



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS GRISES POR
MEDIO DE BIOJARDINERA APLICADO A VIVIENDAS RURALES DEL
DEPARTAMENTO DE QUICHÉ**

Nelson Esaú Muñoz Soto

Asesorado por el Ing. Eduardo Gaspar Diéguez González

Guatemala, junio de 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS GRISES POR
MEDIO DE BIOJARDINERA APLICADO A VIVIENDAS RURALES DEL
DEPARTAMENTO DE QUICHÉ**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

NELSON ESAÚ MUÑOZ SOTO

ASESORADO POR EL ING. EDUARDO GASPAR DIÉGUEZ GONZÁLEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, JUNIO DE 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

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

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
EXAMINADOR	Ing. Guillermo Francisco Mellini Salguero
EXAMINADOR	Ing. Luis Manuel Sandoval Mendoza
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS GRISES POR MEDIO DE BIOJARDINERA APLICADO A VIVIENDAS RURALES DEL DEPARTAMENTO DE QUICHÉ

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 26 de julio de 2013.



Nelson Esaú Muñoz Soto

Guatemala, 8 de mayo de 2015

Ingeniero
Pedro Antonio Aguilar Polanco
Jefe del Departamento de Hidráulica
Escuela de Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Ingeniero Aguilar Polanco:

Por este medio hago de su conocimiento que he revisado el Trabajo de Graduación titulado **“DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS GRISES POR MEDIO DE BIOJARDINERA APLICADO A VIVIENDAS RURALES DEL DEPARTAMENTO DE QUICHÉ”**, desarrollado por el estudiante universitario Nelson Esaú Muñoz Soto, con la asesoría del suscrito.

El trabajo en mención satisface los requisitos que exige la facultad, por lo cual recomiendo que se continúe con los trámites para la aprobación de la misma.

Sin otro particular, me suscribo de usted

Atentamente



Eduardo G. Diéguez González
Ingeniero Civil y Msc Ing. Sanitaria
COL. 3,910

Ing. Eduardo Diéguez González
Ing. Civil Col. No. 3910
Asesor



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

Universidad de San Carlos de Guatemala
FACULTAD DE INGENIERÍA
Escuela de Ingeniería Civil



Guatemala,
20 de mayo de 2015

Ingeniero
Hugo Leonel Montenegro Franco
Director Escuela Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos

Estimado Ingeniero Montenegro.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación **DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS GRISES POR MEDIO DE BIOJARDINERA APLICADO A VIVIENDAS RURALES DEL DEPARTAMENTO DE QUICHÉ**, desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Nelson Esaú Muñoz Soto, quien contó con la asesoría del Ing. Eduardo Diéguez González.

Considero que este trabajo está bien desarrollado y representa un aporte para el departamento y habiendo cumplido con los objetivos del referido trabajo doy mi aprobación al mismo solicitando darle el trámite respectivo.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS

[Handwritten Signature]
Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Jefe del Departamento de Hidráulica



FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO
DE
HIDRAULICA
USAC

Más de **134** años de Trabajo Académico y Mejora Continua





USAC
TRICENTENARIA
 Universidad de San Carlos de Guatemala

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

Universidad de San Carlos de Guatemala
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 Escuela de Ingeniería Civil



El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Eduardo Diéguez González y del Jefe del Departamento de Hidráulica, Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco, al trabajo de graduación del estudiante Nelson Esaú Muñoz Soto, titulado DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS GRISES POR MEDIO DE BIOJARDINERA APLICADO A VIVIENDAS RURALES DEL DEPARTAMENTO DE QUICHÉ, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.


 Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, junio 2015

/bbdeb.


Mas de 134 años de Trabajo Académico y Mejora Continua





El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al trabajo de graduación titulado: **DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS GRISES POR MEDIO DE BIOJARDINERA APLICADO A VIVIENDAS RURALES DEL DEPARTAMENTO DE QUICHÉ**, presentado por el estudiante universitario **Nelson Esau Muñoz Soto**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.


Ing. Angel Roberto Sic García
Decano

Guatemala, junio de 2015



ACTO QUE DEDICO A:

- Mis padres** Artemio Muñoz y Bilma Soto, por su amor, apoyo y sacrificio durante el transcurso de mi carrera.
- Mi esposa** Rosario Rivera por su amor, apoyo y comprensión en todo tiempo.
- Mis hijos** Alejandro Méndez y Marianné Muñoz, herencia que Dios me ha regalado.
- Mis hermanas** Mirla y Marleny Muñoz, por su amor y apoyo hacia mi persona.
- Mis sobrinos** Rashell y Angy Urízar, Steve e Ivanna Muñoz, con cariño.

AGRADECIMIENTOS A:

Dios	Por ser el dador de la vida y la fuente de sabiduría.
Universidad de San Carlos de Guatemala	Por todas las enseñanzas brindadas por esta casa de estudios.
Mi asesor	Eduardo Diéguez, por compartir sus conocimientos y guiarme en el desarrollo de este trabajo.
Facultad de Ingeniería	Por ser una importante influencia en mi carrera.
Water for People	Organización que brindó su apoyo económico para el desarrollo de este trabajo.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN	XI
OBJETIVOS.....	XIII
INTRODUCCIÓN	XV
1. CONSIDERACIONES GENERALES DE LA BIOJARDINERA O BIOFILTRO	1
1.1. Antecedentes.....	1
1.2. Definiciones	2
1.2.1. Biojardineras.....	2
1.2.2. Saneamiento ecológico	2
1.2.3. Aguas grises	3
1.2.4. Parámetros físicos	4
1.3. Tipos de biofiltros	4
1.4. Etapas del sistema de tratamiento	8
1.4.1. Pretratamiento	8
1.4.2. Primario	9
1.4.3. Secundario.....	9
1.4.4. Reutilización	9
1.5. Elementos que componen el biofiltro.....	10
1.5.1. Tanque	10
1.5.2. Agua	11
1.5.3. Material filtrante	13

1.5.4.	Plantas acuáticas	14
1.5.5.	Microorganismos	16
1.6.	Contaminantes de las aguas grises	16
1.6.1.	Sólidos en suspensión	17
1.6.2.	Materia orgánica.....	18
1.6.3.	Nitrógeno.....	18
1.6.4.	Fósforo	19
1.6.5.	Microorganismos	19
2.	CONSIDERACIONES DE DISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO	21
2.1.	Análisis de las diferentes variables	21
2.1.1.	Caudal de retorno.....	22
2.1.2.	Tiempo de sedimentación, biodigestión y retención.....	22
2.1.3.	Temperatura.....	23
2.1.4.	Concentración de entrada de la DBO_5	23
2.1.5.	Pendiente	24
2.1.6.	Porosidad del material filtrante	24
2.1.7.	Conductividad hidráulica	25
2.1.8.	Tiempo de retención hidráulica	25
2.2.	Diseño del pretratamiento	26
2.3.	Dimensiones de la biojardinera (largo, ancho, profundidad)	27
2.3.1.	Superficie transversal (A_c)	28
2.3.2.	Ancho de la biojardinera (W).....	28
2.3.3.	Largo de la biojardinera (L)	29
3.	CONSTRUCCIÓN.....	31
3.1.	Elaboración de plano del sistema de tratamiento.....	31

