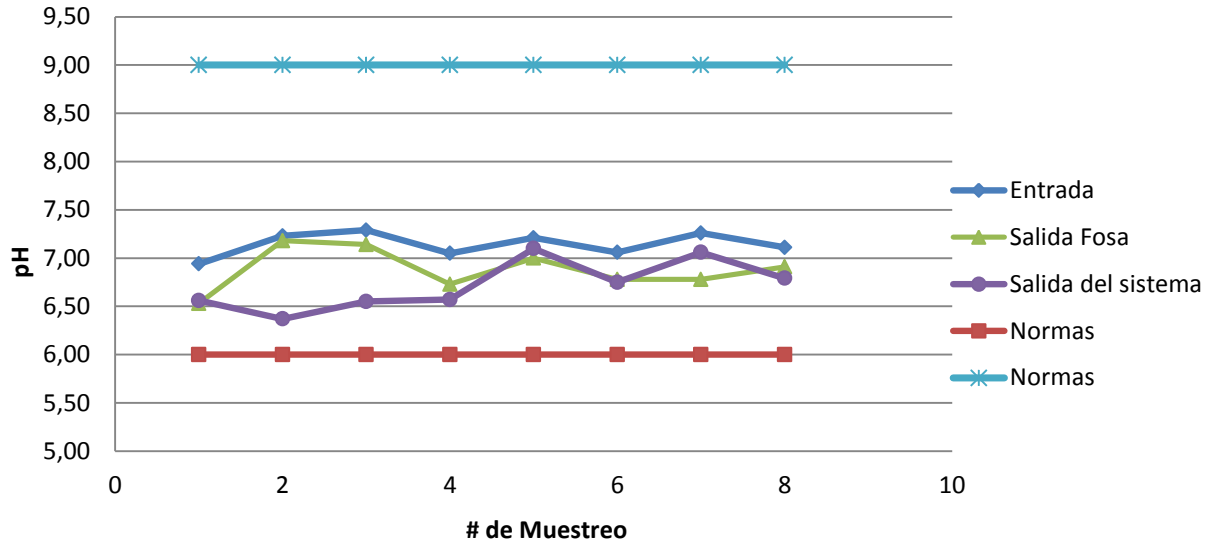
38. Valverde, E. Y Romero, J. (2007). *El paradigma del 10 %: rompiendo mitos con respecto al muestreo en investigación en ciencias médicas*. Costa Rica.
39. Wayne, W. D. (1991). *Bioestadística: base para el análisis de las ciencias de la salud*. México, LIMUSA.
40. Wagner, E. G. Y Lanoix, I. N. (1960). *Evacuación de excretas en las zonas rurales y en las pequeñas comunidades*. Monografía nº 39. Ginebra. OMS

**Páginas Web consultadas:**

41. Métodos naturales de tratamiento de aguas residuales. Recuperado el 8 de abril de 2015 en:  
[http://www.igme.es/actividadesigme/lineas/HidroyCA/publica/libro33/pdf/lib33/cap\\_3.pdf](http://www.igme.es/actividadesigme/lineas/HidroyCA/publica/libro33/pdf/lib33/cap_3.pdf).
42. Textura del suelo. Recuperado el 3 de mayo de 2015 en:  
[http://es.wikipedia.org/wiki/Textura\\_del\\_suelo](http://es.wikipedia.org/wiki/Textura_del_suelo).

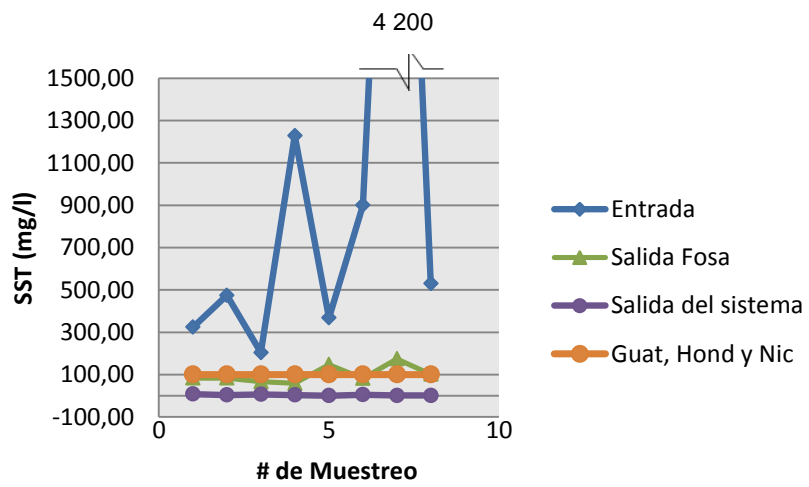
# APÉNDICES

## Variación del pH a lo largo del sistema



Fuente: elaboración propia.

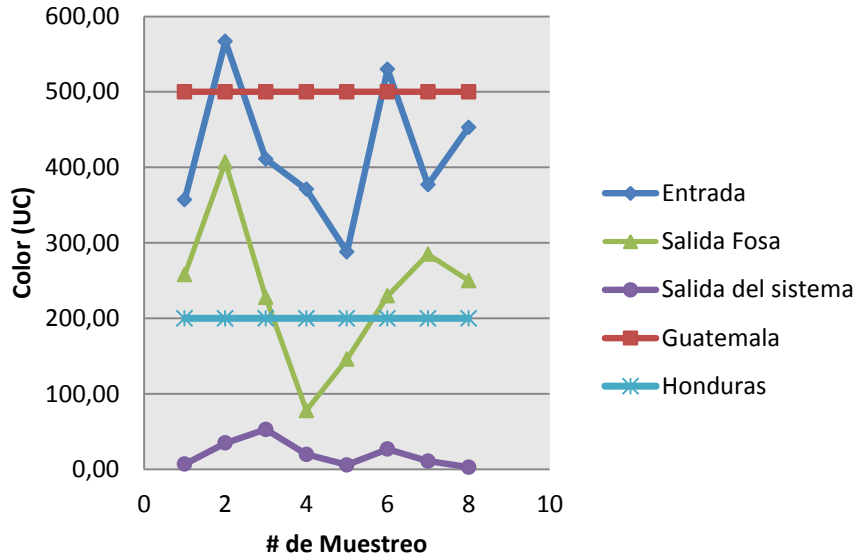
## Variación de los SST a lo largo del sistema



Fuente: elaboración propia.

