



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

**SUELO Y PET COMO TRATAMIENTO SECUNDARIO DE AGUAS
RESIDUALES DOMÉSTICAS**

Ing. Andy Williams Alonzo Vásquez

Asesorado por MSc. Adán Ernesto Artemio Pocasangre Collazos

Guatemala, noviembre de 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**SUELO Y PET COMO TRATAMIENTO SECUNDARIO DE AGUAS
RESIDUALES DOMÉSTICAS**

ESTUDIO ESPECIAL

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

POR

ING. ANDY WILLIAMS ALONZO VÁSQUEZ

ASESORADO POR EL MSC. ADÁN ERNESTO POCASANGRE COLLAZOS

COMO REQUISITO PREVIO PARA OPTAR AL GRADO ACADÉMICO DE

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

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Jurgen Andoni Ramírez Ramírez
VOCAL V	Br. Oscar Humberto Galicia Nuñez
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

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. Adán Ernesto Artemio Pocasangre Collazos
Examinador	MSc. Pedro Cipriano Saravia Celis
Examinador	MSc. Zenón Much Santos

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

SUELO Y PET 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.

Ing. Andy Williams Alonzo Vásquez

Correo: awa2104@gmail.com

Carné No. 200714571

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por su inmutable presencia.
Mis padres	Werley Alonzo y Sara Vásquez.
Mis hermanos	Franz, Neidy y Laris Alonzo.
Mis sobrinos	Nahomy, Iriany, Franz, Santiago y Sergio Alonzo.
Mis abuelas	Irma Joaquina Ramos (q. e. p. d.) y Lucila Ochoa.
Mis tíos	Roberto Rabanales, Ceferino y Alejandra Ramos.

AGRADECIMIENTOS A:

Dios	Por ser la fuente de sabiduría.
Mi familia	Por su apoyo incondicional.
Mis profesores	Por compartir sus conocimientos.
Mis compañeros	Por tan sincera amistad.
Tereso de Jesus Pérez	Por su colaboración y dedicación.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
GLOSARIO	IX
LISTA DE SÍMBOLOS	XIII
RESUMEN.....	XV
OBJETIVOS.....	XVII
HIPÓTESIS.....	XVIII
INTRODUCCIÓN	XIX
ANTECEDENTES.....	XXI
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	XXIII
JUSTIFICACIÓN.....	XXV
LIMITANTES.....	XXVII
1. MARCO TEÓRICO.....	1
1.1. Aguas residuales	1
1.1.1. Aguas residuales domésticas	1
1.1.2. Composición de las aguas residuales domésticas.....	2
1.1.3. Características de las aguas residuales domésticas.....	2
1.2. Sistemas de tratamiento de aguas residuales domiciliare en el mismo sitio.....	3
1.3. Uso del suelo como sistema de tratamiento	6
1.3.1. Importancia de la evaluación del sitio para rendimiento del sistema	8
1.3.1.1. Evaluación preliminar del sitio	10

	1.3.1.2.	Evaluación detallada del sitio	11
	1.3.1.3.	Capacidad de asimilación hidráulica del sitio	13
1.3.2.		Selección del sistema.....	15
	1.3.2.1.	Fosas sépticas	16
	1.3.2.2.	Zanjas de infiltración	17
	1.3.2.3.	Ensayo de percolación	19
	1.3.2.4.	Criterios de diseño para el sistema de percolación	20
1.3.3.		Dimensionamiento de zanjas de infiltración	21
2.		METODOLOGÍA	23
2.1.		Localización	23
2.2.		Número de muestras.....	24
	2.2.1.	Standard Methods.....	25
	2.2.2.	Método aleatorio simple	26
	2.2.3.	Puntos de muestreo	28
	2.2.4.	Frecuencia de toma de muestras	29
	2.2.5.	Tipo de muestra	30
2.3.		Características físicas del suelo.....	30
	2.3.1.	Textura	31
	2.3.2.	Estructura	31
	2.3.3.	Profundidad.....	33
2.4.		Características químicas del suelo.....	33
2.5.		Características hidráulicas del suelo	34
	2.5.1.	Prueba de percolación	34
2.6.		Características mecánicas del suelo	36
	2.6.1.	Contenido de humedad natural del suelo	36
	2.6.2.	Límites de Atterberg	36

2.6.3.	Equivalente de arena.....	37
2.6.4.	Gravedad específica.....	37
2.6.5.	Ensayo de permeabilidad cabeza variable	37
2.6.6.	Granulometría.....	38
2.6.6.1.	Coeficiente de curvatura.....	38
2.6.6.2.	Coeficiente de uniformidad	39
2.6.7.	Compactación.....	40
2.7.	Cálculo de dimensiones de las zanjas.....	42
2.7.1.	Metodología según la guía técnica de tanques séptico de Costa Rica.....	43
2.7.2.	Metodología según la guía técnica sanitaria para la instalación y funcionamiento de sistemas de tratamiento individuales de aguas negras y grises de El Salvador	44
2.8.	Fosa séptica	46
2.9.	Prototipo	47
2.9.1.	Medición del caudal	52
2.9.2.	Orificio como medidor de flujo	54
3.	RESULTADOS	57
3.1.	Variación del caudal de entrada	57
3.1.1.	Comportamiento del material flotante	58
3.1.2.	Comportamiento de la temperatura	58
3.1.3.	Comportamiento del potencial de hidrógeno	59
3.1.4.	Comportamiento de los sólidos suspendidos totales, SST	60
3.1.5.	Comportamiento del color.....	61
3.1.6.	Comportamiento de la DBO ₅	62
3.1.7.	Comportamiento del DQO	63

3.1.8.	Comportamiento del nitrógeno total	64
3.1.9.	Comportamiento del fósforo total	65
3.1.10.	Resultado coliformes fecales.....	66
3.1.11.	Resultado de aceites y grasas	67
3.1.12.	Resultado de metales pesados	68
3.2.	Comparación de la eficiencia de remoción del sistema grava suelo y sistema que utiliza pet suelo	69
4.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	71
4.1.	Caudal.....	71
4.2.	Material flotante.....	71
4.3.	Temperatura y potencial de hidrógeno.....	71
4.4.	Sólidos suspendidos totales (SST)	75
4.5.	Color.....	77
4.6.	Demanda biológica de oxígeno, DBO ₅	80
4.7.	Demanda química de oxígeno DQO	82
4.8.	Nitrógeno total.....	85
4.9.	Fósforo total	87
4.10.	Coliformes fecales.....	89
4.11.	Metales pesados	90
4.12.	Aceites y grasas	90
4.13.	Comparación de la eficiencia de remoción del sistema grava- suelo y pet suelo	91
5.	CONCLUSIONES	93
6.	RECOMENDACIONES	95
7.	BIBLIOGRAFÍA	97
8.	ANEXOS.....	103

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Sección de un sistema convencional de tratamiento en sitio	8
2.	Ubicación sistema séptico en sitio	10
3.	Distancias recomendables para la ubicación del sistema	11
4.	Destino del agua descargada a los sistemas de tratamiento en sitio.....	14
5.	Fosa séptica de 1 100 litros	16
6.	Macro y micro localización ciudad de Guatemala.	23
7.	Micro localización planta piloto “Arturo Pasos Sosa”	24
8.	Concentración media	26
9.	Esquema del sistema y puntos de muestreo.....	29
10.	Diagrama triangular de clases textulares	32
11.	Curva granulométrica del suelo utilizado.....	39
12.	Prototipos de infiltración	48
13.	Unidad de sedimentación.....	49
14.	Distribución de caudales	49
15.	Detalles del prototipo	50
16.	Colocación de material pet en el prototipo	51
17.	Perfil de los prototipos.....	51
18.	Tipos de canal.....	52
19.	Cámara de entrada del sistema	53
20.	Orificio de tubo corto	54
21.	Comparación entre los sistemas de grava-suelo y pet-suelo	70
22.	Comportamiento de la temperatura.....	72

23.	Comportamiento del pH.....	73
24.	Evaluación de la fosa séptica para pH.....	74
25.	Diferencia de remoción de pH en grava y pet.....	74
26.	Comportamiento de los SST.....	75
27.	Evaluación de la fosa séptica para SST.....	76
28.	Diferencia de remoción de SST en grava y pet.....	77
29.	Comportamiento del color.....	78
30.	Evaluación de la fosa séptica para color.....	79
31.	Diferencia de remoción de color en grava y pet.....	79
32.	Comportamiento de la DBO ₅	81
33.	Evaluación de la fosa séptica para DBO ₅	81
34.	Diferencia de remoción de DBO ₅ en grava y pet.....	82
35.	Comportamiento de la DQO.....	83
36.	Evaluación de la fosa séptica para DQO.....	84
37.	Diferencia de remoción de DQO en grava y pet.....	84
38.	Comportamiento del nitrógeno total.....	86
39.	Diferencia de remoción de nitrógeno total en grava y pet.....	86
40.	Comportamiento del fósforo total.....	87
41.	Evaluación de la fosa séptica para fósforo total.....	88
42.	Diferencia de remoción de fósforo total en grava y pet.....	88
43.	Comportamiento de los coliformes fecales.....	89
44.	Diferencia de remoción de coliformes fecales.....	90

TABLAS

I.	Composición típica del agua residual doméstica cruda	2
II.	Composición típica del agua residual doméstica cruda en Guatemala	3
III.	Tipos de sistemas locales de disposición y reutilización de aguas residuales	5
IV.	Aplicabilidad de los diferentes sistemas de tratamiento en el sitio, en terrenos de características difíciles	15
V.	Aplicabilidad de los diferentes sistemas de tratamiento en el sitio, en terrenos de características difíciles	21
VI.	Resultados estadísticos	27
VII.	Cantidad de muestras por parámetro.....	28
VIII.	Propiedades químicas del suelo	34
IX.	Aplicabilidad de los diferentes sistemas de tratamiento en el sitio, en terrenos de características difíciles	35
X.	Datos para la relación de vacíos para el sistema grava suelo	41
XI.	Datos para la relación de vacíos para el sistema suelo pet	42
XII.	Velocidad de infiltración	43
XIII.	Valores aproximados de tasa de infiltración para el cálculo de zanjas de infiltración y de arena filtrante	45
XIV.	Coeficientes de descarga según relación e/D	55
XV.	Variación de caudal a la entrada del sistema de tratamiento	57
XVI.	Comparación de material flotante	58
XVII.	Comparación de temperatura, con la norma de Guatemala	59
XVIII.	Comparación de pH, con la norma de Guatemala	60
XIX.	SST (mg/l), y comparación con norma de Guatemala	61
XX.	Comparación del color (unid) con norma de Guatemala.....	62
XXI.	Comparación de la DBO5 (mg/l) con norma de Guatemala.....	63

XXII.	Comparación de la DQO (mg/l) con la norma de Guatemala	64
XXIII.	Comparación de nitrógeno total (mg/l), con la norma de Guatemala	65
XXIV.	Comparación de fósforo total (mg/l), con la norma de Guatemala....	66
XXV.	Comparación de coliformes fecales (NMP/100ml), con la norma de Guatemala	67
XXVI.	Resultados de aceites y grasas	68
XXVII.	Resultados de metales pesados (mg/l).....	68
XXVIII.	Comparación entre los sistemas de grava-suelo y pet-suelo para SSt, color, DBO5 y DQO	69
XXIX.	Comparación entre los sistemas de grava-suelo y pet-suelo para nitrógeno total, fósforo total y coliformes fecales	70

GLOSARIO

Acuífero	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.
Adsorción física	Es la captación de sustancias solubles presentes en la interface de una solución.
Aguas residuales	Aguas que han revivido uso y cuyas calidades han sido modificadas.
Aguas residuales domésticas	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.
Capa biológica	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.

Caudal	Volumen de agua por unidad de tiempo.
Coliformes fecales	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.
Cuerpo receptor	Embalse natural, lago, laguna, río, quebrada, manantial, humedal, estuario, estero, manglar, pantano, aguas costeras y aguas subterráneas donde se descargan aguas residuales.
Demanda bioquímica de oxígeno	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.
Demanda química de oxígeno	Medida indirecta del contenido de materia orgánica e inorgánica oxidable en aguas residuales, que se determina por la cantidad equivalente de oxígeno utilizado en la oxidación química.
Desnitrificación	Proceso por el cual las bacterias reducen los nitratos a nitritos y estos a su vez son reducidos a gas nitrógeno.

ERIS	Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos.
Fosfatos	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.
Nitrificación	Proceso por el cual las bacterias oxidan el nitrógeno amoniacal a nitrito y estos son convertidos a nitratos.
Parámetro	Variable que identifica una característica de las aguas residuales, aguas para reúso o lodos, asignándoles un valor numérico.
pH	Término que indica la concentración de iones de hidrogeno en una disolución. Se trata de una medida de la acidez de una disolución.
Percolación	Paso lento de fluidos a través de materiales porosos.
PTAR	Planta de tratamiento de aguas residuales.
Remoción	Contaminante reducida del agua residual luego de su tratamiento, mejorando la calidad del agua.

Sólidos suspendidos totales	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.
Tratamiento terciario	Grado de tratamiento necesario para alcanzar una calidad fisicoquímica y biológica adecuada; le da una calidad al agua de acuerdo con el reuso que se le pretenda dar a las aguas residuales (remoción de sólidos suspendidos, compuestos orgánicos, inorgánicos, nutrientes y microorganismos patógenos).
Tratamiento de aguas	Cualquier proceso físico, químico, biológico o combinación de estos, cuyo propósito es la eliminación de contaminantes presentes en las aguas residuales.

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
AR	Aguas residuales
Q	Caudal
cm	Centímetro
cm³	Centímetros cúbicos
Col. Fec	Coliformes fecales
Col. Tot	Coliformes totales
DBO₅	Demanda bioquímica de oxígeno a los cinco días
DQO	Demanda química de oxígeno
Ø	Diámetro
°C	Grados Celsius
g	Gramos
hr	Hora
Kg	Kilogramos
lb	Libra
l	Litros
mz	Manzana (unidad de área)
m	Metro
m²	Metro cuadrado
m³	Metro cúbico
min	Minuto
Meq	Mol equivalente
N.D	No detectable
ppm	Partes por millón

s	Segundos
SST	Sólidos suspendidos totales
SISAR	<i>Subsurface wastewater infiltration systems</i> (sistemas de infiltración de aguas residuales).
T	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 secundario de estas, sustituyendo capas de grava por material pet, 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 zonas de infiltración. El tratamiento secundario en el suelo consiste en una zona de infiltración de un 1 m² de área y una columna de 1,20 m de profundidad, después se instaló un drenaje tipo francés para la captación de las muestras.

El tratamiento secundario funciona como un sistema de percolación en el subsuelo, donde el agua residual debe atravesar una capa de piedrín (grava) o material pet 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 de 2014 a mayo de 2015. Con el objetivo de evaluar la capacidad de remoción del suelo y realizar la sustitución de grava por material pet, 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 secundario de aguas residuales domésticas este mostró una eficiente remoción promedio de contaminantes, con resultados en sólidos suspendidos de 97 %, color 90 %, DBO₅ de 95 %, DQO de 95 %, fósforo de 85 % y coliformes fecales de 93 %. Al determinar los valores del nitrógeno se eliminaron los resultados extremos obteniéndose una eficiencia de remoción 23 %.

Comparando los resultados del prototipo suelo y pet con otro dispositivo convencional que tiene una primera capa de grava, no se evidencia una divergencia significativa. Los resultados tienen una diferencia en sólidos suspendidos de 2 %, color de 5 %, DBO₅ de 4 %, DQO de 3 %, fósforo de 2 % y coliformes fecales menores al 1 %.

Con esta investigación se comprobó que el suelo y pet es capaz de remover la mayoría de los contaminantes de las aguas residuales domésticas a excepción de los nutrientes (fósforo y nitrógeno), por lo que es posible realizar el cambio de material pet por grava sin perjudicar el adecuado tratamiento.

El suelo puede eliminar los contaminantes de las aguas residuales ordinarias (domésticas) en 1,20 metros de profundidad, incluso para el cumplimiento de la última etapa de la normativa guatemalteca.

OBJETIVOS

General

Determinar la sustitución de grava por material pet en sistemas de tratamiento secundario por infiltración en el suelo de aguas residuales domésticas.

Específicos

1. Evaluar y determinar la eficiencia de remoción de un suelo específico, para ser utilizado como tratamiento secundario.
2. Caracterizar el suelo y la aptitud del material pet para el tratamiento secundario de aguas residuales domésticas.
3. Caracterizar física, química y bacteriológicamente el agua en el efluente de la planta piloto de ERIS.
4. Proveer técnicas apropiadas con material pet para el tratamiento secundario de las aguas residuales domésticas.
5. Comparar la concentración de contaminantes y nutrientes para el cumplimiento del acuerdo gubernativo 236-2006 de Guatemala.

HIPÓTESIS

De acuerdo con investigaciones realizadas a nivel mundial, es posible utilizar el suelo del mismo sitio para el adecuado tratamiento secundario de aguas residuales domésticas y se sustenta a través de una medición física, química y bacteriológica del agua y las propiedades químicas, hidráulicas y físicomecánicas del suelo.

La sustitución de la primera capa de grava por material pet puede realizarse debido a que el inicio del medio filtrante brinda la distribución uniforme del caudal de agua residual doméstica y la formación de la película biológica que mejora la calidad del agua residual.

En una profundidad de 0,90 metros se pierde entre el 40 y el 45 por ciento de nitrógeno total y casi todo el fósforo. Con un sistema sedimentación de tratamiento primario los sólidos suspendidos se pueden reducir a valores entre 50 y 90 mg/l, la DBO se reduce a valores de entre 210 y 530 mg/l, los coliformes totales y los virus desaparecen cuando el agua ha atravesado 0,90 metros de suelo.

INTRODUCCIÓN

La solución más sencilla de tratamiento de agua residual es la descarga en el mismo sitio, cuando las condiciones del terreno permitan utilizar la infiltración rápida. Para considerar dicho sistema debe analizarse las capacidades hidráulicas, físicas y químicas del suelo, aquí se presentan algunas pruebas como: prueba de infiltración o percolación, límites de Atterberg, equivalente de arena, gravedad específica, granulometría, potencial de hidrógeno, contenido de materia orgánica nitrógeno, fósforo, hierro y manganeso.

El prototipo de tratamiento secundario consiste en un pozo de 1,50 metros de profundidad con 0,30 metros de material pet y 1,20 metros de suelo en un área de 1 metro cuadrado. Se pretende aprovechar las características del suelo y su capacidad de remoción de materia orgánica, inorgánica y patógena para comparar con otro prototipo que únicamente cambia en su primera capa de 0,30 metros con material de grava.

El prototipo funciona como un filtro, el agua residual doméstica atravesará antes una capa de grava o pet y luego pasará a percolarse en una capa de suelo escogido como medio filtrante.

La mayor parte de los suelos que contienen arcilla pueden remover bacterias, virus, nitrógeno y fósforo. Los parámetros de análisis y comparación son: potencial de hidrógeno, DBO₅, DQO, nitrógeno y fósforo total, color, sólidos suspendidos totales y coliformes fecales.

ANTECEDENTES

El uso del suelo como tratamiento secundario de las aguas residuales ha sido objeto de múltiples investigaciones de las que han surgido una variedad de tecnologías, 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 algunas de las tecnologías de profundidad que emplean suelos para evitar la contaminación en los acuíferos.

“La distancia de tratamiento puede estar comprendida entre 0,6 y 1,2 m de profundidad.”¹ “La Agencia de Protección Ambiental propone en consideraciones de diseño para este tipo de tratamiento, una profundidad de 1,5 metros². Wagner y Lanoix 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”.³

¹ METCALF & EDDY. *Ingeniería de aguas residuales volumen 1*. p. 287

² ENVIROMENTAL PROTECTION AGENCY. *Guía del dueño de hogar para sistemas sépticos*, Washington. p. 13.

³ WAGNER & LANOIX. *Evacuación de excretas en las zonas rurales y pequeñas comunidades*. p. 17

En Guatemala no se cuenta con datos que verifiquen el tratamiento secundario que ofrece cualquier tipo de suelo, se tiene información bibliográfica de los países antes mencionados que materiales de suelo arenoso son los más utilizados para infiltración de agua y que con presencia de arcilla se eliminan patógenos.

La investigación revela información inédita para Guatemala que puede ser utilizada para futuros diseños de sistemas de tratamiento secundario de agua residual doméstica en el mismo sitio, que pueden reducir los costos de inversión, operación y mantenimiento.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La elevada tasa de crecimiento de las poblaciones urbanas y periurbanas ha repercutido en la descarga de aguas residuales a lugares donde un sistema convencional de tuberías no puede ser instalado. Lo complicado en instalar cualquier tecnología repercute en los altos costos iniciales, la garantía de cumplir con las normas nacionales y la aceptación social de la población. Sin mencionar que cuando se tiene un apoyo financiero internacional, el costo de mantenimiento resulta tan alto, que la comunidad no puede financiar.

El sistema de infiltración rápida tiene un costo de instalación bajo que puede pagar una pequeña comunidad y no requiere de un sofisticado mantenimiento, además un correcto diseño, construcción y un adecuado mantenimiento puede resultar el cumplimiento de algunos los parámetros del *Acuerdo Gubernativo para descargas de aguas residuales 236-2006* de Guatemala.

¿Se puede utilizar un suelo arenoso y material pet para el tratamiento secundario de aguas residuales domésticas en Guatemala?

JUSTIFICACIÓN

“Los resultados de los estudios han demostrado la efectividad del tratamiento con suelo, tanto en pozos como en zanjas de infiltración, en la recuperación de las aguas servidas de efluentes tratados (primarios y secundarios) en el cumplimiento de los estándares de calidad para tratamiento terciario”⁴. Sin embargo, se observó que el suelo permitía una remoción parcial de nitrógeno total, una moderada capacidad de nitrificación y una baja capacidad de desnitrificación.

“En Latinoamérica se han hecho algunos estudios que han demostrado la eficacia de tales sistemas en condiciones tropicales y de aridez”⁵. Por ejemplo, “un estudio basado en un sistema SAT para la solución del vertimiento de 250 l/s de aguas residuales domésticas que eran tratadas en lagunas aireadas y luego descargadas al río Copiapó en el norte de Chile”⁶. Estos autores desarrollaron experimentos a escala de laboratorio y en el terreno, encontrando que la remoción de DBO alcanzaba 85 %, con valores de DBO en el efluente de una columna de 2 m de profundidad en forma estable bajo los 15 mg/L.

⁴ WILSON, L. et. al. *Fate of organics during column studies of soil aquifer treatment*. p. 314

⁵ Castillo, Mena et al. *Water quality improvement of treated wastewater by intermittent soil percolation*. p. 187

⁶ BROWN, et al. *Tratamiento de aguas residuales mediante sistema suelo-acuífero: Aspectos físico-químicos*. p. 97

Así mismo, la concentración de coliformes fecales se mantuvo por debajo de 1 000 NMP/100 ml con lo que se propuso el reuso indirecto del agua tratada en el riego de cultivos.

En Guatemala se realiza por primera vez, la evaluación de la capacidad de un suelo para remover los principales contaminantes en el agua residual doméstica.

La sustitución de grava por material pet para la primera capa de percolación hará más sencillo el método constructivo, reduce los tiempos de instalación, facilita la adquisición de materiales, disminuye el costo de Q 300,00 (US\$ 35,00) en grava a Q 5,00 (US\$ 0,50) de material pet y brinda un aporte ambiental para el reuso de materiales que se llevan a un relleno sanitario.

LIMITANTES

Los resultados en la investigación son exclusivos para un material con clasificación SCU: SP y PRA: A-1-b, arena pómez limosa color café.

El haber modificado las condiciones naturales del suelo de percolación para la instalación del sistema de captación de muestras alteró la asimilación hidráulica del sitio.

La profundidad de estudio se realizó para 1,20 metros y la compactación del prototipo grava y suelo fue de 78 %, para pet y suelo fue de 71% respecto del peso específico natural del suelo utilizado.

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Aguas residuales

“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” ⁷. 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 urbanizaciones 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” ⁸.

⁷ ROMERO, Jairo. *Tratamiento de aguas residuales, teoría y principios de diseño*. p. 295

⁸ McKinney, R.T. *Microbiology for Sanitary Engineers*. P. 184

La diferencia de las aguas residuales entre los países desarrollados y los que se encuentran en vías de desarrollo puede atribuirse a factores como los cambios tecnológicos de la civilización moderna, que han producido ciertos cambios en las características de las aguas residuales domésticas.

1.1.2. Composición de las aguas residuales domésticas

“La composición de las aguas residuales se refiere a las cantidades de constituyentes físicos, químicos y biológicos presentes en las aguas residuales”.⁹

1.1.3. Características de las aguas residuales domésticas

“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.”¹⁰

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

Contaminante	Unidades	Concentración		
		Débil	Media	Alta
Sólidos totales	mg/l	350	720	1200
Sólidos sedimentables	mg/l	5	10	20
DBO5	mg/l	110	220	400
DBQ	mg/l	250	500	1000
Nitrógeno total	mg/l	20	40	85
Fósforo total	mg/l	4	8	15
Coliformes totales	NMP/100 cm ³	106 - 107	107 - 108	107 - 109

Fuente: Metcalf & Eddy. *Ingeniería de aguas residuales, tomo 2.* p. 158.