3.1.1.	Ubicación del lugar de construcción de la biojardinera	31
3.1.2.	Características de la comunidad.....	34
3.1.3.	Ubicación geográfica	34
3.1.4.	Ruta de acceso.....	35
3.1.5.	Mapa de ubicación.....	35
3.2.	Propuesta inicial	36
3.3.	Presupuesto y cuantificación de materiales.....	38
3.4.	Proceso constructivo de la biojardinera	39
3.5.	Vegetación a utilizar	44
3.6.	Operación y mantenimiento del sistema de tratamiento	45
3.6.1.	Unidad de pretratamiento	45
3.6.2.	Biojardinera.....	45
3.7.	Reutilización de agua tratada	46
4.	EVALUACIÓN DEL SISTEMA.....	49
4.1.	Generalidades	49
4.2.	Exámenes de laboratorio antes y después del tratamiento	51
4.3.	Análisis de los resultados de laboratorio	52
4.4.	Proceso constructivo de la biojardinera	53
4.5.	Mecanismos de reducción de contaminantes en las biojardineras	54
4.6.	Análisis de resultados.....	56
4.7.	Reutilización del agua tratada	64
	CONCLUSIONES	67
	RECOMENDACIONES	69
	BIBLIOGRAFÍA	71
	ANEXOS	73

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Detalle de los elementos que componen una biojardinera de flujo subsuperficial	7
2.	Tanque biojardinera	11
3.	Tipo de agua residual generada (aguas grises)	12
4.	Lecho filtrante biojardinera	14
5.	Planta acuática: cartucho de color blanco (<i>zantedeschia aethiopica</i>) .	15
6.	Tratamiento preliminar.....	27
7.	Vista detalle de la biojardinera	30
8.	Pendiente y tipo de terreno, ubicación biojardinera.....	33
9.	Características y uso del terreno.....	34
10.	Ubicación y vías de acceso del proyecto	36
11.	Detalle diseño lecho y material filtrante biojardinera	42
12.	Tipo de planta utilizada en la biojardinera (cartucho blanco).....	44
13.	Detalle del tanque de almacenamiento para reutilización de agua tratada	47
14.	Toma de muestras biojardinera (A)	50
15.	Toma de muestras biojardinera (B)	51
16.	Evaluación del sistema de tratamiento (biojardinera). Comparación de resultados: color	58
17.	Evaluación del sistema de tratamiento (biojardinera). Comparación de resultados: sólidos sedimentables.....	59
18.	Evaluación del sistema de tratamiento (biojardinera). Comparación de resultados: DBO ₅	60

19.	Evaluación del sistema de tratamiento (biojardinera). Comparación de resultados: DQO	61
20.	Evaluación del sistema de tratamiento (biojardinera). Comparación de resultados: fosfatos.....	62
21.	Evaluación del sistema de tratamiento (biojardinera). Comparación de resultados: nitratos.....	63
22.	Evaluación del sistema de tratamiento (biojardinera). Comparación de resultados: potencial de hidrógeno	64

TABLAS

I.	Características estándar de las aguas grises domiciliarias	16
II.	Cantidad y composición de las aguas residuales y demanda de agua en viviendas particulares (por persona al día)	22
III.	Factores de aportación per cápita a la contaminación.....	24
IV.	Características del medio para la biojardinera.....	25
V.	Resumen de valores de principales variables.....	28
VI.	Coordenadas geográficas de la ubicación del proyecto.....	35
VII.	Resumen de las vías de acceso sitio del proyecto	35
VIII.	Ventajas y desventajas del tratamiento de aguas grises	37
IX.	Resumen de materiales necesarios proyecto (A)	38
X.	Resumen de materiales necesarios proyecto (B)	39
XI.	Programación de actividades de construcción de biojardinera	43
XII.	Parámetros fisicoquímicos evaluados en el agua residual y límite máximo permisible, aceptables	53
XIII.	Resultados del análisis de calidad del agua. Biojardinera aldea Xesic IV, municipio de Santa Cruz del Quiché	56

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
A	Área
DBO₅	Demanda bioquímica de oxígeno a los 5 días
d	Día
h	Hora
m	Metro
mg/L	Miligramos por litro
N, n	Número de casos y de años
%	Porcentaje
Σ	Sumatoria
T	Tiempo
U	Unidad

GLOSARIO

Aguas grises	Proviene del uso doméstico, como las utilizadas en el lavado de utensilios, ropa, e higiene personal.
Aguas negras	Tipo de agua que está contaminada con sustancias fecales y orina, proveniente de desechos orgánicos humanos y animales.
Eutrofización	Acumulación de residuos orgánicos en mar, lago y río, que causa la proliferación de ciertas algas.
Factores bióticos	También son componentes bióticos los organismos vivos que interactúan con otros seres vivos. Se refieren a la flora y fauna de un lugar y a sus interacciones. Dicese factores bióticos o FB a las relaciones asexuales que se establecen entre los seres vivos de un ecosistema y que condicionan su existencia de vida.
Filtración	Proceso unitario de separación de sólidos en suspensión en un líquido mediante un medio poroso, que retiene los sólidos y permite el pasaje del líquido.

Fotosíntesis	Proceso químico que tiene lugar en las plantas con clorofila y que permite, gracias a la energía de la luz, transformar un sustrato inorgánico en materia orgánica rica en energía.
Patógeno	Es aquel elemento o medio capaz de producir algún tipo de enfermedad o daño en el cuerpo de un animal, un ser humano o un vegetal, cuyas condiciones estén predispuestas a las ocasiones mencionadas.
Plantas acuáticas (macrofitas)	Constituyen formas macroscópicas de vegetación acuática. Comprenden las macroalgas, las pteridofitas (musgos, helechos) adaptadas a la vida acuática y las angiospermas.
Remoción	La remoción se entiende como la capacidad del sistema para eliminar parte de la concentración de contaminantes que se encuentra en el agua residual.
Saneamiento	Conjunto de técnicas y elementos destinados a fomentar las condiciones higiénicas en una comunidad.
Sedimentación	Es el proceso por el cual un sedimento se deposita en el fondo de un río, embalse, y tanque.

RESUMEN

Las tecnologías de saneamiento disponibles actualmente, además de complejas en su operación y mantenimiento, demandan cantidades significativas de energía y agua, lo que incrementa sus costos. Por esta razón el uso de biojardineras, como una alternativa de tratamiento, resulta bastante atractiva para las familias de escasos recursos, principalmente por su bajo costo y sencilla operación.

Las biojardineras o humedales artificiales son una tecnología desarrollada bajo el concepto de eco saneamiento y su implementación es reciente. Por ello en Guatemala hay poca experiencia e información acerca del diseño, construcción, funcionamiento y eficiencia de este tipo de sistemas.

En el área rural del departamento de Quiché muchas familias tienen problemas para darle tratamiento necesario a las aguas residuales que generan. Por esta razón se desarrolló el presente proyecto que plantea el diseño de tratamiento de aguas grises construyendo para ello la biojardinera a nivel doméstico, utilizando materiales locales de la zona. Al final se evaluó la eficiencia del sistema de tratamiento en la remoción de nutrientes y materia orgánica, por medio de análisis físico-químico y bacteriológico del agua a la entrada y salida de la biojardinera.

OBJETIVOS

General

Proponer un diseño de tratamiento de aguas grises utilizando para ello la biojardinera a nivel doméstico, enfocado a las viviendas del área rural del departamento de Quiché.

Específicos

1. Elaborar un documento que presenta la metodología para el diseño de biojardineras, permitiendo a los profesionales desarrollar mejores proyectos de este tipo.
2. Diseñar un modelo de biojardinera para tratar las aguas grises a nivel doméstico.
3. Construir una biojardinera utilizando materiales locales en el área rural de Santa Cruz del Quiché.
4. Evaluar la eficiencia de la biojardinera en la remoción de nutrientes y materia orgánica.
5. Proponer el uso de la biojardinera como un elemento viable, social, técnica y económicamente para el tratamiento de las aguas grises.