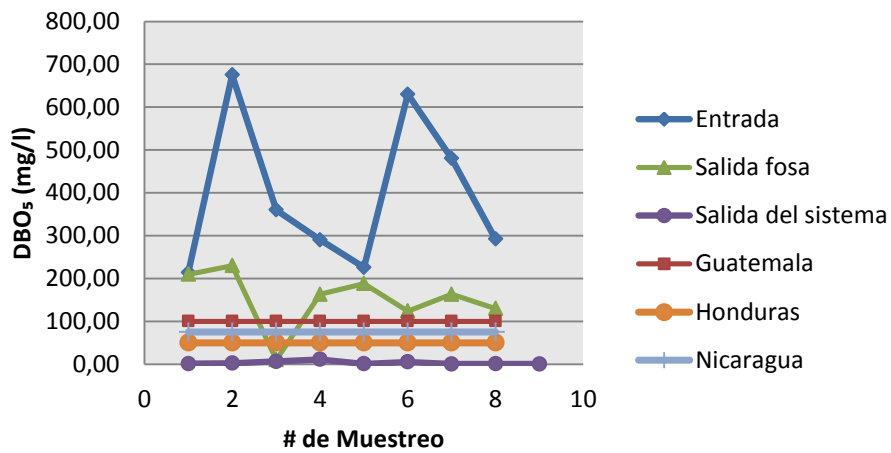


### Variación de color a lo largo del sistema



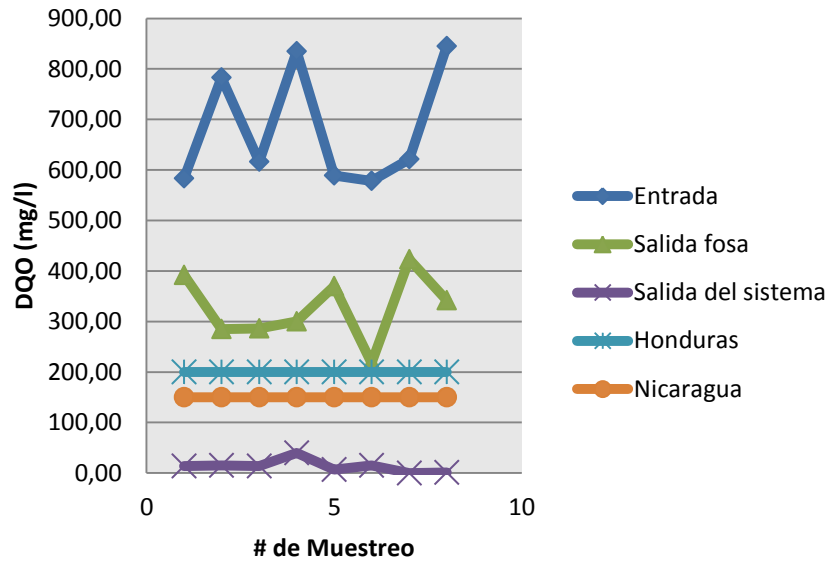
Fuente: elaboración propia.

### Variación de DBO<sub>5</sub> a lo largo del sistema



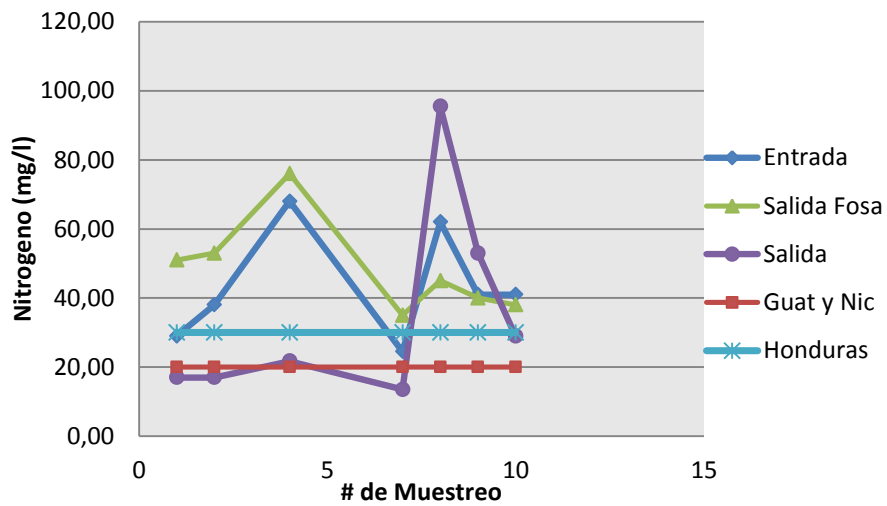
Fuente: elaboración propia.