⁹ Metcalf & Eddy. *Ingeniería de aguas residuales, tomo 2.* p. 154

¹⁰ Ibid. p.158

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

Parámetro	Unidad	Concentración		
		Mínimo	Media	Máximo
DBO ₅	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	253	986

Fuente: Peralta, Ivis, Pérez, Wilber & Alonzo, Andy. *Uso de suelo como tratamiento secundario de aguas residuales domésticas*. p. 75.

1.2. **Sistemas de tratamiento de aguas residuales domiciliarias en el mismo sitio**

Debido a su tamaño, las pequeñas comunidades se enfrentan a una serie de problemas que dificultan la construcción y explotación de las plantas de tratamiento de aguas residuales habitualmente gestionadas por los entes municipales. “Los principales problemas que se presentan están relacionados con: normativas de vertido estrictas, costos por habitante elevados, limitaciones de financiamiento, y presupuestos limitados para la explotación y mantenimiento de las instalaciones.”¹¹

¹¹ Metcalf & Eddy, *Ingeniería de aguas residuales*, tomo 2. p. 1 153.

Los sistemas de tratamiento de aguas residuales en el mismo sitio constituyen una alternativa necesaria en lugares donde no existe alcantarillado sanitario. Se hace necesario brindar una solución sencilla para el tratamiento y disposición en el mismo sitio de origen de las aguas residuales.

“La selección de un sistema de tratamiento en el mismo sitio debe tener en cuenta el objetivo básico de ofrecer los resultados del tratamiento requerido en la forma práctica más sencilla, más confiable, de más fácil operación y de costo mínimo”.¹²

Estos tratamientos involucran variaciones de la disposición subsuperficial de efluentes de tanques sépticos u otro tratamiento primario de aguas residuales, como lo son unidades de tratamiento biológico aerobios, humedales, lagunas, entre otros.

Las cuatro categorías principales de estos sistemas son:

- Convencionales
- Convencionales modificados
- Alternativos
- Con tratamiento adicional

¹² ROMERO, Jairo. Tratamiento de aguas residuales, p. 724.

Tabla III. **Tipos de sistemas locales de disposición y reutilización de aguas residuales**

SISTEMA	REUTILIZACIÓN	OBSERVACIONES
SISTEMAS CONVENCIONALES	Campo de infiltración por gravedad zanja convencional. Lechos de absorción por gravedad	Sistema más común
SISTEMAS CONVENCIONALES MODIFICADOS	Campo de infiltración por gravedad: - Zanja profunda - Zanja poco profunda Dosificación a presión: - Zanja convencional - Zanja poco profunda - Aplicación por goteo	Evitar capas de agua poco profundas Tratamiento de suelo mejorado Dosificación cuesta arriba Sitios elevados y poco profundos Optimizar el uso del área disponible
SISTEMAS ALTERNATIVOS	Zanjas rellenas con arena Lechos de capa de piedra Sistemas rellenos Sistemas de montículo Sistemas evapotranspiración Estanques de evaporación Humedales artificiales	Tratamiento adicional Importación del suelo Cero descarga
SISTEMAS DE REUTILIZACIÓN	Irrigación por goteo Irrigación por aspersion Reutilización de aguas grises	Requiere una descarga Requiere tratamiento adicional previo Requiere desinfección
OTROS SISTEMAS	Tanques de almacenamiento Descarga en aguas superficiales	Alternativa para estaciones climáticas Permitido si se hace uso de un tratamiento adicional

Fuente: CRITES R., TCHOBANOGLOUS G. *Tratamiento de Aguas Residuales en Pequeñas poblaciones*. p. 554.

1.3. Uso del suelo como sistema de tratamiento

El suelo es usado para como tratamiento y disposición de las aguas residuales. 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 físico químicos, se presentan para proporcionar un alto nivel de tratamiento consistente y confiable. Cuando este sistema se aplica y operan 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.”¹³

El suelo tiene la capacidad de tratar materia orgánica e inorgánica, al igual que organismos patógenos, pues actúa como 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.

¹³ ROMERO, Jairo. *Tratamiento de aguas residuales*. p. 724

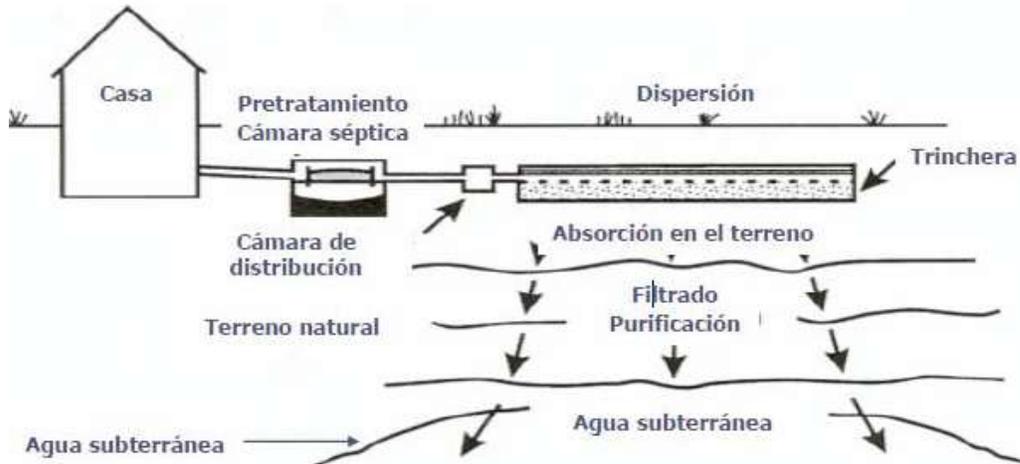
Este sistema puede incluir el uso de tanques sépticos y sistemas de infiltración superficial diseñados hogares individuales o en grupos de estos. La selección de un diseño depende de la naturaleza de las aguas residuales a tratar, las características del sitio, y los requisitos reglamentarios. Excepto por el flujo superficial, estos diseños son sistemas "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.

En la disposición de los sistemas de tratamiento en sitio, el aspecto más importante reside en situarlos en el mejor suelo del emplazamiento y en distribuir el caudal abarcando la máxima extensión posible, de modo que se maximicen las posibilidades de tratamiento y asimilación.

Teóricamente, se deben disponer perpendicularmente a la dirección de flujo del agua subterránea. En la figura 1 se observa cómo está dispuesto el sistema de tratamiento de absorción en el terreno, con respecto a la dirección del flujo subterráneo.

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



Fuente: Environmental Protection Agency. *Onsite Wastewater Treatment Systems Manual*.
p. 625

1.3.1. **Importancia de la evaluación del sitio para rendimiento del sistema**

La evaluación del sitio propuesto debe ser en términos de las condiciones del medio ambiente (clima, geología, pendientes, suelos, el paisaje, las aguas subterráneas, y aguas superficiales), características físicas (líneas de propiedades, pozos, límites de las estructuras hidrológicas), características de las aguas residuales, entre otros.

La eficiencia hidráulica de los sistemas de tratamiento en sitio, están relacionados con el suelo, las características del sitio y la calidad del agua aplicada. Esta eficiencia se mide por la capacidad del sistema para aceptar y tratar adecuadamente las aguas residuales según los límites que establecen las leyes. El sistema se diseña para incluir al suelo no saturado por debajo de la superficie infiltrante, la capa freática permanente, y una parte del agua subterránea que se extiende horizontalmente al área de infiltración.

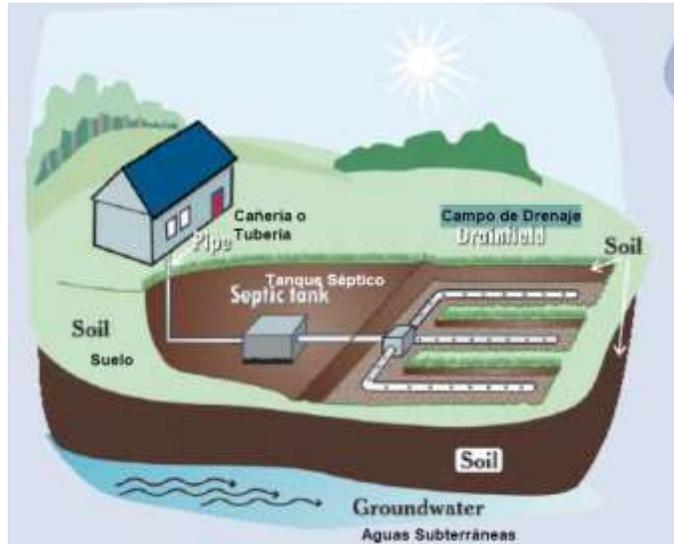
En general las normas establecidas en las leyes de vertidos se deben cumplir para muchos contaminantes antes de la mezcla de las aguas residuales con las aguas subterráneas.

La evaluación del sitio es el factor más crítico en el desempeño exitoso de los sistemas de 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 como responderán las aguas subterráneas a dicha carga. El método de operación del sistema también depende de esta información recopilada. La mayoría de las fallas con este sistema pueden ser atribuidas a la evaluación inadecuada del sitio y a la interpretación de los datos recogidos. 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
- Evaluación detallada del sitio
- 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

Figura 2. **Ubicación sistema séptico en sitio**



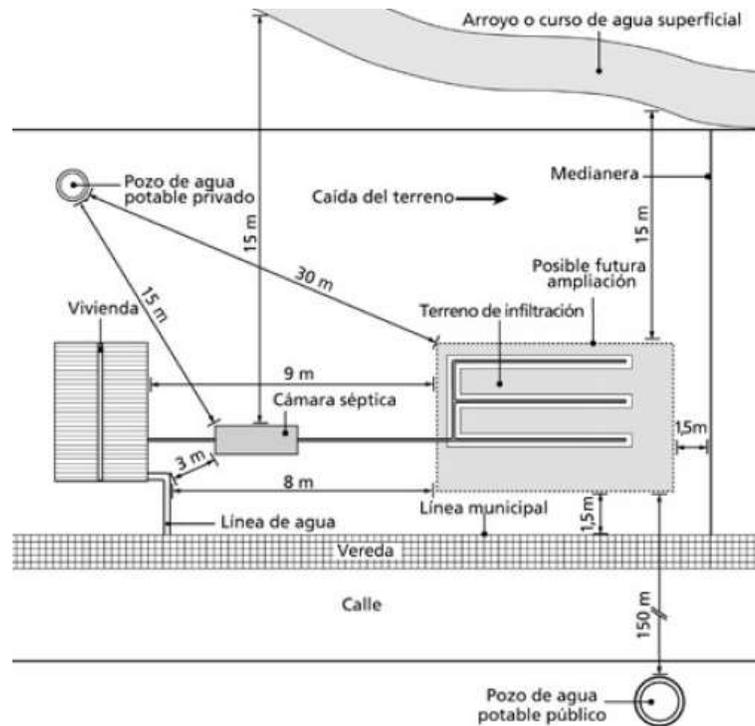
Fuente: Environmental Protection Agency. *Guía del dueño de hogar para sistemas sépticos*. p.18.

1.3.1.1. **Evaluación preliminar del sitio**

Los principales factores que se toman en cuenta para el reconocimiento preliminar del sitio son:

- Pendiente de la superficie del terreno.
- Potencial de inundación.
- Estructuras existentes.
- Paisaje.
- Suelo (textura, estructura, color, estratificación, profundidad de la zona no saturada).

Figura 3. Distancias recomendables para la ubicación del sistema



Fuente: MARIÑELA. Alejandro. *Manual de autoconstrucción de sistemas de tratamiento de aguas residuales domiciliarios*. p. 94

1.3.1.2. Evaluación detallada del sitio

Los principales factores que hay que tener en cuenta son:

- 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.

- Ensayo de percolación: se realiza con el propósito de determinar la aceptabilidad o rechazo del sitio escogido como la zona que complementa el proceso de tratamiento. Con los resultados de esta prueba se sabrá si el agua que haya pasado por las etapas de tratamiento serán 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.
- Caracterización hidrogeológica: la información hidrogeológica más importante incluye la profundidad del nivel freático, el gradiente hidráulico y la dirección del flujo subterráneo. Esta información se emplea para determinar si es posible asimilar y transportar lejos del emplazamiento el efluente aplicado sin que aparezca en superficie o forme una bolsa de agua subterránea que pueda aflorar en superficie cuando aumente el nivel freático en tiempo húmedo. La pendiente del nivel freático se suele determinar midiendo el nivel estático del agua en tres pozos dispuestos en forma de triángulo. La dirección del flujo se determina haciendo pasar un plano por los tres puntos determinados. Caso de que se encuentre agua confinada, será necesario perforar más pozos.

“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.”¹⁴

¹⁴ Metcalf & Eddy. *Ingeniería de aguas residuales, tomo 2*. p. 1 153.

1.3.1.3. Capacidad de asimilación hidráulica del sitio

“La capacidad de asimilación de un terreno se define como la capacidad del terreno para aceptar agua”.¹⁵ 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 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.

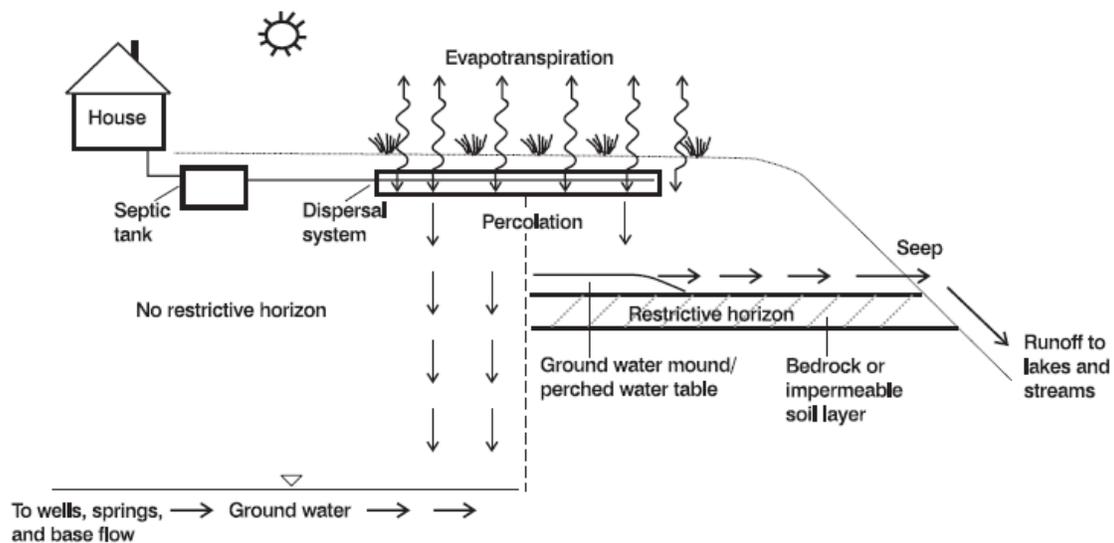
Por debajo de la zona de la infiltración, el agua entra en la zona vadosa. En esta zona, el agua es bajo un potencial de presión negativa o potencial de la matriz; en consecuencia, el flujo se produce sólo en los poros más pequeños, mientras que los poros más grandes permanecen llenos de gas. El transporte 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 zona, 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, deja el sitio.

¹⁵ Metcalf & Eddy. *Ingeniería de aguas residuales, tomo 2*. p. 1 153.

El agua puede percollar en dirección descendente o se puede transportar lateralmente lejos del terreno, la pueden consumir las plantas, o se puede 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.

Figura 4. **Destino del agua descargada a los sistemas de tratamiento en sitio**



Fuente: Environmental Protection Agency. *Onsite Wastewater Treatment Systems Manual*. p. 625.

1.3.2. Selección del sistema

Depende principalmente de los resultados de los reconocimientos previos y detallados realizados sobre el sitio. Los sistemas más comunes se detallan en la tabla IV.

Tabla IV. **Aplicabilidad de los diferentes sistemas de tratamiento en el sitio, en terrenos de características difíciles**

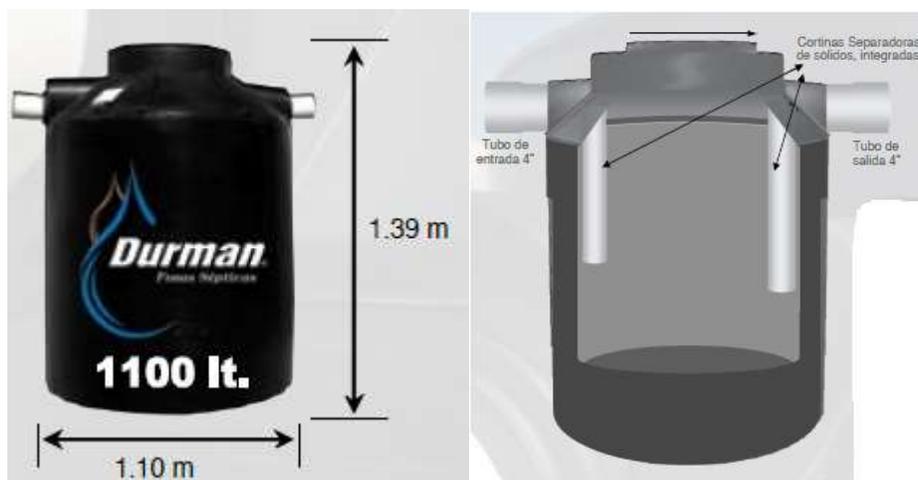
Sistema	Condiciones normales	Suelos de baja permeabilidad	Estrato de poca profundidad sobre el estrato impermeable	Estrato de poca profundidad sobre el suelo fracturado	Suelo de elevada permeabilidad	Nivel freático alto
Fosa séptica con sistema de infiltración convencional	Si	Si	Si	Si	Si	Si
Fosa séptica con sistema de infiltración convencional alimentado a presión.	Si	Si	No	No	No	No
Fosa séptica con zanjas de poca profundidad rellenas de arena alimentada a presión	Si	Si	Si	Si	Si	Si
Fosa séptica con filtro de arena intermitente y sistema de infiltración convencional	Si	Si	Si	Si	Si	Si
Fosa séptica con filtro de arena intermitente, zanjas de infiltración convencionales con distribución a presión	Si	Si	Si	Si	Si	Si
Fosa séptica con filtro de arena intermitente con zanjas de infiltración poco profundas alimentadas a presión	Si	Si	Si	Si	Si	Si
Fosa séptica con sistema de evacuación soterrado de alimentación a presión	Si	Si	Si	Si	Si	Si

Fuente: Metcalf & Eddy, *Ingeniería de Aguas Residuales*, tomo 2, p. 1 153.

1.3.2.1. Fosas sépticas

Las fosas sépticas son en la mayoría de casos tanques prefabricados que permiten la sedimentación y la eliminación de flotantes actuando también como digestores anaerobios sin mezclado ni calentamiento. “El origen de las fosas sépticas se remonta a alrededor de 1860 gracias a los primeros trabajos de Mouras desarrollados en Francia.”¹⁶

Figura 5. Fosa séptica de 1 100 litros



Fuente: Productos prefabricados. http://www.durman.com/descargables/BR_Fosas.pdf.

Consulta: 11 de septiembre de 2016.

¹⁶ Metcalf & Eddy, *Ingeniería de Aguas Residuales*, tomo 2, p. 1 167.

1.3.2.2. Zanjas de infiltración

“Uno de los sistemas más comunes de disposición in situ de aguas residuales son las zanjas de infiltración, las cuales son usadas desde principios de 1900. 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.”¹⁷

Las zanjas de infiltración son sistemas poco profundos de absorción en el suelo, que constan de una serie de zanjas de poca profundidad, llenas de grava. El efluente se dispone a través de las zanjas en el subsuelo, permitiendo su oxidación y disposición.

Las zanjas de infiltración mejoran el tratamiento químico y biológico del efluente de un tratamiento primario, porque aprovechan la actividad bacteriana del suelo e incrementan la oportunidad de absorción de fósforo, metales y virus. Además de mayores remociones de DBO, sólidos suspendidos totales (SST) y nitrógeno.

Las zanjas de infiltración están conformadas por una serie de tuberías convenientemente localizadas y son utilizadas para recibir directamente el efluente de agua residual proveniente del sistema de tratamiento previo y filtrarla en el terreno circundante.

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.

¹⁷ CRITES R., TCHOBANOGLOUS G. *Tratamiento de Aguas Residuales en Pequeñas poblaciones*. p. 881.

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. Para la construcción de los campos de absorción se utilizan los siguientes materiales: tubería perforada, grava y geotextil.

El medio poroso se emplea para:

- Mantener la estructura de las zanjas;
- Proporcionar un tratamiento parcial del efluente;
- Distribuir el efluente a las áreas de infiltración en el terreno.

El sistema que se consigue en los sistemas de infiltración se produce mediante las siguientes fases:

- Al circular el efluente a través y por encima del medio poroso que se dispone en las zanjas de infiltración.
- Al infiltrarse en el terreno.

“El tratamiento en el medio poroso de las zanjas se produce por la combinación de una serie de mecanismos físicos, biológicos y químicos. Si la inundación es permanente, el medio poroso actúa como un filtro anaerobio sumergido, mientras que, si la aplicación es periódica, actúa como un filtro percolador aerobio”.¹⁸

¹⁸ Metcalf & Eddy. *Ingeniería de Aguas Residuales*, tomo 2, p. 1 170.

Las zanjas de infiltración no requieren de ningún tipo de mantenimiento y su vida útil dependerá de la granulometría del suelo, de la capacidad de infiltración, de la altura y variaciones del nivel freático, y del correcto funcionamiento y limpieza del tanque séptico o sistema de aguas residual utilizado como tratamiento previo, que evitará el paso de sólidos a las zanjas de infiltración.

Este sistema de disposición final de las aguas residuales puede utilizarse para el riego del área donde se localizarán los tubos perforados del campo de absorción ya que el terreno absorbe y utiliza el agua que se está desechando.

1.3.2.3. Ensayo de percolación

En muchos lugares, se emplean los resultados de los ensayos de percolación para determinar las dimensiones necesarias para el sistema de absorción en el terreno.

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.

La carga hidráulica permisible en el sistema de absorción sobre el terreno se determina mediante una curva o tabla que relaciona la velocidad media de percolación con la carga hidráulica admisible.

1.3.2.4. Criterios de diseño para el sistema de percolación

La capacidad de un sistema de tratamiento para que este funcione correctamente durante un periodo de tiempo largo varía con:

1. La calidad del efluente.
2. El caudal.
3. El gradiente hidráulico.
4. El método de aplicación.
5. La cantidad de oxígeno existente en el interior del sistema y el terreno (condiciones anaerobias, facultativas, aerobias).
6. 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.

1.3.3. Dimensionamiento de zanjas de infiltración

Existen diferentes métodos de cálculo para las zanjas de infiltración: por gravedad, y a presión, este último se utiliza cuando el efluente es expulsado del tanque séptico mediante bombas.

En la siguiente tabla se resumen los métodos de cálculo de zanjas de infiltración por gravedad, que serán los analizados.

Tabla V. **Aplicabilidad de los diferentes sistemas de tratamiento en el sitio, en terrenos de características difíciles**

Método	Autor	Lugar y fecha	Parámetros para el cálculo del área de infiltración
Guía técnica sanitaria para la instalación y funcionamiento de sistemas de tratamientos individuales de aguas negras y grises	Salud Pública y Asistencia Social.	El Salvador. 2009	1. Rata de percolación [R] ($L/m^2/día$) 2. Aporte [Q] (L/hab/día) 3. Número de habitantes [P]
Guía técnica: tanques sépticos. Conceptos teóricos base y aplicaciones	Ing. Elías Rosales Escalante	Costa Rica. 2003	1. Tasa de infiltración (min/cm) 2. Velocidad de infiltración [Vp] 3. Caudal o gasto [Q] (L/s) 4. Factor precipitación [Fp] (1 – 2,5) 5. Revestimiento superior [rc] 6. Perímetro efectivo [Pe]

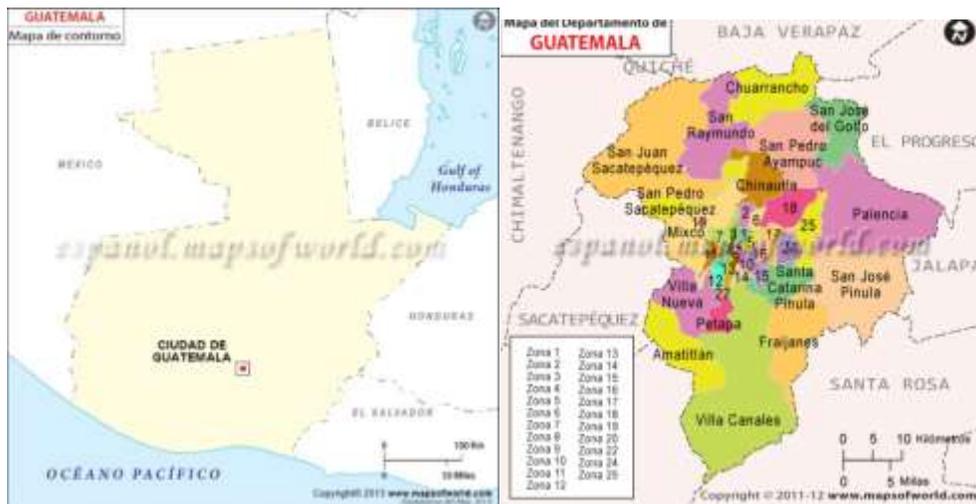
Fuente: elaboración propia.