INTRODUCCIÓN

El sector agua y saneamiento, tanto en el ámbito mundial como nacional, se enfrenta a grandes retos: millones de personas en el ámbito mundial carecen de un sistema de saneamiento adecuado, lo que produce escasez y contaminación del agua, efectos adversos en la salud, inseguridad alimentaria, opciones tecnológicas actuales inadecuadas. El saneamiento no está en las prioridades de las familias y esto se ve más marcado en el área rural. Según el censo del 2002 la cobertura de agua y saneamiento de Guatemala era del 78 % y 47 %, respectivamente. Del 47 % de cobertura de saneamiento el 76 % corresponde al área urbana y el 16,81 % al área rural, se puede observar una diferencia bien marcada entre ambos sectores.

En el área rural la mayoría de familias viven y crían a sus hijos en un ambiente contaminado debido a la mala disposición de las aguas negras y grises, lo que origina graves problemas de salud, principalmente en los niños. Las prácticas de saneamiento se limitan, en la mayoría de los casos, al uso de letrinas de pozo ciego y en otros casos al uso de letrinas de sello hidráulico (lavables); las aguas grises provenientes de lavaderos, pilas, duchas, y otros. En la mayoría de casos corren a flor de tierra, produciendo contaminación y malos olores, se utilizan tecnologías que no son apropiadas ni sostenibles a largo plazo desde el punto de vista social, económico y ambiental.

El presente trabajo de graduación propone un modelo de tratamiento de aguas grises a nivel domiciliario, utilizando para ello la biojardinera para aplicarlo en el área rural del departamento de Quiché.

1. CONSIDERACIONES GENERALES DE LA BIOJARDINERA O BIOFILTRO

1.1. Antecedentes

La biojardinera es un sistema de tratamiento que imita a los humedales naturales, donde las aguas residuales se depuran por medio de procesos naturales. Esta tecnología comenzó a investigarse en Alemania, en la década de 1960, aunque fue hasta las últimas dos décadas del siglo pasado que comenzaron a utilizarse para el tratamiento de aguas residuales de pequeñas poblaciones a nivel mundial.

En Centroamérica se comenzó a utilizar esta tecnología en 1996 en la ciudad de Masaya, Nicaragua, donde se construyó una planta piloto para el tratamiento de aguas residuales que generaban aproximadamente 1 000 personas. Las investigaciones desarrolladas en la planta piloto permitieron desarrollar los criterios técnicos para el diseño, construcción, operación y mantenimiento de este tipo de sistema. Esta experiencia satisfactoria motivó a la construcción de otros sistemas del mismo tipo en países como El Salvador, Costa Rica y Honduras.

En los últimos años en Costa Rica, la Asociación Centroamericana para la Economía, la Salud y el Ambiente (ACEPESA) en conjunto con el Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR) conformaron un programa llamado Iniciativa Integrada para un Ambiente Urbano Sostenible (ISSUE) en el cual han desarrollado varios proyectos para la implementación de biojardineras en el

tratamiento de aguas grises en diferentes lugares de Costa Rica, los cuales han sido considerado exitosos.

1.2. Definiciones

A continuación se presentan algunas definiciones relacionadas con el sistema de tratamiento propuesto.

1.2.1. Biojardineras

Son unidades de tratamiento para aguas grises domiciliarias, excavadas, revestidas e impermeables, de forma cuadrada o rectangular rellenas con arena, piedra bola u otros materiales de alta porosidad y sembrado con plantas macrofitas, donde el agua fluye horizontalmente y cuyo rendimiento es mayor al 90 %.

1.2.2. Saneamiento ecológico

La biojardinera se basa en el enfoque de saneamiento ecológico o ECOSAN, como comúnmente se le llama. Es una nueva filosofía de ver el saneamiento realizando las prácticas comunes en las comunidades y hogares, utilizando volúmenes altos de agua, acarreando diversos tipos de contaminantes a ríos, lagos y mares.

Además se debe tomar en cuenta que se generan desechos sólidos que se sacan de las casas, y se entregan a un camión recolector, los cuales al descomponerse generan líquidos que contaminan las aguas subterráneas. Muchos de estos contaminantes que se desechan por la orina, las heces y las aguas grises contienen materia orgánica y nutrientes dañando a otros seres

vivientes como plantas y animales acuáticos. De esta forma se van contaminando los cuerpos de agua del planeta, y el problema se vuelve cada día mayor. Es por ello que es urgente adoptar nuevas prácticas de higiene y ser responsables con nuestro planeta.

El saneamiento ecológico es una filosofía o nueva manera de ver el saneamiento, un enfoque sostenible para el manejo de los desechos humanos y el agua, con el cual se previenen enfermedades, se conserva y protege el medio ambiente recuperando y reutilizando los nutrientes. Está basado en tres principios:

- Prevenir la contaminación, en lugar de intentar controlarla después de haber contaminado.
- Tratamiento de aguas negras y grises.
- Reutilización de subproductos.

1.2.3. Aguas grises

Reciben este nombre debido a su aspecto turbio y a su condición de ser producto de la mezcla de agua potable y aguas negras. Son aguas jabonosas que provienen de lavamanos, fregaderos, lavaderos, regaderas y lavadoras. Típicamente las aguas grises contienen nitratos, fosfatos, bacterias, jabones, sal, materia orgánica y sólidos suspendidos. Cuando los nutrientes ahí contenidos son conducidos a una corriente de agua, generan un tipo de contaminación llamado eutrofización, que daña severamente la vida acuática.

Además, si las aguas grises se estancan durante más de 12 horas, la materia orgánica presente sufre un proceso de descomposición y las bacterias se multiplican, por lo que adquieren características similares a las aguas negras. Por lo tanto, es necesario que previo a su descarga o reutilización reciban un tratamiento, para evitar efectos nocivos como riesgos a la salud, contaminación del medio ambiente y mal olor.

1.2.4. Parámetros físicos

Las principales características físicas de las aguas grises son: la temperatura, sólidos en suspensión, densidad, olor y turbiedad.

1.3. Tipos de biofiltros

Los humedales son zonas donde el agua es el principal factor controlador del medio, vida vegetal y animal asociada a él; se dan donde la capa freática se halla en la superficie terrestre o cerca de ella, o donde la tierra está cubierta por aguas poco profundas. Se entiende por humedal las extensiones de pantanos y superficies cubiertas de agua, sean estas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes dulces, salobres o saladas, incluida las extensiones de agua marina cuya profundidad en marea baja no exceda de seis metros.

Los sistemas diseñados para imitar las características y procesos (físicos, químicos y biológicos) de un humedal natural se le conocen como humedales artificiales o para este caso biojardinera. Los humedales artificiales son sistemas complejos e integrados en los que tienen lugar interacciones entre el agua, plantas, animales, microorganismos, energía solar, suelo y aire, con el

propósito de mejorar la calidad del agua residual y proveer un mejoramiento ambiental.

El funcionamiento de los humedales artificiales se fundamenta en tres principios básicos:

- La actividad bioquímica de los microorganismos.
- El aporte del oxígeno a través de las plantas durante el día.
- El apoyo físico de un lecho inerte que sirve como soporte para el enraizamiento de las plantas, además de funcionar como un lecho filtrante.

Existen dos tipos específicos de humedales artificiales, que se diferencian según sea el sistema de circulación de las aguas a tratar.