### Variación de DQO a lo largo del sistema



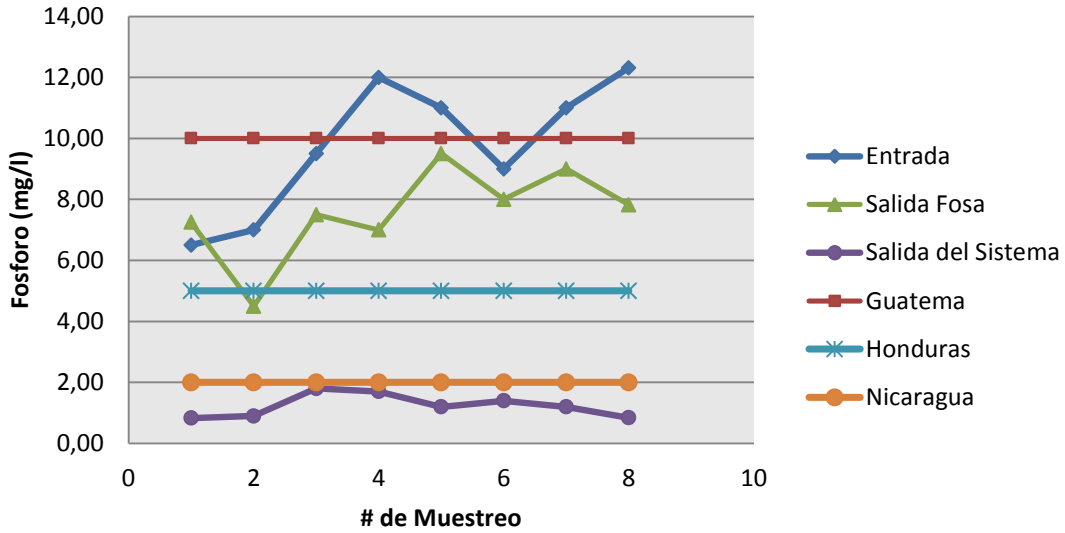
Fuente: elaboración propia.

### Variación de nitrógeno total a lo largo del sistema



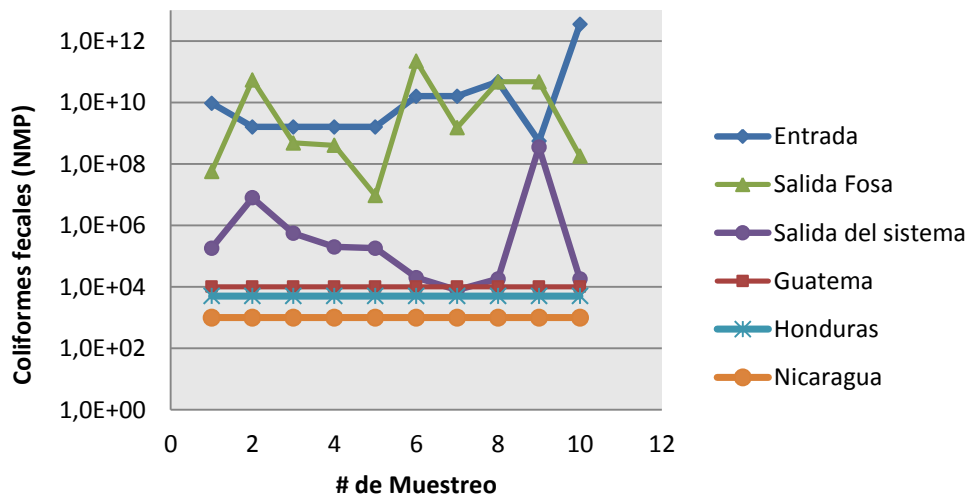
Fuente: elaboración propia.

### Variación de fósforo a lo largo del sistema



Fuente: elaboración propia.

### Variación de los coliformes fecales a lo largo del sistema



Fuente: elaboración propia.

# ***ANEXOS***



## **ANEXO 1**

### **ANÁLISIS QUÍMICO DEL SUELO**





**INTERESADO: IVIS PERALTA**  
**PROCEDENCIA: PLANTA DE TRATAMIENTO AURORA II**  
**FECHA DE INGRESO: 29/8/2014**

### ANALISIS QUIMICO

Identificación	pH	$\mu\text{S/cm}$ C.E	ppm		Meq/100gr		ppm				%	
			P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	Fe	Mn	M.O.	N
<b>RANGO MEDIO</b>			12-16	120-150	6-8	1.5-2.5	2-4	4-6	10-15	10-15		
<b>M-1</b>	6.4	218.5	4.63	163	3.43	1.90	1.00	0.50	28.00	3.50	0.30	0.0015

### DISTRIBUCION POR TAMAÑO DE PARTICULA

TAMAÑO DE PARTICULA	%
> DE 1 mm	34.93
1mm-0.5mm	40.90
0.5mm-0.061mm	23.32
<0.061mm	0.85







## **ANEXO 2**

### **RESULTADOS DE METALES PESADOS Y RESULTADOS DE ACEITES Y GRASAS**



REG 016 Resultados de Análisis

Muestra: 1 muestra de agua  
Análisis solicitado por: Andy Williams Alonzo Vásquez  
Dirección: Planta Aurora zona 13  
Procedencia: PTAR Aurora zona 13  
Fecha de ingreso de muestras: 030215  
Fecha de análisis: 030215-120215  
Fecha del informe: 120215

**Identificación de la muestra:** Entrada del sedimentador (PTAR Aurora zona 13)  
**Correlativo Ecosistemas:** 258

Parámetros analizados:

PARAMETRO	DIMENSIONAL	LIMITE DE DETECCION	RESULTADO	METODOLOGIA
* Arsénico As	mg/L	0.002	0.007	UNICAM AN40177_E10/03C
* Cadmio Cd	mg/L	0.02	N.D.	SMWW 3111B
Cianuros	mg/L	0.03	N.D.	Colorimétrico Merck, análogo SMWW 3500-Cr-D
* Cobre Cu	mg/L	0.03	N.D.	SMWW 3111B
Cromo Hexavalente Cr(VI)	mg/L	0.10	N.D.	Colorimétrico Merck, análogo SMWW 3500-Cr-D
* Mercurio Hg	mg/L	0.005	N.D.	UNICAM AN40181_E10/03C
* Niquel Ni	mg/L	0.05	N.D.	SMWW 3111B
* Plomo Pb	mg/L	0.05	N.D.	SMWW 3111B
* Zinc Zn	mg/L	0.01	0.18	SMWW 3111B