2. METODOLOGÍA

2.1. Localización

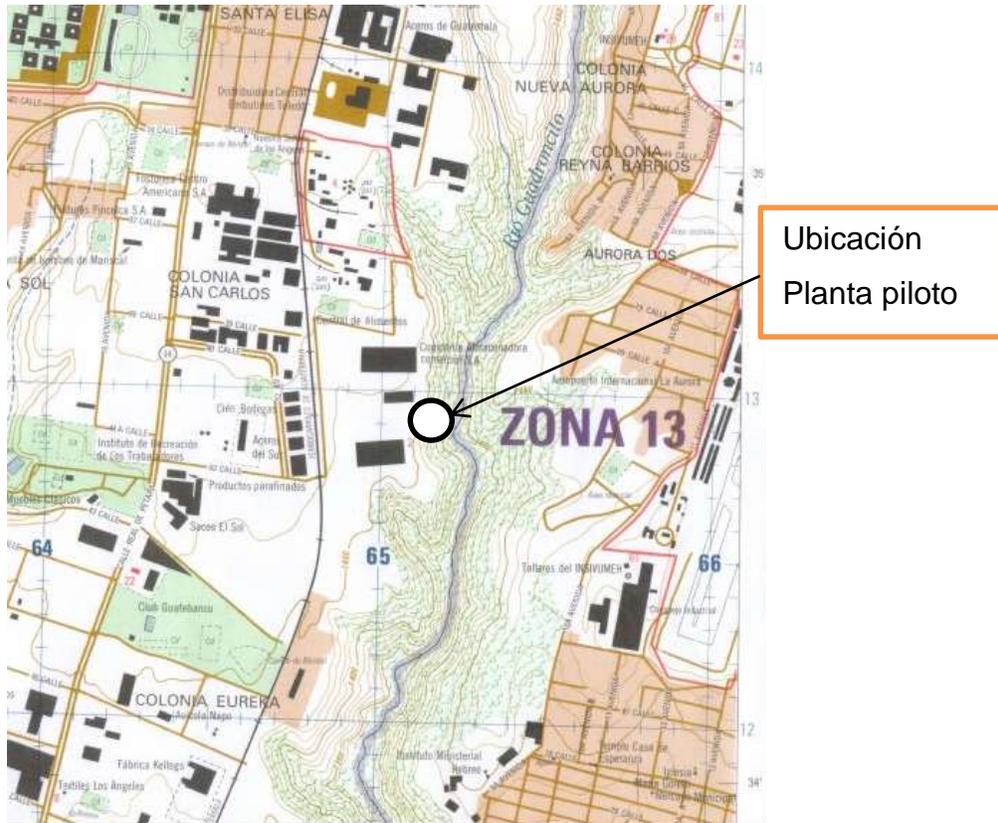
La planta piloto de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos – ERIS – está ubicada en la colonia Militar Aurora II, en la zona 13. Limitada al Norte con el Observatorio Nacional, al Este con el Aeropuerto Internacional “La Aurora” y al Sur y Oeste con barrancos. Sus coordenadas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

Figura 6. Macro y localización micro ciudad de Guatemala



Fuente: Google Maps. *Departamento de Guatemala*. Consulta: 8 de agosto de 2016.

Figura 7. Localización micro planta piloto “Arturo Pasos Sosa”



Fuente: Google Maps. Colonia Aurora II, zona 13, Guatemala. Consulta: 8 de agosto de 2016.

2.2. Número de muestras

En el estudio se recolectará un número reducido de muestras para obtener una información confiable, esto ayudará a reducir el tiempo y el costo en la elaboración del mismo.

Para determinar el número de muestras por recolectar en cada uno de los puntos de muestreos, se hará de acuerdo con el Método 1060B indicado en métodos normalizados para el análisis de agua potable y residual.

2.2.1. Standard Methods

“Se utilizaron las curvas de niveles de confianza establecidos a partir de la siguiente fórmula.”¹⁹

$$N \geq \left(\frac{ts}{U} \right)^2$$

Donde:

N = número de muestras

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

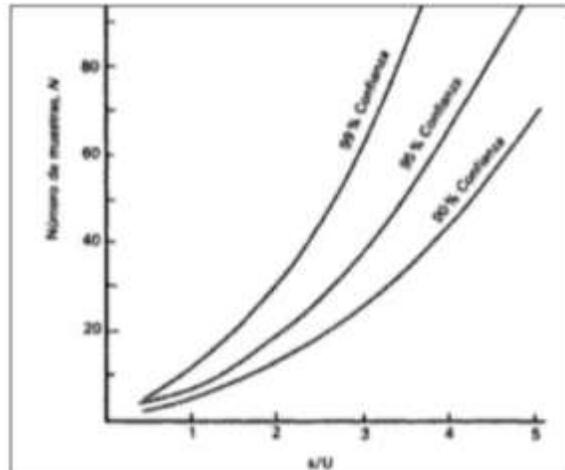
s = desviación estándar global

U = nivel de confianza aceptable

De estudios anteriores se tiene que 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 obtiene que la relación s/U es igual a 1. A partir de este resultado, se revisa la gráfica siguiente, para un nivel de confianza del 95 % y se obtienen entre 7 y 8 muestras, por lo tanto, se establece que se deben realizar 8 muestras.

¹⁹ American Public Health Association. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. p. 27.

Figura 8. **Concentración media**



Fuente: American Public Health Association. Standard methods for the examination of water and wastewater. p. 27

2.2.2. **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 %

σ = 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 Pasos Sosa” comprendidas entre 1974 y 2013.

Los parámetros de interés fueron DBO₅, DQO, temperatura, potencial de hidrógeno, 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 siguientes.

Tabla VI. **Resultados estadísticos**

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 ₅	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: Peralta, Ivis. & Pérez, Wilber. Alonzo, Andy. Elaboración propia mediante el programa IBM SPSS Statics 22.

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 VII. **Cantidad de muestras por parámetro**

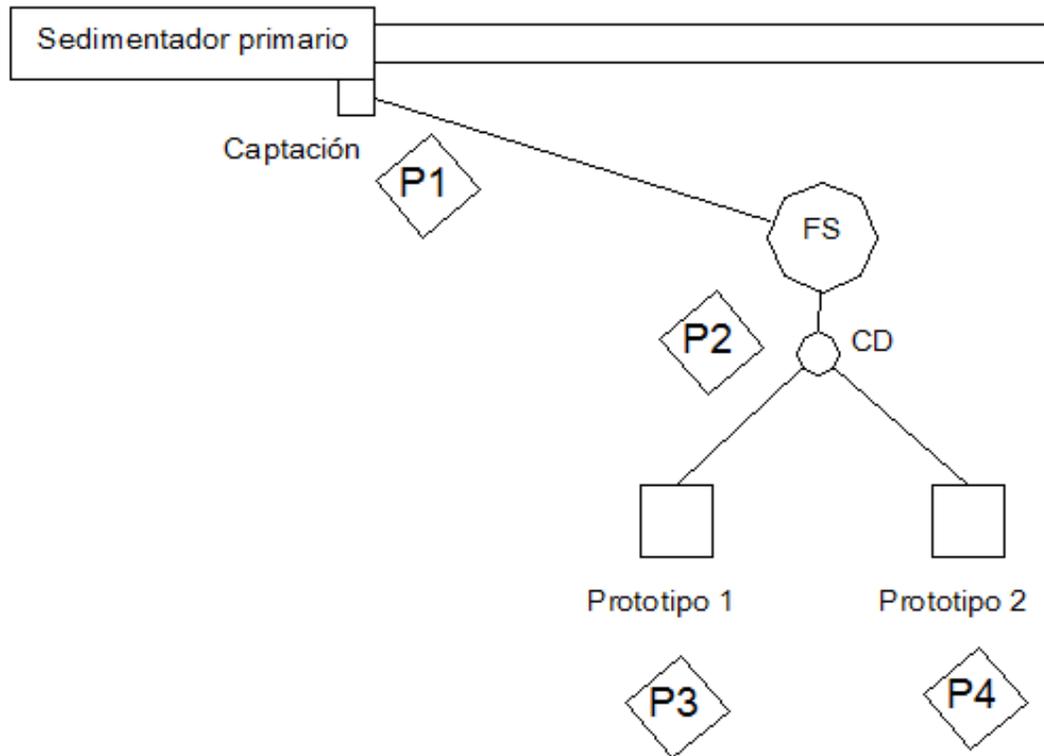
	DBO	DQO	Color	Temperatura	pH	Nitrógeno	Fósforo	SST
N	219	214	31	116	148	61	64	127
e	49	86	301	1	0,3	8	8	107
z	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96
σ	74,13	129,50	451,97	1,53	0,46	11,42	11,42	161,28
n	8,37	8,36	6,94	8,12	8,23	7,69	7,74	8,17
nprom	7,95 \approx 8							

Fuente: Peralta, Ivis. & Pérez, Wilber, Alonzo, Andy. *Uso de suelo como tratamiento secundario de aguas residuales domésticas*. p. 73.

2.2.3. Puntos de muestreo

Los puntos de muestreos se realizarán en la entrada al sistema, salida de la fosa séptica y en la salida de cada prototipo. El número de muestras por cada punto de muestreo es 8, por lo tanto, se tendrá un total de 32 muestras para hacer el análisis de los parámetros de DBO, DQO, sólidos suspendidos, nitrógeno y fósforo.

Figura 9. Esquema del sistema y puntos de muestreo



Fuente: Peralta, Ivis, Pérez, Wilber & Alonzo, Andy. *Uso de suelo como tratamiento secundario de aguas residuales domésticas*. p. 43.

2.2.4. Frecuencia de toma de muestras

Las muestras se estarán recolectando una vez por semana, para lo cual se seleccionará un día en específico para evitar variaciones en los hábitos de consumo de agua de la población servida en la planta de tratamiento “Ing. Arturo Pasos Sosa.”

2.2.5. Tipo de muestra

El método más común para tener en cuenta las variaciones de caudal y las características de las aguas residuales, así como para minimizar los costos de los análisis, consiste en utilizar mezclas compuestas, “si se toman suficientes muestras simples, que luego se mezclan para el análisis, los resultados serán similares a los que se obtendrían con base en una muestra de un tanque de mezcla completa para el caudal muestreado.”²⁰

El dispositivo propuesto está provisto de un sistema de recolección de agua en el fondo que puede ser regulado por una válvula. Al cerrar la válvula por un periodo de tiempo se producirá la acumulación y mezcla del agua simulando un tanque de mezcla, con lo cual se obtendría una mezcla compuesta.

2.3. Características físicas del suelo

Se realizaron tres análisis, el físico, el químico y el hidráulico para la correcta aplicación del método y la utilización del suelo como tratamiento.

²⁰ ROMERO, Jairo. *Tratamiento de aguas residuales*. p. 76.

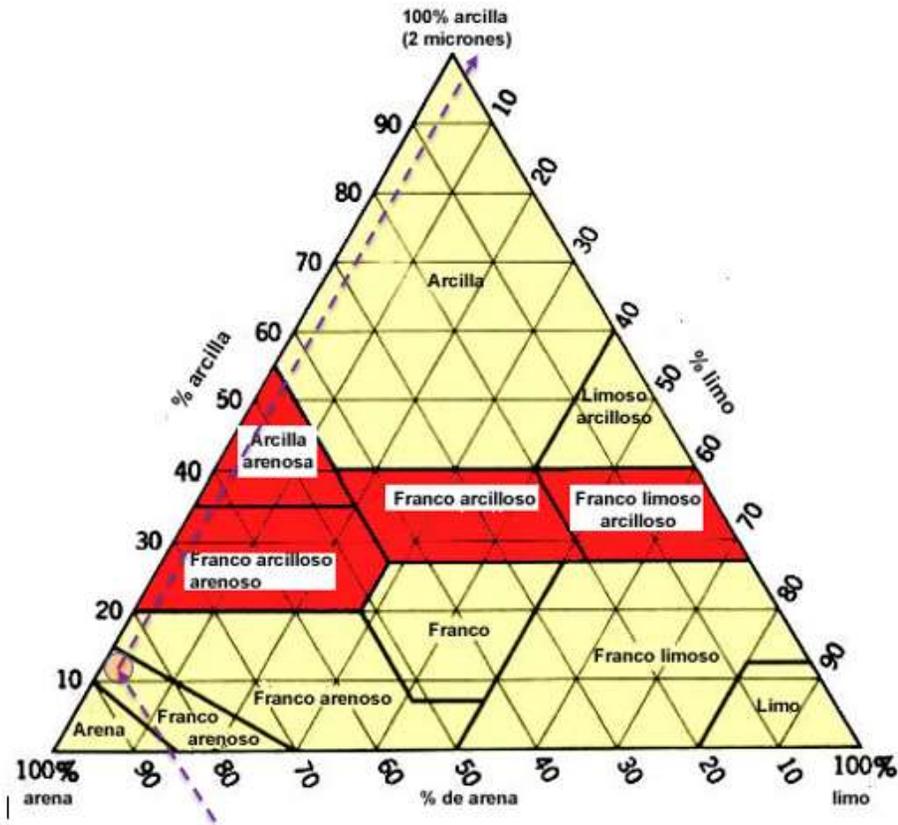
2.3.1. Textura

De acuerdo al triángulo de clasificación de suelo, establece en general tres tipos de suelo, los arenosos, los limosos y los arcillosos. Es importante conocer sus propiedades de remoción de nutrientes y su capacidad para que el agua atraviese por su estructura. El resultado para el análisis granulométrico establece que se tiene un 12,85 % de grava, 86,17 % de arena y 0,99 % de finos correspondiente a suelo de tipo limo, de acuerdo a los límites de Atterberg la descripción del suelo establece que el suelo es arena pomez limosa color café claro. (ML). Para los sistemas de infiltración rápida en los suelos, el tipo arenoso, es el tipo de textura que se busca para obtener mejores resultados. En la siguiente figura se obtiene que la textura del material es de tipo franco arenoso, al utilizar el triángulo de texturas los más recomendables para el tipo de sistema propuesto son el franco-arenoso y arenoso.

2.3.2. Estructura

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, de acuerdo a los resultados de laboratorio, no existe presencia de arcillas en el estrato, la gran parte del suelo utilizado tiene un 86 % de arenas, lo que convierte al sistema, en un medio poroso que permitirá el paso del flujo sin dificultades de colmatación o saturación.

Figura 10. Diagrama triangular de clases texturales



Fuente: United States Department of Agriculture. *Clases de textura*. Consulta: 12 de agosto de 2016.

Tiene relación sobre la capacidad de transmitir y retener el agua, la muestra analizada establece que posee una arena de tipo pómez, es tipo de suelo de origen ígneo volcánico asegura una alta porosidad cuya capacidad de absorber y retener el agua es alta, que ayudará a formar pequeñas colonias de bacterias y aumentar la remoción de nutrientes en el agua.

2.3.3. Profundidad

La distancia y el tiempo de contacto que tendrá el agua para que puedan ser eliminados los nutrientes indeseables “para un sistema de infiltración rápida la profundidad mínima para el tratamiento, es de 1 metro.”²¹ El sistema presentado en la investigación consta de una profundidad de 1,2 metros. Cabe mencionar que la profundidad del sistema dependerá también de la textura, debido a que texturas gruesas tendrán menor rendimiento debido a la rápida percolación del agua residual doméstica.

2.4. Características químicas del suelo

El análisis químico establece la cantidad de minerales existentes en el suelo, debido a que los parámetros que se analizaran son nitrógeno, fósforo, cantidad de materia orgánica, hierro y manganeso. A continuación, se describe la cantidad de dichos parámetros y en los análisis de laboratorio, al final del tratamiento se determinará si ha removido o contribuido en la contaminación del agua.

²¹ ENVIROMENTAL PROTECTION AGENCY. *Guía del dueño de hogar para sistemas sépticos*, Washington. p. 51.

Tabla VIII. **Propiedades químicas del suelo**

Potencial de hidrógeno	6,4
Conductividad eléctrica	218,5 $\mu\text{S}/\text{cm}$
Nitrógeno	0,0015 %
Fósforo	4.63 ppm
Potasio	163 ppm
Cobre	1,00 ppm
Zinc	0,50 ppm
Hierro	28 ppm
Manganeso	3,50
Materia orgánica	0,30 %

Fuente: Peralta, Ivis, Pérez, Wilber & Alonzo, Andy. *Uso de suelo como tratamiento secundario de aguas residuales domésticas*. p. 63.

2.5. Características hidráulicas del suelo

Estas características determinan la cantidad de agua que atraviesa el estrato y su eficiencia como filtro mecánico y resistencia a la colmatación mecánica o biológica.

2.5.1. Prueba de percolación

“Se realiza al suelo para determinar si este absorberá y drenará agua de forma adecuada” ²² y en esta investigación se tienen los datos siguientes:

²² ROSALES, Elías. *¿Cómo hacer pruebas de infiltración?* p.1.

Tabla IX. **Aplicabilidad de los diferentes sistemas de tratamiento en el sitio, en terrenos de características difíciles**

Pozo	Hora		Medida del nivel (cm)		Calculo de la capacidad de infiltración del terreno		
	Hora inicial	Hora final	nivel inicial(cm)	nivel final(cm)	Diferencia entre mediciones	Promedio de las tres últimas diferencias (cm)	Promedio 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, Ivis, Pérez, Wilber & Alonzo, Andy. Uso de suelo como tratamiento secundario de aguas residuales domésticas. p. 68.

2.6. Características mecánicas del suelo

Los ensayos propuestos para conocer las características físicas y mecánicas del suelo fueron: contenido de humedad natural, límites de Atterberg, equivalente de arena, gravedad específica, permeabilidad, granulometría y compactación

2.6.1. Contenido de humedad natural del suelo

La justificación del ensayo es para conocer la humedad actual del suelo y la descripción. Como se planificó que es suelo sería removido en su totalidad para la instalación de un sistema de captación de la toma de muestras. A lo cual se obtuvo los siguientes resultados:

%H= 17.2 y descripción: arena pómez color café claro.

2.6.2. Límites de Atterberg

Conocer si el material posee plasticidad es un indicador del tamaño de las partículas y de su forma estructural laminar, debido a que la presencia de partículas muy pequeñas ocasionara la colmatación del sistema, pero ayudaran a la remoción de nutrientes por su interacción catiónica, si existen en un pequeño porcentaje. También clasifica el tipo de suelo de acuerdo a la carta de plasticidad del sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS) propuesto por Arthur Casagrande.

El índice de plasticidad para el suelo utilizado es del 0 % y su clasificación SUCS ML que significa que tiene un limo de baja compresibilidad.

2.6.3. Equivalente de arena

Los resultados tienen una relación sobre la cantidad de finos plásticos que se encuentran en el tipo de suelo, de acuerdo al valor obtenido la cantidad de arena en la muestra representativa es del 69,5 % y el 30,5 % es de finos plásticos, los finos plásticos pueden ser limos o arcillas, pero se ha descrito en los límites de Atterberg que ese porcentaje les corresponde a limos.

2.6.4. Gravedad específica

El resultado ayudará a determinar la relación de vacíos que existe en el suelo utilizado como medio filtrante con la ayuda del ensayo de compactación. La gravedad específica es la relación de peso específico de los sólidos y el peso específico del agua, el resultado es adimensional y corresponde al valor de 2,22, cabe mencionar que la temperatura del agua a la que se realizó la prueba fue de 20° C.

2.6.5. Ensayo de permeabilidad cabeza variable

El coeficiente de permeabilidad es otra característica hidráulica del suelo, debido a que se conoce la rapidez con la que el agua atravesará el estrato de suelo, el resultado de esta prueba dice que dicho coeficiente es $2,14 \times 10^{-6}$ cm/s.

2.6.6. Granulometría

La distribución del tamaño de los granos es importante debido a que la estructura puede hacer que el agua atraviese el suelo con mayor facilidad, es decir que un suelo para sistemas de infiltración rápida bien estructurado es aquel que no tiene una gran variación de tamaño de las partículas, ya que las partículas de igual tamaño forman una mayor cantidad de espacios vacíos entre ellas, que de existir de diferentes tamaños, las partículas pequeñas llenarían los espacios vacíos de las medianas y las medianas de las grandes.

“Además es posible obtener dos coeficientes en este ensayo, el de curvatura y el de uniformidad.”²³

2.6.6.1. Coeficiente de curvatura

De acuerdo al sistema de clasificación SUCS los valores de coeficiente de curvatura menor a 1 o mayores a 3 para las arenas son considerados mal graduados, lo que indican que falta una serie de diámetros entre los tamaños correspondientes de D_{60} y D_{10} y es un material que puede ser utilizado como filtro.

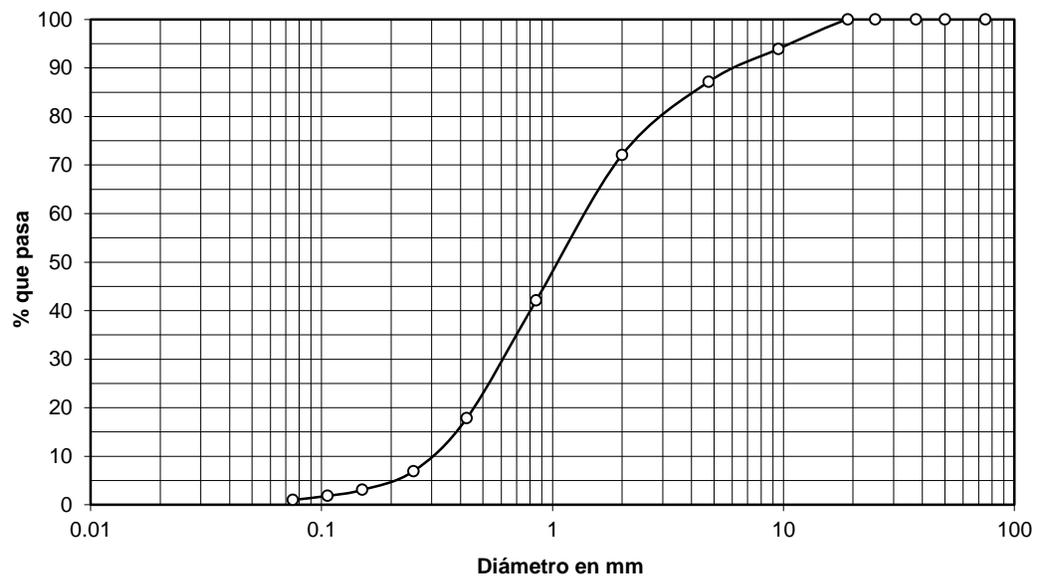
Para determinar ese coeficiente es necesario utilizar la curva granulométrica, su cálculo es a través de la siguiente ecuación:

$$C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{60}D_{10}} = \frac{(0,61)^2}{1,5 * 0,3} = 0,83$$

²³ BRAJA. Das, *Principios de ingeniería de cimentaciones*. p. 3.

D_{10} , D_{30} y D_{60} , son los diámetros característicos, la letra D representa el tamaño del grano o diámetro aparente y el valor en sub-índice son los porcentajes de material que atravesó la muestra, y no es posible determinarlos sin ayuda de la gráfica. Por ejemplo, $D_{10} = 0,3\text{mm}$, significa que el 10 % de los granos de la muestra son menores de 0,3 mm de diámetro.

Figura 11. **Curva granulométrica del suelo utilizado**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería, USAC. *Ensayo granulométrico sin lavado*. Laboratorio Mecánica de Suelos.

2.6.6.2. Coeficiente de uniformidad

De acuerdo al sistema de clasificación SUCS los valores de coeficiente de uniformidad menor a 6, para las arenas, son considerados mal graduados, es decir son muy uniformes, lo que indican que falta una serie de diámetros entre los tamaños correspondientes de D_{60} y D_{10} y es un material que puede ser utilizado como filtro.

Para determinar ese coeficiente es necesario utilizar la curva granulométrica, su cálculo es a través de la siguiente ecuación:

$$C_c = \frac{D_{60}}{D_{10}} = \frac{1.5}{0.3} = 5$$

2.6.7. Compactación

Debido a la modificación del suelo por su excavación, se realizó la prueba con el fin de conocer la densidad seca máxima y el contenido de humedad óptimo para alcanzar dicha densidad. Al realizar la excavación, se modificaba completamente las condiciones del sitio, pero con los valores obtenidos en laboratorio se podía determinar las condiciones en las que se dejaría instalado el sistema. Los resultados de laboratorio fueron que para un porcentaje de humedad de 16,75 % la densidad seca máxima es 1 409,76 kg/m³ o 88 lb/pe³.