- Superficial de flujo libre: consisten de tanques o canales en donde el agua está expuesta a la atmósfera, con plantas acuáticas emergentes y el suelo impermeabilizado, la mayoría de los humedales naturales forman este tipo de sistema, como los fangales y pantanos. Debido a la poca profundidad del agua, la baja velocidad de flujo, la presencia de tallos y raíz de plantas se efectúa el tratamiento de las aguas residuales. Estos sistemas también se utilizan con el objetivo de crear nuevos hábitats para la fauna y flora, o para mejorar las condiciones de terrenos pantanosos naturales próximos.

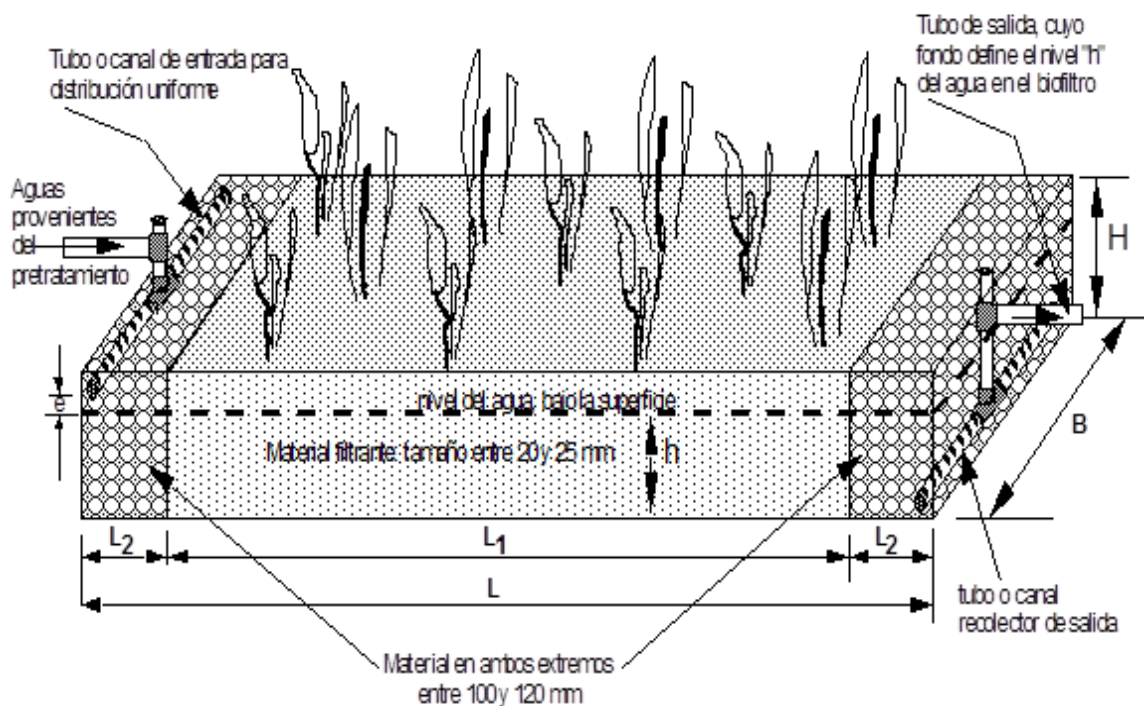
- Flujo subsuperficial: están contruidos típicamente en forma de un lecho o canal, deben tener una barrera que impida la filtración del agua al subsuelo, además contiene un medio apropiado (grava, arena y piedra) que soporta el crecimiento de las plantas, la vegetación emergente es la misma que en el sistema humedal de flujo libre. El nivel del agua está por debajo de la superficie de soporte y fluye únicamente a través del medio que sirve para el crecimiento de la película bacteriana, que es la principal responsable del tratamiento que ocurre, las raíces penetran hasta el fondo del lecho.

Es importante que en este tipo de sistemas se lleve a cabo un tratamiento previo de las aguas para remover sólidos gruesos que esta pueda contener, con la finalidad de evitar problemas de obstrucción al medio de soporte granular y que esto pueda afectar el funcionamiento del sistema. Los humedales de flujo subsuperficial pueden ser de dos tipos, en función de la forma de aplicación del agua al sistema:

- Flujo subsuperficial vertical: son cargados intermitentemente, en este tipo de sistemas las aguas a tratar son aplicadas de arriba hacia abajo por medio de un sistema de tuberías y recogidas posteriormente por tubería de drenaje situada en el fondo del humedal.
- Flujo subsuperficial horizontal: el agua circula horizontalmente a través del medio granular, rizomas y raíces de las plantas. El agua ingresa al sistema por la parte superior de un extremo y es recogida por un tubo de drenaje por la parte inferior opuesta.

La profundidad del agua es de entre 0,30 a 0,90 m, se caracterizan por funcionar permanentemente inundados. Este tipo de sistemas son eficientes en la remoción de DBO y SST. Sin embargo, no lo son en la remoción de nutrientes, en este estudio, este tipo de sistema será el que se implementará en la parte práctica.

Figura 1. **Detalle de los elementos que componen una biojardinera de flujo subsuperficial**



Fuente: INAA, Ente Regulador. *El Saneamiento de tus aguas grises, empieza ya! Construye, opera y mantiene tu biojardín.* p. 9.

1.4. Etapas del sistema de tratamiento

Toda agua residual debe ser tratada, tanto para proteger la salud pública como para preservar el medio ambiente. El proceso de tratamiento del agua residual se puede dividir en cuatro etapas: pretratamiento, primario, secundario y terciario; antes de tratar cualquier agua servida se debe conocer su composición.

En un sistema de biojardinera se aprovecha que en el suelo existen microorganismos que degradan la materia orgánica y que las plantas necesitan nutrientes y agua para su desarrollo. Ciertas plantas (plantas de pantano) pueden tolerar con mayor facilidad un medio saturado, es decir, un medio que tiene presencia de agua permanente.

1.4.1. Pretratamiento

Las aguas residuales son conducidas por el sistema de tuberías de la vivienda (inicialmente fueron separadas como aguas grises) hasta la biojardinera; en este momento comienza el pretratamiento. Este cumple varias funciones, las principales son:

- Medir y regular el caudal de agua que llega a la biojardinera.
- Extraer los sólidos flotantes grandes y la arena (a veces, también la grasa).

En la trampa de grasas se quitan las partículas gruesas y grasosas que puedan estar viajando con el agua, por ejemplo: restos de comida, cáscaras de frutas y verduras, materiales plásticos y vidrios, entre otros. Por facilidad para el estudio se utilizó en la trampa de grasas un tonel plástico, el que cumple de manera adecuada su función; los primeros se van al fondo y las segundas se mantienen flotando.

1.4.2. Primario

Tiene como principal objetivo eliminar los sólidos en suspensión por medio de un proceso de sedimentación simple por gravedad u otra acción.

1.4.3. Secundario

La finalidad es eliminar la materia orgánica en disolución y en estado coloidal mediante un proceso de oxidación de naturaleza biológica seguido de sedimentación. Este proceso biológico es un proceso natural controlado en el cual participan los microorganismos presentes en el agua residual; los que se alimentan de los sólidos en suspensión y estado coloidal.

1.4.4. Reutilización

Los beneficios de la reutilización del agua residual incluyen un menor uso de las fuentes de agua, un menor caudal a las fosas sépticas o plantas de tratamiento.

El agua ya tratada que se obtiene al final de estos procesos no está 100 % purificada, pero ya tendrá una muy buena calidad como para ser utilizada en

otras actividades como riego de jardines y áreas verdes; principalmente durante la época seca y uso en servicios sanitarios o lavado de autos.