**Notas:**

*Captación de muestras: La muestra fue captada por personal ajeno a Ecosistemas.*

*Transporte y preservación de la muestra: Temperatura ambiente. pH < 2*

*Metodología: Espectrofotométricos / Standard Methods for water and wastewater APHA, AWWA, 22 edic.*


*Organic Reagents for Trace Analysis. J.Fries/H. Getrost. E. Merck Darmstadt. 1977*

*N.D. No detectable. Debajo del límite de detección.*

*Los resultados obtenidos corresponden únicamente a la muestra recibida por el personal de Ecosistemas Proyectos Ambientales.*

*Se prohíbe la reproducción parcial de este informe sin la autorización escrita de Ecosistemas Proyectos Ambientales.*

\* **Análisis acreditado COGUANOR NTG/ISO/IEC 17025:2005 según OGA LE 006-04**



Ing. Fernando Fuentes  
Gerente Técnico



REG 016 Resultados de Análisis

Muestras: 2 muestras de agua  
Análisis solicitado por: Andy Williams Alonzo Vásquez  
Dirección: Planta Aurora zona 13  
Procedencia: PTAR Aurora zona 13  
Fecha de ingreso de muestras: 030215  
Fecha de análisis: 030215-120215  
Fecha del informe: 120215

Resultados:

Correlativo Ecosistemas	Identificación de la muestra	* Aceites y Grasas mg/L
256	Entrada del sedimentador	21.7
257	Salida del sistema	N.D.
METODOLOGIA		EPA 1664

**Notas:**

*Captación de muestras: Las muestras fueron captadas por personal ajeno a Ecosistemas.*

*Transporte y preservación de las muestras: Temperatura ambiente, pH < 2*

*Metodología: Standard Methods for the examination of water and wastewater APHA, AWWA, WEF 22 Ed. EPA 1664*

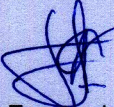
*N.D. No detectable, debajo del límite de detección*

*Límites de Detección: Aceites y Grasas (5 mg/L)*

*Los resultados obtenidos corresponden únicamente a las muestras recibidas por el personal de Ecosistemas Proyectos Ambientales.*

*Se prohíbe la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización escrita de Ecosistemas Proyectos Ambientales.*

**\* Análisis acreditado COGUANOR NTG/ISO/IEC 17025:2005 según OGA LE 006-04**



Ing. Fernando Fuentes  
Gerente Técnico



## **ANEXO 3**

### **INFORME LABORATORIO DE SUELOS**







CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



No. **2825**

INFORME No.: 001 S.S.

O.T.: 33,591

**INTERESADO:** Estudiantes de Maestría: Ivis Nohelia Peralta, Wilber Perez Flores y Andy Williams Alonzo

**PROYECTO:** Planta Piloto de Tratamiento de Aguas Residuales de la ERIS

**UBICACIÓN:** Colonia La Aurora 2, Zona 13

**ASUNTO:** ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL

**NORMA:** AASHTO T 265 ASTM-216

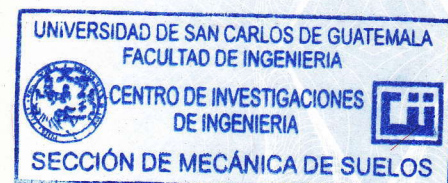
**FECHA:** lunes, 19 de enero de 2015

**RESULTADO DEL ENSAYO:**

Contenido de humedad (%)	Muestra	Descripcion del suelo
21.50	1	Arcilla Arenosa Color Café Oscuro
17.20	2	Arena Pómez Color Café Claro

OBSERVACIONES: Muestra proporcionada por el interesado.

Atentamente,



*Omar E. Medrano Méndez*  
Ing. Omar Enrique Medrano Méndez  
Jefe Sección Mecánica de Suelos

Vo. Bo.

  
Inga. Telma Maricela Cano Morales  
DIRECTORA CII/USAC



**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



INFORME No. 002 S.S.

O.T.: 33,591 No. **2826**

Interesado: Estudiantes de Maestría: Ivis Nohelia Peralta, Wilber Perez Flores y Andy Williams Alonzo

Proyecto: Planta Piloto de Tratamiento de Aguas Residuales de la ERIS

Asunto: ENSAYO DE LIMITES DE ATTERBERG

Norma: AASHTO T-89 Y T-90

Ubicación: Colonia La Aurora 2, Zona 13

FECHA: lunes, 19 de enero de 2015

**RESULTADOS:**

ENSAYO No.	MUESTRA No.	L.L. (%)	I.P. (%)	CLASIFICACION *	DESCRIPCION DEL SUELO
1	1	63.3	25.2	MH	Limo Arenoso Color Café Oscuro
2	2	25.2	N.P.	ML	Arena Pómez Limosa Color Café Claro

(\*) CLASIFICACION SEGÚN CARTA DE PLASTICIDAD

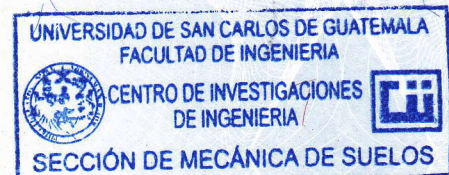
Observaciones: Muestra proporcionado por el interesado.

Atentamente,

Vo.Bo.



Inga. Teima Marcela Cano Morales  
DIRECTORA CII/USAC



*Omar Enrique Medrano Méndez*  
Ing. Omar Enrique Medrano Méndez  
Jefe Sección Mecánica de Suelos



**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



INFORME No. 003 S.S.

