



**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA REGIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA
Y RECURSOS HIDRÁULICOS**

**ALTERNATIVAS PARA EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS
GRISES DE ORIGEN DOMÉSTICO**

**ING. JAIME RAÚL HERNÁNDEZ JUÁREZ
Asesorado por Msc. Ing. Adán Pocasangre Collazos**

Guatemala, noviembre de 2010

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ALTERNATIVAS PARA EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS
GRISES DE ORIGEN DOMÉSTICO**

ESTUDIO ESPECIAL

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

POR

ING. JAIME RAÚL HERNÁNDEZ JUÁREZ

ASESORADO POR: MSC. ING. ADÁN POCASANGRE COLLAZOS

COMO REQUISITO PREVIO PARA OPTAR AL GRADO ACADÉMICO DE:

**MAESTRO (MAGÍSTER SCIENTIFICAE)
EN INGENIERÍA SANITARIA**

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2010

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Inga. Alba Guerrero de López
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila
VOCAL IV	Br. José Milton De León Bran
VOCAL V	Br. Isaac Sultán Mejía
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

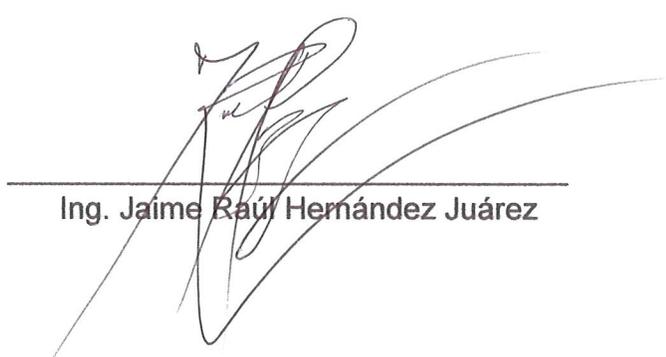
EXAMINADOR	M.Sc. Ing Adán Pocasangre Collazos
EXAMINADOR	M.Sc. Ing Félix Aguilar Carrera
EXAMINADOR	M.Sc. Ing Zenón Much Santos

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

ALTERNATIVAS PARA EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS GRISES DE ORIGEN DOMÉSTICO

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (E.R.I.S.), con fecha 12 de agosto de 2009.



Ing. Jaime Raúl Hernández Juárez



Guatemala, noviembre de 2010

FACULTAD DE INGENIERÍA

Señores

Comisión de Admisión y Otorgamiento de Grado

Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos

Universidad de San Carlos de Guatemala

Respetuosamente les comunico que en mi calidad de Coordinador y Asesor de la Maestría en Ciencias en Ingeniería Sanitaria, he revisado el documento del estudio especial titulado:

Alternativas para el tratamiento de las aguas grises de origen doméstico

Presentado por el estudiante de la maestría mencionada,

Ingeniero Jaime Raúl Hernández Juárez

Les manifiesto que el estudio cumplió con los requisitos establecidos por la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos – ERIS – y la Universidad de San Carlos de Guatemala, en la realización del mismo en forma satisfactoria. Agradeciéndoles la atención a la presente, me suscribo de ustedes. Atentamente,

Dr. Ing. Adán Pocasangre Collazos

Coordinador Maestría en Ciencias en Ingeniería Sanitaria

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”



Guatemala, noviembre de 2010

FACULTAD DE INGENIERÍA

El director de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos – ERIS – después de conocer el dictamen del tribunal examinador integrado por los catedráticos: Dr. Ing. Adán Pocasangre Collazos, M.Sc. Ing. Zenón Much Santos y M.Sc. Ing. Félix Aguilar Carrera, así como el visto bueno del Coordinador de la Maestría en Ciencias en Ingeniería Sanitaria; Dr. Ing. Adán Pocasangre Collazos y la revisión lingüística correspondiente realizada por la Licenciada Magíster en Literatura Hispanoamericana y Posgrado de Lingüística del Español Aura Mayorga Salguero, colegiada No. 2702, al trabajo del estudiante universitario Ing. Jaime Raúl Hernández Juárez, titulado **“ALTERNATIVAS PARA EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS GRISES DE ORIGEN DOMÉSTICO”**, en representación de la Comisión de Admisión y Otorgamiento de Grado, procede a la autorización del mismo.

IMPRÍMASE

M.Sc. Ing. Pedro Saravia Célis
DIRECTOR
ESCUELA REGIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA Y RECURSOS
HIDRÁULICOS
- ERIS -

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

DEDICATORIA

A mi esposa, María De Los Ángeles. Eres el regalo más lindo que Dios me ha dado en la vida y sin ti este esfuerzo no tendría sentido. Gracias amor por sacrificarte junto a mí, por estar a mi lado sin importar nuestra situación, por permanecer siempre allí al final del día, por darme el ingrediente extra de la vida, por provocarme todas las emociones necesarias para seguir adelante.

Jamás podré encontrar palabras suficientes para expresarte mi agradecimiento, todo lo que lo hago, lo hago por ti. Espero que siempre sepas y nunca olvides lo mucho que te amo.

AGRADECIMIENTOS A:

Dios	Por darme vida y tiempo para realizar mis sueños, por ser mi salvador y mi guía, por iluminar mi camino y estar siempre conmigo. Gloria al Padre, gloria al Hijo y gloria al Espíritu Santo.
Mi esposa	María De Los Ángeles , por ser mi felicidad verdadera y aceptar acompañarme en la aventura de la vida. Todo lo que hago es para ti, te amo.
Mi hijo	Anderson Ricardo , por enseñarme a comprender el verdadero sentido de la vida y ser el motivo de mis esfuerzos.
Mi madre	Irma Rosario , por enseñarme a soñar y creer que merecemos lo mejor y que todo esfuerzo honrado tiene su recompensa.
Mi padre	Jaime René , por enseñarme las lecciones más importantes de mi vida, y alentarme a llegar más alto; lo logramos.
Mis hermanos	Emir, Daniel, Lester, Pedro y Edi , porque juntos hemos sido una familia, y siempre serán mis hermanos.
Mi familia	A todos muchas gracias porque sé que disfrutan y comparten mis logros.
Mis amigos	Gracias por ser parte de mi vida. En especial a Andrea, Manuel, Henry, Mar y Steve.
ERIS	Por ser un sitio de aprendizaje que nos permite superarnos personalmente y a la vez contribuir al bienestar de las personas y el medio ambiente
Personal de ERIS	Catedráticos, secretarías, laboratoristas, guardianes y todos aquellos que directa e indirectamente han colaborado con mi formación académica.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN	XV
ASPECTOS GENERALES	XVII
INTRODUCCIÓN	XVII
ANTECEDENTES	XVIII
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	XX
JUSTIFICACIÓN	XX
HIPÓTESIS	XXIII
OBJETIVOS	XXIV
Objetivo general	XXIV
Objetivos específicos	XXIV
1. ASPECTOS TEÓRICOS	1
1.1 Agua	1
1.1.1 Usos del agua	1
1.2 Aguas residuales	2
1.2.1 Aguas residuales de origen doméstico	3
1.2.2 Aguas negras	3
1.2.3 Aguas grises de origen doméstico	4
1.2.4 Origen y características generales de las aguas grises de origen doméstico	4
1.2.5 Comparación de las características principales de las aguas negras y las aguas grises de origen doméstico	5
1.3 Tipos de tratamientos para aguas residuales	7

1.4	Tratamiento de aguas residuales a nivel domiciliario	7
1.5	Unidades de tratamientos de baja tecnología para aguas grises de origen doméstico	8
1.5.1	Unidades de pre-tratamiento	8
1.5.1.1	Trampa de grasas	8
1.5.1.2	Tanque de sedimentación (tanque séptico)	9
1.5.1.3	Lagunas	10
1.5.2	Unidades de tratamientos principal para aguas grises de origen doméstico	10
1.5.2.1	Filtración anaeróbica	11
1.5.2.2	Filtros verticales y horizontales	12
1.5.2.3	Filtros de cama vertical (cama de percolación sin plantación)	13
1.5.2.4	Filtros de plantas de flujo horizontal (humedales)	15
1.5.2.5	Filtros de plantas de flujo vertical (humedales)	17
1.5.2.6	Sistemas de lagunas	17
1.6	Sistemas de alta tecnología para aguas grises domésticas	18
1.7	Esquemas de sistemas de tratamiento propuestos para aguas grises de origen doméstico	19
2.	METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	21
2.1	Definición del modelo del sistema de tratamiento a construir para el tratamiento de las aguas grises de origen doméstico	21
2.2	Definición de parámetros de análisis	24
2.2.1	DBO ₅	24
2.2.2	DQO	25
2.3	Enfoque de la investigación	25
2.4	Diseño de la investigación	26
2.5	Selección de la muestra	26

2.6	Determinación del número de muestras a realizar	26
2.7	Puntos de muestreo	28
2.8	Recolección de datos	28
3.	DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE MODELOS DE FILTROS BIOLÓGICOS PARA TRATAMIENTO DE AGUAS GRISES DE ORIGEN DOMÉSTICO	29
3.1	Diseño y construcción de obras complementarias (pre-tratamiento y unidades de muestreo) para un sistema de tratamiento de aguas grises de origen doméstico)	32
3.1.1	Trampa de grasas	33
3.1.2	Testigo y distribuidor de caudales	34
3.2	Diseño y construcción de un filtro biológico para aguas grises de origen doméstico que utiliza como medio filtrante piedra pómez y grava, complementado con filtración con plantas acuáticas (ninfas acuáticas)	35
3.3	Diseño y construcción de un filtro biológico para aguas grises de origen doméstico que utiliza como medio filtrante carbón mineral y grava, complementado con filtración, utilizando plantas acuáticas (ninfas acuáticas)	42
3.4	Puntos de muestreo	45
4.	RESULTADOS OBTENIDOS	47
4.1	Resultados de los análisis de laboratorio	48
4.2	Porcentaje de eficiencia de los filtros propuestos	50
5.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	53
5.1	Interpretación de las gráficas de eficiencia de los filtros propuestos	53

5.1.1	DBO ₅	53
5.1.2	DQO	54
5.1.3	Nitritos, Nitratos y Fosfatos	56
5.1.4	pH	56
5.1.5	Color	56
5.1.6	Turbiedad	57
CONCLUSIONES		59
RECOMENDACIONES		61
BIBLIOGRAFÍA		63
ANEXO 1:	Planos de diseño y construcción de las “Alternativas para el tratamiento de las aguas grises de origen doméstico”	65
ANEXO 2:	Operación y mantenimiento de filtros	81
ANEXO 2:	Acuerdo gubernativo número 236-2006	85

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Porcentajes de usos del agua a nivel mundial	2
2.	Sección longitudinal de una trampa de grasas típica	9
3.	Sección longitudinal de un tanque séptico de dos compartimientos	10
4.	Sección longitudinal de un filtro anaeróbico típico	12
5.	Cámara de percolación de múltiples capas	14
6.	Esquema de un filtro de plantas de flujo horizontal (humedal)	16
7.	Foto de un filtro de plantas de flujo horizontal (humedal), para el tratamiento de aguas grises domésticas en Tepoztlán, México	16
8.	Esquema de un filtro de plantas de flujo vertical (humedal)	17
9.	Foto de un parque de lagunas en Skane, Suecia	18
10.	Secuencia de distintos tratamientos propuestos para aguas grises de origen doméstico	20
11.	Proceso propuesto para el tratamiento de aguas grises de origen doméstico y las unidades utilizadas	23
12.	Curvas de niveles de confianza	27
13.	Ubicación de la planta de tratamiento de aguas residuales "Ing. Arturo Pazos"	29
14.	Croquis de conjunto de los sistemas de tratamiento propuestos para aguas grises de origen doméstico	31
15.	Unidad para análisis (pila)	32
16.	Diseño y construcción de la trampa de grasas para el tratamiento de las aguas grises	34

17.	Diseño y construcción del testigo y del distribuidor de caudales	35
18.	Diseño y construcción de un filtro típico para el tratamiento de de aguas grises de origen doméstico	39
19.	Diseño y construcción de filtración típica con plantas acuáticas	39
20.	Medio filtrante de piedra pómez y grava para el tratamiento de aguas grises de origen doméstico	40
21.	Medio filtrante para complemento de filtración con plantas acuáticas (ninfas acuáticas)	41
22.	Medio filtrante de carbón mineral y grava para el tratamiento de aguas grises de origen doméstico	42
23.	Conjunto de un filtro completo	43
24.	Conjunto de modelo	44
25.	Puntos de muestreo	45
26.	Análisis de laboratorio	47

TABLAS

I	Origen y características comunes de las aguas grises domiciliarias	4
II	Aportes promedio per cápita de los diferentes componentes del agua residual doméstica	5
III	Características de aguas residuales municipales	36
IV	Tipos de filtros biológicos según la carga biológica recibida	37
V	Resultados de análisis de laboratorio provenientes del ingreso y salida de los filtros propuestos para los parámetros DBO ₅ y DQO	48
VI	Resultados de análisis de laboratorio provenientes del ingreso y salida de los filtros propuestos para los parámetros Nitritos, Nitratos, Fosfatos, pH, color y turbiedad	49
VII	Límites máximos permisibles de los parámetros para las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, según Acuerdo Gubernativo Número 236-2006	87
VIII	Límites máximos permisibles y plazos establecidos, según Acuerdo Gubernativo Número 236-2006	88
IX	Límites máximos permisibles para reuso del agua residual, según Acuerdo Gubernativo Número 236-2006	90

GRÁFICAS

I	Porcentajes de eficiencia de los filtros propuestos para el parámetro de DBO ₅	50
II	Porcentajes de eficiencia de los filtros propuestos para el parámetro de DQO	51

LISTA DE SÍMBOLOS

m ³	Metro cúbico
l	Litros
l/s	Litros por segundo
%	Porcentaje
DBO ₅	Demanda Bioquímica de Oxígeno cinco
DQO	Demanda Química de Oxígeno
pH	Potencial de Hidrógeno
OMS	Organización Mundial de la Salud
mg/l	Miligramos por litro
“	Pulgadas
OPS	Organización Panamericana de la Salud
CEPIS	Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria
ERIS	Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria
NTU	Unidades Nefelométricas de turbidez

GLOSARIO

Agua

Sustancia cuyas moléculas están formadas por la combinación de un átomo de oxígeno y dos de hidrógeno, líquida, inodora, insípida e incolora.

Aguas grises de origen doméstico

Son todas aquellas que son usadas para nuestra higiene corporal o de nuestra casa y sus utensilios. Básicamente son aguas con jabón, algunos residuos grasos de la cocina y detergentes. Es importante señalar que las aguas grises pueden transformarse en aguas negras si son retenidas sin oxigenar en un tiempo corto.

Aguas negras

Define un tipo de agua que está contaminada con sustancias fecales y orina, procedentes de desechos orgánicos humanos o animales. Su importancia es tal que requiere sistemas de canalización, tratamiento y desalojo. Su tratamiento nulo o indebido genera graves problemas de contaminación

Aguas residuales

Son aquellas que resultan del uso doméstico, agrícola o industrial. Se les llama también aguas servidas. Para cuantificar el grado de contaminación y poder establecer el sistema de tratamiento mas adecuado, se utiliza diversidad de parámetros

Bio-película

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.

DBO₅

Parámetro que mide la cantidad de materia susceptible de ser consumida u oxidada por medios biológicos, que contiene una muestra líquida y se utiliza para determinar su grado de contaminación. Se mide transcurridos cinco días de reacción (DBO₅), y se expresa en miligramos por litro (mg/l). Es un método aplicable en aguas que puedan contener una cantidad apreciable de materia orgánica. El método pretende medir en principio, exclusivamente, la concentración de contaminantes orgánicos.

DQO

Parámetro que mide la cantidad de sustancias susceptibles de ser oxidadas por medios químicos que hay disueltas o en suspensión en una muestra líquida. Se utiliza para medir el grado de contaminación y se expresa en miligramos por litro (mg/l). Es un método aplicable en aguas que puedan contener una cantidad apreciable de materia orgánica. La DQO varía en función de las características de las materias presentes, de sus proporciones respectivas, de sus posibilidades de oxidación y de otras variables.

Filtro biológico o filtros percoladores

Unidad de tratamiento para aguas residuales. Son estructuras de lechos de distintos materiales sobre los cuales se vierten en forma continua o intermitente las aguas residuales; al percolar por el lecho de material granular, las aguas residuales entran en contacto con el limo biológico (bio-película) que crece sobre la superficie del material.

Fosfatos

Los fosfatos son las sales o los ésteres del ácido fosfórico, componente del Fósforo total. Los fosfatos 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.

Nitratos

Los nitratos son sales o ésteres del ácido nítrico, componente del Nitrógeno total. Son nutrientes fácilmente asimilables por las plantas, por lo que son utilizadas como fertilizantes. Los aportes de nitratos al mar y al agua de ríos y lagos, favorecen el crecimiento de algas (eutrofización).

Nitrificación

Es la oxidación biológica de amonio con oxígeno en nitrito, seguido por la oxidación de esos nitritos en nitratos. La nitrificación también juega un importante rol en la remoción del nitrógeno orgánico de aguas servidas, donde la remoción convencional es por nitrificación bacteriana, seguida de desnitrificación.

Nitritos

Los nitritos son sales o ésteres del ácido nitroso, componente del Nitrógeno total. Los nitritos resultan ser tóxicos para los peces.

Normas

Conjunto de reglas o especificaciones destinadas al control de calidad.

pH

Potencial de Hidrógeno. Indica la concentración de iones hidronio, es una medida de la acidez o alcalinidad de una solución. El pH típicamente va de 0 a 14 en disolución acuosa, siendo ácidas las disoluciones con pH menores a 7, y alcalinas las que tienen pH mayores a 7. El pH = 7 indica la neutralidad de la disolución (donde el disolvente es agua).

Relación DBO/DQO

La relación entre los valores de DBO y DQO es indicativa de la biodegradabilidad de la materia contaminante. En aguas residuales, un valor de la relación DBO/DQO menor de 0.20, se interpreta como un vertido de tipo inorgánico (sin posibilidad de un tratamiento biológico) y orgánico sí es mayor de 0.60 (apto para tratamiento biológico).

Turbidez o turbiedad

Se entiende por turbidez a la falta de transparencia de un líquido, debido a la presencia de partículas en suspensión. Cuantos más sólidos en suspensión haya en el líquido, generalmente se hace referencia al agua, más sucia parecerá esta, y más alta será la turbidez. La turbidez es considerada una buena medida de la calidad del agua, cuanto más turbia, menor será su calidad.

RESUMEN

El presente trabajo titulado “Alternativas para el tratamiento de aguas grises de origen doméstico”, es el resultado de la investigación, diseño, construcción y muestreo de filtros biológicos que tienen como fin el mejoramiento (disminución de las cargas contaminantes) de las aguas grises.

La construcción de los modelos propuestos para el tratamiento de las aguas grises fue realizada en la planta de tratamiento de aguas residuales “Ing. Arturo Pazos Sosa”, perteneciente a la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria (ERIS) ubicada en la colonia Aurora II, zona 13, de la ciudad de Guatemala. Por su parte, los análisis de laboratorio fueron realizados en el Laboratorio de Química y Microbiología Sanitaria “Dra. Alba Tabarini”, de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala. Los parámetros principales referenciales para medir la eficiencia de los filtros para el presente estudio son la DBO₅ y DQO. Además se midieron Nitritos, Nitratos, Fosfatos, pH, color y turbiedad.

Se construyeron dos unidades individuales para el tratamiento de aguas grises de origen doméstico: una utiliza como medio filtrante piedra pómez y la otra carbón. Estas unidades no usan energía artificial y trabajan mediante una única filtración directa (sin recirculación).

Dentro de las conclusiones, según los resultados de los análisis de los muestreos realizados a los filtros, se tiene que para la DBO₅ se obtuvo una remoción con valores promedio de 18.50% y un máximo de 39.76%. En el caso de la DQO, se obtuvo una remoción con valores promedio de 31.45% y un máximo de 47.41%. La remoción de los parámetros principales de DBO₅ y

DQO en los filtros quedó por debajo de lo esperado (la hipótesis planteada inicialmente fue de una remoción del 45.00%). Los filtros remueven más DQO que DBO_5 . Además se concluyó que ambos filtros tienen un porcentaje de eficiencia similar en cuanto a la remoción de DBO_5 y DQO.

Por aparte, los sistemas propuestos en el presente estudio no son efectivos para la remoción o mejoramiento de Nitritos, Nitratos, Fosfatos, Color y Turbiedad. Por su parte el pH se mantuvo en un rango de 6.98 a 8.50.

Los tratamientos para aguas grises de origen doméstico propuestos en el presente estudio podrían ser aplicados en forma individual, en viviendas dispersas o con área suficiente para la instalación de los filtros.

El efluente de aguas grises tratado puede ser descargado hacia los colectores centrales de drenaje (con lo cual ya se proporciona una disminución en la carga biológica de las aguas grises) o podría tener la posibilidad de la reutilización según lo permita la legislación vigente del país (Acuerdo gubernativo no. 236-2006, “Reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos”) y de estudios posteriores que determinen su viabilidad para casos específicos de aprovechamiento (riego para pastos, riego agrícola, riego para cultivos comestibles, acuicultura).