1.5. Elementos que componen el biofiltro

Las biojardineras son sistemas de tratamiento de aguas residuales (grises) que permiten su tratamiento y reutilización. Se construyen con diferentes materiales, pero su requisito principal es la impermeabilización, es decir, no se le debe escapar el agua. A continuación se presentan los principales elementos que componen los biofiltros.

1.5.1. Tanque

Está compuesto de una excavación rectangular con profundidades que oscilan entre 60 cm y 100 cm, en donde se deposita el agua a tratar. El fondo del tanque deber ser impermeabilizado para evitar filtraciones hacia el suelo circundante.

Figura 2. Tanque biojardinera



Fuente: Aldea Xesic IV, municipio de Santa Cruz del Quiché.

1.5.2. Agua

Constituye uno de los factores primordiales, las características que presenta en cuanto a su composición fisicoquímica y microbiológica será la pauta principal para desarrollar un sistema de tratamiento por medio de humedales artificiales.

Las aguas residuales a tratar se originan en actividades de aseo personal y uso de servicios sanitarios, lavado de ropa, de limpieza, de cocina y de otros usos domésticos.

Las aguas grises de los lavamanos, duchas, lavandería y cocina son las que se producen en mayor cantidad (cerca del 80 % de todas las aguas domésticas saliendo de una casa). Las aguas tratadas con este tipo de sistema no pueden emplearse para el consumo humano.

Figura 3. Tipo de agua residual generada (aguas grises)



Fuente: Aldea Xesic IV, municipio de Santa Cruz del Quiché.

1.5.3. Material filtrante

Está compuesto de material filtrante de diferente granulometría: suelo, arena, grava y piedra. Los criterios para la selección del lecho filtrante son la granulometría, porosidad y permeabilidad; sus principales funciones son:

- Eliminar sólidos suspendidos que contengan las aguas grises.
- Proporcionar la superficie donde se desarrollarán los microorganismos que se encargarán de degradar los contaminantes mediante procesos aeróbicos y anaeróbicos.
- Constituyen el medio para que las raíces de las plantas de pantano se desarrollen.

Figura 4. **Lecho filtrante biojardinera**



Fuente: Aldea Xesic IV, municipio de Santa Cruz del Quiché.

1.5.4. Plantas acuáticas

Las plantas cumplen una función muy importante en el tratamiento de aguas grises por medio de la biojardinera, ya que sus raíces ayudan a incrementar los procesos físicos de filtración y el desarrollo de microorganismos en la superficie de ellas. Además contribuyen en gran manera al ingreso de oxígeno en el lecho filtrante necesario para la formación de microorganismos aeróbicos, en las superficies de las raíces de las plantas.

Figura 5. **Planta acuática: cartucho de color blanco**
(*zantedeschia aethiopica*)



Fuente: Aldea Xesic IV, municipio de Santa Cruz del Quiché.

En general es recomendable que las plantas de pantano crezcan en la zona de construcción de la biojardinera. También contribuyen al tratamiento de las aguas grises en los siguientes aspectos:

- Estabilizan el sustrato y canalizan el flujo de las aguas grises.
- Dan lugar a velocidades de flujo bajas, lo cual favorece tiempos de retención hidráulica altos.
- Contienen el carbono, nitrógeno y fósforo incorporándoles a sus tejidos.

- El tallo y raíz dan lugar al desarrollo de microorganismos.

1.5.5. Microorganismos

Para el correcto funcionamiento de los sistemas de tratamiento los microorganismos cumplen con la función biológica de disminuir la carga orgánica. Microorganismos tales como: bacterias, hongos y protozoarios tienen la función principal de degradar aeróbicamente (con presencia de oxígeno) y anaeróbicamente (sin presencia de oxígeno) la materia orgánica y nutrientes contenidos en las aguas grises. También permiten la remoción de nitrógeno mediante el proceso de nitrificación-desnitrificación.

1.6. Contaminantes de las aguas grises

La biojardinera es capaz de remover diferentes contaminantes de las aguas grises, incluyendo: sólidos en suspensión, materia orgánica (DBO, DQO) y nutrientes (nitrógeno y fósforo), se lleva a cabo por procesos físicos, químicos y microbiológicos. Es necesario que se pueda realizar un tratamiento previo de las aguas para evitar obstrucciones y taponamientos en el humedal.

Tabla I. **Características estándar de las aguas grises domiciliarias**

Característica	Valor
pH (potencial de hidrogeno)	7,76
K (Potasio)	857,5 mg/L
Turbiedad	424,0 UTN
Color	15,0 unidades
S. t (Sólidos totales)	734,7 mg/L
S.S.t (Sólidos suspendidos totales)	338,42 mg/L
Alcalinidad A.M	210,0 mg/L como CaCO ₃

Continuación de la tabla I.

Dt	137,26 mg/L como CaCO ₃
DMg+2	94,45 mg/L como CaCO ₃
Fe (Hierro)	0,0275 mg/L
SO ₄	0,423 mg/L
Grasas y Aceites	378,47 mg/L
DQO	747,83 mg/L
Ct (Coliformes totales)	2400,0 NMP/100 ml
Cf (Coliformes fecales)	420,0 NMP/100 ml
DBO	

Fuente: *Manual de biojardineras*: http://aula.aguapedia.org/file.php/22/Biojardineras/Manual_Biojardineras.pdf. Consulta: 10 de noviembre de 2014.

1.6.1. Sólidos en suspensión

En la remoción de sólidos las partículas, cuando entran en una biojardineras de flujo subsuperficial, quedan retenidas principalmente por tres motivos:

- Las constricciones del flujo producidas por el lecho filtrante
- La baja velocidad del agua
- Las fuerzas de adhesión entre partículas

Después que los sólidos en suspensión quedan retenidos en la biojardineras comienza a degradarse y así representa una fuente interna de materia orgánica.

1.6.2. Materia orgánica

La materia orgánica degradable presente en las aguas grises se elimina rápidamente debido a la degradación microbiana. Los microbios responsables de esta degradación se encuentran adheridos a las partículas del suelo, vegetación y desechos vegetales. La materia orgánica sedimentable es descompuesta aeróbicamente o anaeróbicamente, dependiendo del oxígeno disponible, el resto continúa siendo removido al entrar en contacto con los microorganismos que crecen en el sistema. Esta actividad biológica se desarrolla cerca de la superficie del agua, y cerca de las raíces y rizomas de las plantas acuáticas

En climas cálidos la remoción de la DBO durante los primeros días es rápida, y a medida que el tiempo va avanzando se va limitando. Esto sucede debido a la producción de la DBO residual ocurrida por la descomposición de los residuos de plantas y otra materia orgánica presente en el humedal. Por lo que hace a este tipo de sistemas únicos, ya que se origina la DBO dentro del sistema, por lo que es posible diseñar un sistema para una salida en el efluente de 0 en la remoción de la DBO, independientemente del tiempo de retención hidráulica.

1.6.3. Nitrógeno

En los sistemas de humedales artificiales, el nitrógeno entra comúnmente como nitrógeno amoniacal y orgánico, dependiendo la forma de encontrarse el nitrógeno así será el mecanismo de remoción de este contaminante. La transformación y eliminación de nitrógeno en este tipo de sistemas requiere una serie de procesos y reacciones complejas. Las plantas en una pequeña parte ayudan a la eliminación del nitrógeno; el potencial de remoción de nitrógeno

puede tomar varios años en desarrollarse, requiere dos o tres etapas del crecimiento de plantas, sistemas de raíces y capa de residuos para alcanzar el equilibrio.