O.T. No. 33.591

**NO 2827**

Interesado: Estudiantes de Maestría: Ivis Nohelia Peralta, Wilber Perez Flores y Andy Williams Alonzo

Tipo de Ensayo: Análisis Granulométrico con tamices y lavado previo

Norma: ASTM D6913-04

Proyecto: Planta Piloto de Tratamiento de Aguas Residuales de la ERIS

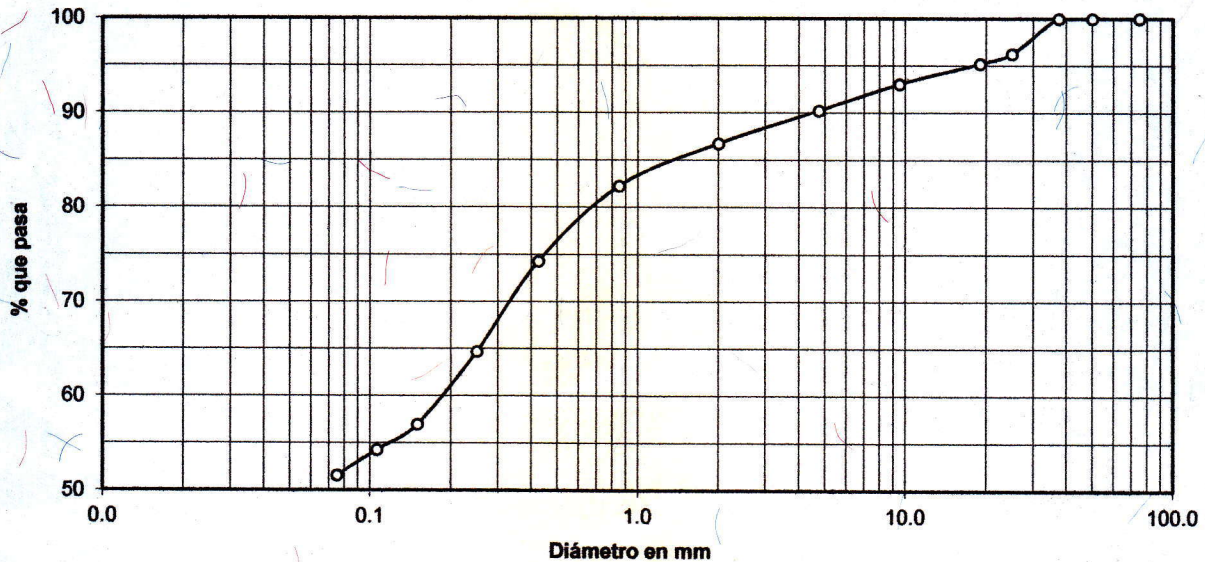
Ubicación: Colonia La Aurora 2, Zona 13

Fecha: lunes, 19 de enero de 2015

Muestra: 1

**Análisis con Tamices:**

Tamiz	Abertura	% que pasa	Tamiz	Abertura	% que pasa
3"	75 mm	100.00	10	2.00 mm	86.74
2"	50 mm	100.00	20	850 $\mu$ m	82.25
1 1/2"	37.5 mm	100.00	40	425 $\mu$ m	74.28
1"	25 mm	96.24	60	250 $\mu$ m	64.68
3/4"	19.0 mm	95.19	100	150 $\mu$ m	56.96
3/8"	9.5 mm	93.02	140	106 $\mu$ m	54.28
4	4.75 mm	90.22	200	75 $\mu$ m	51.59



Descripción del suelo: Limo Arenoso Color Café Oscuro

Clasificación: S.C.U.: MH  
P.R.A.: A-7-5

% de Grava: 9.78 D10: \*  
% de Arena: 38.63 D30: \*  
% de finos: 51.59 D60: 0.19 mm

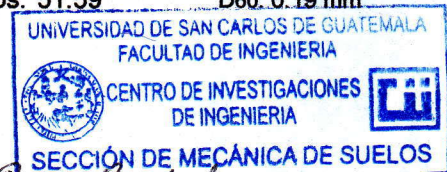
Observaciones: Muestra proporcionada por el interesado.

\* Diámetro efectivo no aplica

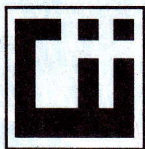
Atentamente,

Vo. Bo.

Inga. Telma Maricela Cano Morales  
DIRECTORA CII/USAC



Inga. Omar Enrique Medrano Méndez  
Jefe Sección Mecánica de Suelos



**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

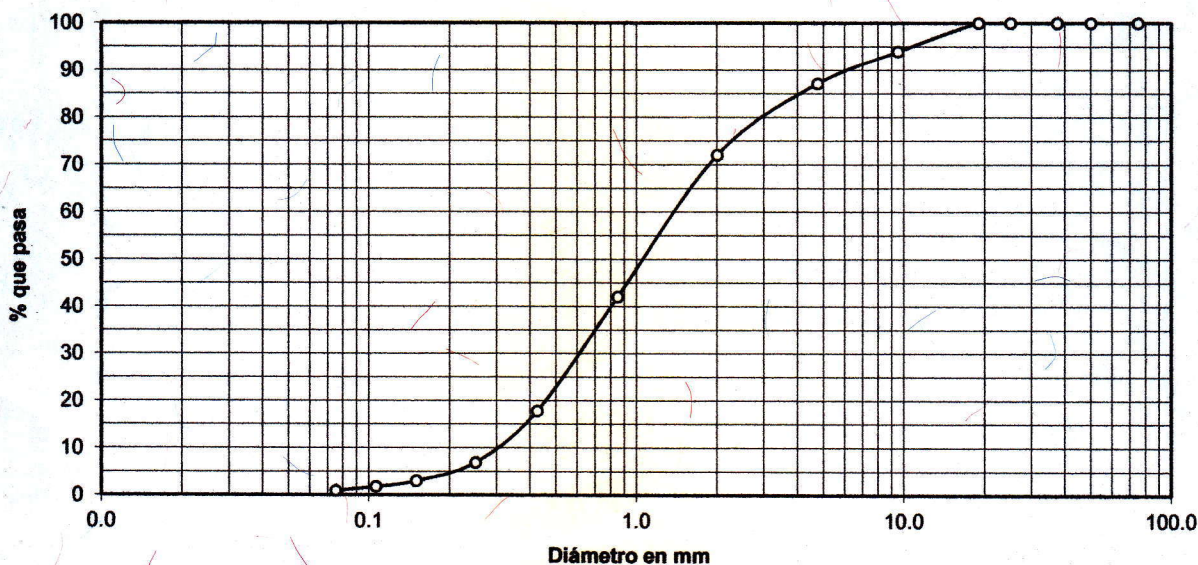


INFORME No. 004 S.S.