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

El porcentaje de compactación para el sistema grava y suelo es del 78% y el de suelo y pet es del 71 %. El cálculo se indica más adelante.

Es posible ahora poder calcular la relación de vacíos en cada sistema con la siguiente ecuación:

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

Donde:

G_s corresponde al valor de la gravedad específica.

γ_w corresponde al valor del peso específico del agua 1000 kg/m^3 .

γ_d peso específico seco, resultado de la compactación en campo.

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

Tabla X. **Datos para la relación de vacíos para el sistema grava suelo**

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)	1 320	Kg/m^3
Peso unitario seco (PUS)	1 108,87	Kg/m^3
Porcentaje de compactación (%C)	78	%

Fuente: elaboración propia.

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

$$PUH = \frac{Pnh}{\text{Volumen}_{\text{agujero}}} = \frac{0,528kg}{0,0004 \text{ m}^3} = 1\,320 \frac{kg}{\text{m}^3}$$

$$PUS = \frac{PUH}{\%H + 100} * 100 = \frac{1\,320}{119,04} * 100 = 1\,108,87 \frac{kg}{\text{m}^3}$$

$$\%C = \frac{PUS_{\text{campo}}}{PUS_{\text{proctor}}} * 100 = \frac{1\,108,87}{1\,409,76} = 78 \%$$

$$e = \frac{2,22 * 1\,000kg/\text{m}^3}{1\,108,87kg/\text{m}^3} = 2$$

Tabla XI. **Datos para la relación de vacíos para el sistema suelo pet**

Descripción	Valor	Dimensional
Porcentaje de Humedad (%H)	19,71	%
Peso bruto húmedo (Pbh)	575	gramos
Peso neto húmedo (Pnh)	428	gramos
Peso unitario húmedo (PUH)	1 200	Kg/m ³
Peso unitario seco (PUS)	1 002,42	Kg/m ³
Porcentaje de compactación (%C)	71	%

Fuente: elaboración propia.

$$Pnh = Pbh - \text{peso del recipiente o tara} = 575g - 95g = 480g$$

$$PUH = \frac{Pnh}{Volumen_{\text{agujero}}} = \frac{0,48kg}{0,0004 m^3} = 1\,200 \frac{kg}{m^3}$$

$$PUS = \frac{PUH}{\%H + 100} * 100 = \frac{1\,200}{119,71} * 100 = 1\,002,42 \frac{kg}{m^3}$$

$$\%C = \frac{PUS_{\text{campo}}}{PUS_{\text{proctor}}} * 100 = \frac{1\,002,42}{1\,409,76} = 71 \%$$

$$e = \frac{2,22 * 1\,000kg/m^3}{1\,002,42kg/m^3} = 2,21$$

2.7. Cálculo de dimensiones de las zanjas

Existen diferentes metodologías y normativas de países para realizar el dimensionamiento de las zanjas de infiltración. Considerando que el estudio se realizara en el área centroamericana, se tomó como base el código de instalaciones hidráulicas y sanitarias en edificaciones de Costa Rica y también se utilizó la guía técnica sanitaria para la instalación y funcionamiento de sistemas de tratamiento individuales de aguas negras y grises de El Salvador.

Para el dimensionamiento de las zanjas es necesario conocer la tasa de infiltración del terreno en min/cm. Este dato se obtuvo mediante una prueba de percolación en el sitio la cual fue detallada en la sección anterior de este documento, el resultado fue de 17,7 min/cm.

2.7.1. Metodología según la guía técnica de tanques séptico de Costa Rica

En esta guía se utiliza la tasa de infiltración para obtener la velocidad de infiltración en l/m²/día. Estas velocidades han sido establecidas, para el caso de Costa Rica, por el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA), en las normas de presentación, diseño y construcción para urbanizaciones y fraccionamientos.

Tabla XII. Velocidad de infiltración

T (min/cm)	Vp (m/s)
11	4,28x10 ⁻⁷
12*	4,10x10 ⁻⁷
14	3,80x10 ⁻⁷
16	3,55x10 ⁻⁷
18	3,35x10 ⁻⁷
20	3,18x10 ⁻⁷
22	3,03x10 ⁻⁷
24**	2,90x10 ⁻⁷
25	2,84x10 ⁻⁷

* Resultado mayor, inadecuado para pozos de absorción.

**Resultado mayor, inadecuado para sistemas de absorción

Fuente: ROSALES, Elias, *Tanques sépticos conceptos base y aplicaciones*. p. 33.

Por medio de interpolación se obtiene que para una tasa de infiltración de 17,7 min/cm la velocidad de infiltración es de $3,38 \times 10^{-7}$ m/s

Conociendo la velocidad de infiltración se procede a hacer el cálculo del área de infiltración utilizando la siguiente fórmula.

$$A = \frac{Q}{V_p}$$

Donde:

A= área de infiltración en m²

Q= caudal en m³/s

V_p=Velocidad de infiltración m/s

$$A = \frac{\left(\frac{0,8 \times 200 \times 6}{86\,400 \times 1000} \right)}{3,38 \times 10^{-7}} = 32,87 \text{ m}^2$$

Asumiendo un ancho de zanjas de 0,8 m, tenemos que la longitud será de:

$$L = \frac{A}{\text{ancho}} = \frac{32,87}{0,8} = 41 \text{ m}$$

2.7.2. Metodología según la guía técnica sanitaria para la instalación y funcionamiento de sistemas de tratamiento individuales de aguas negras y grises de El Salvador

En esta guía se utiliza la tasa de infiltración en min/cm para obtener una tasa de infiltración en Litros/m²/día según la tabla XIII. Estas tasas se obtienen de pruebas infiltración utilizando pozos de prueba de 0,30m de diámetro.

Tabla XIII. **Valores aproximados de tasa de infiltración para el cálculo de zanjas de infiltración y de arena filtrante**

Tasa de infiltración (min/cm)	Tasa de infiltración para prueba de infiltración utilizando pozos de prueba de 0,30m de diámetro (Litros/m²/día)
0,41	189
0,83	130
1,25	109
1,66	94
2,08	83
4,16	60
6,25	49
12,50	34
18,75	30
25	22

Fuente: Ministerio de Salud de El Salvador. *Tratamiento de aguas negras y grises*. p. 90.

Por medio de interpolación se obtiene que para una tasa de infiltración de 17,7 min/cm la tasa de infiltración en Litros/m²/día es 30,68.

Conociendo la tasa de infiltración se procede a hacer el cálculo del área de infiltración utilizando la siguiente fórmula.

$$A = \frac{Q \cdot P}{R}$$

Donde:

A= área de infiltración en m²

Q= aportación en litros/hab/día

P=es el número de habitantes en la vivienda

$$A = \frac{200 \times 6 \times 0,8}{30,68} = 31,29 \text{ m}^2$$

Asumiendo un ancho de zanjas de 0,8 m, tenemos que la longitud será de:

$$L = \frac{A}{\text{ancho}} = \frac{31,29}{0,8} = 39,11 \text{ m}$$

2.8. Fosa séptica

La fosa séptica se diseñó para una vivienda de 6 habitantes, para la cual 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 calcula 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, quien 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 que tendrá para una población de 6 habitantes.

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

El tiempo de retención con el que trabajará la fosa séptica será de 1,14 días lo cual favorecerá a la sedimentación y periodo de desenlode.

2.9. Prototipo

Se dispone a realizar un sistema que cumpla con los requisitos de la construcción original a través de las siguientes suposiciones:

El sistema propuesto tratará el agua residual de una vivienda por lo que se asume una cantidad de 6 personas con una dotación de 200 l/h/d y un factor de retorno de 0,8. El caudal que tratará el sistema completo se calcula de la siguiente manera.

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

El sistema completo tiene la necesidad de una longitud de 40 m de zanja para tratar dicho caudal, y debido a que se trata de un tratamiento de infiltración rápida consta de una unidad de sedimentación para eliminar las partículas más pequeñas que pudieran colmatar el suelo e impedir el paso del flujo. El dimensionamiento establece un ancho mínimo de zanja de 0,80 m por lo que el área de tratamiento es de 32 m². Si la zanja recibe uniformemente el agua el área de tratamiento con relación al caudal es 0,00034 l/s/m².

El prototipo consta de dos unidades, cada una con un área de 1 m² y una profundidad de tratamiento de 1,2 m para la percolación. Esto nos lleva a proponer que a la unidad de sedimentación de la fosa séptica debe llegar un caudal de 0,00069 l/s, para que después, una caja derivadora divida en partes iguales el caudal establecido a cada uno de los prototipos.

Figura 12. **Prototipos de infiltración**



Fuente: fotografías propias.

Figura 13. **Unidad de sedimentación**



Fuente: fotografías propias.

Figura 14. **Distribución de caudales**



Fuente: fotografías propias.

Figura 15. **Detalles del prototipo**



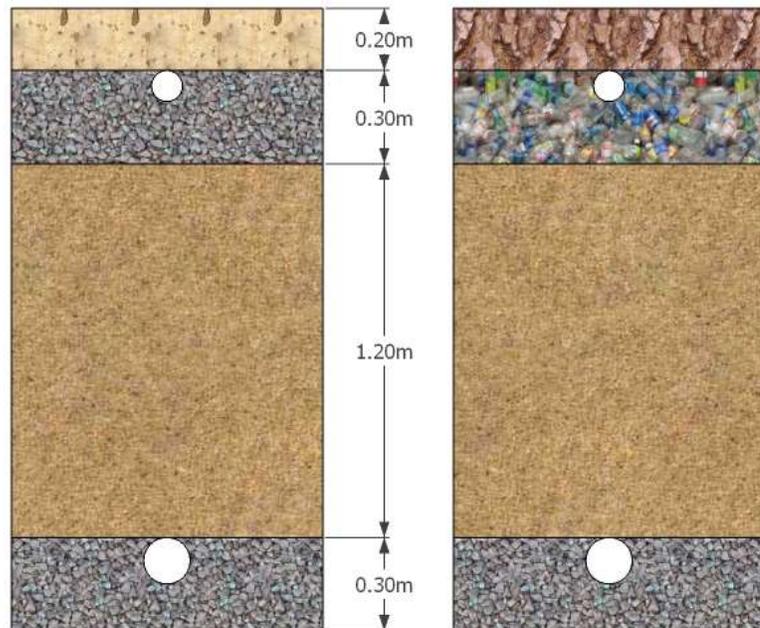
Fuente: fotografías propias.

Figura 16. **Colocación de material pet en el prototipo**



Fuente: fotografías propias.

Figura 17. **Perfil de los prototipos**

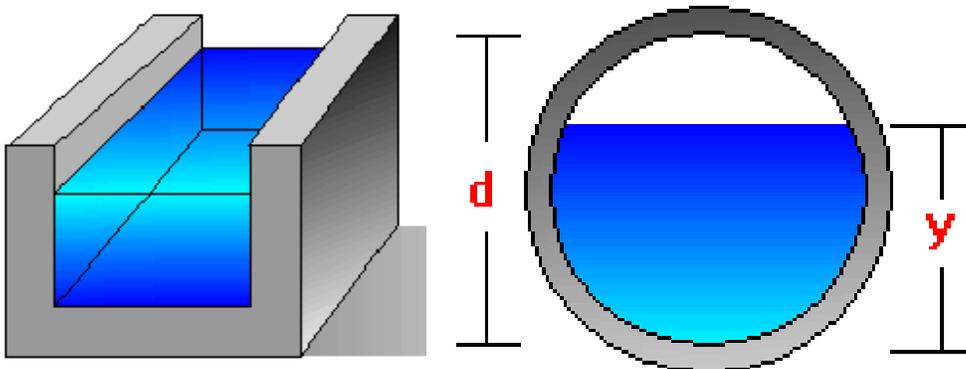


Fuente: elaboración propia.

2.9.1. Medición del caudal

Para garantizar que el valor del caudal, sea el establecido anteriormente, hay muchos dispositivos que ayudan a una aproximación confiable. Antes de escoger el medidor de flujo, se toma en cuenta de donde partirá la derivación, al tratarse de agua residual, el traslado es a través de canales abiertos, ya sea de sección rectangular o por tuberías con la sección parcialmente llena. Como se ilustra en la siguiente figura.

Figura 18. Tipos de canal



Fuente: VILLON, Máximo. *Hidráulica de Canales*. p. 147.

El sistema recogerá el agua residual cruda en la cámara de entrada de un sedimentador, cabe mencionar que el agua no tiene ningún tipo de tratamiento debido a que no ha iniciado el proceso de precipitación de los sólidos sedimentables.

Figura 19. **Cámara de entrada del sistema**



Fuente: fotografías propias.

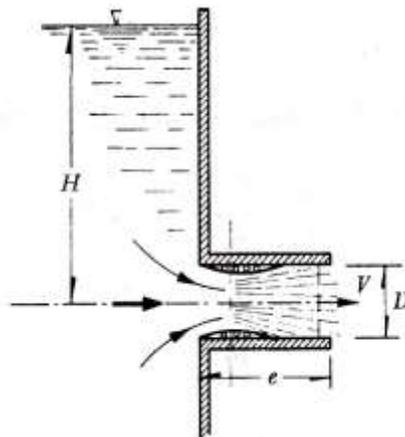
La derivación de caudal en un sedimentador es exactamente como el de un canal de sección rectangular y para pequeños valores de caudal el medidor más famoso es el vertedero triangular, debido a la gran precisión para pequeños caudales, pero el dimensionamiento del vertedero resultan muy pequeñas, que además de provocar complicaciones constructivas, necesita de un mantenimiento continuo para su adecuado funcionamiento, precisa también de un vertedero demasías para controlar los aumentos y decrementos de la fuente principal.

Otro medidor, es el de orificios, su diseño necesita de un tirante constante para garantizar el valor de caudal, la desventaja es que si el orificio es muy pequeño los sólidos flotantes o partículas muy grandes obstruirían el paso del flujo, para evitar este problema se añade una pantalla en la entrada de los orificios y no necesita de ninguna obra hidráulica para controlar los aumentos o decrementos de caudal de la fuente principal.

2.9.2. Orificio como medidor de flujo

Existen dos tipos de orificios, de pared delgada y de pared gruesa o de tubo corto. El utilizado es el de pared gruesa, ya que se colocará una válvula para regular el caudal, el sistema queda instalado como se muestra a continuación.

Figura 20. Orificio de tubo corto



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

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

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

Q = caudal en m³/s

C_d = coeficiente de descarga

A = área de la sección del tubo en m²

g = aceleración de la gravedad en m/s²

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

El caudal que necesitamos es de caudal de $0,00091 \text{ l/s} = 9 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{s}$.

$C_d = 0,75$ de acuerdo a la relación e/d de la tabla siguiente:

Tabla XIV. **Coefficientes de descarga según relación e/D**

e/D	≤ 0.5	1	1.5	2	2.5	3	5
C_d	0,6	0,75	0,78	0,79	0,8	0,82	0,79
e/D	12	25	36	50	60	75	100
C_d	0,77	0,71	0,68	0,64	0,6	0,59	0,55

Fuente: SOTELO, Gilberto. *Hidráulica general*. p. 164

Interpolación entre $e/D = 12$ y $e/D = 25$, debido a que la relación del medidor es $20/1,27 = 15,74$.

e/D	C_d
12	0,77
15,74	X
25	0,71

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

El área de la sección del orificio, A es $1,2667 \times 10^{-4} \text{ m}^2$.

Despejando el valor del tirante del orificio se tiene:

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

$$H = \frac{\left(\frac{9 \times 10^{-7}}{0,75 * 1,26 \times 10^{-4}}\right)^2}{2 * 9,81} = 4,62 \times 10^{-6} m$$

Como la altura H es muy pequeña se ha propuesto un valor de 6,5 centímetros, debido a que, para tener una descarga libre dicho tirante es el mínimo. Evaluando ese tirante en la ecuación anterior se puede aproximar el caudal en el orificio.

$$Q = 0,75 * 1,26 \times 10^{-4} \sqrt{2 * 9,81 * 0,065} = 1,06 \times 10^{-4} \frac{m^3}{s} = 0,106 \text{ l/s}$$

El caudal teórico 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.

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 8:00 am a 9:30 am. Se obtuvo un valor promedio de 0,02096 l/s.

Tabla XV. **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: Peralta, Ivis, Pérez, Wilber & Alonzo, Andy. *Uso de suelo como tratamiento secundario de aguas residuales domésticas*. p. 68.

3.1.1. 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 XVI. Comparación de material flotante

# M	Fecha	Entrada fosa séptica	Salida fosa séptica	Salida grava y suelo	Salida pet y suelo	Norma
						Guatemala
1	04/02/2015	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
2	11/02/2015	Presente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
3	18/02/2015	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
4	25/02/2015	Presente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
5	04/03/2015	Presente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
6	11/03/2015	Presente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
7	18/03/2015	Presente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
8	08/04/2015	Presente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente

Fuente: Peralta, Ivis, Pérez, Wilber & Alonzo, Andy. *Uso de suelo como tratamiento secundario de aguas residuales domésticas*. p.71.

3.1.2. 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 se encuentran entre los límites de las dos normas comparadas. En las tablas y gráficas siguientes se pueden apreciar los resultados.

Tabla XVII. **Comparación de temperatura, con la norma de Guatemala**

# M	Fecha	Unidad	Entrada fosa séptica	Salida fosa séptica	Salida grava y suelo	Salida pet y suelo	Norma
							Guatemala
1	04/02/2015	°C	22	22	22	22	TCR +/- 7
2	11/02/2015	°C	20	20	21	21	TCR +/- 7
3	18/02/2015	°C	22	22	21	21	TCR +/- 7
4	25/02/2015	°C	21	21	21	21	TCR +/- 7
5	04/03/2015	°C	22	22	22	22	TCR +/- 7
6	11/03/2015	°C	22	22	22	22	TCR +/- 7
7	18/03/2015	°C	21	21	21	21	TCR +/- 7
8	08/04/2015	°C	21	21	21	21	TCR +/- 7
Mínimo			20	20	21	21	
Máximo			22	22	22	22	
Promedio			21.38	21.38	21.38	21.38	
Desv. Estándar			0.74	0.74	0.52	0.52	

Fuente: Peralta, Ivis, Pérez, Wilber & Alonzo, Andy. *Uso de suelo como tratamiento secundario de aguas residuales domésticas*. p. 76.

3.1.3. 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 encuentra entre el límite de la norma.

Tabla XVIII. **Comparación de pH, con la norma de Guatemala**

# M	Fecha	Entrada fosa séptica	Salida fosa séptica	Salida grava y suelo	% Remoción grava y suelo	Salida pet y suelo	% Remoción pet y suelo	Norma	
								Guatemala	
								Mín.	Máx.
1	04/02/2015	6,94	6,53	6,56	5,5	6,66	4,0	6	9
2	11/02/2015	7,23	7,18	6,37	11,9	6,40	11,5	6	9
3	18/02/2015	7,29	7,14	6,55	10,2	6,61	9,3	6	9
4	25/02/2015	7,05	6,73	6,57	6,8	6,47	8,2	6	9
5	04/03/2015	7,21	7,00	7,10	1,5	6,78	6,0	6	9
6	11/03/2015	7,06	6,78	6,75	4,4	6,98	1,1	6	9
7	18/03/2015	7,26	6,78	7,06	2,8	7,22	0,6	6	9
8	08/04/2015	7,11	6,91	6,79	4,5	6,53	8,2	6	9
Mínimo		6.94	6,53	6,37	1,53	6,40	0,55		
Máximo		7.29	7,18	7,10	11,89	7,22	11,48		
Promedio		7.14	6,88	6,72	5,94	6,71	6,11		
Desv. Estándar		0.12	0,22	0,26	3,55	0,28	3,93		

Fuente: Peralta, Ivis, Pérez, Wilber & Alonzo, Andy. *Uso de suelo como tratamiento secundario de aguas residuales domésticas*. p.78.

3.1.4. 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. También se obtuvieron excelentes valores de porcentajes de remoción. En las tablas y gráficas siguientes se pueden apreciar los resultados.

Tabla XIX. **SST (mg/l), y comparación con norma de Guatemala**

# M	Fecha	Entrada fosa séptica	Salida fosa séptica	Salida grava y suelo	% Remoción grava y suelo	Salida pet y suelo	% Remoción pet y suelo	Norma
								Guatemala
1	04/02/2015	324,00	83,33	8,20	97,5	31,50	90,3	100
2	11/02/2015	474,29	83,33	3,46	99,3	8,80	98,1	100
3	18/02/2015	204,00	66,15	6,31	96,9	9,13	95,5	100
4	25/02/2015	1228,57	58,46	3,67	99,7	14,46	98,8	100
5	04/03/2015	368,00	146,67	0,70	99,8	3,00	99,2	100
6	11/03/2015	900,00	82,22	4,80	99,5	1,10	99,9	100
7	18/03/2015	4200,00	174,29	1,00	100,0	2,57	99,9	100
8	08/04/2015	529,03	102,00	1,20	99,8	7,00	98,7	100
Mínimo		204,00	58,46	0,70	96,91	1,10	90,28	
Máximo		4200,00	174,29	8,20	99,98	31,50	99,94	
Promedio		1028,49	99,56	3,67	99,05	9,69	97,56	
Desv. Estándar		1324,71	40,43	2,70	1,18	9,83	3,25	

Fuente: Peralta, Ivis, Pérez, Wilber & Alonzo, Andy. *Uso de suelo como tratamiento secundario de aguas residuales domésticas*. p.78.

3.1.5. 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 la norma guatemalteca. Se obtuvieron excelentes porcentajes de remoción. En las tablas siguientes se pueden apreciar los resultados.

Tabla XX. **Comparación del color (unid) con norma de Guatemala**

# M	Fecha	Entrada fosa séptica	Salida fosa séptica	Salida grava y suelo	% Remoción grava y suelo	Salida pet y suelo	% Remoción pet y suelo	Norma
								Guatemala
1	04/02/2015	357	258	7	98,0	101	71,7	500
2	11/02/2015	567	407	35	93,8	48	91,5	500
3	18/02/2015	411	228	53	87,1	41	90,0	500
4	25/02/2015	371	78	20	94,6	50	86,5	500
5	04/03/2015	288	146	6	97,9	12	95,8	500
6	11/03/2015	530	230	27	94,9	10	98,1	500
7	18/03/2015	377	285	11	97,1	12	96,8	500
8	08/04/2015	453	250	3	99,3	24	94,7	500
Mínimo		288	78	3	87.10	10	72	
Máximo		567	407	53	99.34	101	98	
Promedio		419,25	235,25	20,25	95,35	37,25	90,66	
Desv. Estándar		92,98	96,72	17,31	3,85	30,59	8,57	

Fuente: Peralta, Ivis, Pérez, Wilber & Alonzo, Andy. *Uso de suelo como tratamiento secundario de aguas residuales domésticas*. p.81.

3.1.6. Comportamiento de la DBO₅

El comportamiento de la DBO₅ fue irregular en la entrada del sistema y salida de la fosa séptica, presentando picos máximos a la entrada en los muestreos #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. Se obtuvieron excelentes porcentajes de remoción. En las tablas siguientes se pueden apreciar los resultados.

Tabla XXI. **Comparación de la DBO₅ (mg/l) con norma de Guatemala**

# M	Fecha	Entrada fosa séptica	Salida fosa séptica	Salida grava	% Remoción grava y suelo	Salida pet y suelo	% Remoción pet y suelo	Norma
								Guatemala
1	04/02/2015	214	210	0,96	99,6	34,60	83,8	200
2	11/02/2015	675	230	2,30	99,7	11,00	98,4	200
3	18/02/2015	360	10	6,48	98,2	13,46	96,3	200
4	25/02/2015	290	163	11,00	96,2	42,20	85,4	200
5	04/03/2015	226	188	0,68	99,7	2,27	99,0	200
6	11/03/2015	630	124	5,00	99,2	5,20	99,2	200
7	18/03/2015	480	163	0,35	99,9	0,38	99,9	200
8	08/04/2015	292	130	0,54	99,8	7,95	97,3	200
Mínimo		214	10	0.35	96	0,38	84	
Máximo		675	230	11	100	42	100	
Promedio		395,88	152,31	3,41	99,03	14,63	94,91	
Desv. Estándar		179,29	67,91	3,81	1,27	15,41	6,45	

Fuente: Peralta, Ivis, Pérez, Wilber & Alonzo, Andy. *Uso de suelo como tratamiento secundario de aguas residuales domésticas*. p.85.

3.1.7. 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 muestreos #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. Se obtuvieron excelentes porcentajes de remoción. En las tablas siguientes se pueden apreciar los resultados.