ASPECTOS GENERALES

INTRODUCCIÓN

Mientras en los países más industrializados del mundo se procede al tratamiento de todas las aguas residuales mediante diversidad de tipos de tratamiento (principalmente de tipo mecánico, eléctrico, electrónico, automatizado, etc.), y la población paga por dichos servicios, en nuestro medio el tratamiento de aguas residuales está relegado a un segundo plano.

El problema va más allá del tratamiento de las aguas residuales, estimado en apenas un 4.00% para las aguas municipales en Guatemala (UNICEF Guatemala, 2010).

En Guatemala se ha tenido poca cobertura en cuanto a drenajes; para el año 2002, era de 65.29% para el área urbana y de un 5.72% para el área rural. (Centro de Estudios Urbanos y Regionales – CEUR –, ‘Los servicios de agua potable y drenaje en Guatemala 1944-2002’, 2006).

Los daños ocasionados al ambiente (principalmente a los cuerpos de agua) por parte de las aguas residuales van desde contaminación con patógenos hasta aumento excesivo de nutrientes. Las aguas residuales, específicamente de origen doméstico, se pueden clasificar como aguas negras y aguas grises. Estas últimas son el objeto del presente estudio. Para el mejoramiento de las características de las aguas residuales de origen doméstico y la protección ambiental, se realizó el presente estudio; consistente en proponer, diseñar, construir y muestrear unidades (filtros) que puedan ser utilizadas en forma individual para el tratamiento de aguas grises de origen doméstico.

Estas unidades, fueron instaladas en la planta de tratamiento de aguas residuales “Ing. Arturo Pazos Sosa”, perteneciente a la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria (ERIS) ubicada en la colonia Aurora II, zona 13 de la ciudad de Guatemala.

ANTECEDENTES

En el Centro de Información de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (CIERIS), no se registran investigaciones sobre tratamientos individuales para aguas grises de origen doméstico. Generalmente las aguas residuales son tratadas como un conjunto (aguas negras y aguas grises), sin hacer distinción inclusive de su fuente generadora.

En países desarrollados como Alemania y Francia, se ha iniciado el tratamiento de aguas grises domésticas mediante la separación de drenajes domiciliarios y se han instalado sistemas de tratamiento que pueden incluir el pre-tratamiento (separación de sólidos), tratamiento biológico (generalmente con recirculación) e inclusive pueden tener esterilización del agua (con lámpara de filtros UV). Generalmente este tipo de tratamiento utiliza unidades de tipo mecánico y/o eléctrico. (www.dwc-water.com/es/tecnologias/re-uso-de-las-aguasgrises/index.html&h, 2010).

Por aparte, en países latinoamericanos como México y Colombia, el tratamiento para las aguas grises, se centra sobre las aguas grises de origen doméstico especialmente en el área rural. Los tratamientos más estudiados y utilizados han sido humedales, lechos vegetales y drenajes de enramados. (www.tierramor.orgArticulos/tratagua.htm, 2009).

Dentro de los estudios de unidades de tratamiento para aguas grises de origen doméstico que no utilicen energía artificial ni componentes complejos, se encuentran las unidades denominadas de baja tecnología, las cuales buscan primordialmente retirar la materia orgánica, la reducción de patógenos y reducción de las cargas de nutrientes existentes en las aguas grises. Además se ha determinado que el tratamiento para las aguas grises puede llevarse a cabo de forma aerobia o anaerobia dependiendo de variables tales como la relación DBO/DQO, espacio para la construcción de las unidades, tipo de clima, acceso a materiales y el uso que tenga el efluente final. La mayoría de los tratamientos aeróbicos y anaeróbicos, está basada en el principio de las bio-películas. (Instituto Federal Suizo de Ciencia y Tecnología Acuática; Reporte 14/06 'Manejo de aguas grises en países en vías de desarrollo', 2006).

Las unidades estudiadas y aplicadas más ampliamente han sido los filtros aerobios o anaerobios (aunque no son las únicas que han sido estudiadas para el tratamiento de las aguas grises domésticas), los cuales pueden presentar variables en su construcción, forma y tamaño. Sin embargo, mantienen los principios de trabajo basados en las bio-películas.

Los filtros también pueden identificarse por su tipo de flujo, los cuales pueden ser verticales y horizontales. Los filtros verticales consisten en un flujo vertical, en el cual el agua es aplicada de forma intermitente y equitativa en la superficie del filtro. Para mejorar la eficiencia del tratamiento de los filtros verticales, se pueden plantar macroplantas (plantas de crecimiento específico para el medio). La zona de las raíces de las plantas es un hábitat favorable tanto para el crecimiento bacteriano como para la degradación de la materia. Los filtros horizontales difieren de los verticales en que estos están permanentemente remojados y pueden operar de forma aeróbica o anaeróbica.

(Instituto Federal Suizo de Ciencia y Tecnología Acuática; Reporte 14/06 'Manejo de aguas grises en países en vías de desarrollo', 2006).

Los filtros de plantas se han vuelto más populares en el mundo como tratamiento para aguas residuales de origen doméstico, incluyendo las aguas grises. Los primeros filtros de plantas fueron utilizados en Europa del este en la década de 1960. (Instituto Federal Suizo de Ciencia y Tecnología Acuática; Reporte 14/06 'Manejo de aguas grises en países en vías de desarrollo', 2006).

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En países en vías de desarrollo, las aguas residuales no son conducidas en sistemas de drenajes, aproximadamente el 50.00% en Latinoamérica carece de los mismos; y mucho menos cuentan con algún tipo de tratamiento (en Latinoamérica menos del 10.00% del agua residual recibe algún tipo de tratamiento).

Tampoco existen drenajes separativos tanto a nivel de colectores centrales como en el drenaje interior de las viviendas.

JUSTIFICACIÓN

Como ya se ha mencionado, las aguas residuales de origen doméstico se pueden clasificar como: aguas negras y aguas grises. Se entienden como aguas grises de origen doméstico aquellas que son usadas para nuestra higiene corporal o de nuestra casa y sus utensilios. Básicamente son aguas con jabón, algunos residuos grasos de la cocina y detergentes.

Sin embargo, que las aguas grises no estén mezcladas con heces u orina no quiere decir que no hayan sido alteradas en sus características (físicas, biológicas o químicas) o que no sean dañinas para el medio ambiente. Las aguas grises aportan una cantidad de contaminantes similar a la de las aguas negras.

Algunos estudios indican que teóricamente las aguas grises aportan aproximadamente el 67.00% de la contaminación relacionada a DBO_5 y el 43.00% de la DQO de las aguas residuales totales. (Curso 'Procesos de tratamiento de aguas residuales', ERIS 2009). Por eso es importante brindarle tratamiento a las aguas grises de origen doméstico, principalmente en aquellos lugares donde no existe cobertura de red de drenaje y/o planta de tratamiento para aguas residuales.

Asimismo, para establecer el tipo de tratamiento a utilizar, se aplica la relación DBO/DQO , la cual ayuda a determinar el tipo de tratamiento adecuado para un agua específica. (Metcalf y Eddy, 1996).

Para las aguas residuales si la relación DBO/DQO es igual o menor a 0.20 se considera como un vertido de tipo inorgánico (sin posibilidad de un tratamiento biológico); si la relación DBO/DQO es igual o mayor a 0.60 se considera un vertido de tipo orgánico (apto para tratamiento biológico). Considerando que gran parte de los componentes de las aguas grises son desechos de cocina, se puede tener en cuenta previamente la utilización de un tratamiento de tipo biológico (asumiendo que puede existir mayoría de materia orgánica).

Los tratamientos biológicos podrían ser aplicados en nuestro medio (principalmente los filtros biológicos o los humedales), además estos sistemas de tratamiento para aguas grises domésticas no necesitan mano de obra calificada en su instalación, operación y mantenimiento.

La aplicación de los tratamientos para aguas grises domésticas podría reducir la carga contaminante al ambiente (principalmente la biológica), brindar la oportunidad de reutilización según lo permita la legislación del país (Acuerdo Gubernativo no. 236-2006, “Reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos”).

La reducción de la carga contaminante en el ambiente proveniente de las aguas residuales (en este caso aguas grises), puede ayudar a proteger los cuerpos receptores de descargas (principalmente cuerpos de agua). Por aparte, la reutilización de las aguas grises domésticas puede ayudar al ahorro de consumo de agua (mejorando el aprovechamiento de recursos) y reducir la cantidad de agua residual que llega a los cuerpos receptores.

En los lugares que no cuentan con sistemas de drenajes (según el CEUR en el año 2002, serían 94.28% para el área rural en Guatemala), los sistemas de tratamiento para aguas grises propuestos en el presente estudio podrían ser aplicados y tener la opción de infiltración en su descarga, evitando que las aguas grises se dispersen en forma desordenada sobre los terrenos de las viviendas o las calles.

HIPÓTESIS

El tratamiento para las aguas grises de origen doméstico mediante alternativas individuales y prácticas, basadas en un tratamiento de filtros biológicos (comprobando previamente que la relación DBO/DQO cumpla con los valores adecuados para la aplicación de un tratamiento biológico), con materiales sencillos y económicos y sin ayuda de energía artificial, como los propuestos en el actual estudio mediante los siguientes sistemas:

- Filtro biológico para aguas grises de origen doméstico que utiliza como medio filtrante piedra pómez y grava, complementado con filtración de plantas acuáticas (ninfas acuáticas)
- Filtro biológico para aguas grises de origen doméstico que utiliza como medio filtrante carbón y grava, complementado con filtración de plantas acuáticas (ninfas acuáticas)

Pueden ser capaces de remover parámetros específicos como DBO_5 y DQO de las aguas grises de origen doméstico con una eficiencia igual o superior al 45.00% y brindar la posibilidad de la reutilización de dichas aguas para actividades específicas como riego para pastos, riego agrícola, riego para cultivos comestibles y acuicultura que sean permitidas por la legislación guatemalteca según el Acuerdo gubernativo no. 236-2006, “Reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos”.

OBJETIVOS

Objetivo general

Diseñar e implementar unidades de tratamiento para aguas grises de origen doméstico, que permitan el mejoramiento de las características biológicas (DBO y DQO) de las aguas residuales grises de origen doméstico

Objetivos específicos

Determinar los niveles de eficiencia en la remoción de las características consideradas como principales para este estudio (DBO y DQO) de las aguas grises de origen doméstico, en cada unidad de tratamiento propuesta.

Determinar los niveles de eficiencia en la remoción de las características complementarias analizadas en el presente estudio (Fósforo y Nitrógeno) de las aguas grises de origen doméstico, en cada unidad de tratamiento propuesta.

1. ASPECTOS TEÓRICOS

1.1. Agua

Sustancia cuyas moléculas están formadas por la combinación de un átomo de oxígeno y dos de hidrógeno, líquida, inodora, insípida e incolora.

Es el componente más abundante de la superficie terrestre y, más o menos puro, forma la lluvia, las fuentes, los ríos y los mares; es parte constituyente de todos los organismos vivos y aparece en compuestos naturales. (Real Academia Española, 2009).

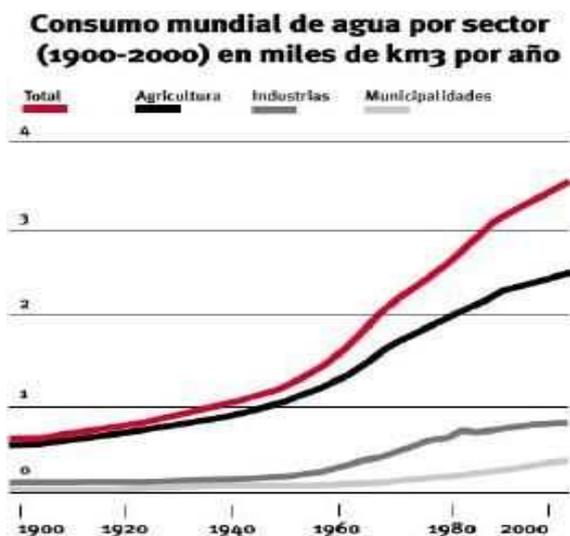
El agua es esencial para la vida. La cantidad de agua dulce existente en la tierra es limitada, y su calidad está sometida a una presión constante.

La conservación de la calidad del agua dulce es importante para el suministro de agua de bebida, la producción de alimentos y el uso recreativo. La calidad del agua puede verse comprometida por la presencia de agentes infecciosos, productos químicos tóxicos o radiaciones. (OMS, 2010)

1.1.1. Usos del agua

Los principales usos del agua a nivel mundial se muestran en la siguiente figura:

Figura 1. Porcentajes de usos del agua a nivel mundial



Fuente: UNESCO, 1999

1.2. Aguas residuales

Las aguas residuales son aquellas que resultan del uso doméstico, agrícola o industrial. Se les llama también aguas servidas o aguas cloacales. Son residuales pues habiendo sido usada el agua, constituyen un residuo, algo que no sirve para el uso directo.

En todo caso, están constituidas por todas aquellas aguas que son conducidas por el alcantarillado (o desfogadas a flor de tierra) e incluyen a veces, las aguas de lluvia y las infiltraciones de agua del terreno.

Para cuantificar el grado de contaminación y establecer el sistema de tratamiento más adecuado, se utiliza diversidad de parámetros. (www.es.wikipedia.org/wiki/Aguas_negras, 2010).

Los parámetros principales de contaminación del agua son:

- Materia oxidable: DBO y DQO.
- Sólidos en suspensión: Sólidos en Suspensión Totales (SST), Sólidos Disueltos (SD) y Sólidos Totales (ST).
- Materias inhibidoras: compuestos químicos orgánicos e inorgánicos.
- Nutrientes: principalmente Nitrógeno (N) y Fósforo (P).
- Salinidad

1.2.1. Aguas residuales de origen doméstico

Su procedencia principal es:

- Descargas sanitarias
- Servicios domésticos y públicos
- Limpieza de construcciones
- Drenado de aguas pluviales

En lugares donde existen trituradores de residuos sólidos las aguas residuales de tipo doméstico están mucho más cargadas con materia orgánica como grasas y desechos de alimentos. (www.es.wikibooks.org, 2009)

1.2.2. Aguas negras

Define un tipo de agua que está contaminada con sustancias fecales y orina, procedentes de desechos orgánicos humanos o animales. Su importancia es tal que requiere sistemas de canalización, tratamiento y desalojo. Su tratamiento nulo o indebido genera graves problemas de contaminación.

1.2.3. Aguas grises de origen doméstico

Son todas aquellas que son usadas para la higiene corporal o de nuestra casa y sus utensilios. Básicamente son aguas con jabón, algunos residuos grasos de la cocina y detergentes.

Es importante señalar que las aguas grises pueden transformarse en aguas negras si son retenidas sin oxigenar en un tiempo corto.

1.2.4. Origen y características generales de las aguas grises de origen doméstico

El origen y las características comunes de las aguas grises pueden observarse en la siguiente tabla:

Tabla I. Origen y características comunes de las aguas grises domiciliarias

ORIGEN DE LAS AGUAS GRISES	CARÁCTERÍSTICAS	
CUARTO DE BAÑO 	Microbiológico	Concentración variable de microorganismos
	Biológico	Baja concentración de materia orgánica biodegradable
	Físico	Alta concentración de sólidos, pelo, pelusa y valores altos de turbidez.
	Químico	Sodio, fosfatos, boro, agentes tensioactivos, amoníaco y nitrógeno,
LAVANDERÍA 	Microbiológico	Concentración variable de microorganismos dependiendo del tipo de ocupantes
	Biológico	Alta concentración de materia orgánica biodegradable
	Físico	Alta concentración de sólidos, pelusa y valores altos de turbidez.
	Químico	Sodio, fosfatos, boro, agentes tensioactivos, amoníaco y nitrógeno, todo procedente de los detergentes (sobre todo en polvo) y de la suciedad de la ropa.
COCINA 	Microbiológico	Concentración variable de microorganismos
	Biológico	Alta concentración de materia orgánica biodegradable
	Físico	Restos de comida, aceites, grasas y turbidez. Temperatura
	Químico	Detergentes y otros productos de limpieza.

Fuente: Ignacio Javier Palma Carazo, 2009 ' . Reutilización de las aguas grises en la edificación'.

La tabla anterior indica las fuentes principales de generación de las aguas grises en una vivienda, como el cuarto de baño (excluyendo el sanitario), la lavandería y la cocina. Aunque todos los ambientes generan aguas grises, existen variaciones en las cantidades de cada característica (microbiológico, biológico, físico y químico). Como se observa, se indica principalmente la materia orgánica biodegradable, los nutrientes y los sólidos.

1.2.5. Comparación de las características principales de las aguas negras y las aguas grises de origen doméstico

Sin tomar en cuenta los parámetros microbiológicos por contaminación con heces u orina, las características de aguas negras y grises se presentan en la siguiente tabla:

Tabla II. Aportes promedio per cápita de los diferentes componentes del agua residual doméstica

Componente	Artefacto	DBO		DQO		NH3-N	
		gramos/ habitante*día	%	gramos/ habitante*día	%	gramos/ habitante*día	%
Aguas negras	Inodoro	23.54	32.59	67.78	56.86	2.780	87.09
Aguas grises	Lavatrastos	9.20	12.74	18.80	15.77	0.074	2.32
	Ducha	6.18	8.56	9.08	7.62	0.013	0.41
	Lavamanos	1.86	2.58	3.25	2.73	0.009	0.28
	Lavado de ropa	7.90	10.94	20.30	17.03	0.316	9.90
	Total aguas grises	48.68	67.41	51.43	43.14	0.412	12.91
TOTALES		72.22	100.00	119.21	100.00	3.192	100.00

Fuente: Curso 'Procesos de tratamiento de aguas residuales', ERIS 2009

Como se puede observar, los aportes contaminantes de las aguas grises y las aguas negras no son muy diferentes (excepto en el NH₃-N). Inclusive en la DBO₅, la carga es mayor por parte de las aguas grises y en la DQO son muy similares.

De lo anterior puede decirse que aunque las aguas grises no estén contaminadas con excretas, aportan por lo menos (en teoría) el 67.00% de la contaminación relacionada a DBO₅ y el 43.00% de la DQO de las aguas residuales totales. Por ello no es suficiente su separación de las aguas negras, sino que se debe brindar algún tipo de tratamiento de la manera más adecuada para el mejoramiento de las características de las aguas grises y/o residuales.

Tomando como base los valores anteriores (Tabla II), se puede tomar un parámetro referencial sobre la relación DBO₅/DQO (para los datos de las aguas grises, que son el objeto del presente estudio), que según los valores anteriores será:

$$\frac{DBQ_5}{DQO} = \frac{48.68}{51.43} = 0.946$$

La relación DBO₅/DQO, ayuda a determinar el tipo de tratamiento adecuado para un agua específica. (Metcalf y Eddy , 1996).

Para las aguas residuales, si la relación DBO₅/DQO es igual o menor a 0.20, se considera como un vertido de tipo inorgánico (sin posibilidad de un tratamiento biológico); si la relación DBO₅/DQO es igual o mayor a 0.60, se considera un vertido de tipo orgánico (apto para tratamiento biológico).

1.3. Tipos de tratamientos para aguas residuales

En el tratamiento de aguas residuales (generalmente no están separadas las aguas negras de las aguas grises) se pueden distinguir cuatro etapas principales que comprenden procesos químicos, físicos y biológicos:

1. Tratamiento preliminar: destinado a la eliminación de residuos fácilmente separables y en algunos casos un proceso de pre-aireación.
2. Tratamiento primario: que comprende procesos de sedimentación y tamizado.
3. Tratamiento secundario: que comprende procesos biológicos aerobios y anaerobios y físico-químicos (floculación) para reducir la mayor parte de la DBO_5 .
4. Tratamiento terciario o avanzado: que está dirigido a la reducción final de la DBO_5 , metales pesados y/o contaminantes químicos específicos y la eliminación de patógenos y parásitos.

(Metcalf y Eddy, 1996).

1.4. Tratamientos de aguas residuales a nivel domiciliario

El tratamiento de aguas residuales a nivel domiciliario obedece a los mismos principios que las grandes plantas depuradoras. Es posible mejorar la eficiencia de las aguas tratadas si se observan algunos principios básicos tales como la separación de las aguas grises y negras, el consumo racional y limitado de detergentes y la exclusión de productos químicos agresivos en la limpieza cotidiana.

1.5. Unidades de tratamiento de baja tecnología para aguas grises domésticas

1.5.1. Unidades de pre-tratamiento

Gran cantidad de aceite y grasa, polvo (partículas restantes de comida, huesos de pescado, arena, grava, etc.) y sólidos suspendidos, pueden ocasionar problemas al tratamiento de las aguas residuales.