O.T. No. 31591 **2828**

Interesado: Estudiantes de Maestría: Ivis Nohelia Peralta, Wilber Perez Flores y Andy Williams Alonzo  
 Tipo de Ensayo: Análisis Granulométrico con tamices y lavado previo  
 Norma: ASTM D6913-04  
 Proyecto: Planta Piloto de Tratamiento de Aguas Residuales de la ERIS  
 Ubicación: Colonia La Aurora 2, Zona 13  
 Fecha: lunes, 19 de enero de 2015 Muestra: 2

Análisis con Tamices:					
Tamiz	Abertura	% que pasa	Tamiz	Abertura	% que pasa
3"	75 mm	100.00	10	2.00 mm	72.08
2"	50 mm	100.00	20	850 µm	42.10
1 1/2"	37.5 mm	100.00	40	425 µm	17.82
1"	25 mm	100.00	60	250 µm	6.93
3/4"	19.0 mm	100.00	100	150 µm	3.07
3/8"	9.5 mm	93.91	140	106 µm	1.84
4	4.75 mm	87.16	200	75 µm	0.99



Descripción del suelo: Arena Pómez Color Café Claro

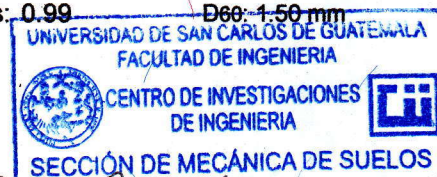
Clasificación: S.C.U.: SP  
 P.R.A.: A-1-b

% de Grava: 12.85 D10: 0.30 mm  
 % de Arena: 86.17 D30: 0.61 mm  
 % de finos: 0.99 D60: 1.50 mm

Observaciones: Muestra proporcionada por el interesado.

Atentamente,

Vo. Bo.  
 Inga. Telma Maricela Cano Morales  
 DIRECTORA CIUSAC



Ing. Omar Enrique Medrano Méndez  
 Jefe Sección Mecánica de Suelos



**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



**INFORME No. 005 S.S.**

**O.T.: 33,591**

**No. 2830**

**INTERESADO:** Estudiantes de Maestría: Ivis Nohelia Peralta, Wilber Perez Flores y Andy Williams Alonzo

**PROYECTO:** Planta Piloto de Tratamiento de Aguas Residuales de la ERIS

**ASUNTO:** ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECIFICA DE LOS SOLIDOS DEL SUELO

**NORMA:** ASTM D854-05

**UBICACION:** Colonia La Aurora 2, Zona 13

**DESCRIPCIÓN DEL SUELO:** Arena Pómez Color Café Claro

**MUESTRA:** 2

**FECHA:** lunes, 19 de enero de 2015

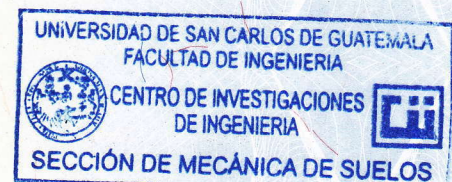
**RESULTADOS:**

**$G_{20^{\circ}\text{C}}$  : 2.22**

**OBSERVACIONES:**

Muestra tomada por el interesado.

Atentamente,



*Omar E. Medrano Méndez*  
Ing. Omar Enrique Medrano Méndez  
Jefe Sección Mecánica de Suelos

Vo. Bo.

Inga. Telma Maricela Cano Morales  
DIRECTORA CII/USAC



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



INFORME No. 006 S.S.

O.T.: 33,591

No. 2832

**INTERESADO:** Estudiantes de Maestría: Ivis Nohelia Peralta, Wilber Perez Flores y Andy Williams Alonzo

**PROYECTO:** Planta Piloto de Tratamiento de Aguas Residuales de la ERIS

**ASUNTO:** ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECIFICA DE LOS SOLIDOS DEL SUELO

**NORMA:** ASTM D854-05

**UBICACIÓN:** Colonia La Aurora 2, Zona 13

**DESCRIPCIÓN DEL SUELO:** Limo Arenoso Color Café Oscuro

**MUESTRA:** 1

**FECHA:** lunes, 19 de enero de 2015

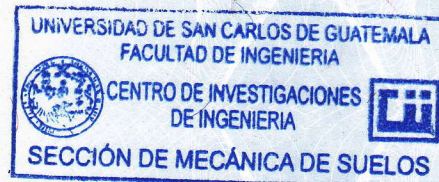
**RESULTADOS:**

$G_{20^{\circ}\text{C}}$  : 2.38

**OBSERVACIONES:**

Muestra tomada por el interesado.

Atentamente,



*Omar E. Medrano Méndez*  
Ing. Omar Enrique Medrano Méndez  
Jefe Sección Mecánica de Suelos

Vo. Bo.

Inga. Telma Maricela Cano Morales  
DIRECTORA CII/USAC





**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



INFORME No. 009 S.S.