Tabla XXII. **Comparación de la DQO (mg/l) con la norma de Guatemala**

# M	Fecha	Entrada fosa séptica	Salida fosa séptica	Salida grava y suelo	% Remoción grava y suelo	Salida pet y suelo	% Remoción pet y suelo	Norma
								Guatemala
1	04/02/2015	583	392	14	97,6	78	86,6	400
2	11/02/2015	783	285	15	98,1	28	96,4	400
3	18/02/2015	616	286	14	97,7	39	93,7	400
4	25/02/2015	835	300	40	95,2	58	93,1	400
5	04/03/2015	589	370	7	98,8	13	97,8	400
6	11/03/2015	578	218	15	97,4	17	97,1	400
7	18/03/2015	621	423	0	100,0	0	100,0	400
8	08/04/2015	845	342	1	99,9	24	97,2	400
Mínimo		578	218	0	95,21	0	86,62	
Máximo		845	423	40	100	78	100	
Promedio		681,25	327,00	13,25	98,09	32,13	95,22	
Desv. Estándar		118,03	67,16	12,46	1,54	25,44	4,12	

Fuente: Peralta, Ivis, Pérez, Wilber & Alonzo, Andy. *Uso de suelo como tratamiento secundario de aguas residuales domésticas*. p.89.

3.1.8. 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 43,75 mg/l, también 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 siguientes, donde también se muestra el cumplimiento de norma comparada en el inicio del muestreo y en algunos de los restantes muestreos. El porcentaje de remoción fue afectado por las variaciones en los resultados de la salida del sistema.

Tabla XXIII. **Comparación de nitrógeno total (mg/l), con la norma de Guatemala**

# M	Fecha	Entrada fosa séptica	Salida fosa séptica	Salida grava y suelo	% Remoción grava y suelo	Salida pet y suelo	% Remoción pet y suelo	Norma
								Guatemala
1	04/02/2015	29,0	51,0	17,0	41,4	47,0	-62,1	20
2	11/02/2015	38,0	53,0	17,0	55,3	8,8	76,8	20
3	18/02/2015	40,5	39,5	5,1	87,4	6,1	84,9	20
4	25/02/2015	68,0	76,0	21,7	68,1	20,5	69,9	20
5	04/03/2015	47,0	37,0	125,0	-166,0	71,0	-51,1	20
6	18/03/2015	24,5	35,0	13,5	44,9	22,0	10,2	20
7	08/04/2015	62,0	45,0	95,5	22,0	24,0	61,3	20
8	22/04/2015	41,0	38,0	29,0	29,3	14,0	65,9	20
Mínimo		24.50	35,00	5,10	-165,96	6,10	-62,07	
Máximo		68.00	76,00	125,00	87,41	71,00	84,94	
Promedio		43.75	46,81	40,48	22,79	26,68	31,98	
Desv. Estándar		14.98	13,51	44,30	79,09	21,87	59,13	

Fuente: Peralta, Ivis, Pérez, Wilber & Alonzo, Andy. *Uso de suelo como tratamiento secundario de aguas residuales domésticas*. p.85.

3.1.9. 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 norma comparada y se obtuvieron excelentes porcentajes de remoción. En las tablas siguientes se pueden apreciar los resultados.

Tabla XXIV. **Comparación de fósforo total (mg/l), con la norma de Guatemala**

# M	Fecha	Entrada fosa séptica	Salida fosa séptica	Salida grava y suelo	% Remoción grava y suelo	Salida pet y suelo	% Remoción pet y suelo	Norma
								Guatemala
1	04/02/2015	6,5	7,3	0,8	87,2	1,1	83,7	10
2	11/02/2015	7,0	4,5	0,9	87,1	1,5	78,6	10
3	18/02/2015	9,5	7,5	1,8	81,1	1,9	80,0	10
4	25/02/2015	12,0	7,0	1,7	85,8	2,3	80,8	10
5	04/03/2015	11,0	9,5	1,2	89,1	1,0	90,9	10
6	11/03/2015	9,0	8,0	1,4	84,4	1,0	88,9	10
7	18/03/2015	11,0	9,0	1,2	89,1	1,2	89,1	10
8	08/04/2015	12,3	7,8	0,8	93,2	1,0	91,9	10
	Mínimo	6,5	4,5	0,8	81,1	1,0	78,6	
	Máximo	12,3	9,5	1,8	93,2	2,3	91,9	
	Promedio	9,79	7,57	1,23	87,13	1,37	85,48	
	Desv. Estándar	2,19	1,51	0,38	3,59	0,49	5,31	

Fuente: Peralta, Ivis, Pérez, Wilber & Alonzo, Andy. *Uso de suelo como tratamiento secundario de aguas residuales domésticas*. p.87.

3.1.10. Resultado coliformes fecales

El comportamiento 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 la norma comparada, pero se obtuvieron excelentes porcentajes de remoción. En las tablas siguientes se pueden apreciar los resultados.

Tabla XXV. **Comparación de coliformes fecales (NMP/100ml), con la norma de Guatemala**

# M	Fecha	Entrada fosa séptica	Salida fosa séptica	Salida grava y suelo	% Remoción grava y suelo	Salida pet y suelo	% Remoción pet y suelo	Norma
								Guatemala
1	04/02/2015	9,4E+09	5,6E+07	1,8E+05	100,00	5,6E+06	99,94	1,0E+04
2	11/02/2015	1,6E+09	5,4E+10	7,9E+06	99,51	1,1E+07	99,31	1,0E+04
3	18/02/2015	1,6E+09	4,8E+08	5,5E+05	99,97	1,3E+07	99,19	1,0E+04
4	25/02/2015	1,6E+09	4,0E+08	2,0E+05	99,99	7,8E+05	99,95	1,0E+04
5	04/03/2015	1,6E+09	9,3E+06	1,8E+05	99,99	7,8E+05	99,95	1,0E+04
6	11/03/2015	1,6E+10	2,2E+11	2,0E+04	100,00	2,0E+04	100,00	1,0E+04
7	18/03/2015	1,6E+10	1,5E+09	7,8E+03	100,00	7,8E+03	100,00	1,0E+04
8	08/04/2015	4,7E+10	4,7E+10	1,8E+04	100,00	9,2E+08	98,04	1,0E+04
9	15/04/2015	5,5E+08	4,7E+10	3,5E+08	36,36	7,8E+04	99,99	1,0E+04
10	22/04/2015	3,5E+12	1,8E+08	1,8E+04	100,00	1,8E+04	100,00	1,0E+04
	Mínimo	5.5E+08	9,3E+06	7,8E+03	3,6E+01	7,8E+03	9,8E+01	
	Máximo	3.5E+12	2,2E+11	3,5E+08	1,0E+02	9,2E+08	1,0E+02	
	Promedio	3.6E+11	3,7E+10	3,6E+07	9,4E+01	9,5E+07	1,0E+02	
	Desv. Estándar	1.1E+12	6,8E+10	1,1E+08	2,0E+01	2,9E+08	6,4E-01	

Fuente: Peralta, Ivis, Pérez, Wilber & Alonzo, Andy. *Uso de suelo como tratamiento secundario de aguas residuales domésticas*. p.87.

3.1.11. 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 la norma comparada.

Tabla XXVI. **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	No detectable (ND)
METODOLOGIA		EPA 1664

Fuente: Ecosistemas Proyectos Ambientales, *Análisis de aceites y grasas*. 12 de febrero de 2015.

3.1.12. Resultado de metales pesados

La evaluación de metales pesados realizada en las aguas del efluente del sistema brindó resultados inapreciables de estos parámetros que no afectaron al desempeño biológico del sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas.

Tabla XXVII. **Resultados de metales pesados (mg/l)**

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

Fuente: Ecosistemas Proyectos Ambientales, *Análisis de metales pesados*. 12 de febrero de 2015.

3.2. Comparación de la eficiencia de remoción del sistema grava suelo y sistema que utiliza pet suelo

En este estudio se analizó la capacidad depurativa del suelo a través de zanjas de infiltración convencionales, también se realizó un estudio paralelo con una modificación a la zanja de infiltración en las que se utilizó material pet en lugar de la grava o piedrín. A continuación, se muestran las tablas y gráficas de comparación de la eficiencia de remoción a la salida de ambos sistemas.

Tabla XXVIII. **Comparación entre los sistemas de grava-suelo y pet-suelo para SSt, color, DBO₅ y DQO**

# M	SSt		Color		DBO ₅		DQO	
	% remoción Grava	% remoción PET						
1	97,5	90,3	98,0	71,7	99,6	83,8	97,6	86,6
2	99,3	98,1	93,8	91,5	99,7	98,4	98,1	96,4
3	96,9	95,5	87,1	90,0	98,2	96,3	97,7	93,7
4	99,7	98,8	94,6	86,5	96,2	85,4	95,2	93,1
5	99,8	99,2	97,9	95,8	99,7	99,0	98,8	97,8
6	99,5	99,9	94,9	98,1	99,2	99,2	97,4	97,1
7	100,0	99,9	97,1	96,8	99,9	99,9	100,0	100,0
8	99,8	98,7	99,3	94,7	99,8	97,3	99,9	97,2
Promedio	99,0	97,6	95,4	90,7	99,0	94,9	98,1	95,2

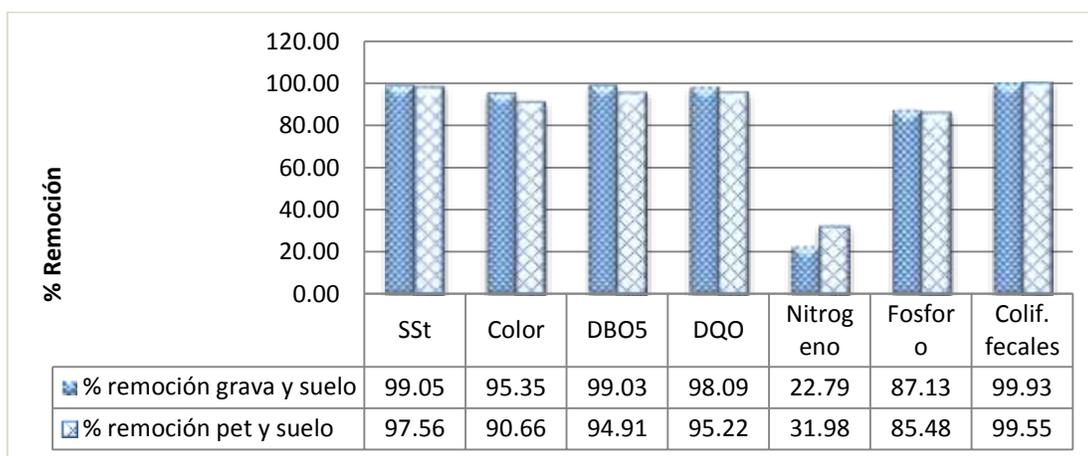
Fuente: Peralta, Ivis, Pérez, Wilber & Alonzo, Andy. *Uso de suelo como tratamiento secundario de aguas residuales domésticas*. p.90.

Tabla XXIX. **Comparación entre los sistemas de grava-suelo y pet-suelo para nitrógeno total, fósforo total y coliformes fecales**

# M	Nitrógeno total		Fosforo total		Coliformes fecales	
	% remoción Grava	% remoción PET	% remoción Grava	% remoción PET	% remoción Grava	% remoción PET
1	41,4	-62,1	87,2	83,7	100,00	99,94
2	55,3	76,8	87,1	78,6	99,51	99,31
3	87,4	84,9	81,1	80,0	99,97	99,19
4	68,1	69,9	85,8	80,8	99,99	99,95
5	-166,0	-51,1	89,1	90,9	99,99	99,95
6	44,9	10,2	84,4	88,9	100,00	100,00
7	22,0	61,3	89,1	89,1	100,00	100,00
8	29,3	65,9	93,2	91,9	100,00	98,04
9	--	--	--	--	36,36	99,99
10	--	--	--	--	100,00	100,00
Promedio	19,1	31,3	87,1	85,5	99,9	99,5

Fuente: Peralta, Ivis, Pérez, Wilber & Alonzo, Andy. *Uso de suelo como tratamiento secundario de aguas residuales domésticas*. p.92.

Figura 21. **Comparación entre los sistemas de grava-suelo y pet-suelo**



Fuente: Peralta, Ivis, Pérez, Wilber & Alonzo, Andy. *Uso de suelo como tratamiento secundario de aguas residuales domésticas*. p.96.

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. lo que representa una sobrecarga al sistema destinado a una vivienda de 6 habitantes. Aun con estas condiciones se dieron excelentes porcentajes de remoción de la mayoría de los parámetros, los cuales se detallan a continuación.

4.2. Material flotante

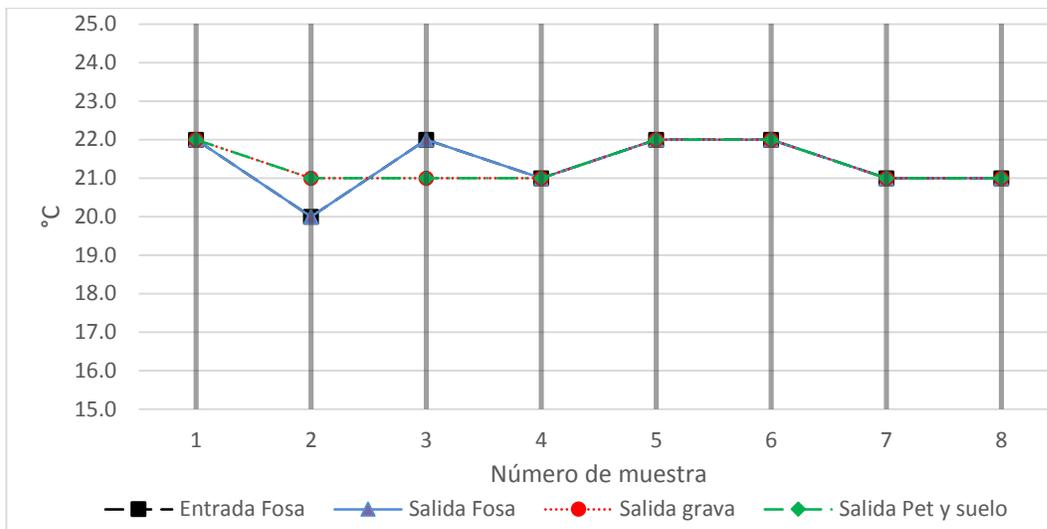
Se pudo observar que la fosa séptica removió el 100 % del material flotante que ingresaba del afluente hacia el sistema, por lo tanto, su rendimiento fue satisfactorio cumpliendo con la norma de Guatemala.

4.3. Temperatura y potencial de hidrógeno

La temperatura y el potencial de hidrógeno son parámetros importantes para el crecimiento bacteriano. A la entrada y salida del sistema estos parámetros se comportaron de manera regular manteniendo valores entre 20 °C y 22°C para temperatura. De acuerdo con la normativa guatemalteca es permitida una variación máxima de siete grados Celsius mayores y mínima de siete grados Celsius a las medidas en el cuerpo receptor, todos los procesos de tratamiento en la planta piloto no descargan a ningún cuerpo receptor, por lo que únicamente se podrá apreciar que la temperatura se mantiene sin cambios, con lo que se

concluye que ninguno de los elementos de tratamiento utilizados en la investigación contribuye a moderar este parámetro.

Figura 22. Comportamiento de la temperatura



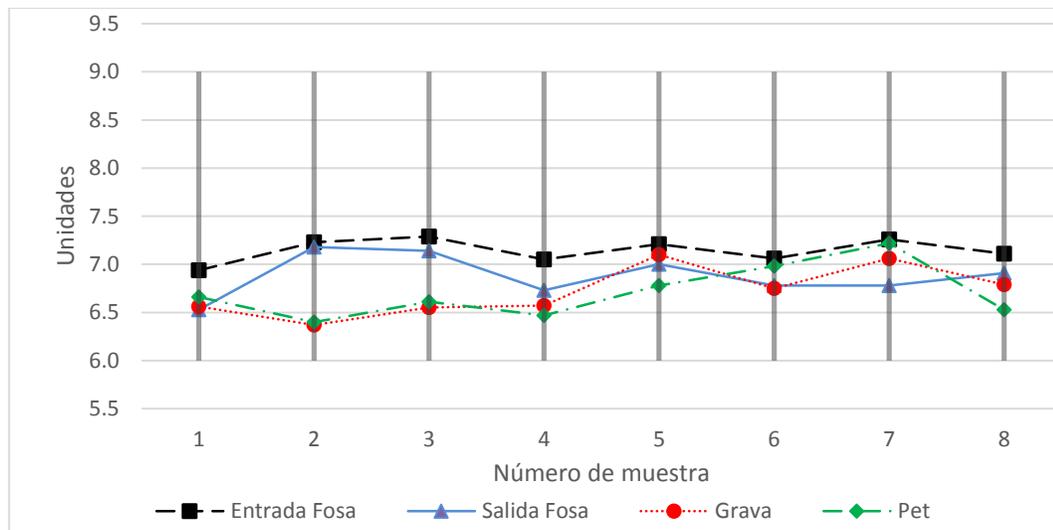
Fuente: elaboración propia.

En la figura del comportamiento del pH se evidencia que se encuentran dentro del rango permitido de la ley guatemalteca, las barras verticales tienen los límites establecidos que van desde 6 hasta 9 unidades.

La figura de la evaluación de la fosa séptica, también se delimita el rango permitido con barras verticales, y las barras horizontales muestran por su grosor la remoción obtenida en cada uno de los 8 muestreos. La mayoría de las muestras tiene un porcentaje de remoción por lo que esta unidad puede utilizarse para disminuir la concentración de este parámetro.

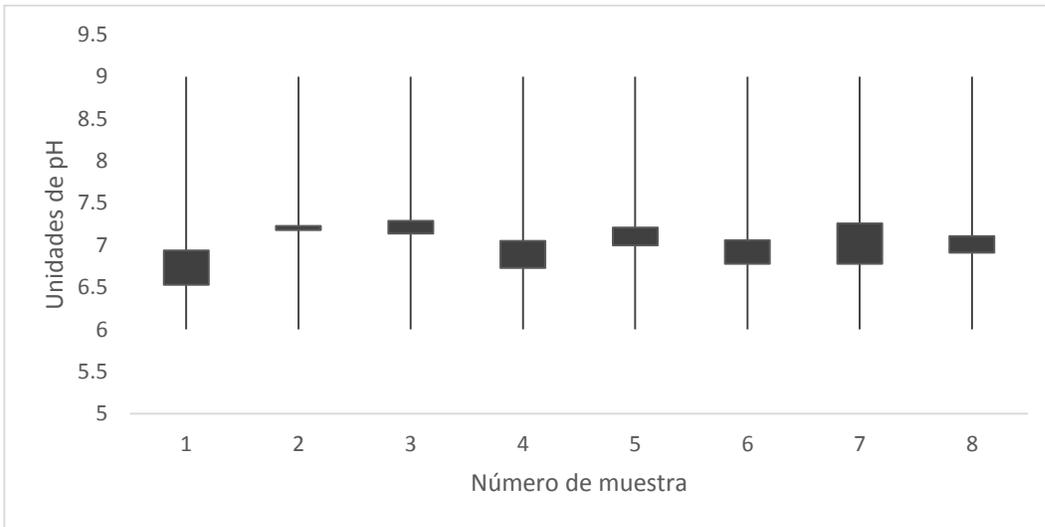
La figura de la diferencia de remoción de pH entre la utilización de grava y pet detalla que en 5 muestras (1, 2, 3, 6 y 7) la remoción fue mejor con grava (bloques horizontales vacíos) con valores de 0,4 % hasta 3,3 %. En las otras 3 muestras (4, 5 y 8) la remoción fue mejor con pet (bloques horizontales sólidos) con valores de 1,4 % hasta 4,4 %.

Figura 23. **Comportamiento del pH**



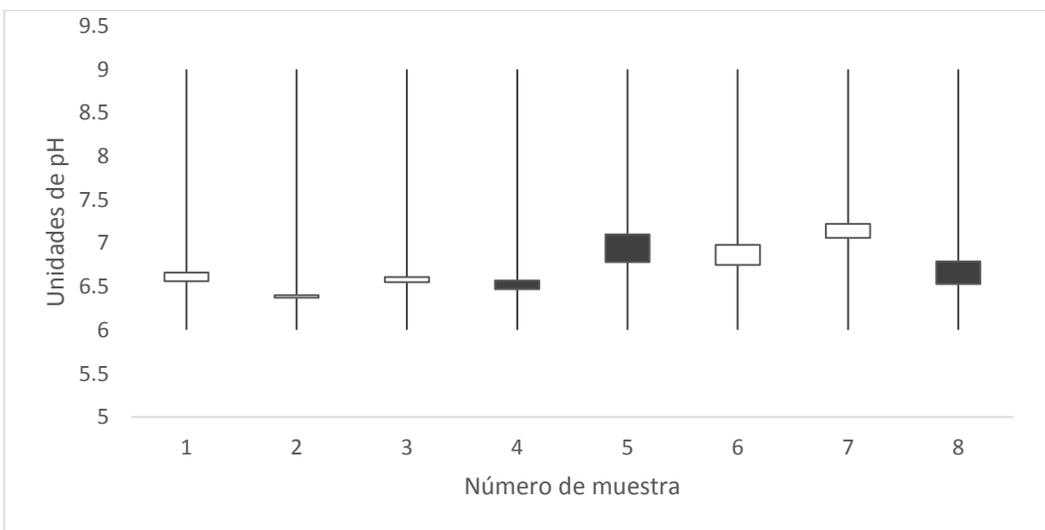
Fuente: elaboración propia.

Figura 24. Evaluación de la fosa séptica para pH



Fuente: elaboración propia.

Figura 25. Diferencia de remoción de pH en grava y pet



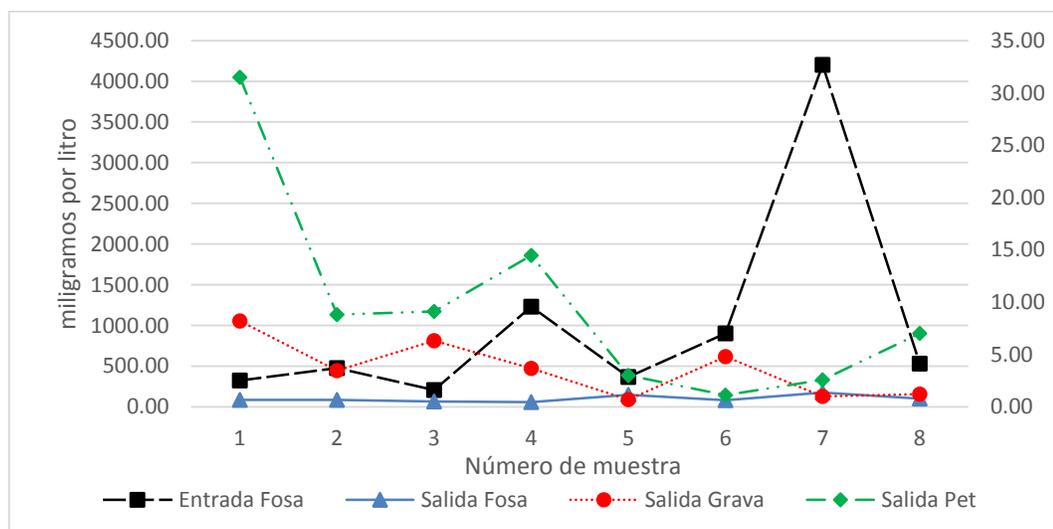
Fuente: elaboración propia.

4.4. Sólidos suspendidos totales (SST)

Para la interpretación del comportamiento de los SST es necesario acudir a dos escalas en el eje vertical debido a la diferencia entre la concentración de este parámetro en agua cruda con el agua tratada. El rango de la izquierda de la figura es para lecturas de entrada y salida de la fosa séptica, mientras que el de la derecha es para la salida de grava y la salida de pet.

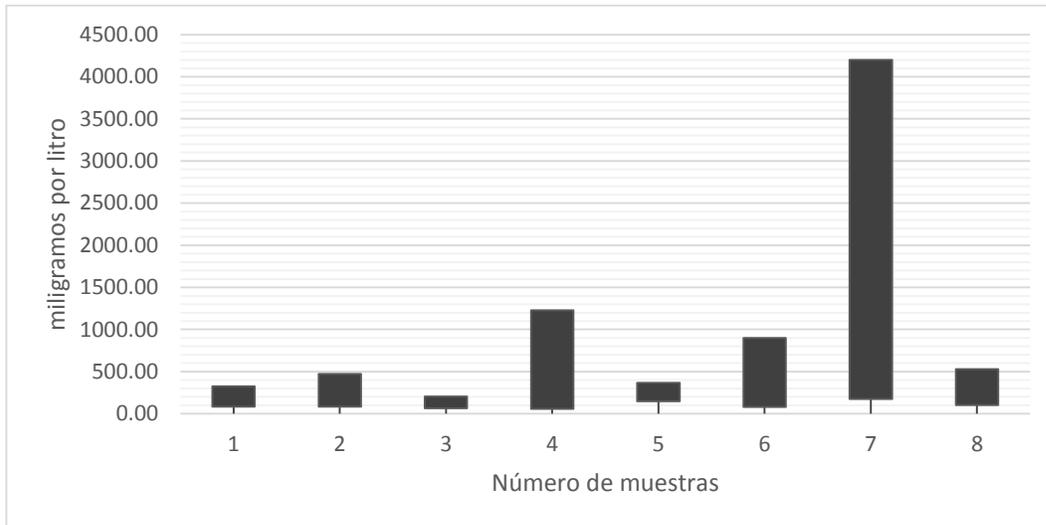
La remoción de sólidos suspendidos totales fue de forma regular en todas las muestras, la eficiencia de remoción promedio en el sistema completo fue del 99 % para el dispositivo con gravas y 97 % con el de material pet. Estos resultados cumplen con la norma de Guatemala. Sin embargo, gran parte de la remoción se debió al sistema primario, pues alcanzó valores de un 60 % hasta un 95 % como se muestra en la figura de la evaluación de la fosa séptica para SST.