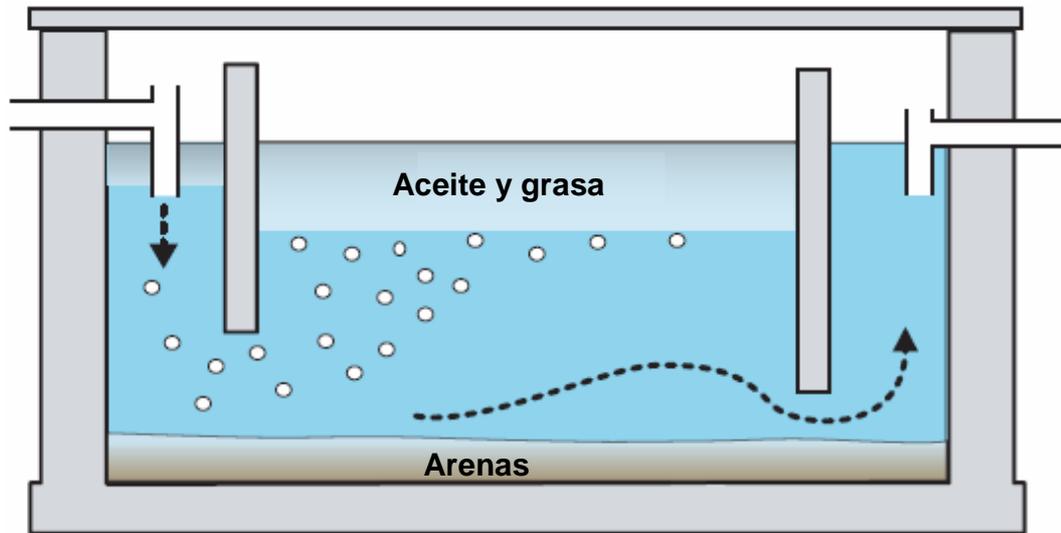
El objetivo del pre-tratamiento es la remoción de sólidos gruesos, sólidos sedimentables y suspendidos, aceites y grasas y partes de la materia orgánica. Sin embargo, las partículas disueltas y las coloidales se mantienen en el sistema.

El pre-tratamiento es caracterizado por los mecanismos de remoción de contaminantes físicos (por medio de pantallas, sedimentación, flotación y filtración).

1.5.1.1 Trampa de grasas

Las trampas de grasas son utilizadas típicamente como unidades de pre-tratamiento en los sistemas de infiltración de aguas grises o en los de irrigación. Son aplicadas a menudo como un paso preliminar de tratamiento para efluentes específicos de agua con altos contenidos de aceite o grasa (como por ejemplo aguas grises de cocinas o restaurantes, previo al paso del tratamiento principal). Las trampas de grasas solas son aplicadas frecuentemente a las aguas grises domésticas. (Tchobanoglous, 1991; INWRDAM, 2003; Von Sperling and Chernicharo, 2005). El período de retención mínimo se estima de 15 a 30 minutos (Crites y Tchobanoglous, 1998).

Figura 2. Sección longitudinal de una trampa de grasas típica

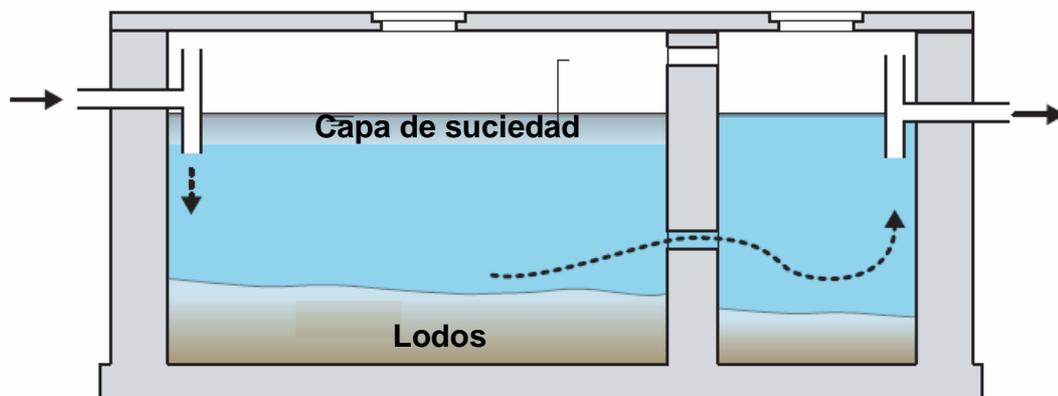


Fuente: Instituto Federal Suizo de Ciencia y Tecnología Acuática; Reporte 14/06 'Manejo de aguas grises en países en vías de desarrollo', 2006

1.5.1.2 Tanques de sedimentación (tanques sépticos)

El tanque séptico es el más común en el mundo como tratamiento a pequeña escala. (Harindra Corea, 2001). Más de 17,000,000 de casas en Estados Unidos dependen de un tanque séptico. El tanque séptico consiste en uno o dos compartimientos. Los tanques sépticos pueden usarse como pre-tratamiento cuando son acompañados posteriormente de unidades principales de tratamiento (filtros, humedales, etc.), en tal caso, el tanque séptico únicamente tendrá como función la remoción de sólidos. Los tanques sépticos también pueden ser utilizados como tratamiento primario para aguas grises; para este fin, los tanques deben diseñarse de tal manera que cumplan además del proceso de remoción de sólidos, con el proceso de descomposición (generalmente de forma anaerobia).

Figura 3. Sección longitudinal de un tanque séptico típico de dos compartimientos



Fuente: Instituto Federal Suizo de Ciencia y Tecnología Acuática; Reporte 14/06 'Manejo de aguas grises en países en vías de desarrollo', 2006

1.5.1.3 Lagunas

Las lagunas no son recomendables como pre-tratamiento para aguas grises de viviendas individuales pues pueden crear malos olores y ser focos de mosquitos. (Mara, 1997, Mara and Pearson, 1998; Ridderstolpe, 2004)

1.5.2. Unidades de tratamientos principal para aguas grises de origen doméstico

El principal objetivo de estas unidades es retirar la materia orgánica, reducción de patógenos y reducción de las cargas de nutrientes existentes en las aguas grises. (Von Sperling and Chernicharo, 2005). La descomposición microbiana de la materia orgánica puede tener lugar bajo condiciones aeróbicas o anaeróbicas. La mayoría de los tratamientos aeróbicos y anaeróbicos, está basada en el principio de las bio-películas.

1.5.2.1 Filtración anaeróbica

Tratamiento ampliamente utilizado para aguas grises domésticas. Han sido utilizadas exitosamente después de una trampa de grasa o un tanque séptico, en países como Palestina, Jordania o Sri Lanka. (Harindra Corea, 2001)

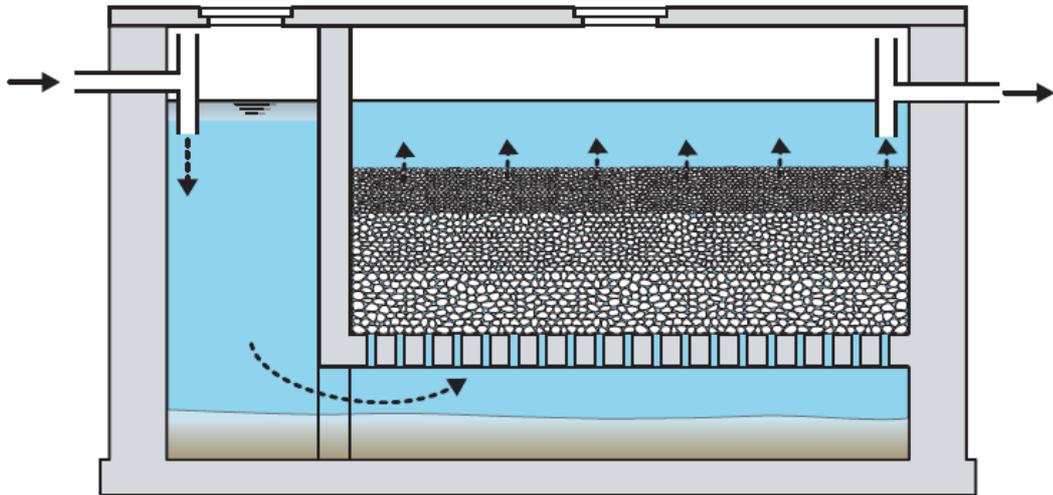
El filtro anaeróbico es un sistema de tratamiento de bio-película que remueve los sólidos disueltos y los no sedimentables. Comprende un tanque de agua que contiene varias capas de filtros sumergidas, las cuales proveen área de superficie de contacto para que las bacterias se sedimenten.

Debido a que el flujo es de abajo hacia arriba, usualmente se requiere un tanque séptico previo que elimine los sólidos grandes, antes que el flujo atraviese el filtro anaeróbico.

Las rocas, grava, carbón o formas específicas de plástico son utilizada como medio de filtración. Los filtros anaeróbicos producen gases inflamables (metano) y olores nauseabundos que necesitan ser controlados y evacuados.

Se recomienda construir los filtros bajo la superficie, para protegerlos del clima. Se debe dejar espacio suficiente para la limpieza de los filtros.

Figura 4. Sección longitudinal de un filtro anaeróbico típico



Fuente: Instituto Federal Suizo de Ciencia y Tecnología Acuática; Reporte 14/06 'Manejo de aguas grises en países en vías de desarrollo', 2006

1.5.2.2 Filtros verticales y horizontales

Los filtros verticales consisten en un flujo vertical, en el cual el agua es aplicada en forma intermitente y equitativa en la superficie del filtro. Para mejorar la eficiencia del tratamiento de los filtros verticales, se pueden plantar macroplantas (plantas de crecimiento específico para el medio). La zona de las raíces de las plantas es un hábitat favorable tanto para el crecimiento bacteriano como para la degradación de la materia. Los filtros horizontales difieren de los verticales en que estos están permanentemente remojados y pueden operar de forma aeróbica o anaeróbica. Los filtros de plantas se han vuelto más populares en el mundo como tratamiento para aguas residuales de origen doméstico, incluyendo las aguas grises. Los primeros filtros de plantas fueron utilizados en Europa del Este, en la década de 1960.

Actualmente son utilizados para cualquier tipo de líquido residual. Han sido utilizados satisfactoriamente en países en vías de desarrollo, incluyendo Asia

tropical, África, Nepal y Latinoamérica. Los filtros con plantas a menudo son utilizados como un flujo sub-superficial, para construir humedales, camas de carrizo, filtros hidropónicos de cama de piedra, camas de vegetales sumergidos y humedales artificiales.

1.5.2.3 Filtros de cama vertical (cama de percolación sin plantación)

También son conocidos como filtros biológicos, camas de percolación, camas de infiltración o filtros intermitentes de arena. Son aplicados frecuente y exitosamente como tratamiento principal de aguas grises domésticas a través del mundo, incluso en regiones con fríos inviernos, como Canadá, Alemania, Suiza, Noruega o Suecia. La estructura básica consta de una caja llena con material filtrante. El agua gris es aplicada en la parte superior y se percola a través de una zona no saturada del material. El agua es aplicada intermitente y equitativamente sobre la superficie del filtro por un sistema de distribución de presión (bomba eléctrica o sifón mecánico). (Gustafson, 2002; Ridderstolpe, 2004; Sasse, 1998).

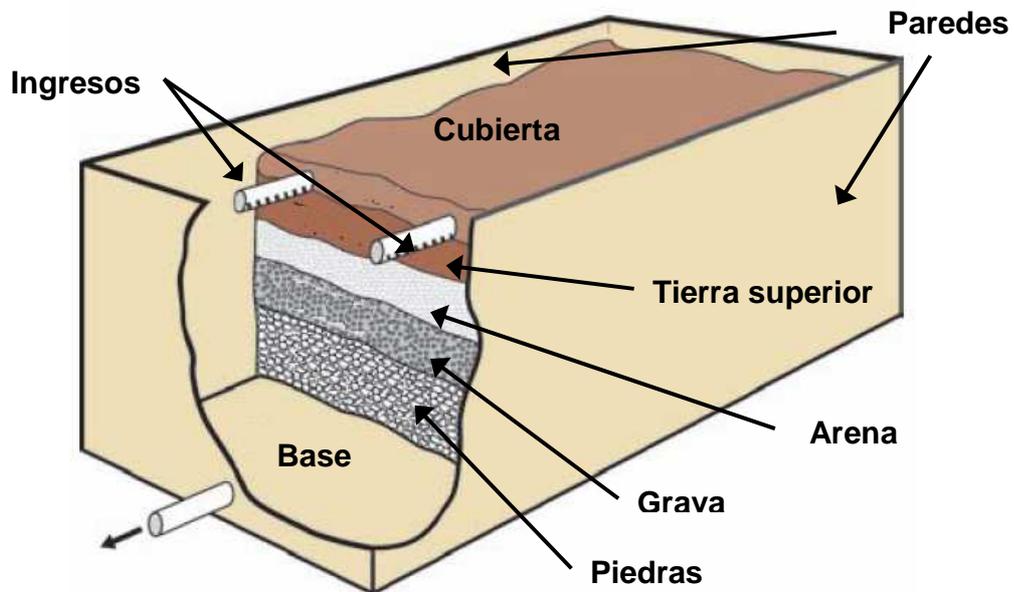
Los sólidos suspendidos son removidos por filtración mecánica y sedimentación. La materia orgánica y los nutrientes en el agua gris permiten que los microorganismos crezcan y se reproduzcan, la materia orgánica es mineralizada y los nutrientes son parcialmente removidos. La absorción química de los contaminantes sobre la superficie del medio filtrante también juega un rol en la remoción de algunos constituyentes químicos. Materiales resistentes como la grava pequeña, plástico o vidrio quebrado, pueden ser aplicados como medio filtrante. La arena es el material utilizado más ampliamente. (Gustafson, 2002; Ridderstolpe, 2004; Sasse, 1998).

Una combinación de diferentes materiales filtrantes (arena, grava, piedra, vidrio quebrado, plásticos, etc.) también puede ser aplicada. Los filtros pueden construirse con o sin cobertura. (Sasse, 1998; EPA 2004).

La obstrucción de la(s) cama(s) de los filtros es el mayor riesgo para su funcionamiento. El pre-tratamiento de las aguas grises previo a los filtros es esencial para la remoción de partículas largas, aceites y grasas. De este modo se evitan problemas de operación del filtro. La distribución uniforme de las aguas grises sobre la superficie del filtro es esencial y puede usarse una red de tuberías perforadas o sistemas de aspersores.

La recirculación en los sistemas de filtros es muy importante para la remoción eficiente de nitrógeno, sin embargo la complejidad de un sistema de este tipo lo hace inapropiado para las viviendas de los países en vías de desarrollo.

Figura 5. Cámara de percolación de múltiples capas



Fuente: Instituto Federal Suizo de Ciencia y Tecnología Acuática; Reporte 14/06 'Manejo de aguas grises en países en vías de desarrollo', 2006

1.5.2.4 Filtros de plantas de flujo horizontal (humedales)

Consisten en una cama lineal con material impermeable (típicamente arcilla sólida, concreto o plástico) y llenado con arena o grava. Alternativamente, se puede rellenar con material como PET. En la parte superior se deja una capa de tierra de 5 a 10 centímetros para facilitar el crecimiento de plantas.

El agua gris entra en la cama del filtro a través de una zona que carece de vegetación. La línea del agua pasa por debajo de la superficie del filtro y es controlada por un dispositivo simple localizado generalmente fuera de la superficie del filtro, 10 o 15 centímetros por debajo de la superficie del mismo.

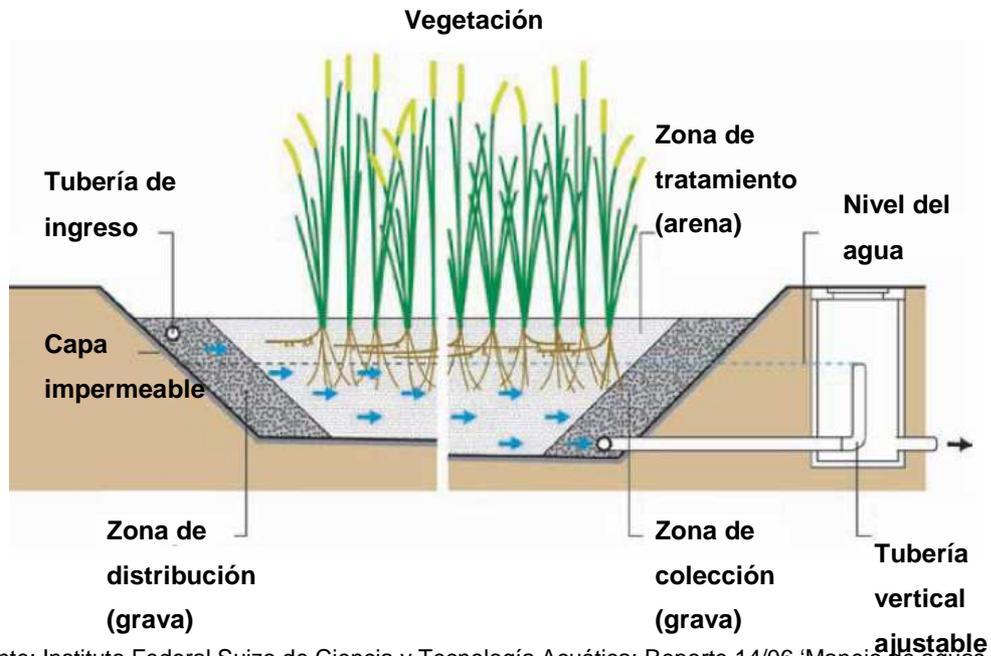
La parte superior del filtro se mantiene a nivel para evitar erosión, pero la parte inferior debe tener preferiblemente una pendiente de 0.50% a 1.00% (de adentro hacia fuera). El tamaño de la granulometría del filtro debe permitir el flujo continuo del agua gris sin obstruir la eficiencia del tratamiento.

Una granulometría uniforme de 20 a 30 milímetros es considerada óptima (EPA, 2004). Las propiedades de la capa superior del filtro deberán incluir la consideración del pH y la conductividad eléctrica.

La carga hidráulica típica de aguas grises para estos filtros deberá considerarse de 3 a 7 días. (Crites y Tchobanoglous, 1998; Dallas and Ho, 2005; IAWQ, 2000; Kadlec and Knight, 1996; Ridderstolpe, 2004; Sasse, 1998)

Los filtros horizontales plantados son muy eficientes en la remoción de materia orgánica y sólidos suspendidos.

Figura 6. Esquema de un filtro de plantas de flujo horizontal (humedal)



Fuente: Instituto Federal Suizo de Ciencia y Tecnología Acuática; Reporte 14/06 'Manejo de aguas grises en países en vías de desarrollo', 2006

Figura 7. Foto de un filtro de plantas de flujo horizontal (humedal), para el tratamiento de aguas grises domésticas en Tepoztlán, México

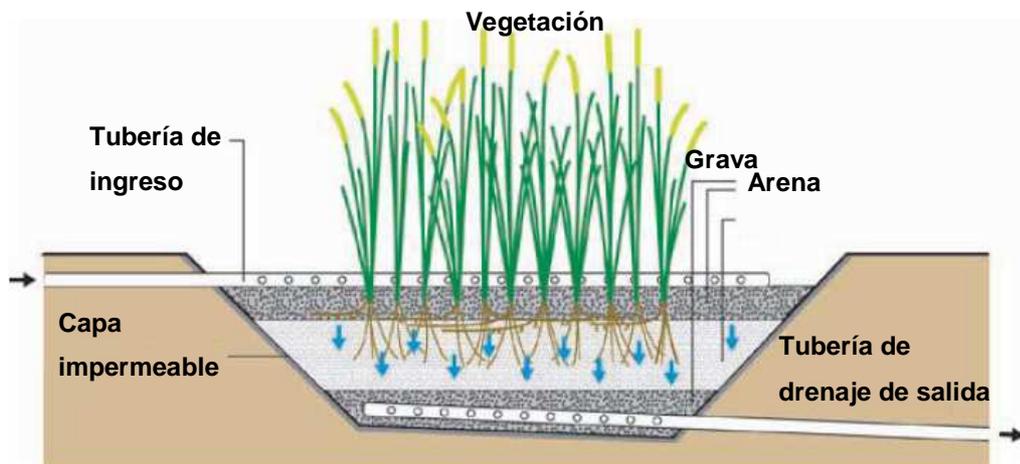


Fuente: Instituto Federal Suizo de Ciencia y Tecnología Acuática; Reporte 14/06 'Manejo de aguas grises en países en vías de desarrollo', 2006

1.5.2.5 Filtros de plantas de flujo vertical (humedales)

Los filtros plantados de flujo vertical trabajan en forma similar a los de flujo horizontal. El diseño de estos filtros depende de las cargas hidráulicas y orgánicas. Han sido aplicados en Estados Unidos, Europa, Israel y algunos casos en Nepal y Sri Lanka. (Kadlec and Knight, 1996; Harindra Corea, 2001; IAWQ, 2000; Sasse, 1998; Shrestha, 1999; Gross, 2006)

Figura 8. Esquema de un filtro de plantas de flujo vertical (humedal)



Fuente: Instituto Federal Suizo de Ciencia y Tecnología Acuática; Reporte 14/06 'Manejo de aguas grises en países en vías de desarrollo', 2006

1.5.2.6 Sistema de lagunas

La mayoría de tratamientos utilizados en el mundo para las aguas grises, se basa en el uso de las bio-películas. Otros menos populares son utilizados pero aún no han sido bien documentados. Los tratamientos de lagunas para aguas residuales completas (desde tratamiento primario hasta terciario), han sido utilizados exitosamente en Europa, Sur-Asia y África.

El tratamiento completo comprende una serie de lagunas artificiales, cada una con una función específica. (Sasse, 1998).