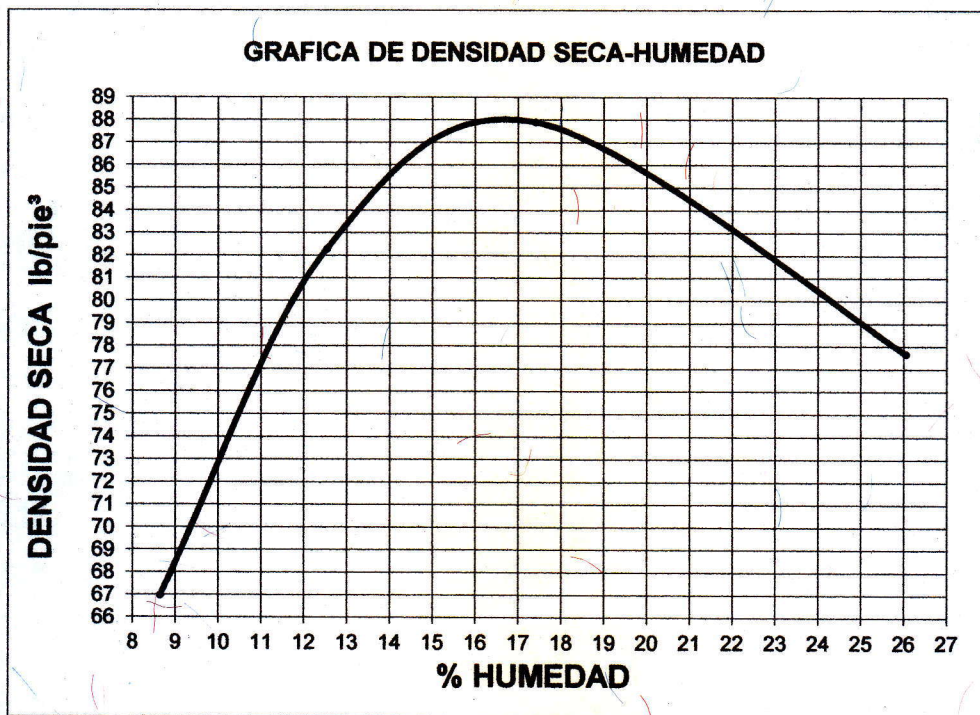
O.T.: 33,591

No. **2835**

Interesado: Estudiantes de Maestría  
Asunto: ENSAYO DE COMPACTACIÓN.  
Proyecto: Planta Piloto de Tratamiento de Aguas  
Negras Residuales de la ERIS

Proctor Estándar: ( ) Norma: A.A.S.H.T.O. T-99  
Proctor Modificado: (X) Norma: A.A.S.H.T.O. T-180

Ubicación: Colonia La Aurora 2, Zona 13  
Fecha: lunes, 19 de enero de 2015

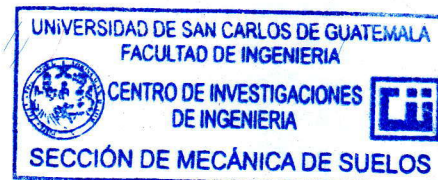


Descripción del suelo: Arena Pómez Color Café Claro  
Densidad seca máxima  $\gamma_d$ : 1,409.76 Kg/m<sup>3</sup>      88.00 lb/ft<sup>3</sup>  
Humedad óptima Hop.: 16.75 %

Observaciones: Muestra proporcionada por el interesado.

Atentamente,

Inga. Telma Maricela Cano Morales  
DIRECTORA CII/USAC



*Omar E. Medrano Méndez*  
Ing. Omar Enrique Medrano Méndez  
Jefe Sección Mecánica de Suelos

Vo. Bo.





INFORME No.: 007 S.S.

O.T. No.: 33,591

No. **2836**

## EQUIVALENTE DE ARENA

**INTERESADO:** Estudiantes de Maestría: Ivis Nohelia Peralta, Wilber Perez Flores y Andy Williams Alonzo

**PROYECTO:** Planta Piloto de Tratamiento de Aguas Residuales de la ERIS

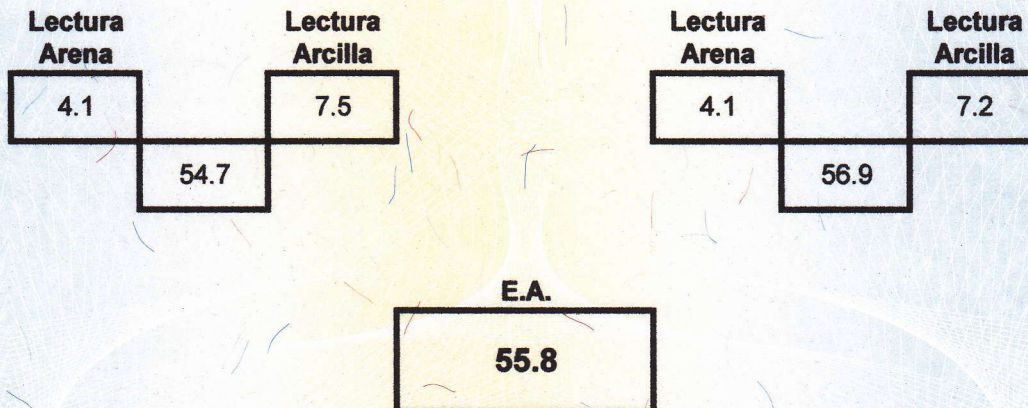
**UBICACIÓN:** Colonia La Aurora 2, Zona 13

**NORMA:** AASHTO T-176

**DESCRIPCION DEL SUELO:** Limo Arenoso Color Café Oscuro

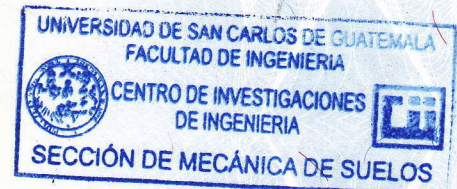
**MUESTRA:** 1

**FECHA:** lunes, 19 de enero de 2015



**OBSERVACIONES:** Muestra proporcionada por el interesado

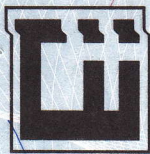
Atentamente,



Vo. Bo.