Figura 26. Comportamiento de los SST



Fuente: elaboración propia.

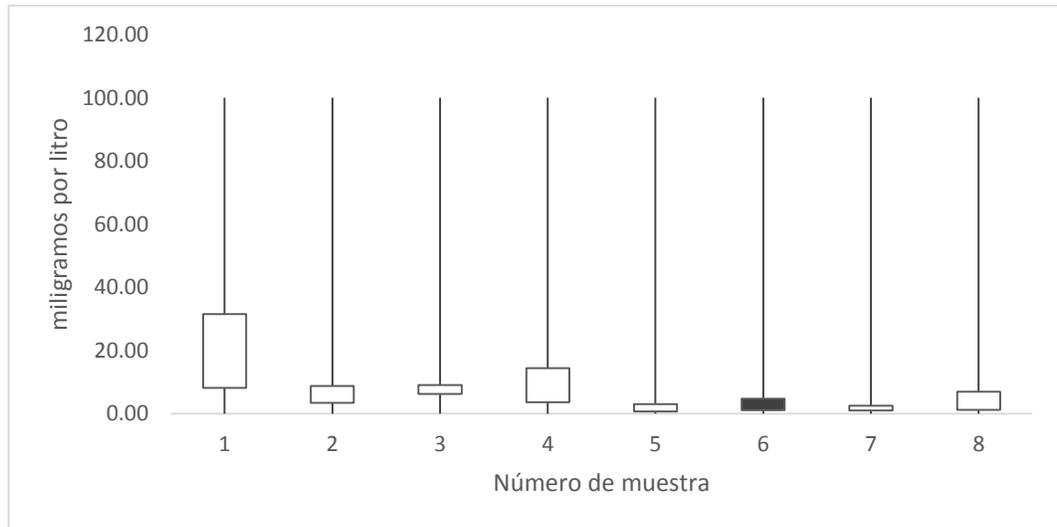
Figura 27. Evaluación de la fosa séptica para SST



Fuente: elaboración propia.

La figura de la diferencia de remoción de SST, entre la utilización de grava y pet detalla que en 7 muestras (1, 2, 3, 4, 5, 7 y 8) la remoción fue mejor con grava (rectángulos vacíos) con valores de 0,04 % hasta 7,2 %. En la muestra 6 la remoción fue mejor con pet (rectángulo sólido) con valor de 0,4 % y en ambos casos los resultados fueron menores a los 100 miligramos por litro permitidos en la legislación guatemalteca.

Figura 28. **Diferencia de remoción de SST en grava y pet**



Fuente: elaboración propia.

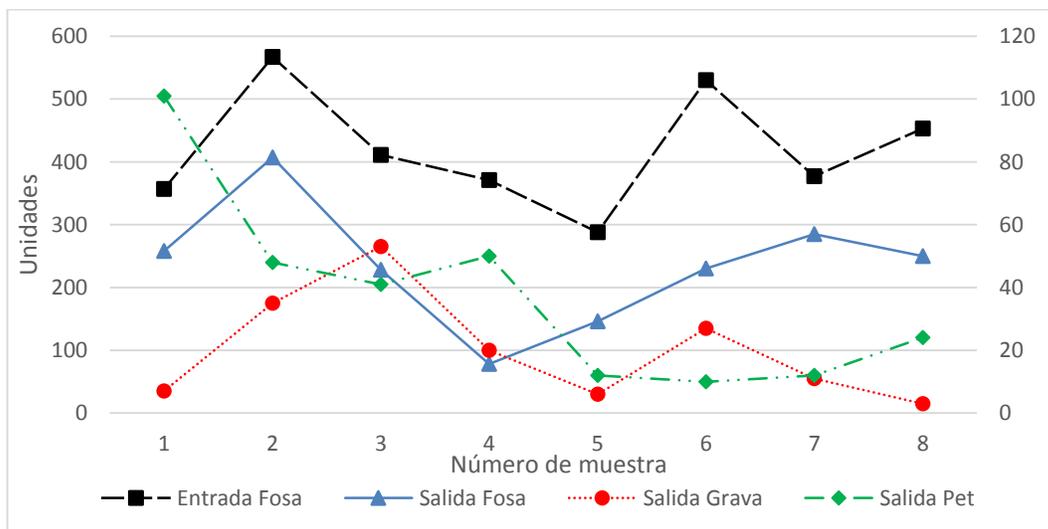
4.5. **Color**

La remoción de color fue de forma irregular en las muestras, pero la eficiencia media de remoción fue del 95 % en la grava y 90 % en el pet. Estos resultados satisfacen la norma de Guatemala. Sin embargo, la remoción del sistema primario, alcanzó valores de un 28 % hasta un 57 % como se muestra en la figura de la evaluación de la fosa séptica para color.

Para la interpretación del comportamiento del color también se utilizó dos escalas en el eje vertical. El rango de la izquierda de la figura es para lecturas de entrada y salida de la fosa séptica, mientras que el de la derecha es para la salida de grava y la salida de pet.

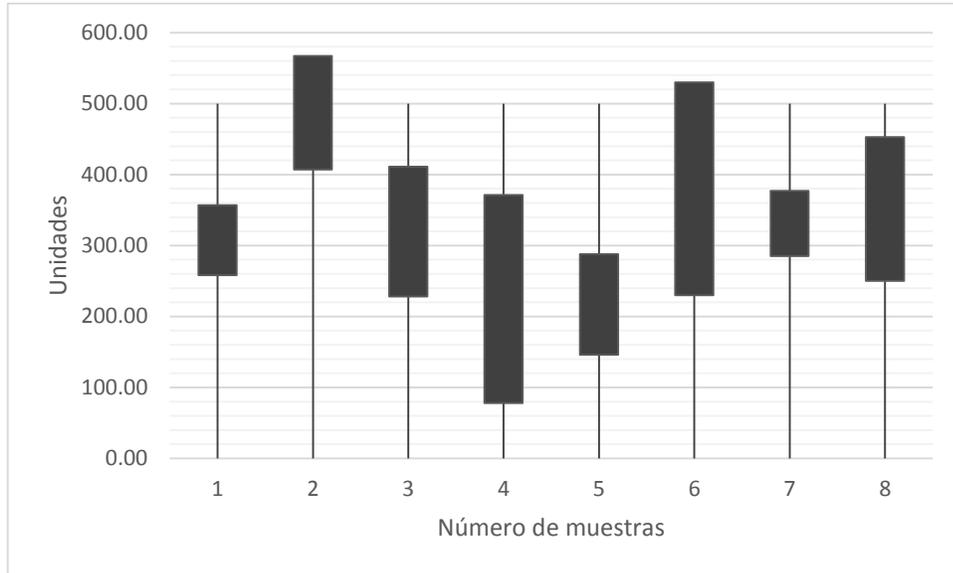
La figura de la diferencia de remoción de color, entre la utilización de grava y pet detalla que en 6 muestras (1, 2, 4, 5, 7 y 8) la remoción fue mejor con grava (rectángulos vacíos), en la primera muestra alcanzó un valor de 26,3 % para luego estabilizarse en rangos desde 0,03 % hasta 8,1 %. En las muestras 3 y 6 la remoción fue mejor con pet (rectángulo sólido) con valor de 2,9 % hasta 3,2 % y en ambos casos los resultados fueron menores a los 500 miligramos por litro permitidos en la legislación guatemalteca.

Figura 29. **Comportamiento del color**



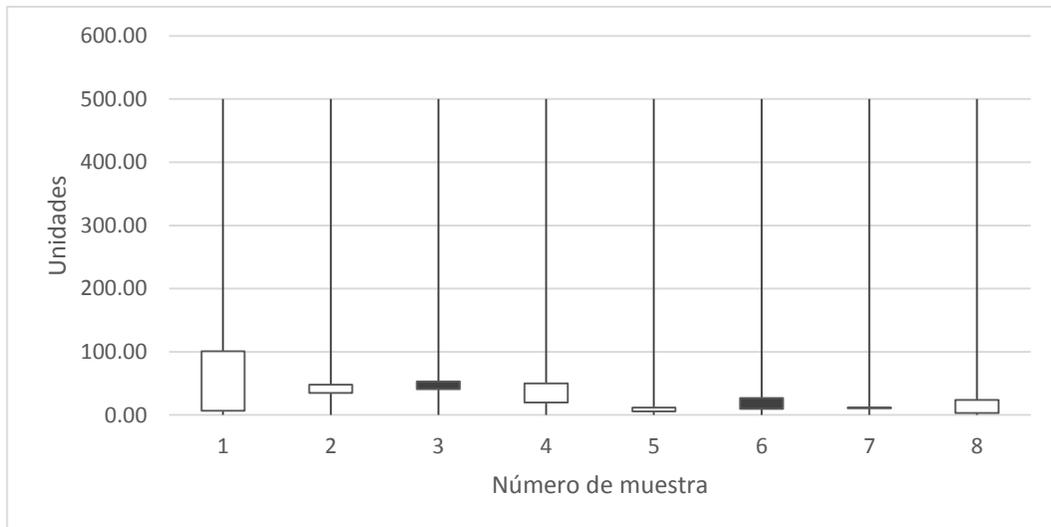
Fuente: elaboración propia.

Figura 30. Evaluación de la fosa séptica para color



Fuente: elaboración propia.

Figura 31. Diferencia de remoción de color en grava y pet



Fuente: elaboración propia.

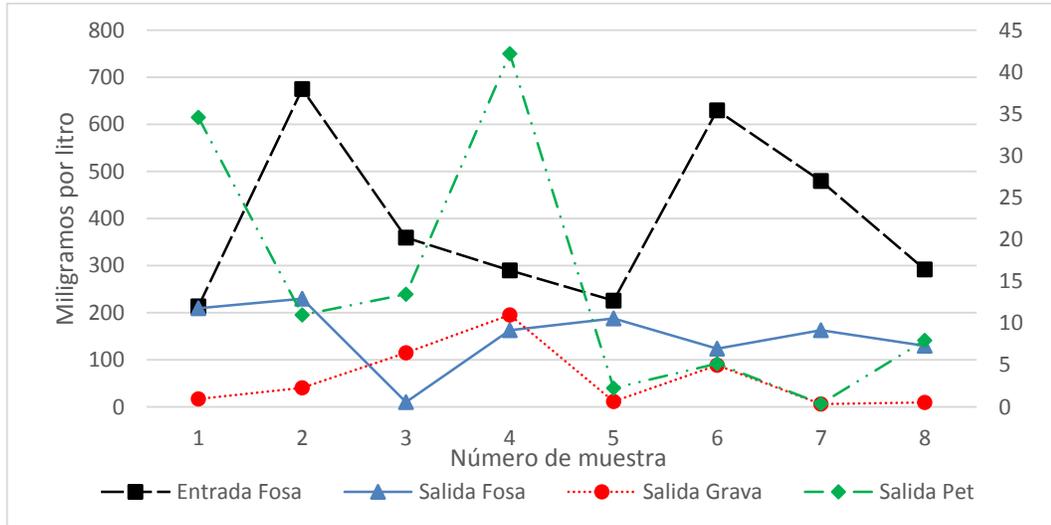
4.6. Demanda biológica de oxígeno, DBO₅

La reducción de la DBO, en el efluente del sistema de tratamiento presenta una eficiencia media de remoción del 99 % con grava y 94 % con pet. Estos resultados cumplen la norma de Guatemala. Sin embargo, la remoción del sistema primario, alcanzó valores de un 2 % hasta un 66 % como se muestra en la figura de la evaluación de la fosa séptica para DBO₅.

Para la interpretación del comportamiento de la DBO₅ también se utilizó dos escalas en el eje vertical. El rango de la izquierda de la figura es para lecturas de entrada y salida de la fosa séptica, mientras que el de la derecha es para la salida de grava y la salida de pet.

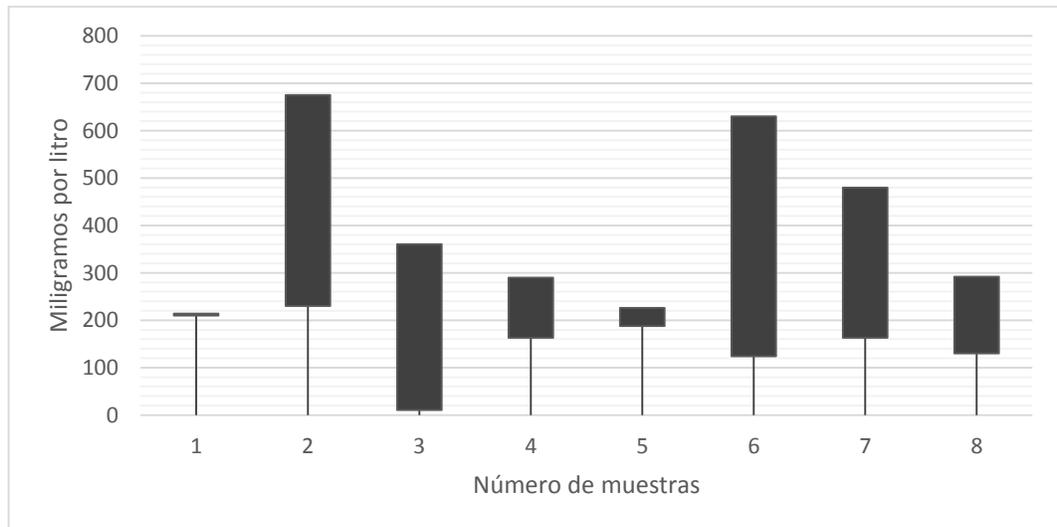
La figura de la diferencia de remoción de DBO₅, entre la utilización de grava y pet detalla que en 7 muestras (1, 2, 3, 4, 5, 6, y 8) la remoción fue mejor con grava (rectángulos vacíos), con valor de 0,7 % hasta 15,7 %. En la muestra 7 la remoción no hubo diferencia con pet, y en ambos casos los resultados fueron menores a los 200 miligramos por litro permitidos en la legislación guatemalteca.

Figura 32. Comportamiento de la DBO₅



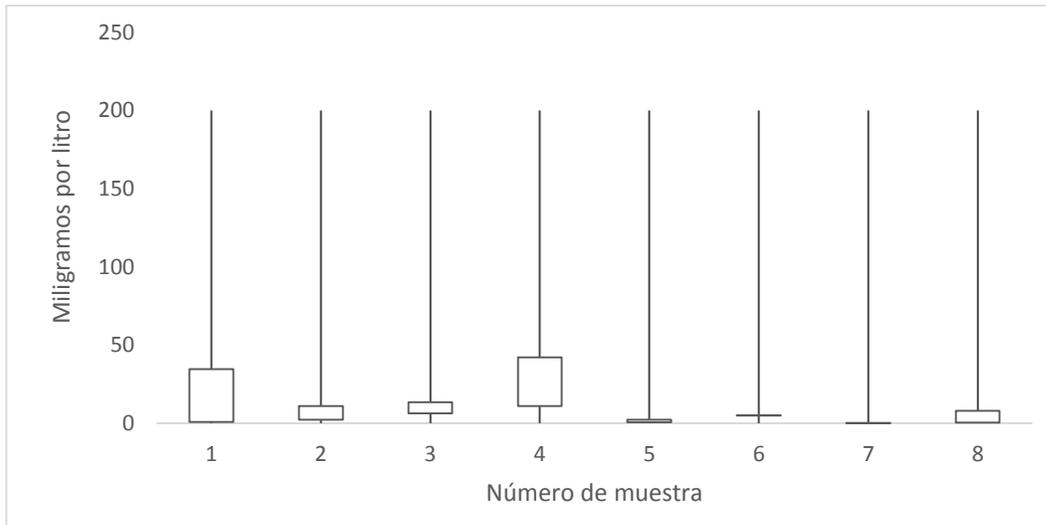
Fuente: elaboración propia.

Figura 33. Evaluación de la fosa séptica para DBO₅



Fuente: elaboración propia.

Figura 34. **Diferencia de remoción de DBO₅ en grava y pet**



Fuente: elaboración propia.

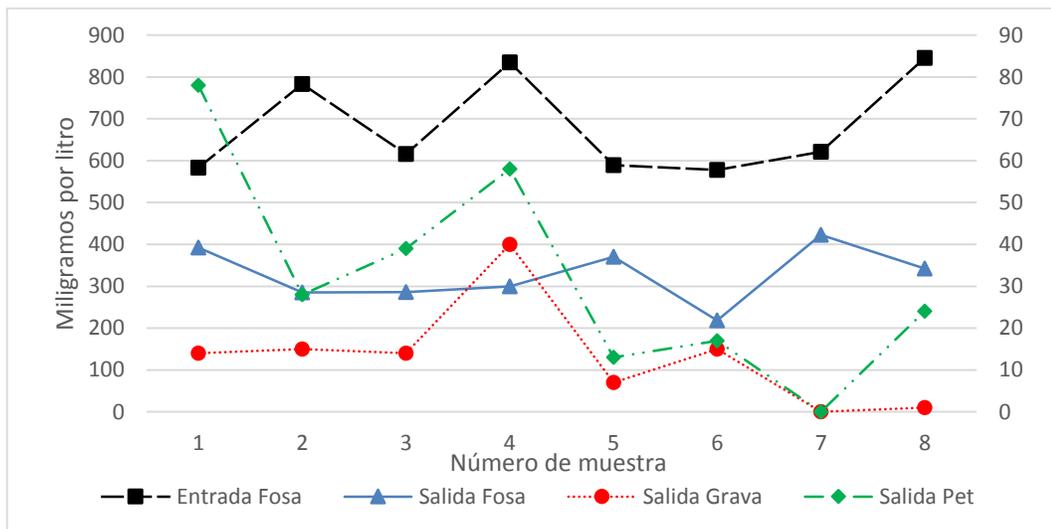
4.7. **Demanda química de oxígeno DQO**

La reducción de DQO, en el efluente del sistema de tratamiento presenta una eficiencia media de remoción del 98 % con grava y 95 % con pet. Estos resultados no tienen ninguna restricción en el reglamento de Guatemala, pero al estar ligado directamente sobre la demanda biológica de oxígeno es posible determinar que se ha removido lo suficiente como para aceptar el uso de la tecnología estudiada. Sin embargo, la remoción del sistema primario, alcanzó valores de 32 % hasta un 64 % como se muestra en la figura de la evaluación de la fosa séptica para DQO.

Para la interpretación del comportamiento de la DQO también se utilizó dos escalas en el eje vertical. El rango de la izquierda de la figura es para lecturas de entrada y salida de la fosa séptica, mientras que el de la derecha es para la salida de grava y la salida de pet.

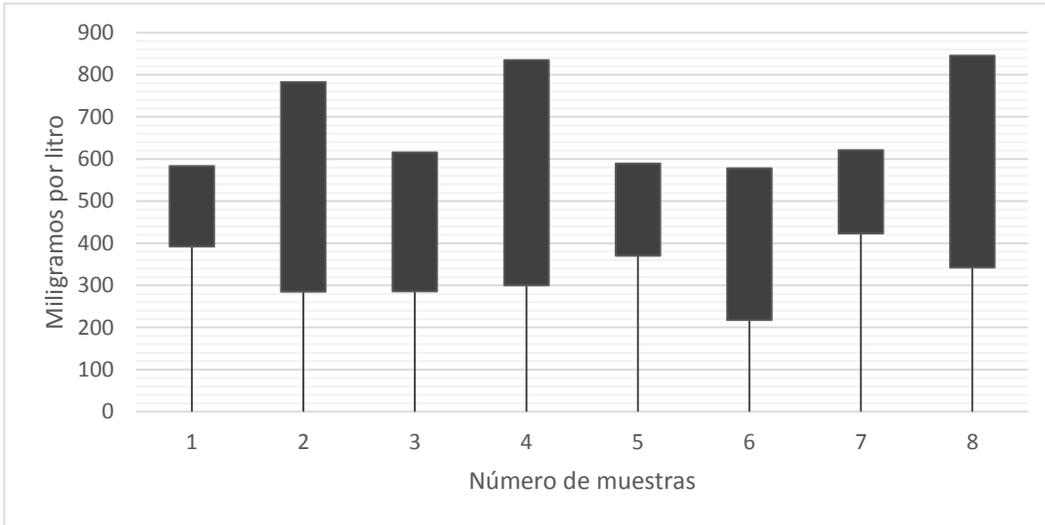
La figura de la diferencia de remoción de DQO, entre la utilización de grava y pet detalla que en 7 muestras (1, 2, 3, 4, 5, 6, y 8) la remoción fue mejor con grava (rectángulos vacíos), con valor de 0,3 % hasta 11 %. En la muestra 7 la remoción no hubo diferencia con pet.

Figura 35. Comportamiento de la DQO



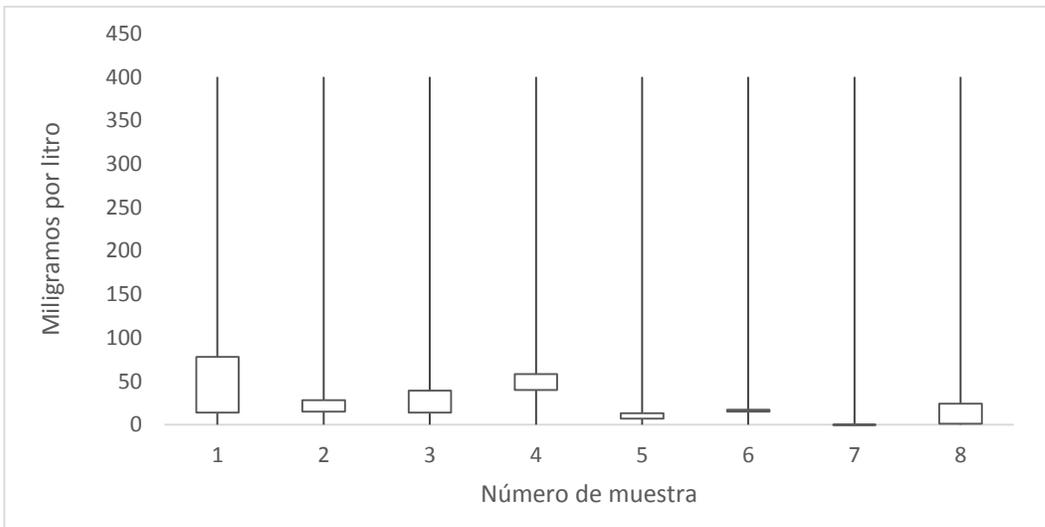
Fuente: elaboración propia.

Figura 36. Evaluación de la fosa séptica para DQO



Fuente: elaboración propia.

Figura 37. Diferencia de remoción de DQO en grava y pet



Fuente: elaboración propia.

4.8. Nitrógeno total

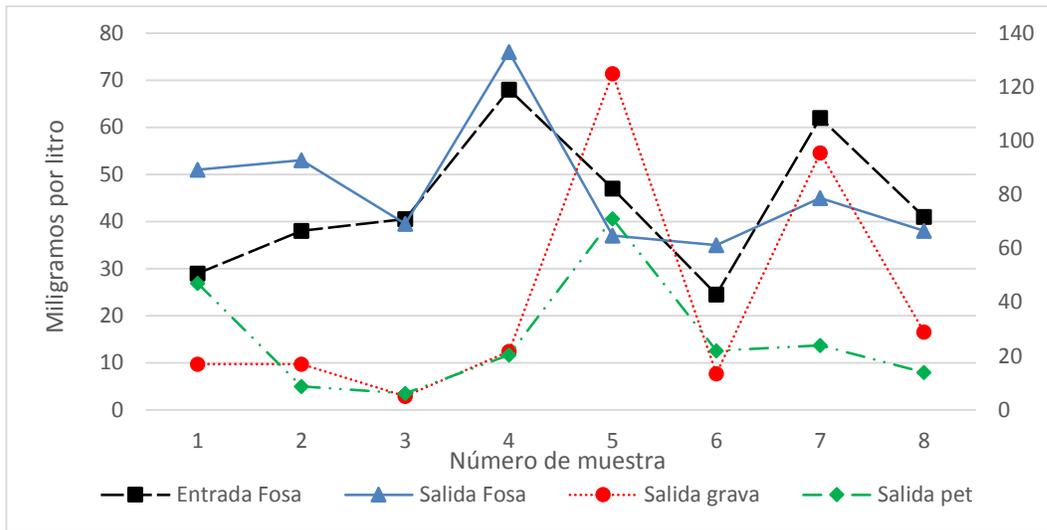
La eficiencia del sistema en cuanto a la remoción de nitrógeno tuvo un comportamiento irregular debido a que hubo dos aumentos de nitrógeno (muestra 1 y 5), esto ocurrió por el tiempo corto de maduración de 45 días para el primer muestreo, y por la interrupción del paso del caudal al realizar una reparación de tuberías, después se restablecieron condiciones aerobias al permitir que el oxígeno atmosférico penetrara en el suelo, al secarse el sistema de infiltración se activó la descomposición de la materia orgánica y nitrificación en el muestreo número cinco. Cuando vuelve a restablecerse el paso del agua residual, el nitrato formado sufre una lixiviación hasta alcanzar condiciones anaerobias para la desnitrificación.