El sistema de lagunas debe ser considerado para gran escala (por ejemplo un condominio), donde la operación y mantenimiento pueda ser proporcionada por personal capacitado. (Mara, 2003)

Figura 9. Foto de un parque de lagunas en Skane, Suecia



Fuente: Instituto Federal Suizo de Ciencia y Tecnología Acuática; Reporte 14/06 'Manejo de aguas grises en países en vías de desarrollo', 2006

1.6. Sistemas de alta tecnología para aguas grises domésticas

Compactos y relativamente fáciles de conseguir, los sistemas de tratamiento doméstico para aguas grises se han incrementado. Los sistemas existentes en el mercado comprenden contactores biológicos rotatorios y membranas de filtración, tales como: ultra filtración, nano filtración y ósmosis inversa. Estos sistemas son técnicamente complejos, caros (comparados con los sistemas de baja tecnología), y requieren habilidades de trabajo especiales para su instalación y mantenimiento. Los sistemas de alta tecnología para el tratamiento de aguas grises aún no se recomiendan para países en vías de desarrollo.

1.7. Esquemas de sistemas de tratamiento propuestos, para aguas grises de origen doméstico

Los sistemas de tratamiento para aguas grises de origen doméstico pueden tener variables en sus consideraciones para su construcción, diseño, materiales y unidades a utilizar, dependiendo del lugar de instalación, clima, área disponible, caudal a tratar, uso final, etc. Las anteriores variables han sido tomadas en cuenta en estudios previos (por ejemplo los del Instituto Federal Suizo de Ciencia y Tecnología Acuática y la Institución Tierra Amor) así como en las unidades de pre-tratamiento y tratamiento para aguas grises mencionadas en el presente capítulo. Asimismo, las distintas unidades de tratamiento pueden brindar diversidad de combinaciones para el tratamiento de las aguas grises; por tal razón, un mismo caso específico de tratamiento puede tener más de una alternativa.

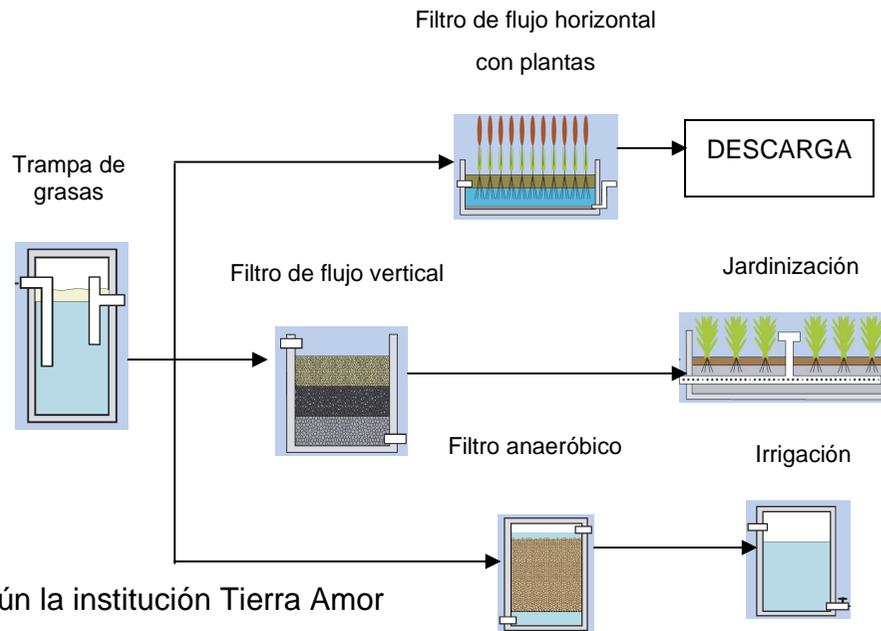
Sin embargo dentro de las propuestas establecidas por distintos autores, se puede identificar tres pasos o procesos principales:

- Pre-tratamiento (separación de sólidos)
- Tratamiento principal (unidad que brindará el proceso para el mejoramiento de las características de las aguas grises)
- Descarga o reutilización

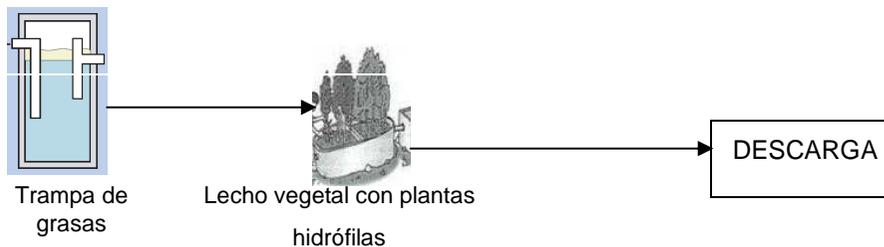
Para el presente estudio, se han considerado únicamente los procesos de tratamiento que pudieran ser aplicados a nuestro medio (siguiendo el concepto de fácil aplicación, mano de obra no calificada, materiales de fácil adquisición, etc.). Dichos procesos y sus eficiencias (teóricas) para algunos parámetros principales se presentan a continuación:

Figura 10. Secuencias de distintos tratamientos propuestos para aguas grises de origen doméstico

A) Según el Instituto Federal Suizo de Ciencia y Tecnología Acuática



B) Según la institución Tierra Amor



Porcentajes de eficiencia máximos (teóricos) de los procesos			
DBO ₅	Nitrógeno	Fósforo	Sólidos suspendidos
99	95	84	Sin datos
Sin datos	Sin datos	Sin datos	Sin datos
70 a 89	Sin datos	Sin datos	51 a 85
Sin datos	Sin datos	Sin datos	Sin datos

2. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

2.1 Definición del modelo del sistema de tratamiento a construir para el tratamiento de aguas grises de origen doméstico

Utilizando como base las propuestas de investigaciones previas para el tratamiento de las aguas grises, expuestas en el inciso 1.7, del capítulo 1 del presente estudio, se procedió a la modificación de los filtros de investigaciones previas (como las del Instituto Federal Suizo de Ciencia y Tecnología Acuática y la Institución Tierra Amor), buscando que los mismos puedan aplicarse en nuestro medio. Las modificaciones principales fueron:

- No se utilizó ningún tipo de energía artificial para el funcionamiento de los filtros
- Se utilizó como material filtrante piedra pómez en el filtro 1 y carbón común en el filtro 2.
- La tubería de distribución de caudal está expuesta
- Para el ingreso de aire en la parte inferior de los filtros, se utilizó un tubería lateral

También se hicieron adaptaciones, entre ellas:

- La estructura de los filtros se realizó con recipientes plásticos de cinco galones
- Posterior a la filtración biológica se instaló una filtración con plantas acuáticas (de flujo ascendente)

Asimismo, se buscó que las unidades propuestas para el tratamiento de las aguas grises de origen doméstico, puedan ser construidas con materiales de fácil acceso, a un bajo costo y que no requieran de mano de obra especializada para su instalación.

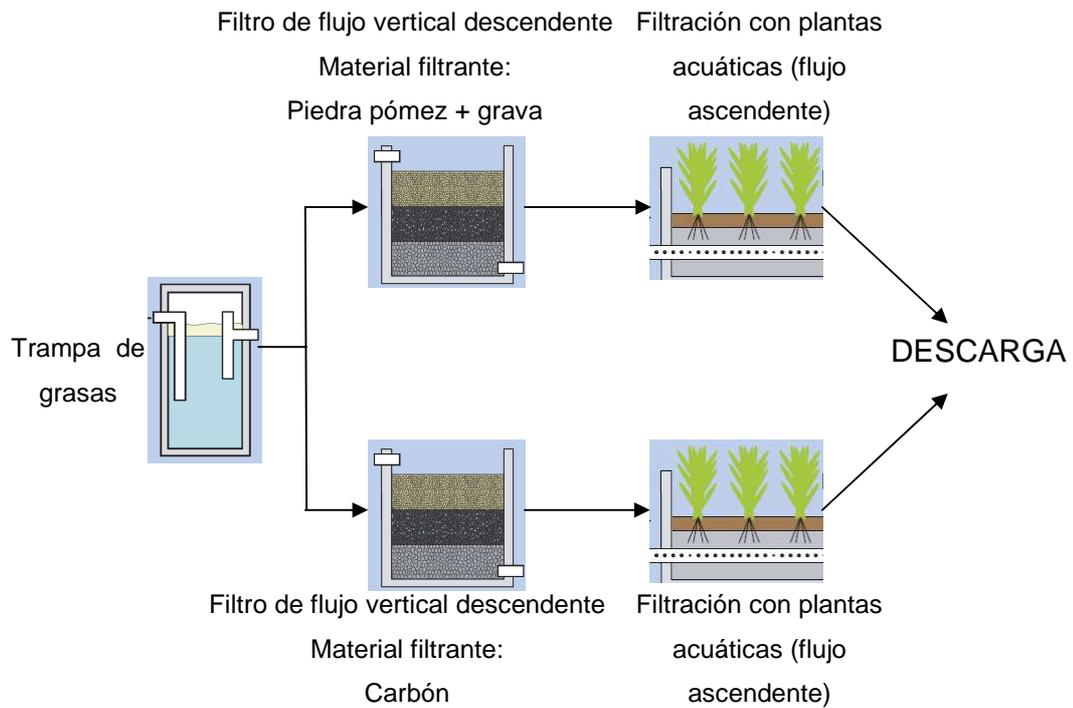
También se pretende que las actividades de operación y mantenimiento sean sencillas y prácticas.

Siguiendo los pasos básicos propuestos por los estudios previos (pre-tratamiento, tratamiento principal y descarga), se determinó la utilización de las siguientes unidades:

- Pre-tratamiento: trampa de grasas para la retención de sólidos que puedan interferir con el proceso o taponar los filtros.
- Tratamiento principal: filtro de flujo vertical, que proporcionará el tratamiento biológico (bio-película) para el mejoramiento de las características de las aguas grises.
- Descarga o reutilización: filtración con plantas hidrófilas (filtro de flujo ascendente), en búsqueda de la reducción de nutrientes.

Para el presente estudio se construyeron dos procesos de tratamiento para las aguas grises, los cuales utilizaron un mismo sistema de tratamiento en cuanto a unidades y proceso (trampa de grasas, filtro biológico y filtración con plantas), y su única variante significativa radica en el material filtrante utilizado en los filtros; el primero utilizó piedra pómez y grava y el segundo carbón.

Figura 11. Proceso propuesto para el tratamiento de aguas grises de origen doméstico y las unidades utilizadas



Fuente: Trabajo de campo

Las eficiencias de los sistemas propuestos en el presente estudio para el mejoramiento de las características de las aguas grises, aún no han sido establecidas (aunque algunos otros sistemas sí, tal como se observa en la figura 10, del capítulo 1 del presente estudio). El presente estudio analizó las eficiencias de los tratamientos propuestos (mediante análisis de laboratorio en relación entrada-salida, los cuales se detallan en el capítulo 3 y 4 del presente estudio).

Siguiendo el concepto de la construcción práctica, las cajas para la trampa de grasas, filtros verticales y filtros acuáticos, fueron construidas con botes plásticos de cinco galones.

2.2 Definición de parámetros de análisis

El valor teórico de la relación DBO_5/DQO (según los datos de la Tabla II, en el capítulo 1 del presente estudio) es de 0.946, (valor obtenido en el inciso 1.2.5, capítulo 1, de esta investigación).

Dicho valor es mayor a 0.60 (límite mínimo para la aplicación de un tratamiento biológico), y por lo tanto se eligió la aplicación de un tratamiento biológico pues se consideró que existe mayoría de materia biodegradable.

De lo anterior, se decidió tomar como parámetros principales característicos para el control y determinación de eficiencia del presente estudio, la DBO_5 y DQO , referentes a la materia orgánica.

Como complemento del presente estudio se midieron Nitritos, Nitratos y Fosfatos (nutrientes), pH, color y turbiedad.

2.2.1 DBO_5

La demanda biológica de oxígeno, es un parámetro que mide la cantidad de materia susceptible de ser consumida u oxidada por medios biológicos que contiene una muestra líquida, y se utiliza para determinar su grado de contaminación. El método se basa en medir el oxígeno consumido por una población microbiana en condiciones en las que se han inhibido los procesos fotosintéticos de producción de oxígeno en condiciones que favorecen el desarrollo de los microorganismos. Normalmente se mide transcurridos 5 días (DBO_5) y se expresa en mg/litro.

Es un método aplicable en aguas superficiales continentales (ríos, lagos, acuíferos, etc.), aguas residuales o cualquier agua que pueda contener una cantidad apreciable de materia orgánica. No es aplicable para las aguas potables debido al valor tan bajo que se obtendría. El método mide la concentración de los contaminantes orgánicos. Sin embargo, puede haber interferencias debido a que haya sustancias inorgánicas susceptibles de ser oxidadas también por las bacterias en disolución. Para evitar este hecho se añade N-nitroprusiato como inhibidor. (www.es.wikipedia.org/wiki/DBO, 2010)

2.2.2 DQO

La demanda química de oxígeno (DQO) es un parámetro que mide la cantidad de materia orgánica susceptible de ser oxidada por medios químicos que hay en una muestra líquida. Se utiliza para medir el grado de contaminación y se expresa en mg/litro.

Es un método aplicable en aguas continentales (ríos, lagos, acuíferos, etc.), aguas residuales o cualquier agua que pueda contener una cantidad apreciable de materia orgánica. No es aplicable para las aguas potables debido al valor tan bajo que se obtendría. El método mide la concentración de materia orgánica. Sin embargo, puede haber interferencias debido a que haya sustancias inorgánicas susceptibles de ser oxidadas (sulfuros, sulfitos, yoduros, etc.). (es.wikipedia.org/wiki/DQO, 2010)

2.3 Enfoque de la investigación

La investigación realizada fue de tipo exploratoria, ya que se buscó determinar el rendimiento de distintos filtros y así proponer alternativas para el tratamiento de aguas grises de origen doméstico, a partir de estudios y análisis

cuantitativos del funcionamiento de cada filtro propuesto, que permiten hacer una comparación de su rendimiento (eficiencia), tanto del mejoramiento de las características de las aguas grises de origen doméstico (porcentaje según relación entrada – salida), y a la vez poder comparar las eficiencias entre ellos.

2.4 Diseño de la investigación

Se tuvo un diseño de la investigación de tipo experimental, ya que se obtuvieron resultados a partir de los análisis del agua, en el efluente de los filtros (entrada y salida) de la vivienda seleccionada para la muestra, los cuales permitieron una comparación con los parámetros de las aguas grises.

2.5 Selección de la muestra

Se tomaron diversas muestras según los análisis que se realizaron a través de muestreos múltiples aleatorios, en cuanto a número e intervalos de tiempo, a fin medir las diferentes características de las aguas grises para verificar su grado de contaminación y los porcentajes de remoción (eficiencia).

2.6 Determinación del número de muestras a realizar

Con base en el método 1 060 B, de los métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales, se utilizaron las curvas de niveles de confianza establecidos a partir de la fórmula:

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

Donde:

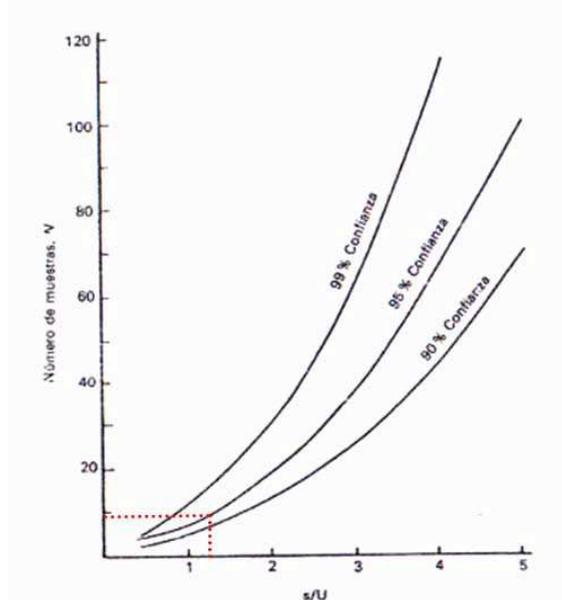
- N = Número de muestras
- t = t de Student para un nivel de confianza determinado
- s = Desviación estándar global
- U = Nivel de confianza aceptable

De los resultados experimentales se tiene que:

$$s = 0,020 \quad \text{y} \quad U = 0,015$$

Con dicho resultado, se procede, en la figura 12, a interpolar en las curvas respectivas para un nivel de confianza del 95.00%. Se obtuvo un número de muestras a tomar mayor o igual a 9.0. Para los fines del presente estudio, se seleccionaron diez muestras. Los análisis realizados fueron de tipo de muestra puntual y simple.

Figura 12. Curvas de niveles de confianza



2.7 Puntos de muestreo

Como ya se ha mencionado, el estudio buscó determinar la eficiencia de remoción de los filtros, por tanto se tomaron muestras en la entrada y en la salida de los mismos. Los puntos de muestreo se presentan con mayor detalle en el siguiente capítulo.

2.8 Recolección de datos

En la toma de muestras para los análisis de laboratorio, se utilizaron materiales e instrumentos adecuados (principalmente frascos de muestra) para el muestreo de las aguas grises. Estas fueron llevadas al Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria de la ERIS, Facultad de Ingeniería, de la Universidad de San Carlos de Guatemala, “Dra. Alba Tabarini”.

3. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE MODELOS DE FILTROS BIOLÓGICOS PARA TRATAMIENTO DE AGUAS GRISES DE ORIGEN DOMÉSTICO

El estudio se realizó en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales “Ing. Arturo Pazos”, que pertenece a la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria (ERIS), de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, ubicada en la colonia Aurora II, zona 13, ciudad de Guatemala.

Figura 13. Ubicación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales “Ing. Arturo Pazos”



Fuente: Google Heart.Ink

Para el presente estudio, el caudal analizado se derivó de la pila que presta servicio a la casa del guardián de la planta de tratamiento. Se analizó únicamente las aguas grises de una vivienda de 8 personas, y aunque el promedio para Guatemala se estima en 5 habitantes por vivienda (XI Censo Nacional de Población y VI de Habitación, INE 2002), dicha vivienda se puede considerar como típica.

La vivienda cuenta con los servicios de agua potable, drenaje sanitario y pluvial (con descarga a un colector central mixto) y energía eléctrica.

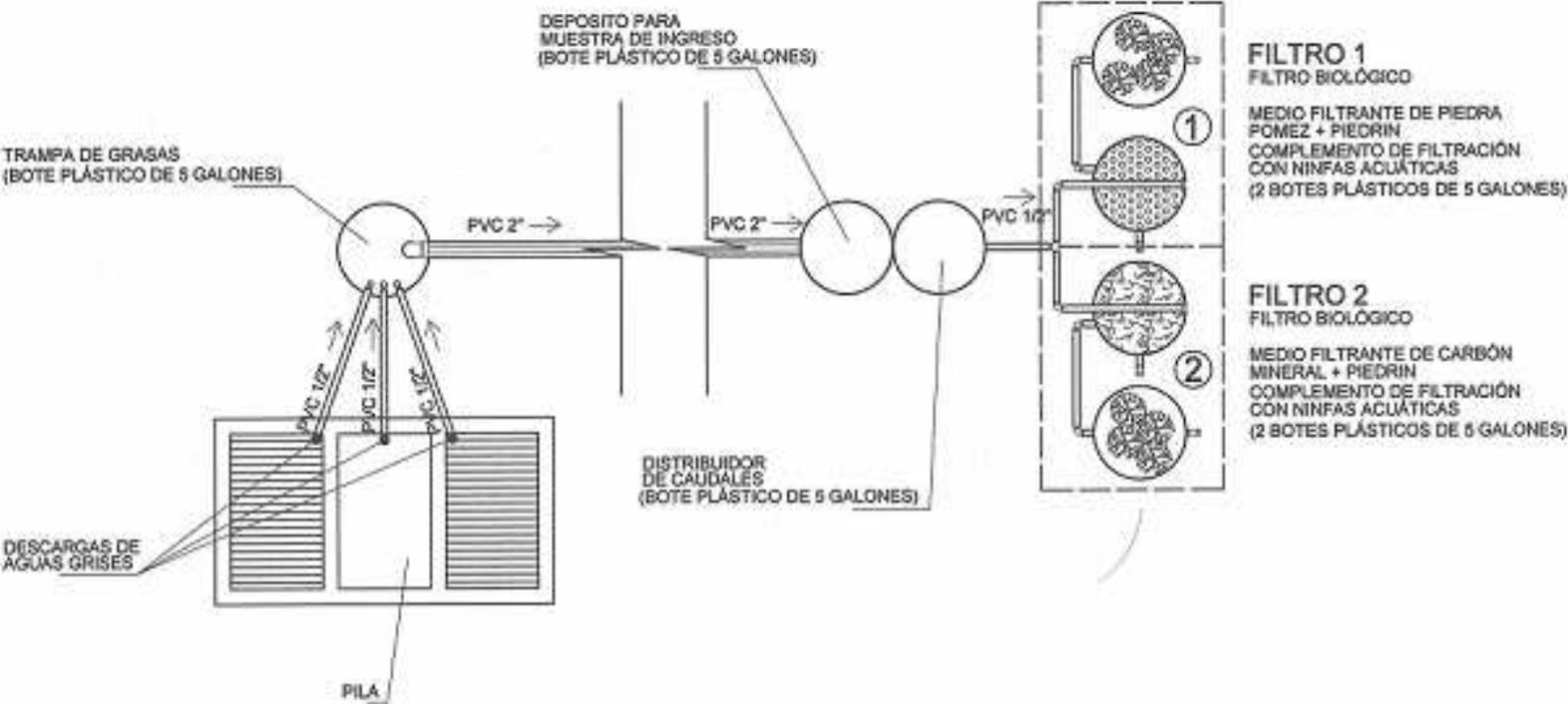
En relación con los drenajes sanitarios, la vivienda cuenta con un sanitario, una ducha, un lavamanos, una pila en el interior y otra en el exterior de la misma. La pila ubicada en la parte exterior fue la unidad para el análisis del presente estudio.