Inga. Telma Maricela Cano Morales  
 DIRECTORA CII/USAC

*Omar E. Medrano Mendez*  
 Ing. Omar Enrique Medrano Mendez  
 Jefe Sección Mecánica de Suelos



**INFORME No.:** 008 S.S.

**O.T. No.:** 33,591

**No. 2837**

**EQUIVALENTE DE ARENA**

**INTERESADO:** Estudiantes de Maestría: Ivis Nohelia Peralta, Wilber Perez Flores y Andy Williams Alonzo

**PROYECTO:** Planta Piloto de Tratamiento de Aguas Residuales de la ERIS

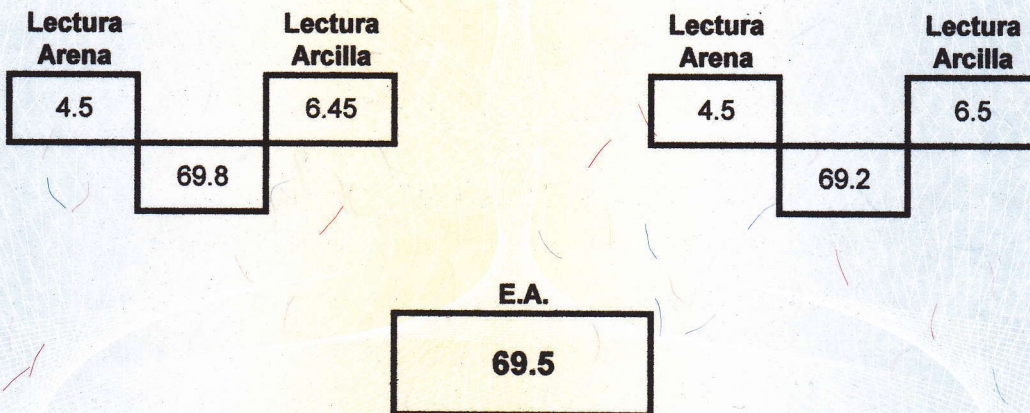
**UBICACIÓN:** Colonia La Aurora 2, Zona 13

**NORMA:** AASHTO T-176

**DESCRIPCION DEL SUELO:** Arena Pómez Color Café Claro

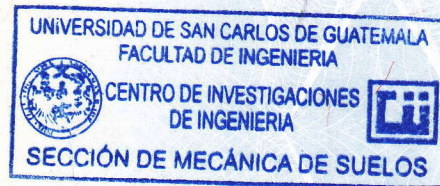
**MUESTRA:** 2

**FECHA:** lunes, 19 de enero de 2015



**OBSERVACIONES:** Muestra proporcionada por el interesado

Atentamente,



Vo. Bo.

Inga. Telma Maricela Cano Morales  
DIRECTORA CII/USAC

*Omar E. Medrano Mendez*  
Ing. Omar Enrique Medrano Mendez  
Jefe Sección Mecánica de Suelos



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



INFORME No.: 010 S.S.

O.T. No.: 33,591 No. **2838**

**INTERESADO:** Estudiantes de Maestría: Ivis Nohelia Peralta, Wilber Perez Flores y Andy Williams Alonzo

**PROYECTO:** Planta Piloto de Tratamiento de Aguas Residuales de la ERIS

**ASUNTO:** Ensayo de Permeabilidad Cabeza Variable por el método de molde de pared rígida

**NORMA:** ASTM D 5856-00

**UBICACIÓN:** Colonia La Aurora 2, Zona 13

**MUESTRA No.:** 1

**DESCRIPCIÓN DEL SUELO:** Limo Arenoso Color Café Oscuro

**FECHA:** lunes, 19 de enero de 2015

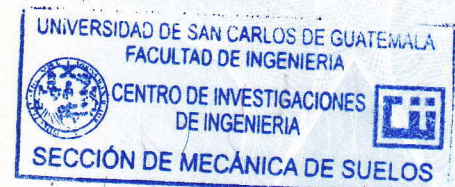
**RESULTADO DEL ENSAYO:**

**COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD = 0.000 cm/s**

**OBSERVACIONES:**

Muestra proporcionada por el interesado.

Atentamente,



*Omar E. Medrano Mendez*  
Ing. Omar Enrique Medrano Mendez  
Jefe Sección Mecánica de Suelos

Vo. Bo.

*Telma Maricela Cano Morales*  
Inga. Telma Maricela Cano Morales  
DIRECTORA CII/USAC





CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



INFORME No.: 011 S.S.

O.T. No.: 33,591 No. **2839**

**INTERESADO:** Estudiantes de Maestría: Ivis Nohelia Peralta, Wilber Perez Flores y Andy Williams Alonzo

**PROYECTO:** Planta Piloto de Tratamiento de Aguas Residuales de la ERIS

**ASUNTO:** Ensayo de Permeabilidad Cabeza Variable por el método de molde de pared rígida

**NORMA:** ASTM D 5856-00

**UBICACIÓN:** Colonia La Aurora 2, Zona 13

**MUESTRA No.:** 2

**DESCRIPCIÓN DEL SUELO:** Arena Pómez Color Café Claro

**FECHA:** lunes, 19 de enero de 2015

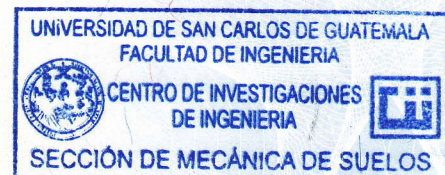
**RESULTADO DEL ENSAYO:**

**COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD =**  $2.14 \times 10^{-6}$  cm/s

**OBSERVACIONES:**

Muestra proporcionada por el interesado.

Atentamente,



*Omar E. Medrano Mendez*  
Ing. Omar Enrique Medrano Mendez  
Jefe Sección Mecánica de Suelos

Vo. Bo.

Inga. Telma Maricela Cano Morales  
DIRECTORA CII/USAC