1.6.4. Fósforo

Los principales procesos de eliminación de fósforo, que se producen en este tipo de sistemas, son la adsorción y precipitación química, aunque las plantas también consumen parte del fósforo presente. El fósforo, normalmente presente en forma de ortofosfato, adsorbido por minerales arcillosos y determinadas fracciones orgánicas del suelo.

1.6.5. Microorganismos

Los mecanismos de eliminación de las bacterias y parásitos (protozoos y helmintos) comunes a la mayoría de los sistemas de humedales, incluyen la muerte, retención, sedimentación, desecación y adsorción. Permiten reducir las concentraciones de microorganismos en varios órdenes de magnitud pero, en general, no consiguen rendimientos de eliminación suficientes para eliminar la necesidad de desinfección para cumplir con las limitaciones relativas al número de bacterias.

2. CONSIDERACIONES DE DISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO

Los sistemas para el tratamiento de las aguas residuales deben iniciarse mejorando los hábitos de consumo de la población, para que al llevar a cabo tratamientos se obtengan mejores resultados. Si las aguas grises no son tratadas en forma adecuada, para mejorar su calidad, se estará produciendo un impacto negativo al ambiente, malos olores y focos para la posible transmisión de enfermedades.

El sistema de filtros-jardinera puede reutilizar hasta un 70 % del agua que ingresa al filtro; del 30 % restante, las plantas utilizan una parte para su crecimiento y evaporan otra. Los efluentes, de mucha mejor calidad, serán útiles para el riego de jardines.

2.1. Análisis de las diferentes variables

El éxito de la remoción de los contaminantes depende no solo del diseño adecuado sino también del lecho filtrante a ser utilizado. El uso de especies vegetales en estos sistemas constituye un factor importante dentro del tratamiento de las aguas residuales. Existe una gran variedad de especies vegetales que participan del proceso de depuración de aguas.

Tabla II. **Cantidad y composición de las aguas residuales y demanda de agua en viviendas particulares (por persona al día)**

Tipo	Descarga de agua L/Hab./día
Lavado de platos	4
Lavado de ropa	19
Higiene personal	10
Ducha/tina	20
Limpieza de la casa	3
Total	56

Fuente: GTZ. *Manual de Disposición de Aguas Residuales, Origen, descarga, tratamiento y análisis de las aguas residuales* tomo I. p. 13.

2.1.1. Caudal de retorno

Es necesario conocer la cantidad de personas que habitan en la vivienda y la cantidad de agua que gastan esas personas. Se utilizará un volumen promedio de retorno de aguas grises a tratar por vivienda particular de 60 l/hab/día, tomando en cuenta para este caso la cantidad de 5 habitantes por vivienda, por lo tanto el caudal de diseño será de 300 l/día (0,30 m³/día).

2.1.2. Tiempo de sedimentación, biodigestión y retención

Los sistemas de tratamiento generalmente incluyen una etapa de sedimentación, con el objetivo de producir un líquido homogéneo capaz de ser tratado biológicamente y unos fangos o lodos que sean tratados separadamente.

Digestión es la descomposición biológica de la materia orgánica del lodo, durante la biodigestión la materia orgánica se transforma en compuestos menos complejos, por acción de microorganismos.

El tiempo de retención (residencia hidráulica) se considera como el tiempo, en días, necesario para reducir la DBO entrante y la DBO meta en la salida.

2.1.3. Temperatura

La temperatura del agua residual suele ser más elevada que la del agua potable. Es un parámetro muy importante dada su influencia en las reacciones químicas y velocidad de reacción, así como la aptitud del agua para diferentes usos. Para determinar el tamaño de la biojardineras se debe determinar la temperatura mínima del ambiente del sitio propuesto.

2.1.4. Concentración de entrada de la DBO₅

Para medir la concentración de contaminantes orgánicos, en las aguas que resultan del uso doméstico, el parámetro más utilizado es la demanda bioquímica de oxígeno o (DBO₅), generalmente en las aguas de origen doméstico este valor fluctúa entre los 200 a 300 mg/L.

En el diseño de la biojardinera se consideran las concentraciones de entrada de los contaminantes que se desean eliminar al máximo. En este caso por el tipo de agua que se estará tratando se basa en la concentración de la DBO₅.

Tabla III. **Factores de aportación per cápita a la contaminación**

Constituyente	Intervalo (g/hab.día)	Valor típico /g/hab.día)
Agua residual doméstica normal DBO ₅	65-120	90

Fuente: METCALF & Eddy. *Ingeniería de Aguas Residuales. Tratamiento, vertido y reutilización*. p. 191.

2.1.5. Pendiente

Este parámetro es necesario para establecer el gradiente hidráulico necesario para el flujo del agua a través de la biojardinera, los valores recomendados varían entre 0,5 % - 1 %; en este caso se utilizó 1 %.

2.1.6. Porosidad del material filtrante

La porosidad del material filtrante juega un papel importante, ya que de este depende la superficie disponible para la generación de la capa bacteriana que se encargará de la depuración de las aguas grises. Su valor tiene un efecto sobre el tamaño de la instalación, ya que mientras más poroso es el material reduce el área de la biojardinera. Para este caso se utilizó grava mediana que tiene un valor de porosidad de 0,40 de acuerdo con la siguiente tabla.

Tabla IV. **Características del medio para la biojardinera**

Tipo de medio	Tamaño efectivo d_{10} , mm	Porosidad del material	Conductividad hidráulica, pie/d
Arena mediana	1	0.30	1,640
Arena gruesa	2	0.32	3,280
Arena pedregosa	8	0.35	16,400
Grava mediana	32	0.40	32,800
Grava gruesa	128	0.45	328,000

Fuente: METCALF & Eddy. *Ingeniería de Aguas Residuales. Tratamiento, vertido y reutilización*. p. 1131.

2.1.7. Conductividad hidráulica

Este parámetro se refiere a la mayor o menor facilidad con que el medio filtrante deja pasar el agua a través de él, por unidad de área transversal a la dirección del flujo. Depende en gran medida del tamaño de partícula del medio filtrante. Para este caso la conductividad del material usado es de 0,0012 m/s (32 800 pie/d).

2.1.8. Tiempo de retención hidráulica

Es el tiempo medio teórico que permanecen las partículas de agua en un proceso de tratamiento. Se determina principalmente por el tipo de contaminante a remover, si se desea remover materia orgánica se recomienda una tiempo de retención de 3 a 5 días, y 8 a 10 días si se requiere remover bacterias E. Coli.

De acuerdo a las condiciones de operación (aguas grises de una familia), hay poca o nula presencia de E. Coli y mayor contenido de materia orgánica, se utilizará un valor de 3 a 5 días.

2.2. Diseño del pretratamiento

El pretratamiento es de vital importancia para la vida de la biojardinera; con él se remueven las partículas flotantes, principalmente grasosas (provenientes en muchos casos del lavado de platos, higiene personal, lavado de ropa) y partículas pesadas que sedimentan (restos de comida, pedazos de jabón, entre otros).

Este material no debe llegar al sistema de biojardinera debido a que producirá taponamientos y puede descomponerse entre las piedras, descontrolando el proceso de extracción de contaminantes y de producción de oxígeno que se pretende realizar con las raíces de plantas.

Figura 6. **Tratamiento preliminar**



Fuente: Aldea Xesic IV, municipio de Santa Cruz del Quiché.