El volumen de agua del depósito de la pila es de 0.10 m^3 y se estima que se usan dos volúmenes diarios (en un día normal), con lo cual se tendría un caudal aproximado de $0.0083 \text{ m}^3/\text{hora}$ ($Q_{\text{medio diario}}$). Dicho caudal está dividido en dos unidades de tratamiento, por lo que se tiene un caudal teórico $0.00415 \text{ m}^3/\text{hora}$ para cada unidad.

El caudal instantáneo se determina como el consumo de dos recipientes de agua por segundo (una por cada brazo de la pila), El volumen de dicho recipiente es de aproximadamente 0.003 m^3 de agua, con lo cual se tiene $0.0062 \text{ m}^3/\text{s}$ dividido en dos unidades, se obtiene $Q_{\text{instantáneo}} 0.003 \text{ m}^3/\text{s}$ para cada unidad.

El diagrama del sistema de tratamiento utilizado y sus unidades para ambas opciones, se presenta en la siguiente figura:

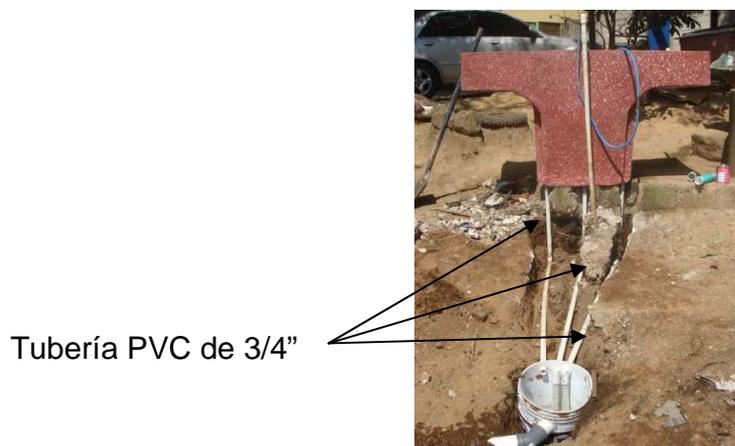
Figura 14. Croquis del conjunto de los sistemas de tratamiento propuestos para aguas grises de origen doméstico



31

Fuente: Trabajo de campo

Figura 15. Unidad para análisis (pila) y sus descargas



Fuente: Trabajo de campo

La tubería de PVC de $\frac{3}{4}$ " instalada, que se indica en las descargas de la pila, trabaja únicamente como conducción de dichas descargas hacia la trampa de grasas. Se utilizó un diámetro de $\frac{3}{4}$ " porque fue el que mejor se adaptó al área de las descargas existentes en la pila. La conducción se hizo en forma individual (una por descarga) para poder operar más eficientemente el sistema, de manera que si una descarga sufre problemas, la pila pueda seguir trabajando mientras se hacen las correcciones necesarias. Cada ingreso a la trampa de grasas se realizó en forma individual.

3.1 Diseño y construcción de obras complementarias (pre-tratamiento y unidades de muestreo) para un sistema de tratamiento de aguas grises de origen doméstico

Para el tratamiento de cualquier tipo de agua residual, se hace necesaria la utilización de unidades adicionales (antes del tratamiento propuesto), las cuales buscan separar los cuerpos presentes en el agua residual que puedan intervenir

en el adecuado tratamiento de las aguas residuales (en este caso aguas grises).

3.1.1 Trampa de grasas

Se le denomina con este nombre a la unidad que busca separar las grasas presentes en las aguas residuales (derivadas de la preparación de alimentos, limpieza, etc.).

Algunos requisitos importantes para tomar en cuenta en el diseño y la construcción de trampas de grasas son:

- Deberán ubicarse próximas a los aparatos sanitarios que descarguen desechos grasosos, y por ningún motivo deberán ingresar aguas residuales provenientes de los servicios higiénicos.
- Deberán proyectarse de modo que sean fácilmente accesibles para su limpieza y eliminación o extracción de las grasas acumuladas.
- Deberán ubicarse en lugares cercanos en donde se preparan alimentos.
- Pueden ser construidas de distintos materiales, de forma rectangular o circular.

(OPS/CEPIS, 2003)

Para el presente estudio, las trampa de grasas se construyeron con un bote plástico de cinco galones (siguiendo el concepto de la construcción fácil, rápida y económica).

Figura 16. Diseño y construcción de la trampa de grasas para el tratamiento de aguas grises



Fuente: Trabajo de campo

La salida de la trampa de grasas hacia el tratamiento de filtros se instaló en PVC de 2", debido a que se consideró que únicamente se conducirían líquidos (aguas grises) y no materiales sólidos (heces u otros). La tubería de PVC de 2" cumple adecuadamente con la conducción del caudal del efluente producido por la pila y permite la limpieza de posibles obstrucciones en el sistema.

3.1.2 Testigo y distribuidor de caudales

Para determinar la eficiencia del tratamiento propuesto, es necesario conocer las características de las aguas grises antes del tratamiento. Para este propósito se dejó previsto un recipiente para toma de muestras de ingreso, al cual se le llamará 'Testigo', y a la vez se instaló otro recipiente para que distribuya caudales iguales hacia los dos filtros propuestos, al mismo se le llamará 'Distribuidor de caudales'.

Figura 17. Diseño y construcción del testigo y del distribuidor de caudales

DISTRIBUIDOR:
1 bote plástico de 5 galones, protegido en la base con grava de ½" y en la salida con cedazo para detener sólidos



TESTIGO:
1 bote plástico de 5 galones

Fuente: Trabajo de campo

3.2 Diseño y construcción de un filtro biológico para aguas grises de origen doméstico que utiliza como medio filtrante piedra pómez y grava, complementado con filtración de plantas acuáticas (ninfas acuáticas)

Los filtros se diseñaron y construyeron con el concepto de los filtros biológicos; los mismos son las unidades que proporcionan el tratamiento principal para las aguas grises. Para el presente estudio, se utilizó un filtro que trabaja por riego en la parte superior (distribución del caudal) y que tiene un flujo descendente.

Según los cálculos estimados (descritos al inicio del presente capítulo), se estima en resumen que cada filtro (son dos unidades diferentes), brinda tratamiento a un volumen aproximado de 0.10 m³ de aguas grises al día.

Los valores teóricos promedio de las características principales (DBO₅ y DQO) de análisis para el presente estudio son:

Tabla III. Características de aguas residuales municipales

	Mínimo	Máximo	Promedio
DBO ₅ (mg/l)	219	301	260
DQO (mg/l)	364	430	397

Fuente: CEPIS, Proyecto de Desarrollo Tecnológico de las Instituciones de Abastecimiento de Agua Potable y Alcantarillado. 'Parámetros y características de las aguas residuales'

Utilizando el volumen aproximado de aguas grises que serán tratadas por cada filtro (0.10 m³) y el valor promedio de las cargas biológicas según la tabla anterior, se obtuvieron los siguientes valores:

Para la DBO₅:

$$\begin{aligned} \text{Carga } DBQ_{\text{estimada}} &= 0.10 \text{ m}^3 \times 1,000 \text{ litros} \times 260 \text{ mg/l} = 26,000 \text{ mg } DBQ / \text{día} \\ &= 26 \text{ g } DBO_5 / \text{día} \end{aligned}$$

Para la DQO:

$$\begin{aligned} \text{Carga } DQO_{\text{estimada}} &= 0.10 \text{ m}^3 \times 1,000 \text{ litros} \times 397 \text{ mg/l} = 39,700 \text{ mg } DQO / \text{día} \\ &= 39.70 \text{ g } DBO_5 / \text{día} \end{aligned}$$

Si se toma en cuenta que las aguas a tratar son únicamente aguas grises (sin heces y orina), la carga DBO₅ y DQO podría ser menor; aunque los valores no son fijos sino que se ubican dentro de un rango estimado.

El volumen aproximado de un bote de cinco galones es de 0.02 m³.

Según la carga biológica que será tratada en relación con el volumen, los filtros biológicos pueden catalogarse como:

Tabla IV. Tipos de filtros biológicos según la carga biológica recibida

	Carga en g de DBO ₅ /día/ m ³
Filtros convencionales o de baja tasa	100 a 300
Filtros de tasa intermedia	240 a 480
Filtros de tasa alta	500 a 1,000
Filtros de tasa súper alta	800 a 1,600

Fuente: Guillermo Valencia Montoya. 'Filtros Biológicos', 1976

Para el presente estudio, se obtuvo un valor teórico para cada filtro de 1,220 g de DBO₅/día/ m³.

El aumento de las cargas puede ocasionar gran crecimiento biológico, el cual puede obstruir el flujo de las aguas tratadas (aguas grises); por tal motivo se instalaron medios filtrantes de gran diámetro que puedan tener espacio suficiente entre sus unidades para evitar la obstrucción de los filtros (no se utilizó ningún tipo de arena o material de granulometría pequeña). Dentro de esas consideraciones, en la base de cada filtro se utilizó piedra bola, la cual permite aún más espacios y evitará que los filtros se tapen o rebalsen, dichas piedras a la vez forman parte del medio filtrante, pues también pueden presentar crecimiento de bio-películas.

Por aparte, el estudio analizó los resultados obtenidos mediante los medios filtrantes tales como piedra pómez y carbón mineral. No se utilizó recirculación ni componentes mecánicos, sino que se buscó analizar la eficiencia de los filtros propuestos, mediante una única filtración de forma directa.

Aunque el volumen de los filtros puede adaptarse para reducir los gramos de $\text{DBO}_5/\text{día}/\text{m}^3$ (y que así los filtros puedan considerarse en los renglones de baja tasa o tasa intermedia, según la tabla IV), para el presente estudio se optó por la utilización de volúmenes existentes de recipientes que puedan reutilizarse (específicamente botes plásticos con capacidad de cinco galones).

Mediante esta aplicación se busca determinar la eficiencia de filtros de pequeños volúmenes para tratamiento de las aguas grises de viviendas individuales, así como la de utilizar medios filtrantes distintos que pueden encontrarse en nuestro medio (piedra pómez y carbón). A su vez, la utilización de volúmenes existentes brinda la opción de reutilizar materiales y disminuir el tiempo y costo de la construcción e instalación de los filtros.

En el caso de los nutrientes, el aumento de las cargas en relación con el volumen del filtro, disminuye el proceso de nitrificación (Guillermo Valencia Montoya, 1976).

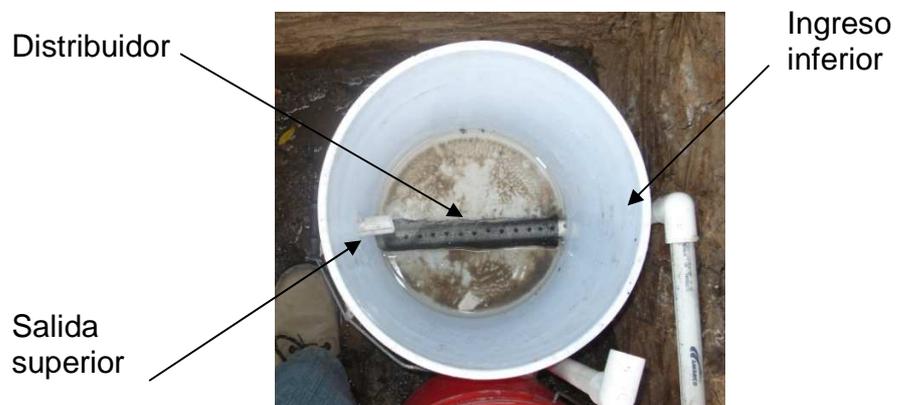
Por tal motivo, se propuso un tratamiento complementario para las aguas grises mediante un filtro con plantas acuáticas, con el cual se busca el mejoramiento de las características relacionadas con los nutrientes existentes en las aguas grises (principalmente nitrógeno y fósforo). Dicho filtro se diseñó y construyó con las mismas características que las de los filtros biológicos descritos anteriormente (volumen y materiales), su flujo es ascendente (entrada inferior y salida superior) y mantiene una cama de agua en contacto con las plantas. El tiempo de contacto con el agua a tratar variará dependiendo del reposo que esta pueda tener entre los intervalos de uso.

Figura 18. Diseño y construcción un filtro típico para el tratamiento de aguas grises de origen doméstico



Fuente: Trabajo de campo

Figura 19. Diseño y construcción filtración típica con plantas acuáticas



Fuente: Trabajo de campo

La construcción de la estructura del filtro y del complemento con plantas acuáticas es típica para los dos filtros propuestos; la única variante es el medio filtrante.

Figura 20. Medio filtrante de piedra pómez y grava para para el tratamiento de aguas grises de origen doméstico



Instalación de piedra bola como base y medio filtrante

Fuente: Trabajo de campo



Instalación de piedra pómez y grava como medio filtrante

Fuente: Trabajo de campo

Figura 21. Medio filtrante para complemento de filtración con plantas acuáticas
(ninfas acuáticas)



Instalación de piedra bola como base para soporte de las plantas acuáticas

Fuente: Trabajo de campo



Instalación de ninfas acuáticas medio filtrante (debe quedar por lo menos cinco centímetros como 'cama de agua' libres para que pueda existir contacto directo de las plantas con el agua y no con las piedras)

Fuente: Trabajo de campo

3.3 Diseño y construcción de un filtro biológico para aguas grises de origen doméstico que utiliza como medio filtrante carbón y grava, complementado con filtración de plantas acuáticas (ninfas acuáticas)

El sistema constructivo del filtro es el mismo que el anterior, únicamente varía el medio filtrante del filtro biológico.

Figura 22. Medio filtrante de carbón y grava para el tratamiento de aguas grises de origen doméstico



Instalación de grava como base y medio filtrante

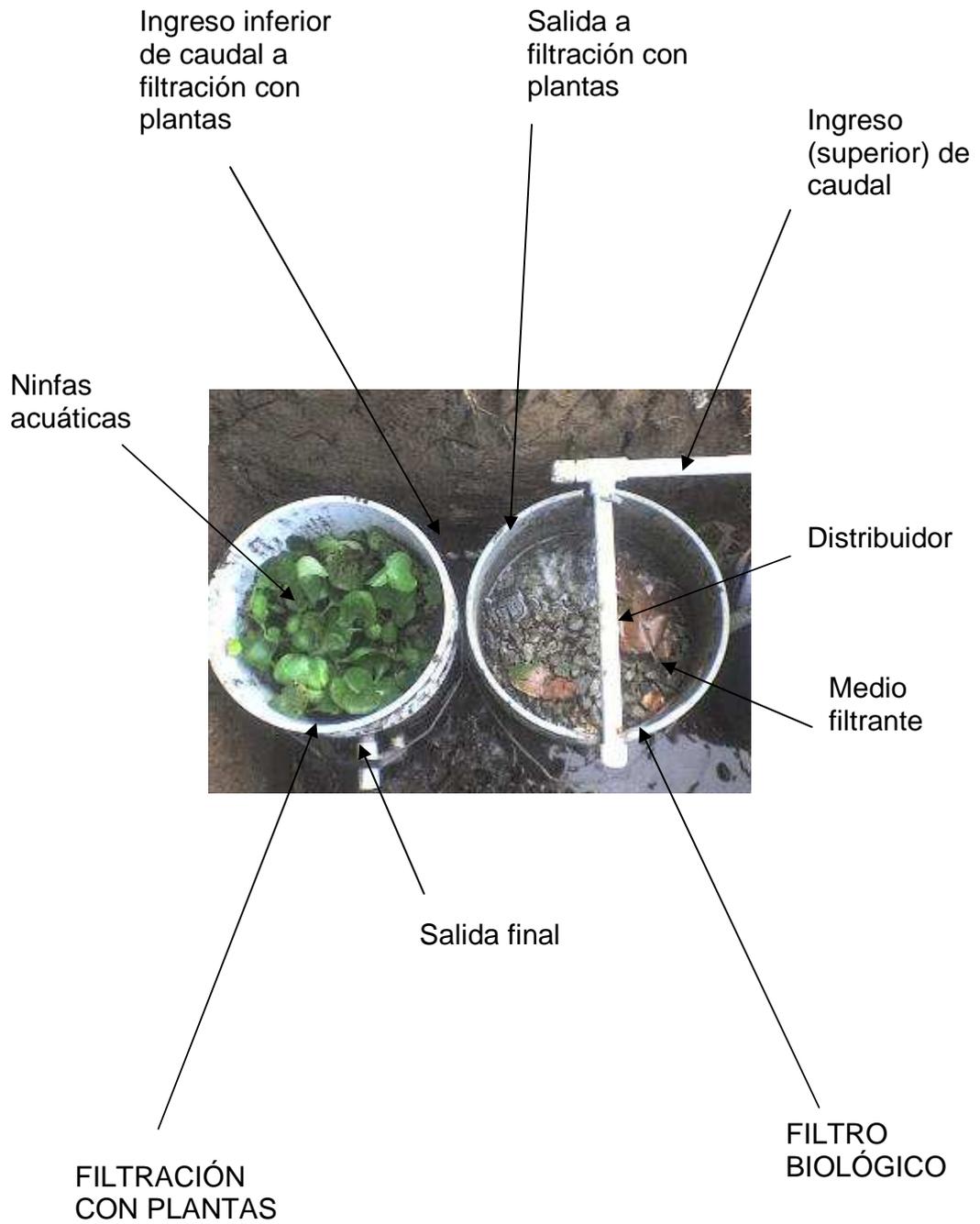
Fuente: Trabajo de campo



Instalación de carbón (carbón común) como medio filtrante

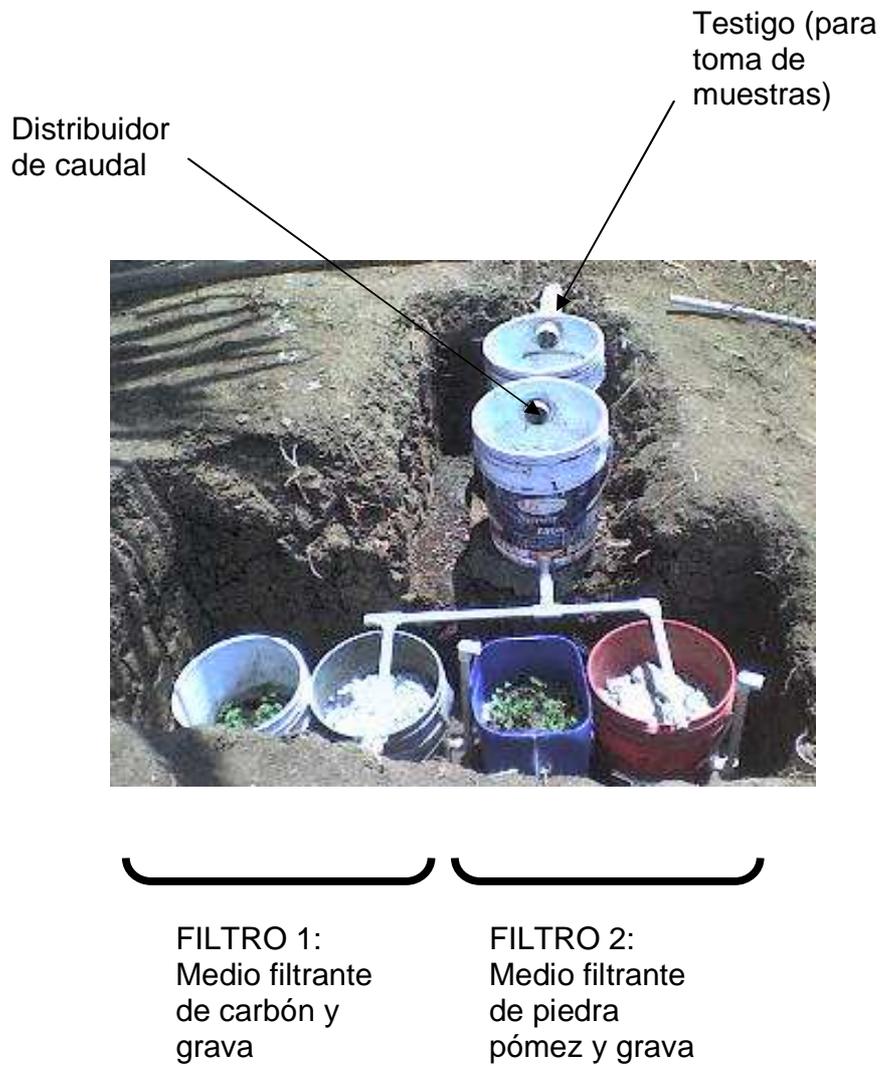
Fuente: Trabajo de campo

Figura 23. Conjunto de un filtro completo



Fuente: Trabajo de campo

Figura 24. Conjunto de modelo



Fuente: Trabajo de campo

3.4 Puntos de muestreo

Como ya se mencionó anteriormente, el sistema de tratamiento posee un 'testigo', que servirá para el muestreo del agua antes de entrar a los filtros. Por su parte los dos filtros diseñados y construidos tienen una tubería de salida en la parte superior del filtro con plantas acuáticas, la cual cumple la función de salida y a la vez de sitio de muestreo, posterior al tratamiento.