La eficiencia del sistema en cuanto a la remoción del nitrógeno total fue del 87.41% con grava y suelo y de 84,94 % con pet y suelo, sin embargo, no es suficiente para cumplir en su totalidad con la legislación guatemalteca. Para este parámetro la fosa séptica resultó perjudicial al aumentar las concentraciones debido a que la tubería de entrada al sistema permaneció abierta a la intemperie.

Para la interpretación del comportamiento del nitrógeno total también se utilizó dos escalas en el eje vertical. El rango de la izquierda de la figura es para lecturas de entrada y salida de la fosa séptica, mientras que el de la derecha es para la salida de grava y la salida de pet.

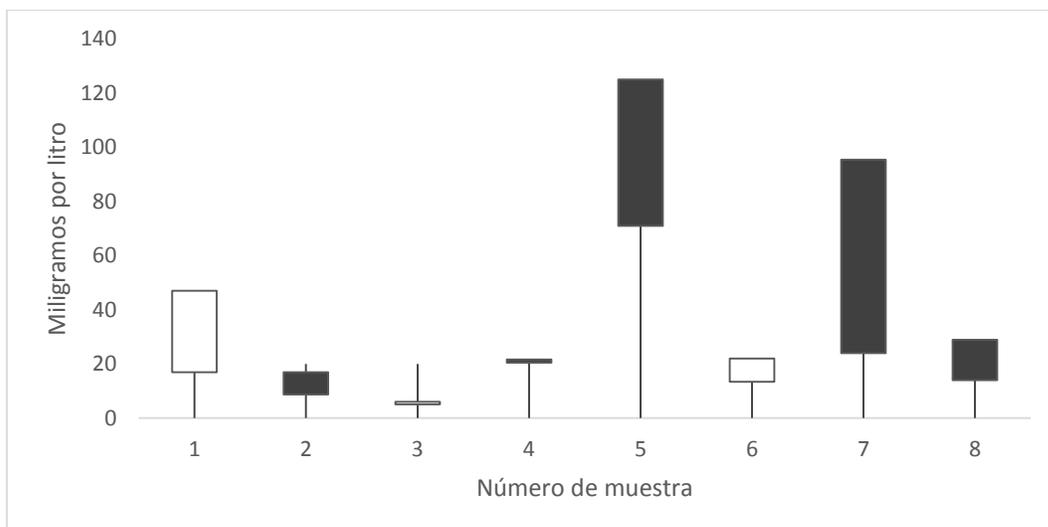
La figura de diferencia de remoción de nitrógeno total entre la utilización de grava y pet detalla que en 3 muestras (1, 3 y 6) la remoción fue mejor con grava (rectángulos vacíos), con un valor de 2,47 % hasta 34,69 %. En las muestras (2, 4, 7 y 8) la remoción fue mejor con pet. En el muestreo número 5 se ve afectado el resultado por la intermitencia del caudal de agua residual doméstica.

Figura 38. Comportamiento del nitrógeno total



Fuente: elaboración propia.

Figura 39. Diferencia de remoción de nitrógeno total en grava y pet



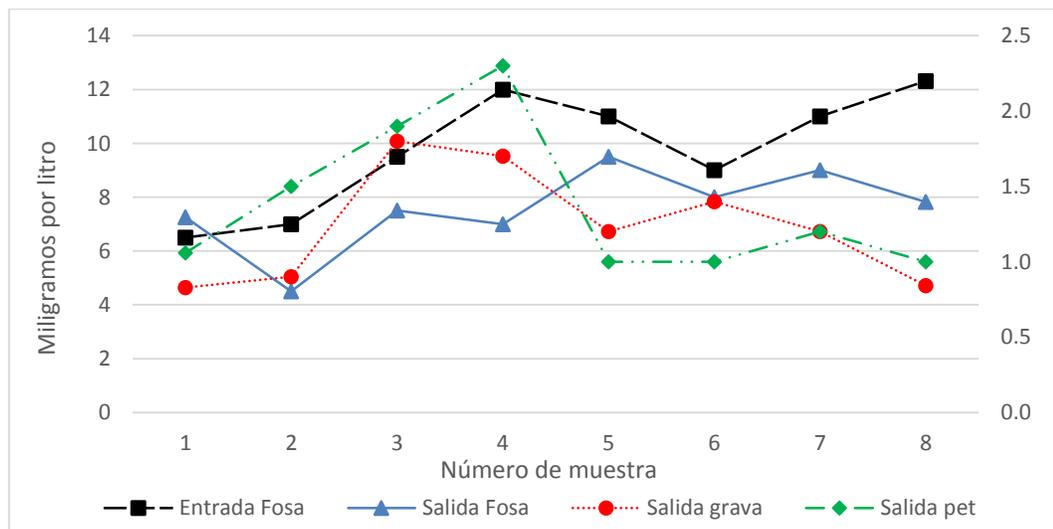
Fuente: elaboración propia.

4.9. Fósforo total

La eficiencia del sistema en cuanto a la remoción del fósforo promedio fue del 87 % con grava y de 85 % con pet, dando resultados homogéneos. Estos resultados satisfacen la norma de Guatemala. Sin embargo, la remoción del sistema primario, alcanzó valores de 11 % hasta un 42 % como se muestra en la figura de la evaluación de la fosa séptica para fósforo total.

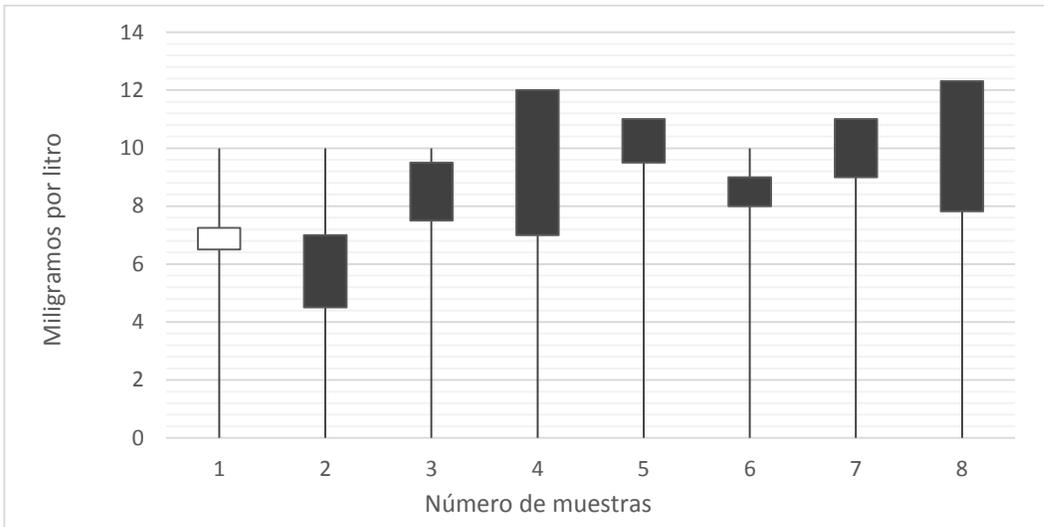
Para la interpretación del comportamiento del fósforo total también se utilizó dos escalas en el eje vertical. El rango de la izquierda de la figura es para lecturas de entrada y salida de la fosa séptica, mientras que el de la derecha es para la salida de grava y la salida de pet.

Figura 40. Comportamiento del fósforo total



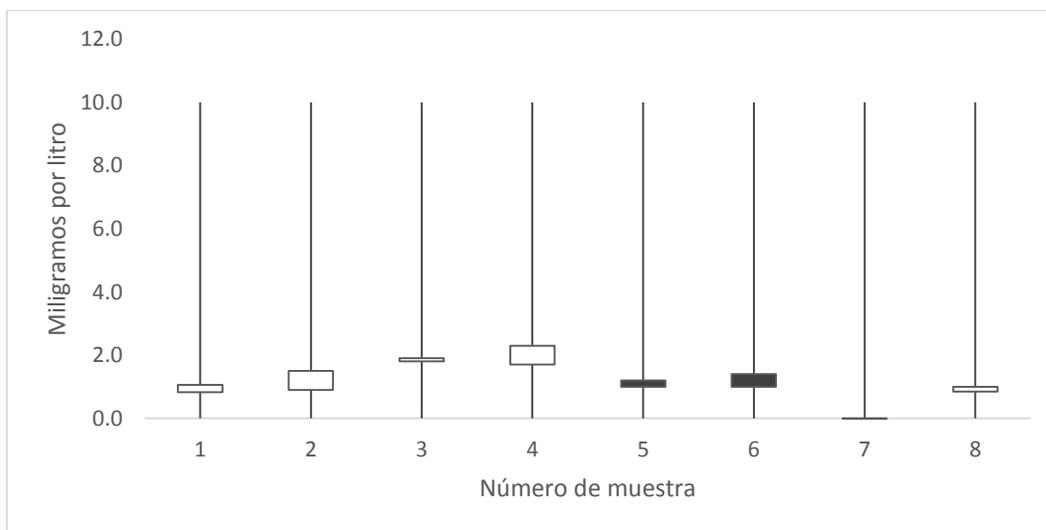
Fuente: elaboración propia.

Figura 41. Evaluación de la fosa séptica para fósforo total



Fuente: elaboración propia.

Figura 42. Diferencia de remoción de fósforo total en grava y pet



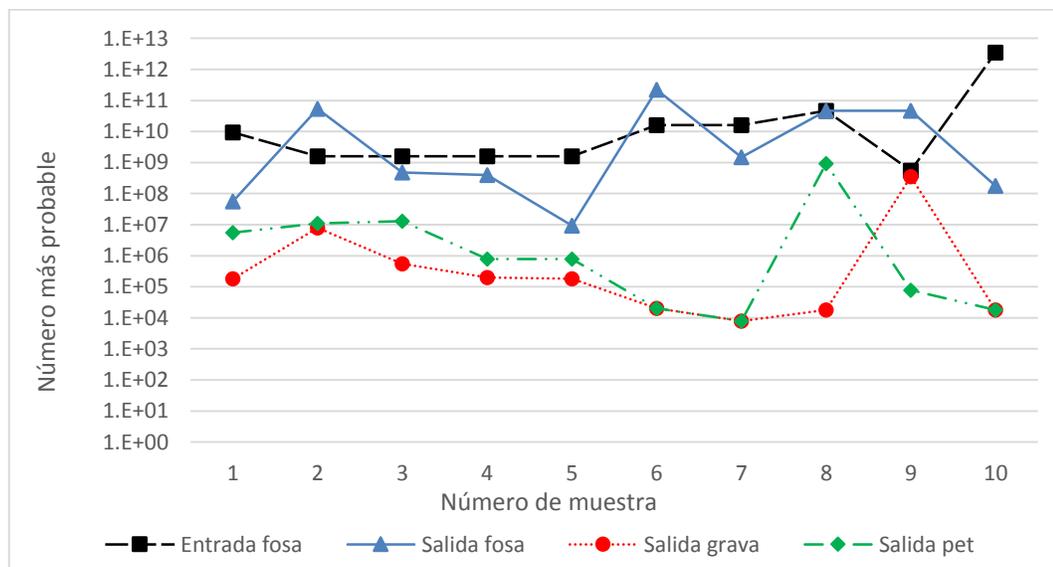
Fuente: elaboración propia.

La figura de la diferencia de remoción de fósforo total entre la utilización de grava y pet detalla que en 5 muestras (1, 2, 3, 4 y 8) la remoción fue mejor con grava (rectángulos vacíos), con valor de 1.1% hasta 5%. En 2 dos muestras (5 y 6) la remoción fue mejor con pet (rectángulos sólidos) y en la muestra 7 no hubo diferencia.

4.10. Coliformes fecales

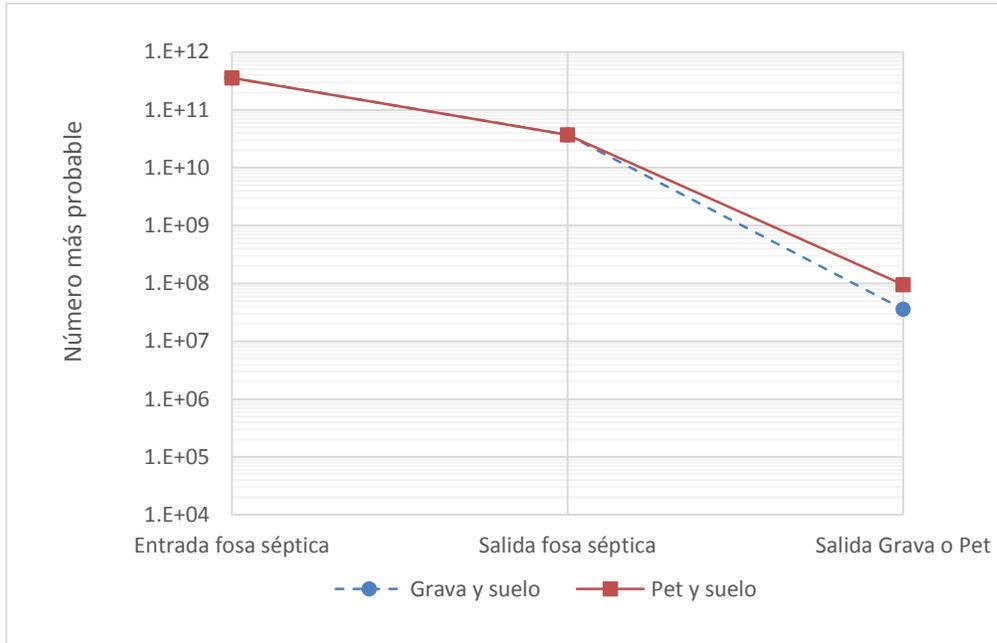
La eficiencia en remoción de coliformes fecales tuvo un comportamiento irregular, sin embargo, se logró reducir en más de cinco órdenes de magnitud o unidades logarítmicas a este parámetro, y en los últimos muestreos en más de siete. Estos resultados no cumplen con la norma de Guatemala. Sin embargo, la remoción del sistema primario, alcanzó valores de 11 % hasta un 42 % como se muestra en la figura de la evaluación de la fosa séptica para fósforo total.

Figura 43. Comportamiento de los coliformes fecales



Fuente: elaboración propia.

Figura 44. **Diferencia de remoción de coliformes fecales**



Fuente: elaboración propia.

4.11. **Metales pesados**

El análisis del muestreo de metales pesados a la entrada del sistema dio como resultado concentraciones no detectables. Estos resultados se esperaban debido a que el afluente es de tipo ordinario y automáticamente satisfacen las normas de Guatemala.

4.12. **Aceites y grasas**

El análisis del muestreo realizado de aceites y grasas dio como resultado una remoción del 100 % de estos parámetros en el sistema de grava y pet. Estos resultados satisfacen la norma de Guatemala.

4.13. Comparación de la eficiencia de remoción del sistema grava-suelo y pet suelo

Al hacer la comparación del sistema que utiliza grava y suelo con el sistema que utiliza pet y suelo se observó que ambos tienen una eficiencia de remoción mayor al 85 % de contaminantes del agua a excepción del nitrógeno en el que se obtuvo un porcentaje de remoción menor al 32 %.

Los parámetros evaluados SSt, color, DBO₅, DQO, P y coliformes fecales se presentó una mejor eficiencia de remoción en el sistema grava suelo que el de pet suelo con un promedio del 96 % comparado con un 93 % respectivamente.

En general se comprobó que la capa de grava cumple más la función de distribuir uniformemente el caudal, pero también se forma una capa biológica que inicia el proceso depurativo, este puede ser sustituido por material pet el cual se podría convertir en una alternativa para aquellas personas que no tiene la capacidad de comprar grava o que no sea fácil adquirirlo.

Para obtener mejores resultados con el material pet se deben hacer más investigaciones para comprobar si su eficiencia mejora al hacer diferentes cortes en el pet o aumentando el espesor de esta capa.

5. CONCLUSIONES

1. La eliminación de SST va de 99,56 a 3,67 y 9,69, DBO₅ va de 152,31 a 3,41 y 14,63, DQO va de 681,25 a 13,25 y 32,13, nitrógeno total va de 87,41 a 22 y 10,2, fósforo total va de 7,57 a 1,23 y 1,37, coliformes fecales va de 3,7E+10 a 3,6E+7 y 9,5E+7 (NMP/100ml), desde la entrada del sistema a la salida del prototipo con grava-suelo y pet-suelo respectivamente, medidos en mg/l. Estos valores ayudan a visualizar que ambos dispositivos tienen una eficacia de tratamiento pudiéndose utilizar como opción de depuración.
2. El sistema tiene varias propuestas de diseño dentro de las cuales se establece un ancho constante de 0,8 metros, una profundidad de 1,2 metros y un largo promedio de 10 metros. Para fines de investigación se ha tomado el criterio que el proceso de tratamiento pueda utilizarse a partir de una longitud unitaria de 1 metro. El tratamiento en dicha longitud ha brindado la eliminación de los contaminantes antes mencionados.
3. La arena pómez tiene un porcentaje de remoción mayor al 95 % para SST, color, DBO₅, DQO, y coliformes fecales, la remoción de los nutrientes importantes para la reutilización en riego, nitrógeno y fósforo total, no son mayores al 19 % en grava y 30 % en pet y mayor al 85 % respectivamente. Esta remoción es mayor a la mencionada en la hipótesis, y se comprueba que tiene desventajas para el tratamiento de nitrógeno y fósforo total.
4. Las pruebas de infiltración, estructura, velocidad de percolación ayudaron a decidir que el suelo tiene capacidades de tratamiento, puesto que si un suelo es moderadamente permeable y con tamaño de partículas para dejar espacios vacíos que propicien el crecimiento de bacterias.

5. Se analizó el agua a la entrada del sistema y se observó que reunía características físicas, químicas y bacteriológicas que necesitaban un tratamiento.
6. Los parámetros que cumplen el acuerdo 236-2006 de Guatemala de descargas residuales domésticas son: los SST, el color y DBO₅ debido a que están por debajo de los límites máximos permisibles en el reglamento. El nitrógeno total y los coliformes fecales no cumplen con dicha ley a pesar de tener porcentajes de remoción altos. Se exceptúa el caso del fósforo debido a que la entrada en el sistema registra un valor de 7,57 mg/l y lo máximo permisible en la ley es de 10 mg/l, pero se reitera que hubo una remoción mayor al 85 %.
7. La efectividad del tratamiento con el prototipo de grava-suelo es mayor que la del prototipo de pet-suelo, sin embargo, no hay una diferencia significativa que impida sustituir la grava por el material pet.
8. Luego de terminados los dos meses de análisis se procedió a realizar una excavación para medir la profundidad donde se desarrolló el crecimiento de lodo biológico, pudiéndose constatar que los primeros 20 centímetros la flora bacteriana anaerobia existía.
9. La colocación de las botellas de múltiples tamaños fue en forma desordenada y se pudo verificar que en un 30 % de la superficie creció el lodo biológico que brinda el tratamiento.

6. RECOMENDACIONES

1. Sustituir la grava por el material pet en dispositivos de tratamiento similares al de esta investigación para reducir los costos de instalación y de materiales.
2. Evaluar el prototipo en época de lluvia para tener valores de diseño en condiciones extremas.
3. Analizar el nitrógeno y el fósforo en todas sus formas en ambos prototipos para complementar la investigación con parámetros internacionalmente conocidos.
4. Realizar una investigación sobre la relevancia estadística de obtener resultados usando diluciones para el análisis de nitrógeno y fósforo.
5. Aplicar 60 días como tiempo de maduración para obtener remociones de hasta un 85 %.
6. Las capas de grava y pet que se encuentran en el inicio del sistema de infiltración debe colocarse una cubierta de plástico o tela que impida el paso de suelo orgánico u otras partículas de menor tamaño hacia el estrato de suelo utilizado como tratamiento.
7. Estudiar la remoción en otro tipo de suelo, caracterizándolo física, química y bacteriológicamente, y diferentes alturas de tratamiento basados en las recomendaciones de Metcalf y Eddy, Lanoix y EPA.

7. BIBLIOGRAFÍA

1. BITTON, G. Y HARVEY, R. W. *Transport of pathogens through soils and aquifers*. New York: Wiley-Liss, 1992. 544 p.
2. CALERO, A. *Técnicas de muestreo*. La Habana: Pueblo y Educación, 1978. 258 p.
3. CARDOZA MEZA, D.M. *Tesario de estudios especiales de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos de la Universidad de San Carlos de Guatemala (1974-2013)*. 2015. Guatemala: ERIS-USAC, 158 p.
4. CASTILLO, G., MENA, M., DIBARRART, F., HONEYMAN, G., MORENO F., VALLEJOS, J., *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, 2000. 41 p.
5. Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas. *Manual para la implantación de sistemas de depuración en pequeñas poblaciones*. España: CEDEX, 2010. 246 p.
6. CRITES, R., TCHOBANOGLOUS, G. *Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones*. Colombia: McGraw-Hill, 2000. 1 746 p.

7. DONOSO, C. *Ecología forestal*. Valdivia, Chile: Universidad Austral de Chile, 1992. 563 p.
8. Environmental Protection Agency. *Guía del dueño de hogar para sistemas sépticos*, Washington, U.S.A.: 2005. 132 p.
9. Environmental Protection Agency. *Folleto informativo de sistemas descentralizados*, Washington, U.S.A.: 2000. 43 p.
10. Environmental Protection Agency. *Onsite Wastewater Treatment Systems Manual*. U.S.A.: 2002. 111 p.
11. ESPINOZA, C. Y HERRERA, P. *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. 2000. 67 p.
12. FOLCH, M., SALGOT, M. y BRISSAUD, F. *La infiltración-percolación como sistema de depuración avanzada de aguas residuales por zona vadosa*. Barcelona, España: 2009. 185 p.
13. Foro Centroamericano y República Dominicana de Agua Potable y Saneamiento. *Gestión de las excretas y aguas residuales en Centroamérica y República Dominicana*. SICA, FOCARD-APS. 2013. 631 p.

14. GERBA, C. P., POWELSON, D. K., YAHYA, M. T., WILSON, L. G. & AMY, G. L. *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: 1991. 387 p.
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, 1999. 123 p.
16. HONEYMAN G. *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: 1999. 141 p.
17. Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. *Normas de presentación, diseño y construcción para urbanizaciones y fraccionamientos*, AyA. Costa Rica. 1994. 225 p.
18. LÓPEZ, Alex. *Implementación del material denominado Ripio clasificado de concreto como material filtrante en filtros percoladores en la planta piloto "Ing. Arturo Pazos Sosa*. Estudio especial de maestría en Ciencias de Ingeniería Sanitaria, Universidad de San Carlos, ERIS. 2010. 110 p.
19. MARAÑES, A., SÁNCHEZ, J. A., LOZANO, H., S., SÁNCHEZ, S. T., Torres, F. *Análisis de suelos. Metodología e interpretación*. Universidad de Almería, España: Servicio de Publicaciones, 1998. 189 p.