2.3. Dimensiones de la biojardinera (largo, ancho y profundidad)

A continuación se presentan los cálculos hidráulicos necesarios para este tipo de sistemas, que permitan establecer la geometría de la biojardinera y definir sus dimensiones, según los parámetros anteriores. El tamaño de la biojardinera depende principalmente de la cantidad de efluente que va a entrar y de la cantidad de la DBO_5 que se necesita reducir, por lo general se puede decir que 1 m^3 de área superficial puede tratar 135 litros de aguas grises.

Tabla V. **Resumen de valores de principales variables**

Núm.	Parámetro		Valor
1	Número de usuarios	P	5
2	Caudal de retorno aguas grises	Q	60 l/hab/día
3	Caudal de diseño	Q _d	0,30 m ³
4	Concentración de entrada de DBO ₅	C _{eDBO}	90 mg/l
5	Pendiente hidráulica	S	1 %
6	Porosidad del material filtrante	N	0,4
7	Profundidad útil	H	0,6 m
8	Conductividad hidráulica	K _f	0,0012 m/s
9	Tiempo de retención	TRH	3 a 5 días

Fuente: elaboración propia.

2.3.1. Superficie transversal (Ac)

La superficie transversal de los sistemas de flujo subsuperficial queda establecida por la siguiente ecuación:

$$Ac = Q / K_f S$$

$$Ac = \frac{(0,0012 \text{ m/s}) \times (0,01)}{(86\ 400)} = 0,29 \text{ m}^2$$

2.3.2. Ancho de la biojardinera (W)

El ancho mínimo se determina mediante la siguiente ecuación:

$$w = Ac / h$$

$$W = \frac{0,29 \text{ m}^2}{0,6\text{m}} = 0,48 \text{ m}$$

ancho corregido = 1,5 m

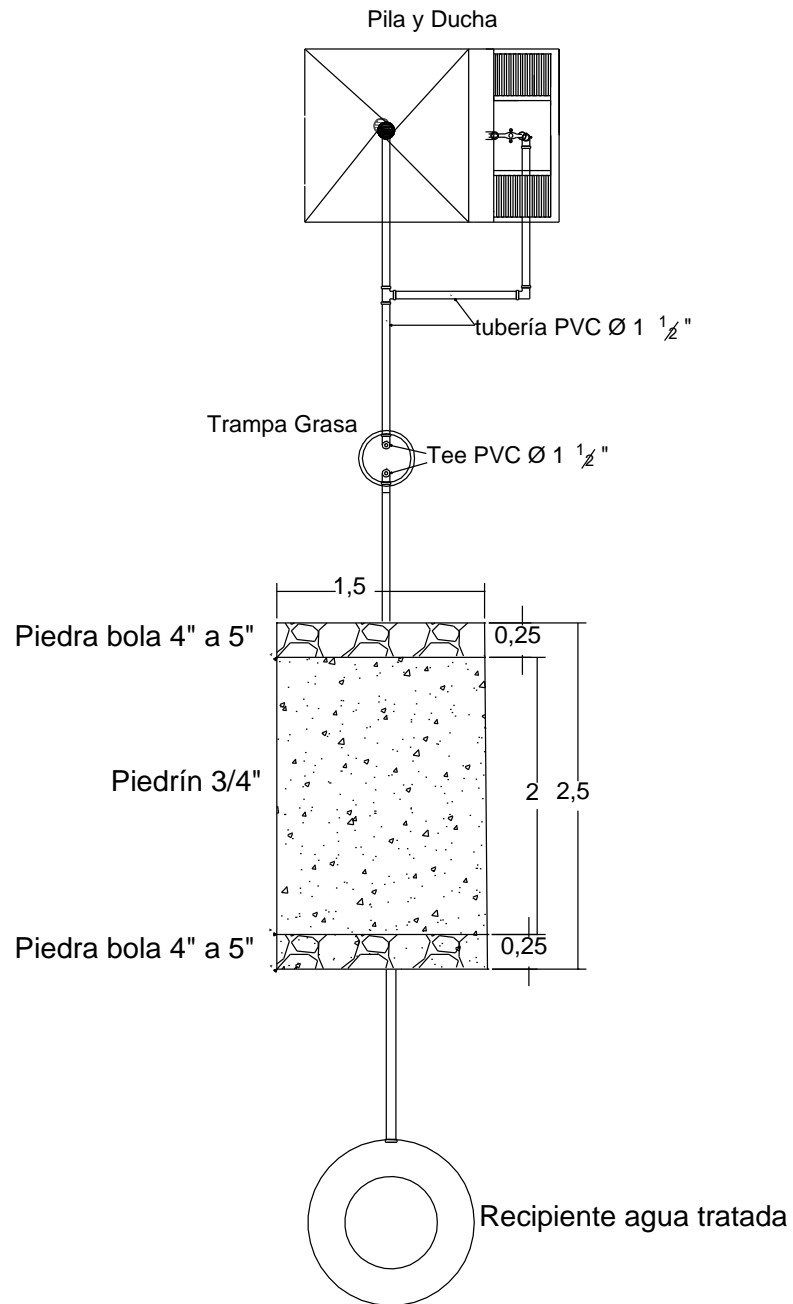
2.3.3. Largo de la biojardinera (L)

El largo se determina mediante la siguiente ecuación:

$$L = (TRH) (Q)$$

$$L = \frac{(TRH) * Q}{(W * h * n)} = \frac{3d * 0,30m^3/d}{(1,5 m * 0,6m * 0,4)} = 2,5 m$$

Figura 7. Vista detalle de la biojardinera



Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD 2010.

3. CONSTRUCCIÓN

3.1. Elaboración de plano del sistema de tratamiento

De acuerdo con los resultados del cálculo de las dimensiones, materiales e instalaciones necesarias se realizaron los planos necesarios para la construcción del sistema de tratamiento. A continuación se presenta información importante sobre la ubicación y características y planos del proyecto.

3.1.1. Ubicación del lugar de construcción de la biojardinera

De acuerdo con los criterios establecidos, en el capítulo anterior, se decidió construir la biojardinera de flujo subsuperficial en una vivienda de la aldea Xesic IV, ubicada al norte del municipio de Santa Cruz del Quiché, departamento de Quiché.

Las características más importantes que se deben tomar en cuenta para seleccionar el lugar para la construcción de la biojardinera son las siguientes:

- Ubicación: el terreno donde se va a construir la biojardinera debe tener un nivel de altura más bajo que el lugar donde salen las aguas grises para el tratamiento; una diferencia recomendable es de 30 cm, esto con el objetivo de que las aguas grises fluyan por acción de la gravedad, con una velocidad adecuada antes de ingresar al tratamiento.

Además, debe haber espacio suficiente para colocar antes de la biojardinera el pretratamiento y un espacio extra para colocar después de la biojardinera un depósito de almacenamiento del agua tratada o un espacio de infiltración para el vertido de las aguas tratadas.

- Topografía: el terreno propicio para la construcción de la biojardinera es de una topografía plana o con ligera pendiente, ya que un terreno que tenga demasiada pendiente el movimiento de tierras afectaría el costo constructivo del sistema. En consecuencia se recomienda construir con pendientes inferiores al 5 %.
- Suelo: debido a que el objetivo de la biojardinera es el tratamiento de las aguas grises por encima de la superficie, el suelo deberá tener estratos subsuperficiales de permeabilidad lenta o bien impermeabilizar con distintos materiales como mezcla de concreto o poner *nylon* en las paredes de la fosa en donde se realizará la construcción.

Figura 8. **Pendiente y tipo de terreno, ubicación biojardinera**



Fuente: Aldea Xesic IV, municipio de Santa Cruz del Quiché.