Figura 25. Puntos de muestreo



Fuente: Trabajo de campo

4. RESULTADOS OBTENIDOS

Para verificar el funcionamiento de los filtros fue necesario el muestreo y análisis de laboratorio, para determinar la funcionabilidad o no de los mismos. Luego de contruidos y puestos en marcha los filtros, se esperó un tiempo de maduración de quince días (tiempo en el cual se pudo observar la formación de bio-película); posterior a eso se realizaron diez muestreos en forma aleatoria (en cuanto a número e intervalos de tiempo). Los análisis de las muestras fueron llevados a cabo en el Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria de la ERIS, Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, “Dra. Alba Tabarini”.

Las muestras de agua fueron recolectadas en la entrada (en el recipiente testigo) y en la salida de los filtros, con lo cual se busca establecer la eficiencia de los mismos para el mejoramiento de las características de las aguas grises, consideradas como principales en el presente estudio (DBO₅ y DQO)

Figura 26. Análisis de laboratorio



Fuente: Trabajo de laboratorio

4.1 Resultados de los análisis de laboratorio

Tabla V. Resultados de análisis de laboratorio provenientes del ingreso y salida de los filtros propuestos para los parámetros DBO₅ y DQO

Fecha de muestreo	Unidad muestreada	DBO ₅ mg/l	DQO mg/l	Eficiencia remoción DBO ₅ (%)	Eficiencia remoción DQO (%)
08/04/2010	Testigo	232.00	1072.00		
	Filtro de piedra	167.00	689.00	28.02%	35.73%
	Filtro de carbón	184.00	712.00	20.69%	33.58%
14/04/2010	Testigo	240.00	584.00		
	Filtro de piedra	196.00	372.00	18.33%	36.30%
	Filtro de carbón	190.00	398.00	20.83%	31.85%
16/04/2010	Testigo	258.00	823.00		
	Filtro de piedra	238.00	543.00	7.75%	34.02%
	Filtro de carbón	245.00	561.00	5.04%	31.83%
21/04/2010	Testigo	350.00	683.00		
	Filtro de piedra	276.00	535.00	21.14%	21.67%
	Filtro de carbón	261.00	619.00	25.43%	9.37%
23/04/2010	Testigo	323.00	205.00		
	Filtro de piedra	177.00	315.00	45.20%	-53.66%
	Filtro de carbón	279.00	324.00	13.62%	-58.05%
10/05/2010	Testigo	254.00	448.00		
	Filtro de piedra	191.00	412.00	24.80%	8.04%
	Filtro de carbón	162.00	386.00	36.22%	13.84%
12/05/2010	Testigo	260.00	381.00		
	Filtro de piedra	240.00	304.00	7.69%	20.21%
	Filtro de carbón	247.00	344.00	5.00%	9.71%
14/05/2010	Testigo	425.00	605.00		
	Filtro de piedra	302.00	369.00	28.94%	39.01%
	Filtro de carbón	256.00	377.00	39.76%	37.69%
17/05/2010	Testigo	186.00	386.00		
	Filtro de piedra	153.00	216.00	17.74%	44.04%
	Filtro de carbón	165.00	203.00	11.29%	47.41%
21/05/2010	Testigo	198.00	386.00		
	Filtro de piedra	165.00	216.00	16.67%	44.04%
	Filtro de carbón	182.00	203.00	8.08%	47.41%

Fuente: Trabajo de laboratorio

El laboratorio número 5 (con fecha 23/04/2010) no será incluido dentro de los cálculos estadísticos de eficiencia de los filtros propuestos, debido a que presenta datos erróneos (DBO₅ mayor a DQO). Los problemas en este muestreo pudieron deberse a errores humanos (toma de muestra y/o análisis).

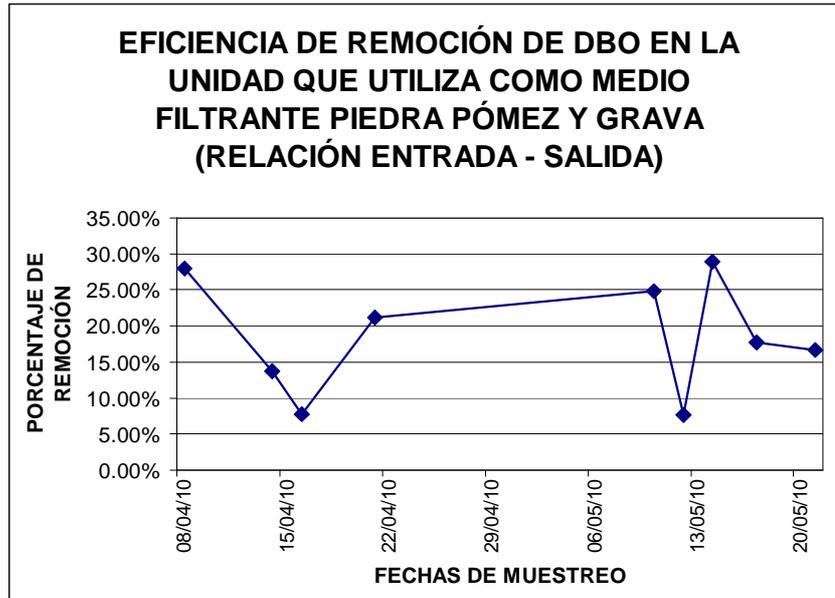
Tabla VI. Resultados de análisis de laboratorio provenientes del ingreso y salida de los filtros propuestos para los parámetros Nitritos, Nitratos, Fosfatos, pH, color y turbiedad

Fecha de muestreo	Unidad muestreada	Nitritos mg/l	Nitratos mg/l	Fosfatos mg/l	pH	Color unidades	Turbiedad NTU
08/04/2010	Testigo	0.83	407.00	12.00	8.10	200.00	132.00
	Filtro de piedra	0.66	396.00	7.50	7.60	190.00	127.00
	Filtro de carbón	0.74	440.00	10.75	7.50	190.00	112.00
14/04/2010	Testigo	0.74	319.00	10.75	7.05	90.00	68.00
	Filtro de piedra	0.74	308.00	10.50	7.01	75.00	60.00
	Filtro de carbón	0.99	319.00	10.75	6.98	75.00	62.00
16/04/2010	Testigo	1.73	396.00	8.50	7.12	85.00	67.00
	Filtro de piedra	0.74	396.00	5.25	7.10	80.00	66.00
	Filtro de carbón	1.40	407.00	6.25	7.08	80.00	62.00
21/04/2010	Testigo	0.58	418.00	7.50	8.50	160.00	105.00
	Filtro de piedra	0.74	418.00	7.50	7.70	190.00	125.00
	Filtro de carbón	1.40	451.00	10.75	7.51	190.00	112.00
23/04/2010	Testigo	0.50	858.00	4.50	7.60	45.00	36.40
	Filtro de piedra	0.33	803.00	11.75	7.86	80.00	58.60
	Filtro de carbón	0.33	957.00	12.25	8.02	110.00	72.30
10/05/2010	Testigo	0.83	869.00	14.00	7.33	155.00	83.10
	Filtro de piedra	0.58	825.00	15.00	7.32	145.00	72.60
	Filtro de carbón	0.58	1243.00	8.75	7.33	155.00	72.60
12/05/2010	Testigo	0.33	528.00	184.25	7.37	115.00	68.70
	Filtro de piedra	0.58	352.00	185.00	7.40	125.00	87.50
	Filtro de carbón	0.66	473.00	185.00	7.40	125.00	72.40
14/05/2010	Testigo	0.33	242.00	16.25	7.35	145.00	103.00
	Filtro de piedra	0.50	396.00	4.50	7.37	145.00	86.80
	Filtro de carbón	0.74	330.00	11.25	7.36	130.00	69.00
17/05/2010	Testigo	0.25	396.00	5.75	7.35	115.00	80.30
	Filtro de piedra	0.50	550.00	21.50	7.38	155.00	94.10
	Filtro de carbón	0.08	297.00	15.00	7.30	160.00	88.00
21/05/2010	Testigo	0.25	396.00	5.75	7.35	115.00	80.30
	Filtro de piedra	0.50	550.00	21.50	7.38	155.00	94.10
	Filtro de carbón	0.08	297.00	15.00	7.30	160.00	88.00

Fuente: Trabajo de laboratorio

4.2 Porcentajes de eficiencia de los filtros propuestos

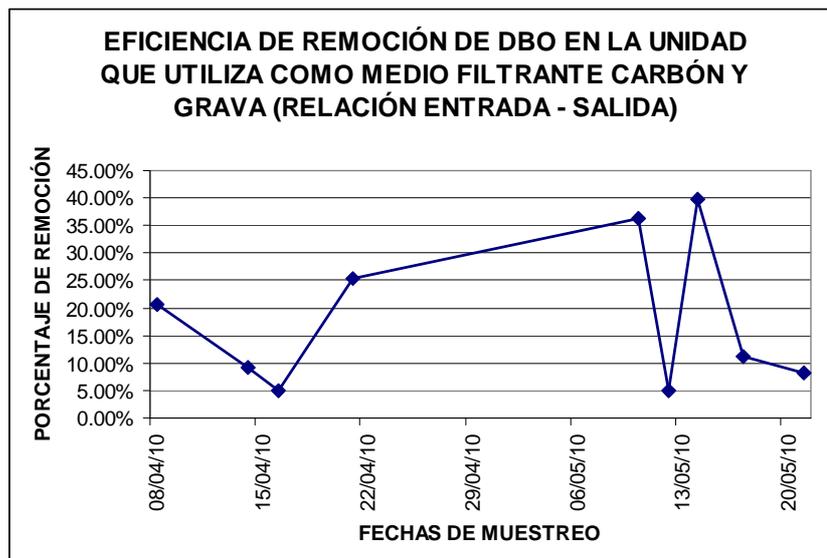
Gráfica I. Porcentajes de eficiencia de los filtros propuestos para el parámetro de DBO₅



Valor mínimo: 7.69%

Valor máximo: 28.94%

Valor promedio: 18.50%



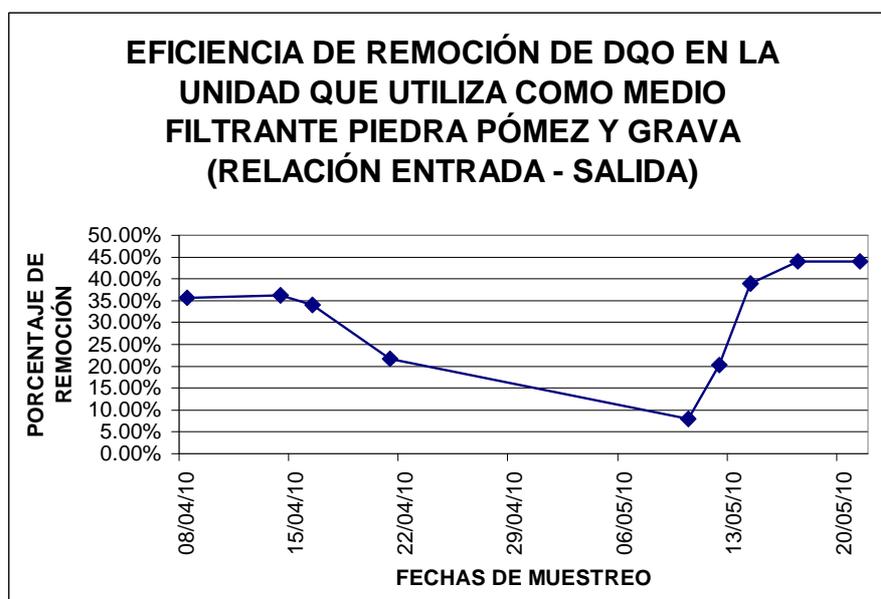
Valor mínimo: 5.00%

Valor máximo: 39.76%

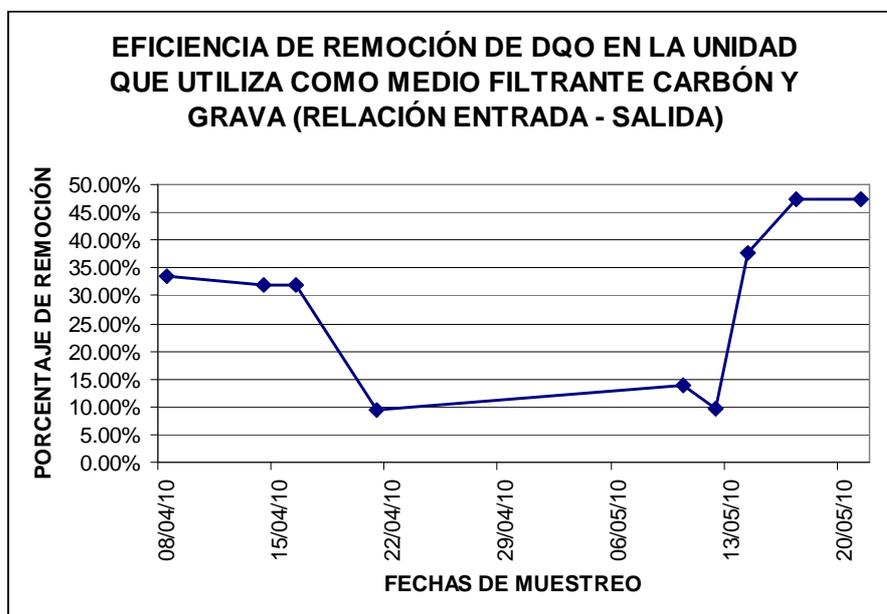
Valor promedio: 17.86%

Fuente: Trabajo de laboratorio

Gráfica II. Porcentajes de eficiencia de los filtros propuestos para el parámetro de DQO



Valor mínimo: 8.04% Valor máximo: 44.04% Valor promedio: 31.45%



Valor mínimo: 9.37% Valor máximo: 47.41% Valor promedio: 29.19%

Fuente: Trabajo de laboratorio

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1 Interpretación de las gráficas de eficiencia de los filtros propuestos

5.1.1 DBO₅

La DBO₅ (según la Gráfica I) presentó porcentajes de remoción, variables para cada muestreo, en ambos filtros. A la vez ninguno de los filtros presentó una tendencia constante sobre el porcentaje de remoción (ni ascendente, ni descendente, ni estable).

El filtro que utiliza como medio filtrante piedra pómez y grava, presentó las siguientes características estadísticas:

Valor mínimo de remoción:	7.69%
Valor máximo de remoción:	28.94%
Valor promedio de remoción:	18.50%

Por su parte, el filtro que utiliza como medio filtrante carbón y grava, presentó las siguientes características estadísticas:

Valor mínimo de remoción:	5.00%
Valor máximo de remoción:	39.76%
Valor promedio de remoción:	17.86%

Los valores comparativos para la eficiencia de remoción entre ambos filtros fueron:

Diferencia entre valores mínimos :	2.69% (a favor del filtro de piedra pómez y grava)
Diferencia entre valores máximos :	10.82% (a favor del filtro de carbón y grava)
Diferencia entre valores promedio :	0.64% (a favor del filtro de piedra pómez y grava, equivalente al 3.46% de la eficiencia promedio)

De los datos anteriores se puede deducir que no existe una diferencia significativa entre ambos filtros (principalmente con el valor de remoción promedio). Asimismo, al observar la gráfica de resultados (Gráfica I), se observa una tendencia similar (en su forma) para ambos filtros; por lo que se deduce que su comportamiento ha sido similar.

Por tanto, se considera finalmente que los filtros trabajan con una eficiencia similar para la remoción de la DBO₅.

5.1.2 DQO

La DQO al igual que la DBO₅ (según la Gráfica II), presentó porcentajes de remoción variables para cada muestreo, en ambos filtros. A la vez ninguno de los filtros presentó una tendencia constante sobre el porcentaje de remoción (ni ascendente, ni descendente, ni estable). Para el filtro que utiliza como medio filtrante piedra pómez y grava, presentó las siguientes características estadísticas:

Valor mínimo de remoción: 8.04%
Valor máximo de remoción: 44.04%
Valor promedio de remoción: 31.45%

Por su parte, el filtro que utiliza como medio filtrante carbón mineral y grava, presentó las siguientes características estadísticas:

Valor mínimo de remoción: 9.37%
Valor máximo de remoción: 47.41%
Valor promedio de remoción: 29.19%

Los valores comparativos para la eficiencia de remoción entre ambos filtros fueron:

Diferencia entre valores mínimos : 1.33% (a favor del filtro de carbón y grava)
Diferencia entre valores máximos : 3.37% (a favor del filtro de carbón y grava)
Diferencia entre valores promedio : 2.26% (a favor del filtro de piedra pómez y grava, equivalente al 7.18% de la eficiencia promedio)

De los datos anteriores podemos deducir que no existe una diferencia significativa entre ambos filtros. Asimismo al observar la gráfica de resultados (Gráfica II), se aprecia una tendencia similar (en su forma) para ambos filtros en los muestreos iniciales y finales, no así en los muestreos intermedios; pero en términos generales su comportamiento ha sido similar.

Por tanto, finalmente, se considera que los filtros trabajan con una eficiencia similar para la remoción de la DQO.

5.1.3 Nitritos, Nitratos y Fosfatos

Según los datos de la Tabla IV, ambos filtros propuestos, presentan una tendencia errática en cuanto a la remoción de Nitritos, Nitratos y Fosfatos. Inclusive se encuentran datos en los cuales la cantidad de dichos compuestos presentes en las aguas grises, son mayores en la salida que en la entrada (teniéndose entonces una eficiencia negativa). Por tanto, se considera que ambos filtros no proporcionan una remoción adecuada de los compuestos descritos y no debe considerarse el tratamiento propuesto en el presente estudio para el mejoramiento de los mismos (Nitritos, Nitratos y Fosfatos).

5.1.4 pH

Respecto del pH, los datos más sobresalientes según la Tabla IV fueron:

Valor mínimo: 6.98 gramos - mol / litro
Valor máximo: 8.50 gramos - mol / litro
Valor promedio: 7.43 gramos - mol / litro

Los valores anteriores se consideran adecuados para las aguas grises.

5.1.5 Color

Para el color, los datos más sobresalientes según la Tabla IV fueron:

Valor mínimo: 45.00 unidades
Valor máximo: 200.00 unidades
Valor promedio: 131.33 unidades

Al igual que con los Nitritos, Nitratos y Fosfatos, se encontraron en algunos muestreos, valores mayores en la salida de los filtros que en la entrada. Por lo tanto se deduce que el color también presenta una tendencia errática (y en ciertos casos ineficiente), y que el tratamiento propuesto en el presente estudio no es adecuado para el mejoramiento de esta característica.

5.1.6 Turbiedad

Para la turbiedad, los datos más sobresalientes según la Tabla IV fueron:

Valor mínimo: 36.40 UNT
Valor máximo: 132.00 UNT
Valor promedio: 83.43 UNT

Así como con los Nitritos, Nitratos, Fosfatos y color se encontraron en algunos muestreos valores mayores en la salida de los filtros que en la entrada. Por lo tanto, al igual que el color, se deduce que la turbiedad también presenta una tendencia errática (y en ciertos casos ineficiente), y que el tratamiento propuesto en el presente estudio tampoco es adecuado para el mejoramiento de esta característica.

CONCLUSIONES

1. La hipótesis inicial no fue comprobada satisfactoriamente, debido a que se esperaba una remoción de por lo menos el 45.00% para los parámetros de DBO₅ y DQO. Aunque los filtros sí mejoran las características mencionadas, los valores máximos no fueron los esperados y los promedios están por debajo del planteamiento inicial.
2. Los dos filtros analizados presentan una remoción similar para el parámetro de la DBO₅. La eficiencia promedio de remoción (en porcentaje) de la DBO₅, para ambos filtros, se considera de 18.50%, la cual es menor a la esperada según la hipótesis (45.00%). Asimismo, presenta porcentajes de remoción variables en relación con el tiempo. El máximo alcanzado durante el presente estudio fue de 39.76% (por el filtro que utiliza como medio filtrante piedra pómez y grava). Por tal motivo, aunque los filtros sí remueven DBO₅, no se debería esperar un valor de remoción mayor al 39.76%, con un promedio de 18.50%.
3. En los dos filtros presenta una remoción similar para el parámetro de la DQO. La eficiencia promedio de remoción (en porcentaje) para la DQO para ambos filtros, se considera de 31.45%, la cual es menor a la esperada según la hipótesis (45.00%). Asimismo, presenta porcentajes de remoción variables en relación con el tiempo. El máximo alcanzado durante el presente estudio fue de 47.41% (por el filtro que utiliza como medio filtrante carbón y grava). Por tal motivo, aunque los filtros sí remueven DQO, se debería esperar un valor de remoción promedio de 31.45%. Eventualmente podría alcanzarse valores iguales o mayores al 45.00 % formulado en la hipótesis.

4. Según los datos obtenidos en las pruebas de laboratorio, ninguno de los dos filtros propuestos remueve o mejora adecuadamente los parámetros de Nitritos, Nitratos, Fosfatos, color o turbiedad. Por lo tanto, el tratamiento propuesto en el presente estudio para el mejoramiento de las características de las aguas grises de origen doméstico, no se recomienda para el mejoramiento de dichas características.