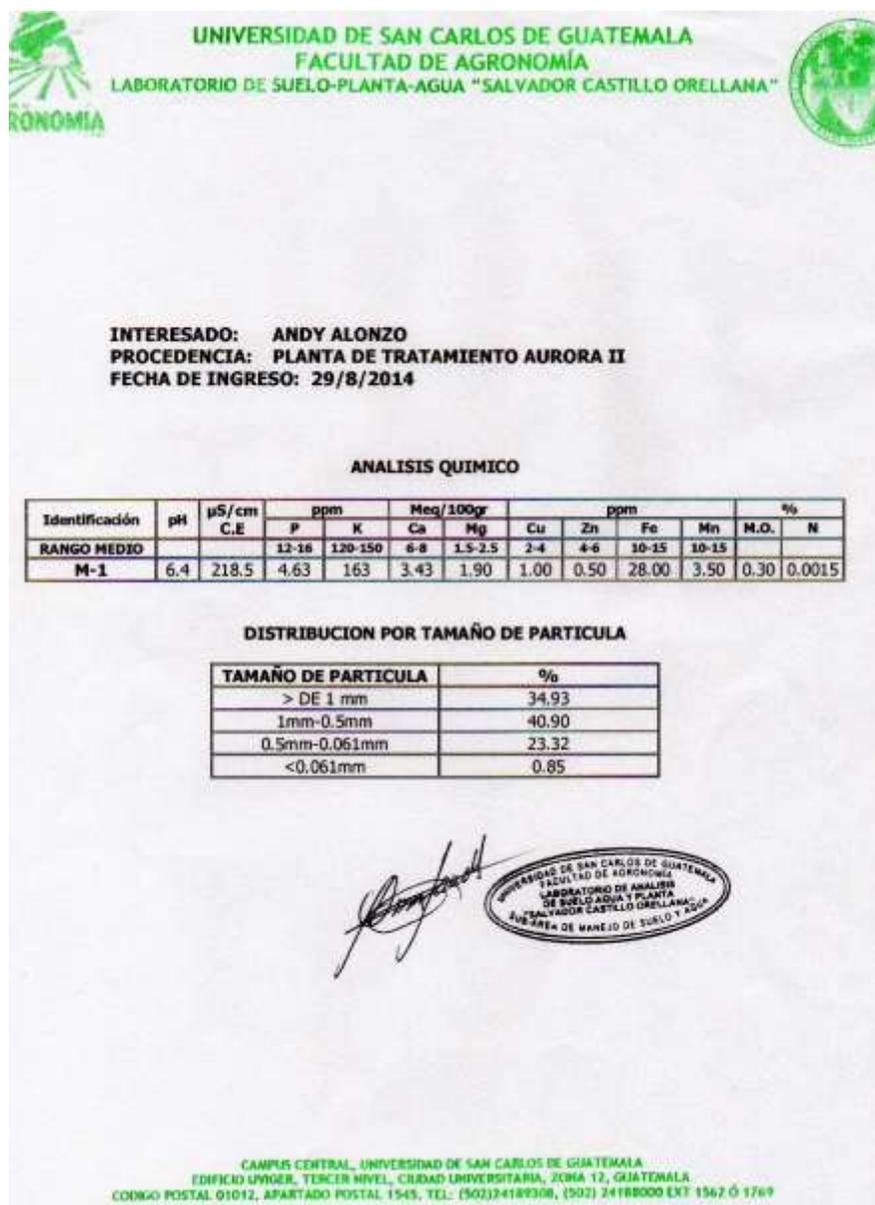
20. MARIÑELARENA, A. *Manual de autoconstrucción de sistemas de tratamiento de aguas residuales domiciliarios*. Argentina: FREPLATA, 2006. 222 p.
21. MENA, M. P., CASTILLO, G., DIBARRART, F. y HONEYMAN G. *Tratamiento de aguas residuales mediante el sistema suelo-acuífero (SAT), simulación en columnas. Aspectos físico-químicos*. XIII Congreso Chileno de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Antofagasta 20 - 23 octubre. Chile: 1999. 234 p.
22. METCALF Y EDDY. *Ingeniería de aguas residuales, redes de alcantarillado y bombeo*. España: McGraw-Hill, 1995. 689 p.
23. Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. Acuerdo Gubernativo 236-2006. *Reglamento de las descargas y reúso de aguas residuales y de la disposición de lodos*. Guatemala: MARN, 2015. 54 p.
24. Ministerio de Salud Pública, República de El Salvador. *Guía técnica sanitaria para la instalación y funcionamiento de sistemas de tratamiento individuales de aguas negras y grises*, El Salvador: 2000. 178 p.
25. Ministerio de Salud Pública de Honduras. *Normas Técnicas de las Descargas de Aguas Residuales a Cuerpos Receptores y Alcantarillados Sanitarios Acuerdo No. 058*. Honduras: 1997. 369 p.
26. MORENO, F. *Evaluación experimental del Tratamiento Suelo-Acuífero (SAT) en Copiapó*. Tesis de pregrado para optar al Título de Ingeniero Civil. Universidad de Chile. Chile: 2000. 165 p.

27. MORENO, L. *La depuración de aguas residuales urbanas de pequeñas poblaciones mediante infiltración directa en el terreno /*. Madrid: Instituto Geológico y Minero de España, 2003. 321 p.
28. MUCH SANTOS, Z. *Manual de laboratorio. Curso de Maestría en Ingeniería Sanitaria*. USAC, ERIS. 2005. 54 p.
29. PASTRAN, C. Y MILLÁN, R. *Metodología para el dimensionamiento de zanjas de infiltración para el tratamiento de aguas residuales*. Venezuela: Universidad de Oriente, 2001. 97 p.
30. PERALTA, Ivis Y PÉREZ, Wilber. *Uso de suelo como tratamiento secundario de aguas residuales domésticas*. Trabajo de graduación de maestría en Ciencias de Ingeniería Sanitaria. Universidad de San Carlos de Guatemala, ERIS, 2015. 137 p.
31. SANS, R. Y RIBAS, J. *Ingeniería ambiental: Contaminación y tratamientos*. España: MARCOMBO, S.A., 1999. 220 p.
32. Servicio Nacional de Agua Nicaragüense. *Reglamento para los Vertidos de Aguas Residuales a cuerpos Receptores y Alcantarillados Sanitarios*. Nicaragua: 2008. 187 p.
33. ROMERO ROJAS, J. A. *Tratamiento de aguas residuales, teoría y principios de diseño*, Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería. 2010. 1 845 p.

34. ROSALES E. *Tanques sépticos, conceptos teóricos base y aplicaciones*. Costa Rica: Escuela de Ingeniería en Construcción, Centro de Investigaciones en Vivienda y Construcción. 2003. 254 p.
35. REED, C. *Natural systems for wastewater treatment: Manual of Practice SD-16*. Water Environmental Federation. U.S.A.: Direction of Task Force on Natural Systems. 1990. 229 p.
36. SOTELO, Á. G. *Hidráulica General*. México: LIMUSA, 1997. 687 p.
37. TORRENT, J., SCHWERTMANN, U. Y SCHULZE, D. G. *Iron oxide mineralogy of some soils of two river terrace sequences in Spain*, España: Geoderma, 1980. 321 p.
38. VALVERDE, E. Y ROMERO, J. *El paradigma del 10 %: rompiendo mitos con respecto al muestreo en investigación en ciencias médicas*. Costa Rica: 2007. 163 p.
39. WAYNE, W. D. *Bioestadística: base para el análisis de las ciencias de la salud*. México: LIMUSA, 1991. 254 p.
40. WAGNER, E. G. Y LANOIX, I. N. *Evacuación de excretas en las zonas rurales y en las pequeñas comunidades*. Monografía nº 39. Ginebra. OMS, 1960. 258 p.

8. ANEXOS

Anexo 1: Análisis químico del suelo utilizado



Fuente: Laboratorio Salvador Castillo Orellana

Anexo 2: Contenido de humedad del suelo utilizado (Muestra 2)

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

INFORME No.: 001 S.S. **O.T.:** 33,591 **No. 2025**

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,


Vo. Bo. Inga. Teima Maricela Cano Morales
DIRECTORA CII/USAC


Ing. Omar Enrique Medrano Méndez
Jefe Sección Mecánica de Suelos

FACULTAD DE INGENIERIA –USAC–
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12
Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 96209 y 96221 Fax: 2418-0121
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, Sección Mecánica de Suelos.

Anexo 3: Límites de Atterberg del suelo utilizado (Muestra 2)



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



INFORME No. 002 S.S.

O.T.: 33,591 **No. 2026**

Interesado: Estudiantes de Maestría: Ivís 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	83.3	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

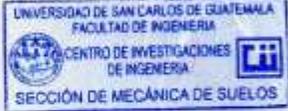
Observaciones: Muestra proporcionado por el interesado.

Atentamente,

Vo.Bo.



Inga. Teirna Maricela Cano Morales
DIRECTORA CI/USAC

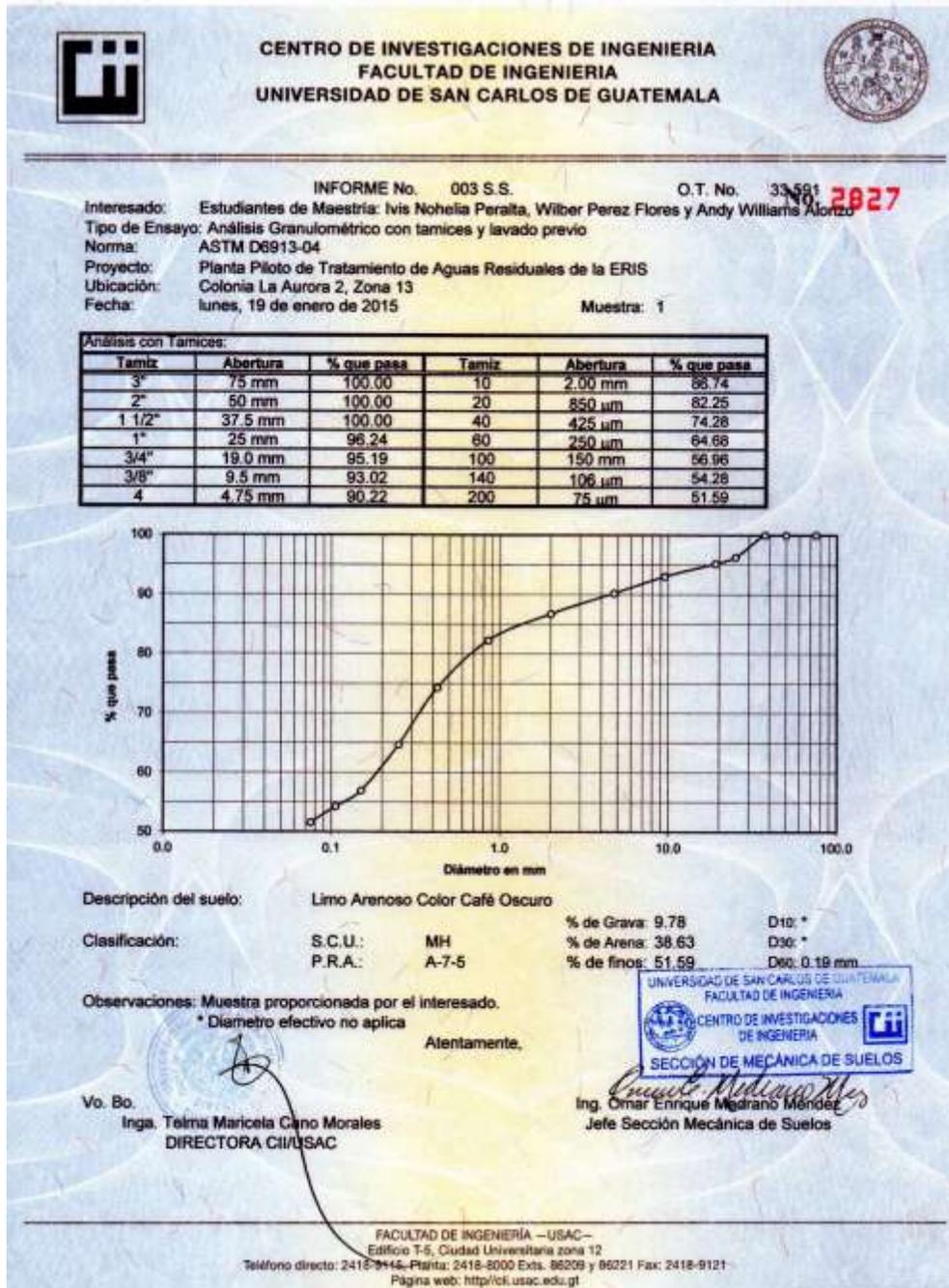


Ing. Omar Enrique Medrano Méndez
Jefe Sección Mecánica de Suelos

FACULTAD DE INGENIERÍA —USAC—
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12
Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121
Página web: <http://ci.usac.edu.gt>

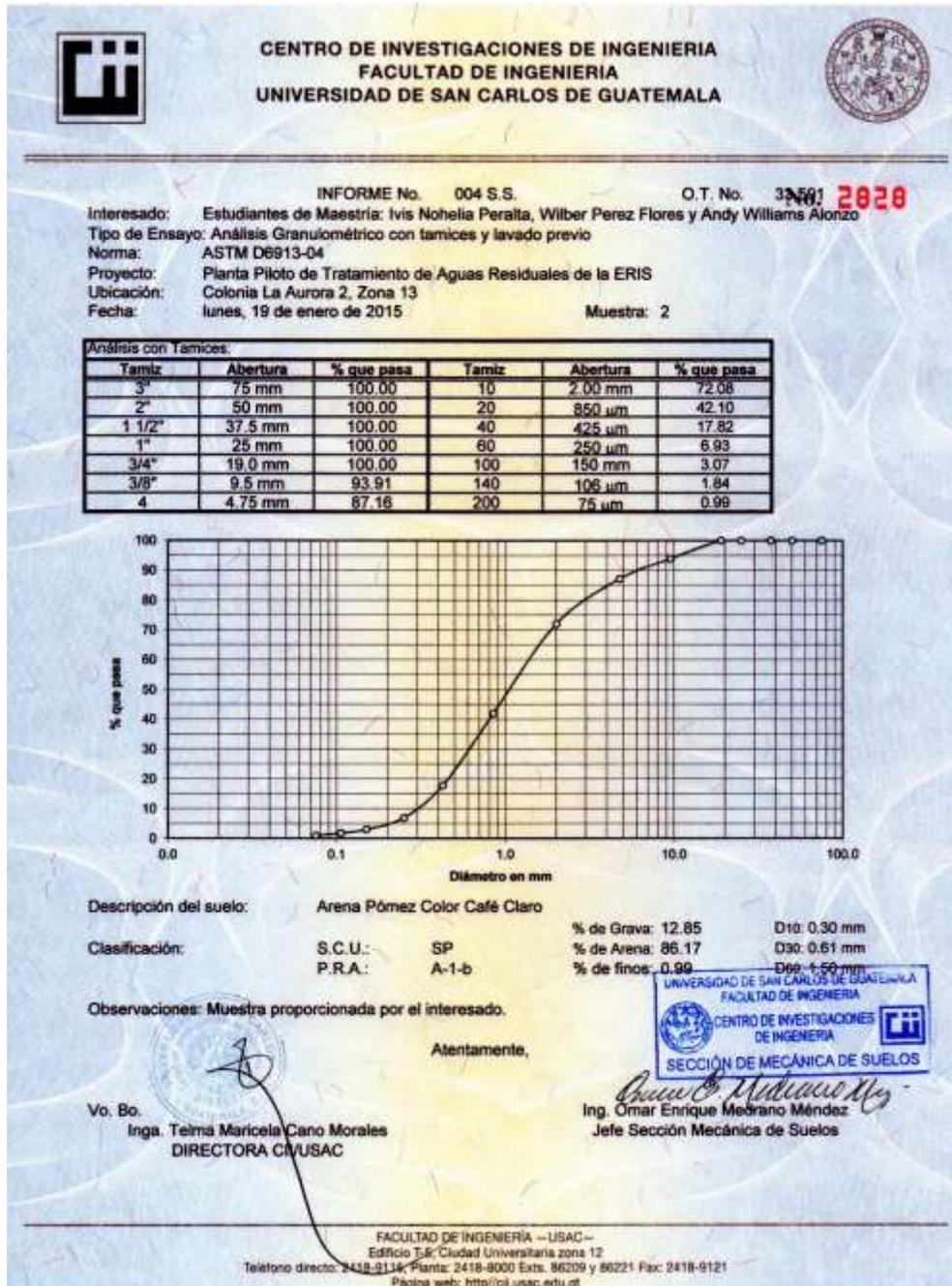
Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, Sección Mecánica de Suelos.

Anexo 4: Granulometría de la capa orgánica del sitio



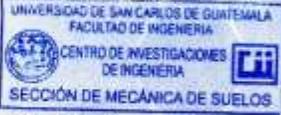
Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, Sección Mecánica de Suelos.

Anexo 5: Granulometría del suelo utilizado



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, Sección Mecánica de Suelos.

Anexo 6: Gravedad específica de la capa orgánica del sitio

	CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA FACULTAD DE INGENIERIA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA		
<hr/>			
INFORME No.	006 S.S.	O.T.: 33,591	No. 2032
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:	G₂₀₀ : 2.38		
OBSERVACIONES:	Muestra tomada por el interesado.		
	Atentamente,		
		 Ing. Omar Enrique Médrano Méndez Jefe Sección Mecánica de Suelos	
Vo. Bo.	 Inga. Telma Maricela Cano Morales DIRECTORA CIUSAC		
<hr/>			
FACULTAD DE INGENIERIA —USAC— Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12 Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121 Página web: http://ci.usac.edu.gt			

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, Sección Mecánica de Suelos.

Anexo 7: Gravedad específica del suelo utilizado

 **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:

$G_{20°C}$: 2.22

OBSERVACIONES:
Muestra tomada por el interesado.

Atentamente,


Ing. Omar Enrique Médrano Méndez
Jefe Sección Mecánica de Suelos

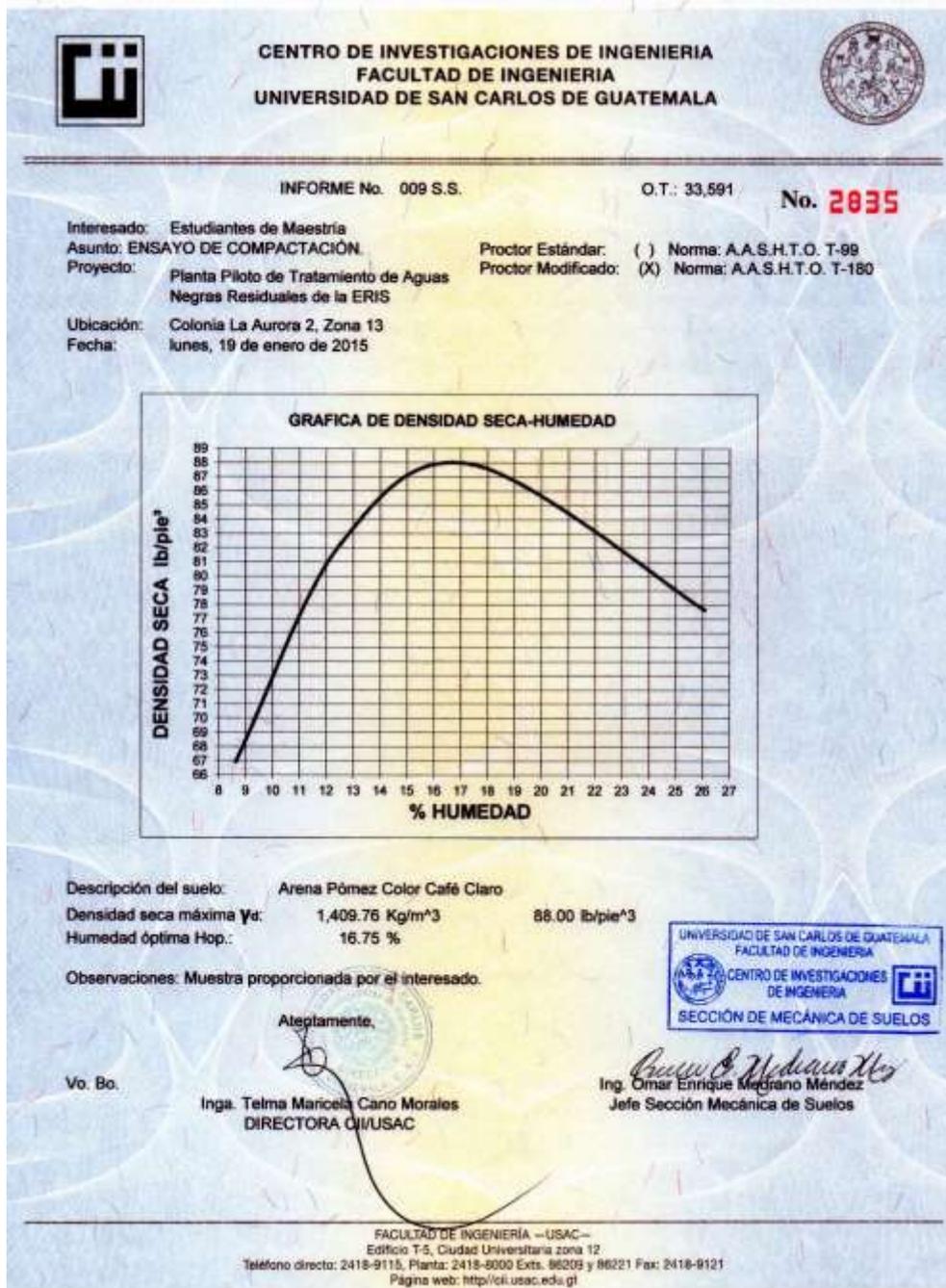


Vo. Bo.
Inga. Telma Maricela Cano Morales
DIRECTORA CII/USAC

FACULTAD DE INGENIERIA –USAC–
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12
Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86208 y 86221 Fax: 2418-9121
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, Sección Mecánica de Suelos.

Anexo 8: Densidad seca máxima del suelo utilizado



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, Sección Mecánica de Suelos.

Anexo 9: Equivalente de arena de la capa orgánica del sitio

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

INFORME No.: 007 S.S. **O.T. No.:** 33,591 **No. 2036**

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

Lectura Arena	Lectura Arcilla	Lectura Arena	Lectura Arcilla
4.1	7.5	4.1	7.2
54.7		56.9	

E.A.
55.8

OBSERVACIONES: Muestra proporcionada por el interesado

Atentamente,


Vo. Bo. Inga. Telma Marcela Cano Morales
DIRECTORA CI/USAC


Ing. Omar Enrique Medrano Mendez
Jefe Sección Mecánica de Suelos



FACULTAD DE INGENIERIA –USAC–
Edificio F-5, Ciudad Universitaria zona 12
Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-4000 Ext. 96209 y 96221 Fax: 2418-9121
Página web: <http://ci.usac.edu.gt>

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, Sección Mecánica de Suelos.

Anexo 10: Equivalente de arena del suelo utilizado

	CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA FACULTAD DE INGENIERIA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA												
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												
<table border="1"><tr><td>Lectura Arena</td><td>Lectura Arcilla</td></tr><tr><td>4.5</td><td>6.45</td></tr><tr><td colspan="2" style="text-align: center;">69.8</td></tr></table>	Lectura Arena	Lectura Arcilla	4.5	6.45	69.8		<table border="1"><tr><td>Lectura Arena</td><td>Lectura Arcilla</td></tr><tr><td>4.5</td><td>6.5</td></tr><tr><td colspan="2" style="text-align: center;">69.2</td></tr></table>	Lectura Arena	Lectura Arcilla	4.5	6.5	69.2	
Lectura Arena	Lectura Arcilla												
4.5	6.45												
69.8													
Lectura Arena	Lectura Arcilla												
4.5	6.5												
69.2													
<table border="1"><tr><td style="text-align: center;">E.A. 69.5</td></tr></table>			E.A. 69.5										
E.A. 69.5													
OBSERVACIONES: Muestra proporcionada por el interesado													
Atentamente,													
 Vo. Bo. Inga. Telma Maricela Cano Morales DIRECTORA CII/USAC	 Ing. Omar Enrique Medrano Mendez Jefe Sección Mecánica de Suelos												
<small>FACULTAD DE INGENIERIA –USAC– Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12 Teléfono directo: 2418-0115, Planta: 2418-8000 Exta. 95209 y 96221 Fax: 2418-0121 Página web: http://cii.usac.edu.gt</small>													

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, Sección Mecánica de Suelos.

Anexo 11: Permeabilidad de la capa orgánica del sitio

	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. 2030
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	
<u>RESULTADO DEL ENSAYO:</u>		
COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD =		0.000 cm/s
OBSERVACIONES: Muestra proporcionada por el interesado.		
Atentamente,		
		
		 Ing. Omar Enrique Medrano Mendez Jefe Sección Mecánica de Suelos
Vo. Bo.	 Inga. Teima Maricela Cano Morales DIRECTORA CII/USAC	
<small>FACULTAD DE INGENIERIA –USAC– Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12 Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Ext. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121 Página web: http://cii.usac.edu.gt</small>		

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, Sección Mecánica de Suelos.

Anexo 12: Permeabilidad del suelo utilizado

 **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

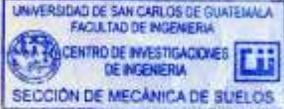
FECHA: lunes, 19 de enero de 2015

RESULTADO DEL ENSAYO:

COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD = **2.14×10^{-6} cm/s**

OBSERVACIONES:
Muestra proporcionada por el interesado.

Atentamente,

 
Ing. Omar Enrique Medrano Mendez
Jefe Sección Mecánica de Suelos

Vo. Bo.
Inga. Telma Maricela Cano Morales
DIRECTORA CII/USAC

FACULTAD DE INGENIERIA —USAC—
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12
Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121
Página web: <http://ci.usac.edu.gt>

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, Sección Mecánica de Suelos.

Anexo 13: Análisis de metales pesados del agua residual cruda



ECOSISTEMAS
PROYECTOS AMBIENTALES

Ref 246-15
Pág 1/1

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
* Níquel 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. Gehrst. 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

teléfono: (502) 2437 7224 - 2437 4455
 avenida 2-39 zona 4 de Mixco
 Bodegas Zaragoza 2, Bodega No. 2, Guatemala.
 contacto@ecosistemas.com.gt • info@ecosistemas.com.gt

Fuente: Laboratorio Ecosistemas.

Anexo 14: Análisis de aceites y grasas del agua residual cruda



ECOSISTEMAS
PROYECTOS AMBIENTALES

Ref: 247-15
Pág 1/1

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

Fonos: (502) 2437 7224 - 2437 4455
venida 2-39 zona 4 de Mixco
odegas Zaragoza 2, Bodega No. 2, Guatemala.
ratorio@ecosistemas.com.gt • info@ecosistemas.com.gt

Fuente: Laboratorio Ecosistemas.