RECOMENDACIONES

Para mantener la eficiencia de remoción de DBO_5 y DQO en los filtros, se recomienda realizar el mantenimiento de los filtros por lo menos una vez cada veinte días. (Ver anexo 2, “Operación y Mantenimiento”)

Se recomienda la implementación de una unidad desarenadora (pre-tratamiento), que acompañe a la trampa de grasas para un mejor funcionamiento de los filtros.

Es recomendable que siempre se mantenga la entrada de aire a los filtros (tanto en la parte superior como inferior) para evitar malos olores.

Debido a la presencia de nutrientes en las aguas grises de origen doméstico y a un pH con valores balanceados, se recomienda la investigación para la opción de la reutilización de dichas aguas según lo permita la legislación vigente del país. (Ver anexo 3, Acuerdo gubernativo no. 236-2006 “Reglamento de las descargas y re-uso de aguas residuales y de la disposición de lodos”)

BIBLIOGRAFÍA

Crites, Ron y Tchobanoglous George. **Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones**. Colombia: Editorial McGraw-Hill, 2000. 739 pp.

Gustafson, D.M., Anderson, J.L. and Christopherson. **Innovative on site treatment systems**. University of Minnesota, S.H., 2002.

Harindra Corea, E.J. **Appropriate Disposal of Sewage in Urban and Suburban Sri Lanka**. PhD Thesis, The University of Leeds, Leeds, ., 2001. 270 pp.

Instituto Federal Suizo de Ciencia y Tecnología Acuática. Reporte 14/06 '**Manejo de aguas grises en países en vías de desarrollo**'. Suiza, 2006. 107 pp.

Metcalf y Eddy. **Ingeniería de las aguas residuales: Tratamiento, vertido y reutilización**. 3 ed. México: Editorial McGraw-Hill, 1996. 1459 pp.

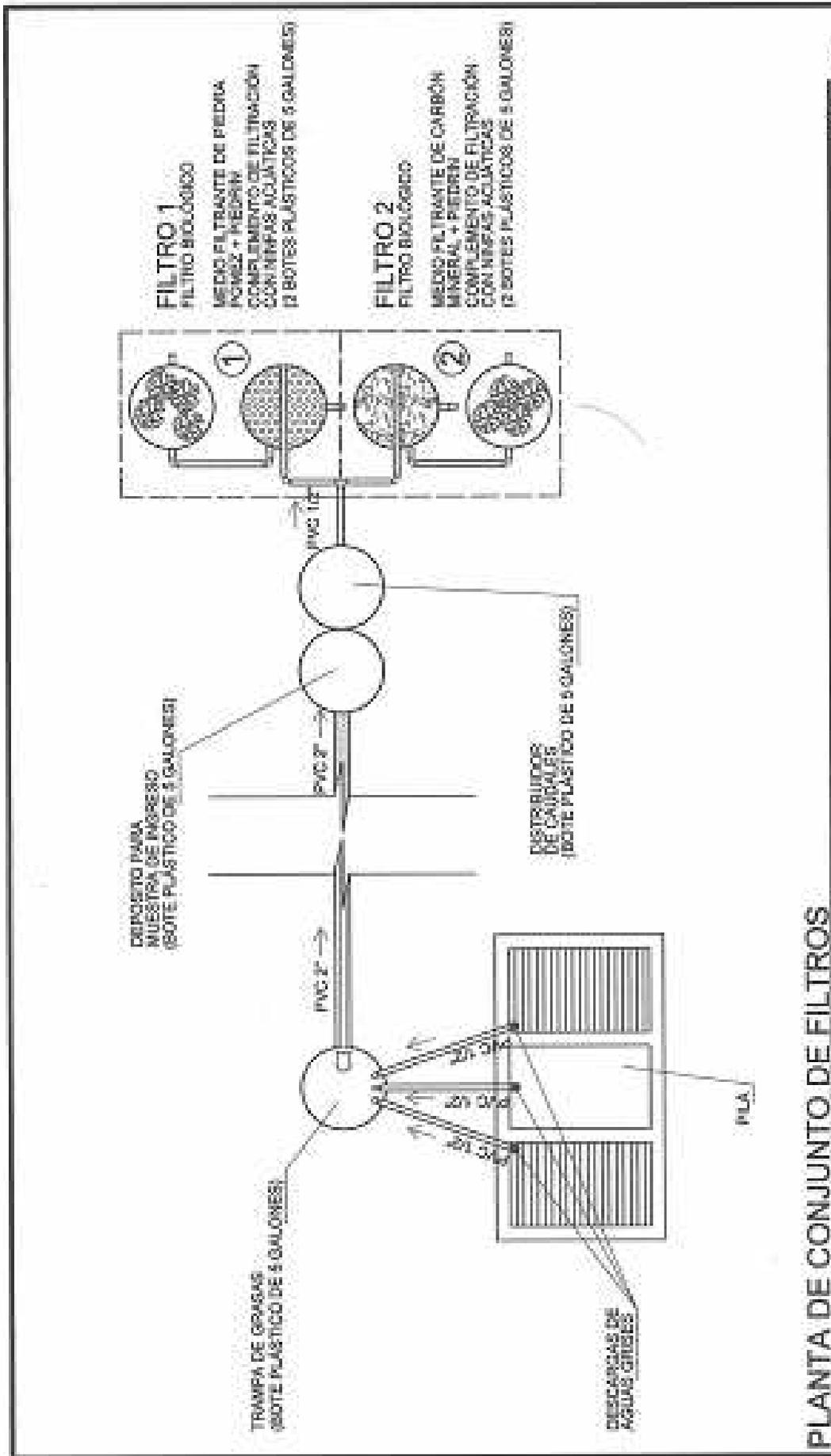
Tchobanoglous, G., 1991. **Wastewater Engineering, Treatment, Disposal, and Reuse**, Irwin/McGraw-Hill, 1334 pp.

www.tierramor.org/Articulos/tratagua.htm. A las 13:20 horas del día 20 de diciembre de 2009

www.wikipedia.org/. A las 17:20 horas del día 20 de diciembre de 2009

ANEXO 1

PLANOS DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LAS
“ALTERNATIVAS PARA EL TRATAMIENTO DE LAS
AGUAS GRISES DE ORIGEN DOMÉSTICO”



ESCALA 1:20

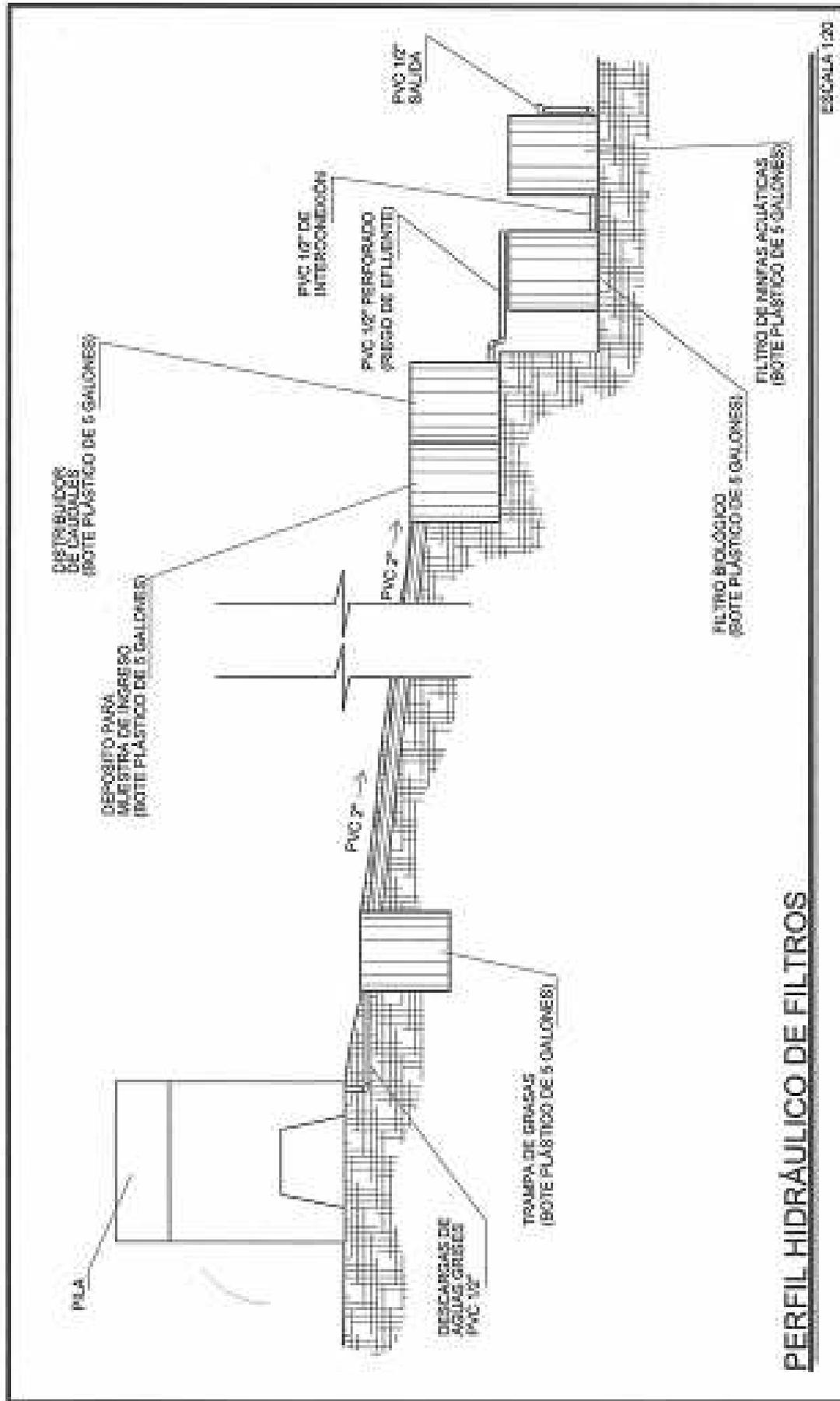
PLANTA DE CONJUNTO DE FILTROS



PROYECTO: ALTERNATIVAS PARA EL
 TRATAMIENTO INDIVIDUAL DE LAS
 AGUAS GRISAS DE ORIGEN DOMÉSTICO

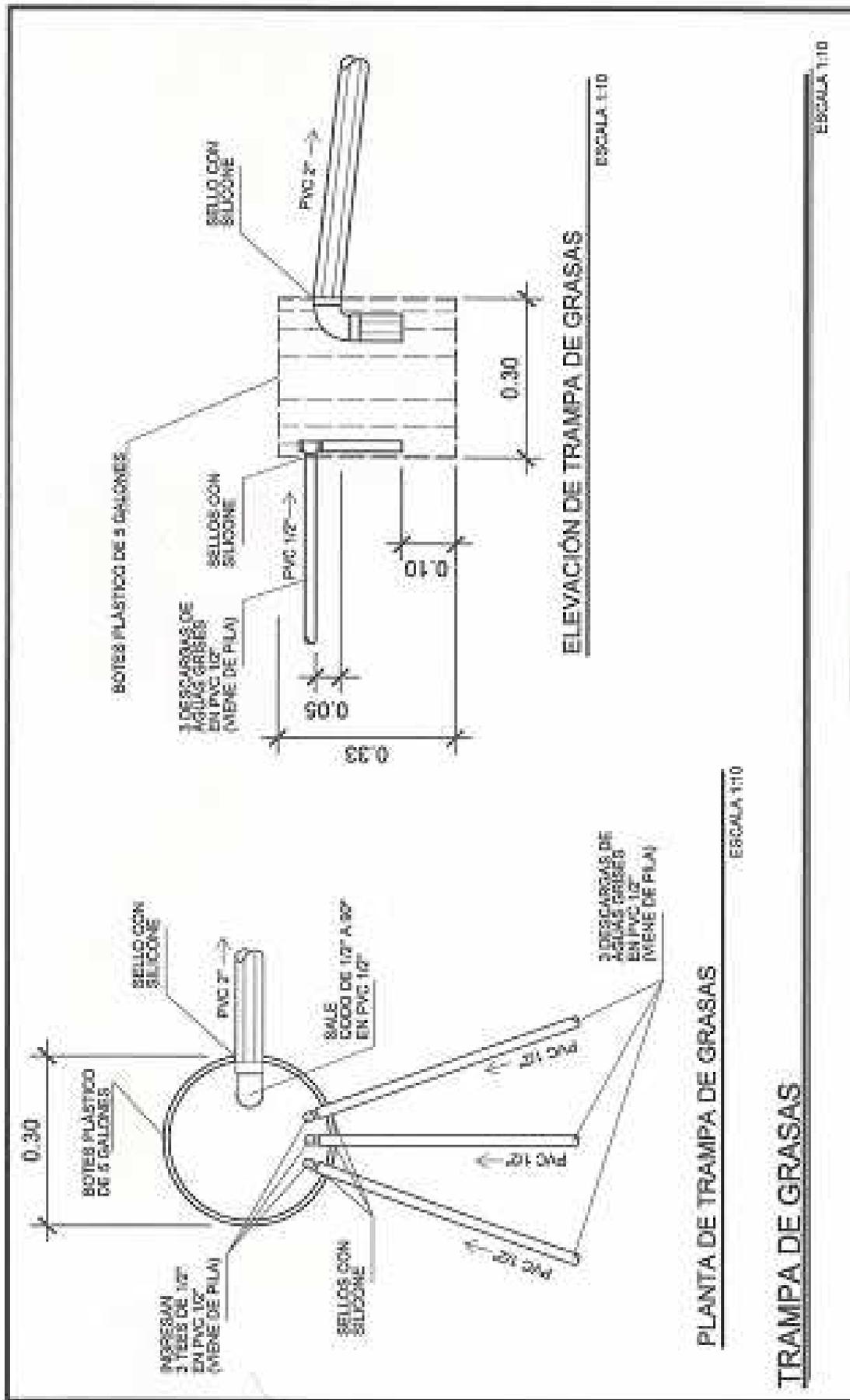
COORDINADOR:

PROYECTO	ALTERNATIVAS PARA EL TRATAMIENTO INDIVIDUAL DE LAS AGUAS GRISAS DE ORIGEN DOMÉSTICO
COORDINADOR	
PROYECTISTA	ING. J.R.H.J.
INDICADA	MAYO 2,010



NOTA:
 EL PERFIL PRESENTA EL RECORRIDO DEL EFLENTE A TRATAR
 Y NO EL PERFIL FÍSICO DE LOS FILTROS

	PROYECTO ALTERNATIVAS PARA EL TRATAMIENTO INDIVIDUAL DE LAS AGUAS GRISAS DE ORIGEN DOMÉSTICO
	CONTRATO PERFIL HIDRÁULICO DE FILTROS
DISEÑO ING. J.R.H.J.	ESCALA INDICADA
FECHA MAYO 2.010	



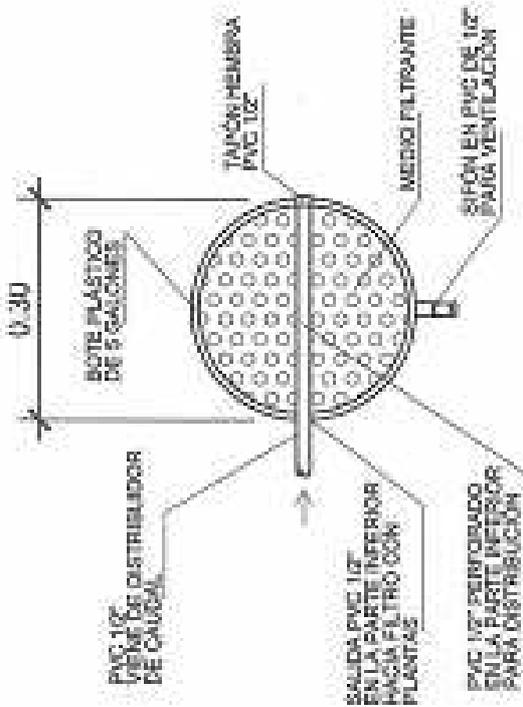
PROYECTO: ALTERNATIVAS PARA EL TRATAMIENTO INDIVIDUAL DE LAS AGUAS GRISAS DE ORIGEN DOMÉSTICO

CONTRATO: TRAMPA DE GRASAS

PROYECTISTA: ING. J.R.H.J.

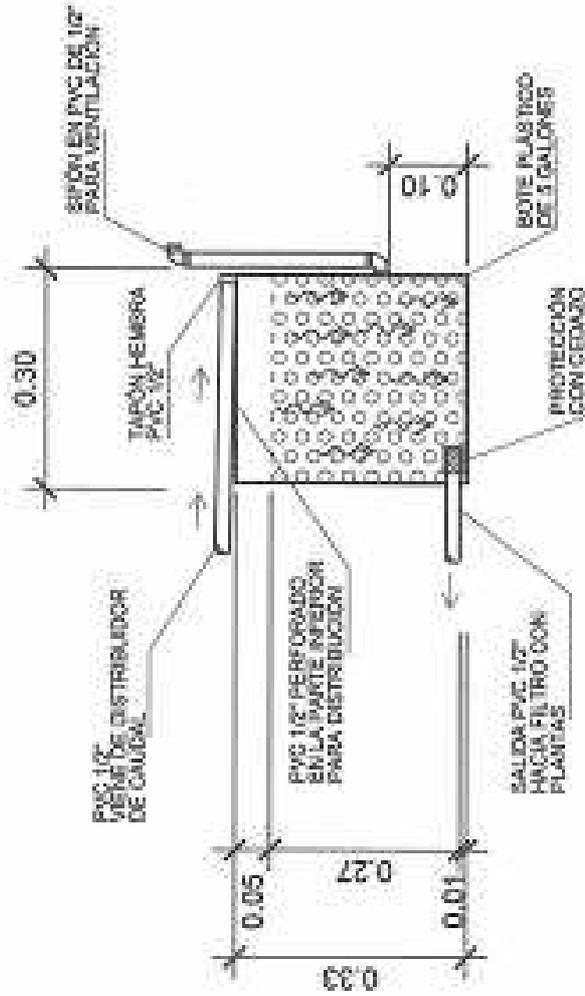
ESCALA: INDICADA

FECHA: MAYO 2.010



PLANTA DE FILTRO BIOLÓGICO TÍPICO

ESCALA 1:10



ELEVACIÓN DE FILTRO BIOLÓGICO TÍPICO

ESCALA 1:10

FILTRO BIOLÓGICO TÍPICO

ESCALA 1:10



PROYECTO

ALTERNATIVAS PARA EL
TRATAMIENTO INDIVIDUAL DE LAS
AGUAS GRISAS DE ORIGEN DOMÉSTICO

CONTENIDO

FILTRO BIOLÓGICO TÍPICO

PAISAJE

ING. J.R.H.J.

OROVATE

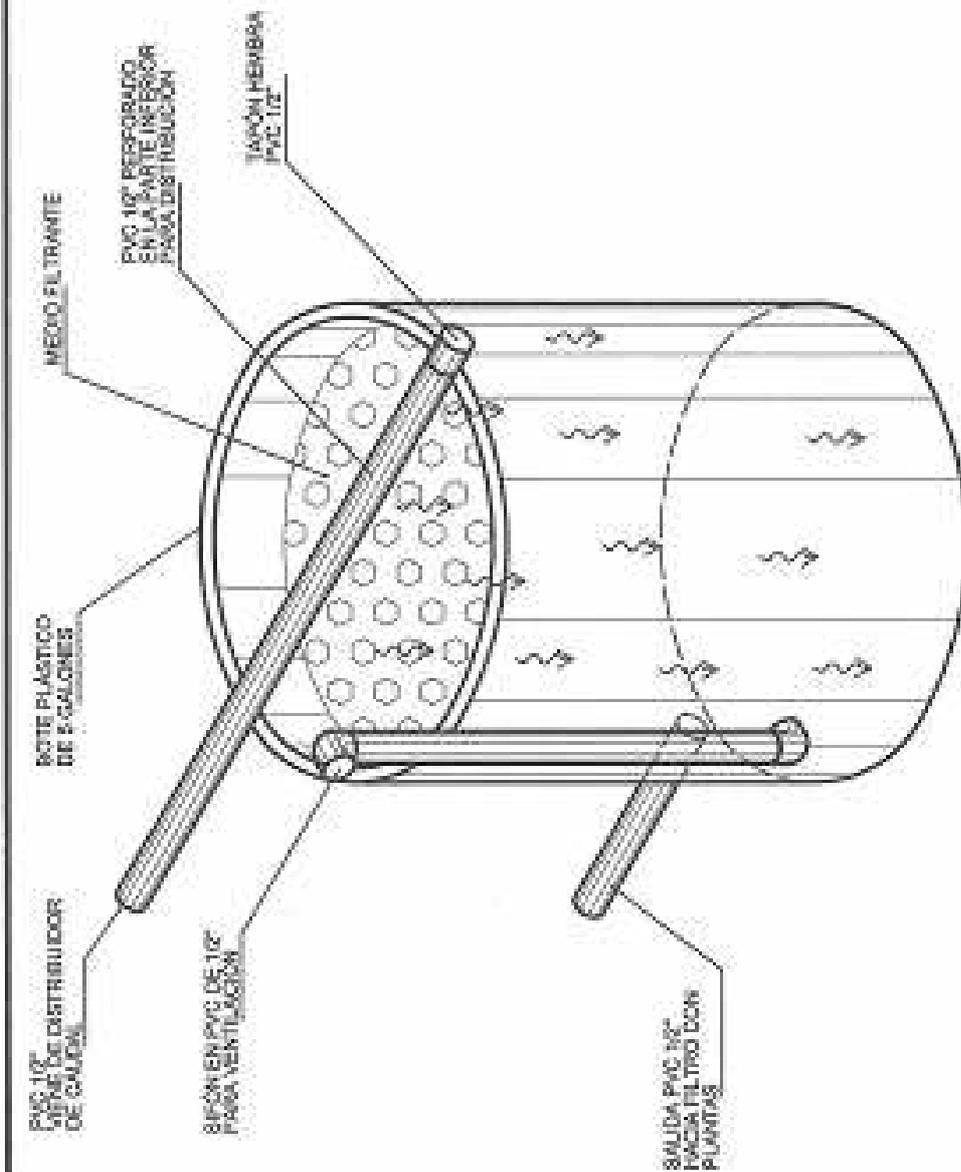
ING. J.R.H.J.

EROSIÓN

INDICADA

VEREDA

MAYO 2.010



ISOMÉTRICO DE FILTRO BIOLÓGICO TÍPICO

ESCALA 1:5



PROYECTO:

**ALTERNATIVAS PARA EL
TRATAMIENTO INDIVIDUAL DE LAS
AGUAS GRISAS DE ORIGEN DOMÉSTICO**

CONTENIDO:

ISOMÉTRICO FILTRO BIOLÓGICO TÍPICO

FECHA:

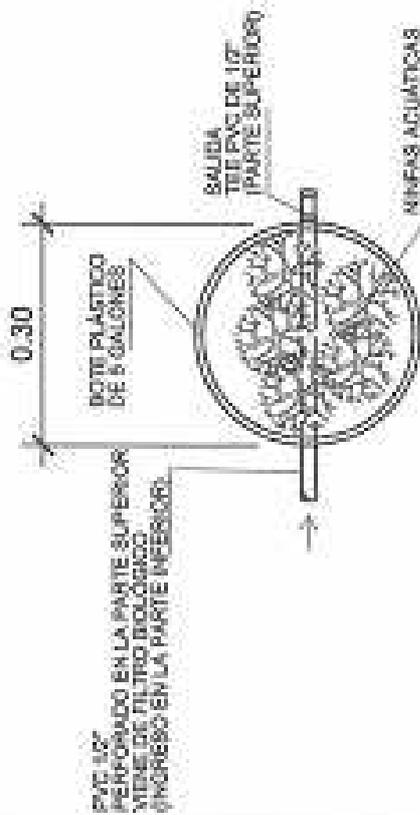
PROYECTISTA:

ING. J.R.H.J.

ESCALA:

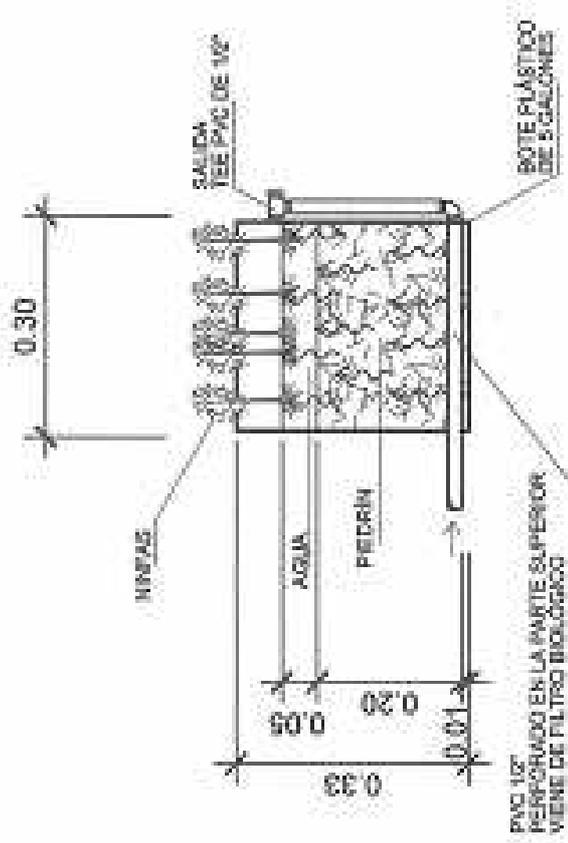
ING. J.R.H.J. INDICADA

MAYO 2.010



PLANTA DE FILTRO CON PLANTAS

ESCALA 1:10



ELEVACIÓN DE FILTRO CON PLANTAS

ESCALA 1:10

FILTRO CON PLANTAS TÍPICO (NINFA ACUÁTICA)

ESCALA 1:10



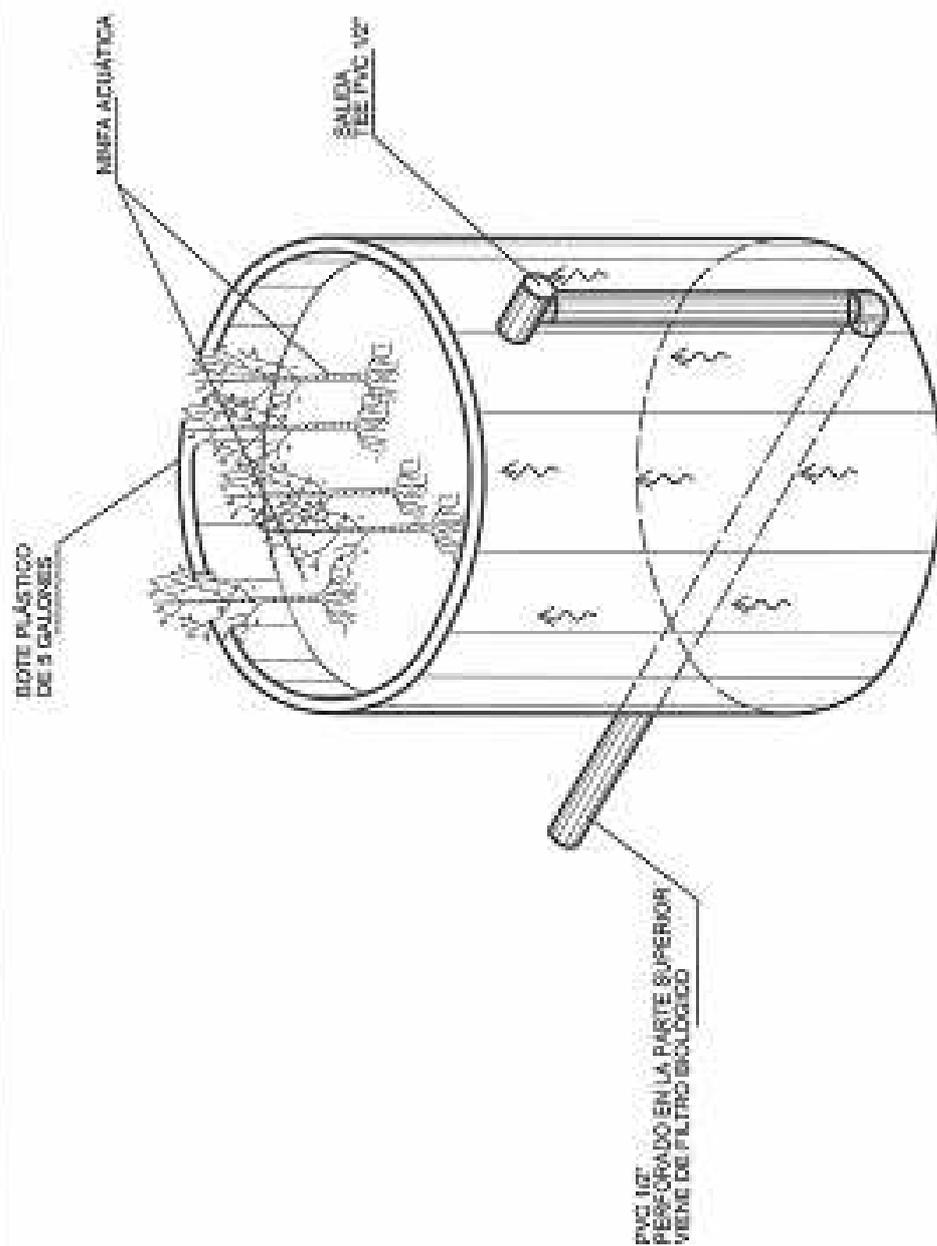
TÍTULO: ALTERNATIVAS PARA EL
 TRATAMIENTO INDIVIDUAL DE LAS
 AGUAS GRISAS DE ORIGEN DOMÉSTICO

CONTENIDO: FILTRO CON PLANTAS ACUÁTICAS

AUTOR: ING. J.R.H.J.

FECHA: MAYO 2,010

INDICADA



ISOMÉTRICO DE FILTRO CON PLANTAS TÍPICO (NINFAS ACUÁTICAS)

ESCALA 1:1

	PROYECTO: ALTERNATIVAS PARA EL TRATAMIENTO INDIVIDUAL DE LAS AGUAS GRISAS DE ORIGEN DOMÉSTICO	
	CONTRATADO: ISOMÉTRICO FILTRO CON PLANTAS TÍPICO	
PROYECTISTA: ING. J.R.H.J.	PROYECTISTA: ING. J.R.H.J.	FECHA: MAYO 2, 2010

ANEXO 2
OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE FILTROS

OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE FILTROS

Operación

Los filtros funcionan sin energía artificial ni medios mecánicos o similares, no poseen llaves o válvulas de control. Únicamente se considerará como operación (eventual) la limpieza de la trampa de grasas.

La limpieza se realizará una vez cada tres meses y consistirá en la limpieza de materiales flotantes y materiales sedimentados en la unidad. Los materiales flotantes (grasas) se colocarán en un lugar donde puedan ser expuestos al sol (sin contacto con personas y/o animales), y después de haber sido deshidratados serán enterrados o dispuestos de forma adecuada. Si no fuera posible su exposición al sol, podrán ser enterrados inmediatamente.

Los materiales sedimentados deben ser removidos y dispuestos en forma adecuada. Para las actividades antes descritas, se recomienda el uso de guantes para protección de las manos.

Mantenimiento preventivo

Los filtros necesitarán, principalmente, mantenimiento preventivo. Según los análisis de laboratorio elaborados en el presente estudio, es recomendable que el mismo se realice por lo menos una vez cada veinte días para mantener una eficiencia adecuada.

En los filtros, se deberán remover los materiales que se encuentren en el medio filtrante (principalmente en la parte superior). Todos los cuerpos que

queden atrapados sobre o dentro del medio filtrante, deberán ser removidos. Para dicha actividad, se recomienda el uso de guantes.

Si los filtros llegan a colmatarse, se recomienda la limpieza del medio filtrante. En tal caso se debe sacar el medio filtrante y lavarse (únicamente con agua) hasta quitar el exceso de sólidos retenidos. Si los filtros se colmatan con demasiada frecuencia, es necesario el cambio del medio filtrante.

Mantenimiento correctivo

Se llevará a cabo únicamente en casos especiales. Las causas principales podrían ser:

- Taponamiento de tuberías: en tal caso, se deben destapar las tuberías de la forma más adecuada, evitando dañarlas o romperlas. Es recomendable evitar que sólidos grandes sean evacuados en el drenaje de la tubería (principalmente duchas y reposaderas)
- Roturas de tuberías: se procederá al cambio de las mismas.
- Filtraciones: se deben resanar con los materiales adecuados (empaques, silicones, accesorios para tuberías, etc.)

ANEXO 3
ACUERDO GUBERNATIVO NÚMERO 236-2006

ACUERDO GUBERNATIVO No. 236-2006
“REGLAMENTO DE LAS DESCARGAS Y REUSO DE
AGUAS RESIDUALES
Y DE LA DISPOSICIÓN DE LODOS”

CAPÍTULO IV
CARACTERIZACIÓN

Artículo 13. CARACTERIZACIÓN DEL AFLUENTE Y DEL EFLUENTE DE AGUAS RESIDUALES. La persona individual o jurídica, pública o privada, responsable de generar o administrar aguas residuales de tipo especial, ordinario o mezcla de ambas, que vierten éstas en un cuerpo receptor o al alcantarillado público, deberá realizar la caracterización del afluente, así como del efluente de aguas residuales e incluir los resultados en el estudio técnico.

Artículo 14. CARACTERIZACIÓN DE AGUAS PARA REUSO. La persona individual o jurídica, pública o privada, que genere aguas residuales para reuso o las reuse, deberá realizar la caracterización de las aguas que genere y que desea aprovechar e incluir el resultado en el estudio técnico.

Artículo 15. CARACTERIZACIÓN DE LODOS. La persona individual o jurídica, pública o privada, responsable de generar lodos, deberá realizar la caracterización de los mismos e incluir el resultado en el estudio técnico.

CAPÍTULO V

PARÁMETROS PARA AGUAS RESIDUALES Y VALORES DE DESCARGA A CUERPOS RECEPTORES

Artículo 16. PARÁMETROS DE AGUAS RESIDUALES. Los parámetros de medición para determinar las características de las aguas residuales son los siguientes:

- a) Temperatura
- b) Potencial de hidrógeno
- c) Grasas y aceites
- d) Materia flotante
- e) Sólidos suspendidos totales
- f) Demanda bioquímica de oxígeno a los cinco días, a veinte grados Celsius,
- g) Demanda química de oxígeno
- h) Nitrógeno total
- i) Fósforo total
- j) Arsénico
- k) Cadmio
- l) Cianuro total
- m) Cobre
- n) Cromo hexavalente
- o) Mercurio
- p) Níquel
- q) Plomo
- r) Zinc
- s) Color y
- t) Coliformes fecales

Artículo 20. LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES A CUERPOS RECEPTORES. Los límites máximos permisibles de los parámetros para las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores son:

Tabla VII. Límites máximos permisibles de los parámetros para las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, según Acuerdo Gubernativo Número 236-2006

Parámetros	Dimensionales	Valores iniciales	Fecha máxima de cumplimiento			
			Dos de mayo de dos mil once	Dos de mayo de dos mil quince	Dos de mayo de dos mil veinte	Dos de mayo de dos mil veinticuatro
			Etapa			
			Uno	Dos	Tres	Cuatro
Temperatura	Grados Celsius	TCR +/- 7	TCR +/- 7	TCR +/- 7	TCR +/- 7	TCR +/- 7
Grasas y aceites	Miligramos por litro	1500	100	50	25	10
Materia flotante	Ausencia/presencia	Presente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Sólidos suspendidos	Miligramos por litro	3500	600	400	150	100
Nitrógeno total	Miligramos por litro	1400	100	50	25	20
Fósforo total	Miligramos por litro	700	75	30	15	10
Potencial de hidrógeno	Unidades de potencial de hidrógeno	6 a 9	6 a 9	6 a 9	6 a 9	6 a 9
Coliformes fecales	Número más probable en cien mililitros	$< 1 \times 10^6$	$< 1 \times 10^5$	$< 1 \times 10^5$	$< 1 \times 10^4$	$< 1 \times 10^4$
Arsénico	Miligramos por litro	1	0.5	0.1	0.1	0.1
Cadmio	Miligramos por litro	1	0.4	0.1	0.1	0.1
Cianuro total	Miligramos por litro	6	3	1	1	1
Cobre	Miligramos por litro	4	4	3	3	3
Cromo hexavalente	Miligramos por litro	1	0.5	0.1	0.1	0.1
Mercurio	Miligramos por litro	0.1	0.1	0.02	0.02	0.01
Níquel	Miligramos por litro	6	4	2	2	2
Plomo	Miligramos por litro	4	1	0.4	0.4	0.4
Zinc	Miligramos por litro	10	10	10	10	10
Color	Unidades platino cobalto	1500	1300	1000	750	500

TCR = temperatura del cuerpo receptor, en grados Celsius.

Artículo 24. LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE DESCARGAS A CUERPOS RECEPTORES PARA AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES Y DE URBANIZACIONES NO CONECTADAS AL ALCANTARILLADO PÚBLICO. Las municipalidades o empresas encargadas del tratamiento de aguas residuales

del alcantarillado público y las urbanizaciones existentes no conectadas al alcantarillado público, cumplirán con los límites máximos permisibles para descargar a cuerpos receptores, de cualesquiera de las formas siguientes:

- a) Con lo preceptuado en los artículos 17, 18, 19 y 20, de conformidad con los plazos establecidos en estos artículos del presente Reglamento.
- b) Con los límites máximos permisibles y plazos establecidos en el siguiente cuadro:

Tabla VIII. Límites máximos permisibles y plazos establecidos, según Acuerdo Gubernativo Número 236-2006

Parámetros	Dimensionales	Valores iniciales	Fecha máxima de cumplimiento			
			Dos de mayo de dos mil quince	Dos de mayo de dos mil veinte	Dos de mayo de dos mil veinticuatro	Dos de mayo de dos mil veintinueve
			Etapa			
			Uno	Dos	Tres	Cuatro
Temperatura	Grados Celsius	TCR +/- 7	TCR +/- 7	TCR +/- 7	TCR +/- 7	TCR +/- 7
Grasas y aceites	Miligramos por litro	100	50	10	10	10
Materia flotante	Ausencia/presencia	Presente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Demanda bioquímica de oxígeno	Miligramos por litro	700	250	100	100	100
Sólidos suspendidos	Miligramos por litro	300	275	200	100	100
Nitrógeno total	Miligramos por litro	150	150	70	20	20
Fósforo total	Miligramos por litro	50	40	20	10	10
Potencial de hidrógeno	Unidades de potencial de hidrógeno	6 a 9	6 a 9	6 a 9	6 a 9	6 a 9
Coliformes fecales	Número más probable en cien mililitros	$< 1 \times 10^5$	$< 1 \times 10^7$	$< 1 \times 10^4$	$< 1 \times 10^4$	$< 1 \times 10^4$
Arsénico	Miligramos por litro	1	0.1	0.1	0.1	0.1
Cadmio	Miligramos por litro	1	0.1	0.1	0.1	0.1
Cianuro total	Miligramos por litro	6	1	1	1	1
Cobre	Miligramos por litro	4	3	3	3	3
Cromo hexavalente	Miligramos por litro	1	0.1	0.1	0.1	0.1
Mercurio	Miligramos por litro	0.1	0.02	0.02	0.01	0.01
Níquel	Miligramos por litro	6	2	2	2	2
Plomo	Miligramos por litro	4	0.4	0.4	0.4	0.4
Zinc	Miligramos por litro	10	10	10	10	10
Color	Unidades platino cobalto	1500	1000	750	500	500

CAPÍTULO VII

PARÁMETROS DE AGUAS PARA REUSO

Artículo 34. AUTORIZACIÓN DE REUSO. El presente Reglamento autoriza los siguientes tipos de reuso de aguas residuales, que cumplan con los límites máximos permisibles que a cada uso correspondan.

TIPO I: REUSO PARA RIEGO AGRÍCOLA EN GENERAL: uso de un efluente que debido a los nutrientes que posee se puede utilizar en el riego extensivo e intensivo, a manera de fertirriego, para recuperación y mejoramiento de suelos y como fertilizante en plantaciones de cultivos que, previamente a su consumo, requieren de un proceso industrial, de conformidad con los límites máximos permisibles establecidos en el artículo 35. Se exceptúa de este reuso los cultivos considerados en el tipo II.

TIPO II: REUSO PARA CULTIVOS COMESTIBLES: con restricciones en el riego de áreas con cultivos comestibles que se consumen crudos o precocidos, como hortalizas y frutas. Para el caso de coliformes fecales y demanda bioquímica de oxígeno, deberá cumplirse de conformidad con los límites máximos permisibles.

Artículo 35. Adicionalmente, para otros parámetros, deberán cumplir los límites máximos permisibles presentados en el cuadro del artículo 21 del presente Reglamento, a excepción de sólidos en suspensión, nitrógeno total y fósforo total.

TIPO III: REUSO PARA ACUACULTURA: uso de un efluente para la piscicultura y camaronicultura, de conformidad con los límites máximos permisibles establecidos en el artículo 35.

TIPO IV: REUSO PARA PASTOS Y OTROS CULTIVOS: con restricciones en el riego de áreas de cultivos no alimenticios para el ser humano como pastos, forrajes, fibras, semillas y otros, de conformidad con los límites máximos permisibles establecidos en el artículo 35.

TIPO V: REUSO RECREATIVO: con restricciones en el aprovechamiento para fines recreativos en estanques artificiales donde el ser humano sólo puede tener contacto incidental, incluido el riego en áreas verdes, donde el público tenga contacto o no, de conformidad con los límites máximos permisibles establecidos en el artículo 35. Cualquier otro reuso no contemplado en el presente artículo deberá ser autorizado previamente por el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales.

Artículo 35. PARÁMETROS Y LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA REUSO. El agua residual para reuso deberá cumplir con los límites máximos permisibles del siguiente cuadro:

Tabla IX. Límites máximos permisibles para reuso de agua residual, según Acuerdo Gubernativo Número 236-2006

Tipo de reuso	Demanda bioquímica de oxígeno, miligramos por litro	Coliformes fecales, número más probable por cien mililitros
Tipo I	No aplica	No aplica
Tipo II	No aplica	$< 2 \times 10^2$
Tipo III	200	No aplica
Tipo IV	No aplica	$< 1 \times 10^3$
Tipo V	200	$< 1 \times 10^3$