- Riesgos de inundación: ubicar el sistema en terrenos que estén libres de inundación, caso contrario tomar las medidas preventivas para evitar las inundaciones.
- Uso del terreno: es recomendable que el terreno donde se ubique el tratamiento sean espacios abiertos o de uso agrícola.
- Clima: el proceso de depuración de las aguas grises es sensible a la temperatura, ya que los principales mecanismos son biológicos. Se recomiendan climas cálidos y templados para lograr un mejor resultado en el tratamiento.

Figura 9. **Características y uso del terreno**



Fuente: Aldea Xesic IV, municipio de Santa Cruz del Quiché.

3.1.2. Características de la comunidad

La vivienda está a la orilla del camino, a un costado del centro escolar de la comunidad, dista aproximadamente a 6,5 km de la cabecera departamental. El clima es templado, con una topografía montañosa, la fuente de ingresos de la mayoría de los habitantes de la aldea es la producción agrícola y obtienen un ingreso promedio mensual de Q 600,00.

3.1.3. Ubicación geográfica

El proyecto se ubica en la aldea Xesic IV, al norte del municipio de Santa Cruz del Quiché, departamento de Quiché.

Tabla VI. **Coordenadas geográficas de la ubicación del proyecto**

Latitud	15°4'51.45" N
Longitud	91°8'8.93" O
Elevación	2229 MSNM

Fuente: elaboración propia.

3.1.4. Ruta de acceso

Desde el municipio de Santa Cruz del Quiché, departamento de Quiché, se utilizan las siguientes vías de comunicación para llegar al sitio del proyecto.

Tabla VII. **Resumen de las vías de acceso sitio del proyecto**

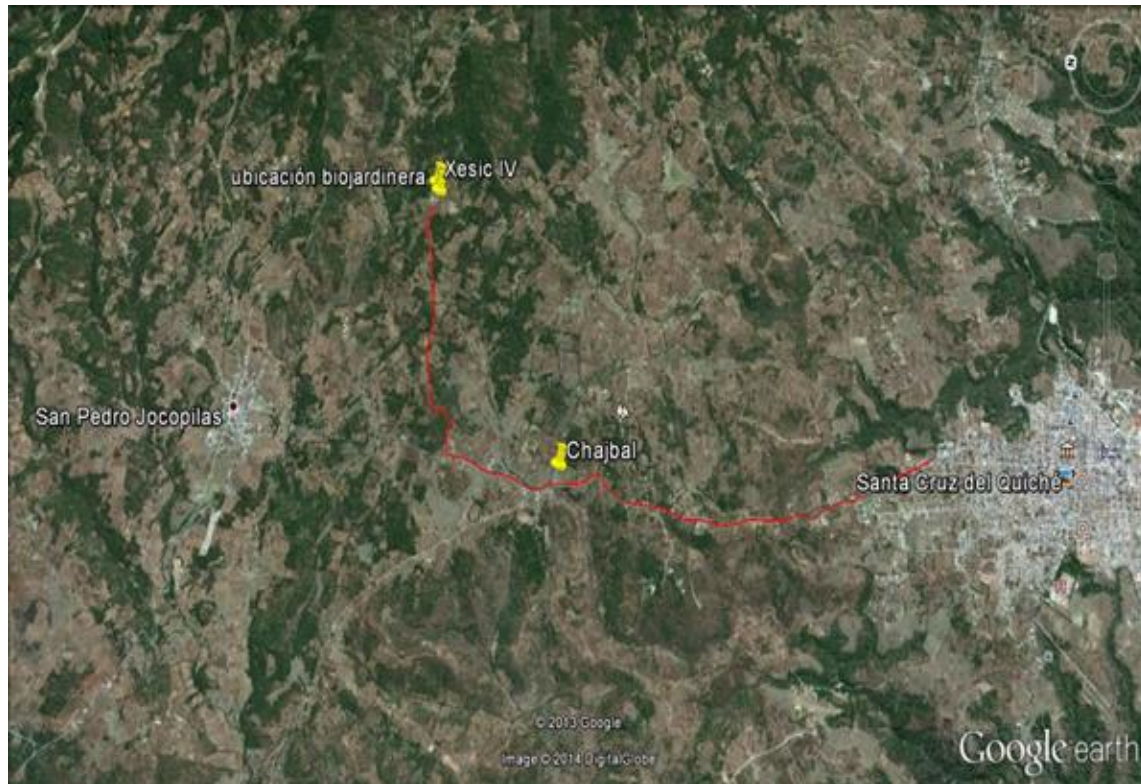
De	A	Distancia (km)	Tipo	Estado
Santa Cruz del Quiché	Chajbal	4,5	Asfaltada	Bueno
Chajbal	Xesic IV	2	Terracería	Bueno

Fuente: elaboración propia.

3.1.5. Mapa de ubicación

A continuación se presenta una imagen sobre la ubicación y vías de acceso del proyecto.

Figura 10. **Ubicación y vías de acceso del proyecto**



Fuente: Programa Google Earth. Consulta: 18 de octubre de 2014.

3.2. Propuesta inicial

A continuación se describen las principales actividades realizadas dentro de la propuesta inicial.

- Visita preliminar: se realizó una visita a la vivienda en donde se construyó la biojardinera.

- Entrevistas a interesados: se platicó con el jefe del hogar, el señor Abelino Reynoso, y su familia, haciéndole ver que el objetivo del proyecto era desarrollar un modelo demostrativo de tratamiento de aguas grises, explicándoles el funcionamiento y los componentes del mismo.
- Compromiso del interesado: los interesados acordaron apoyar el desarrollo del proyecto. Además asumieron la aportación del material local (piedra bola, pedrín y arena) y mano de obra necesaria para realizar el trabajo. Además el señor Abelino Reynoso solicitó involucrarse en el proyecto la vivienda de su señora madre, que se encuentra a un costado de la suya.
- Se proporcionó la información necesaria a todos los involucrados sobre el proyecto.

Tabla VIII. **Ventajas y desventajas del tratamiento de aguas grises**

Ventajas	Desventajas
Brinda una manera sanitaria de desechar las aguas grises.	Disponibilidad de terreno.
Se eliminan los olores desagradables de las aguas grises estancadas.	Problemas de inundación por lluvias.
Previenen la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas.	Debe existir un flujo de aguas grises continuo todo el tiempo para que las plantas y organismos no mueran.
Funciona como un elemento ornamental.	La pendiente del terreno debe ser tal que permita el flujo de las aguas grises por gravedad.
Utilización de materiales locales.	
Bajo costo y mantenimiento.	

Fuente: elaboración propia.

3.3. Presupuesto y cuantificación de materiales

De acuerdo a las condiciones del diseño, los materiales que se utilizaron para la construcción del sistema de tratamiento de aguas grises se presentan a continuación:

Tabla IX. **Resumen de materiales necesarios proyecto (A)**

Núm.	Cantidad	Unidad	Descripción	Costo unitario (Q)	Costo total (Q)
1	1	U	Recipiente plástico con tapadera con un volumen mínimo de 19 galones	50,00	50,00
2	2	U	Tee PVC, sanitaria Ø 1 ½"	15,00	30,00
3	1	Tubo	Tubería PVC, sanitaria Ø 1 ½"	55,00	55,00
5	1	Tubo	Tubería PVC, sanitaria Ø 1", para ventilación	32,00	32,00
6	1	U	Tee PVC, sanitaria Ø 1"	5,00	5,00
7	2	U	Codo PVC, Ø 1 ½"	7,50	15,00
				Total	187,00

Fuente: elaboración propia.

Tabla X. **Resumen de materiales necesarios proyecto (B)**

Núm.	Cantidad	Unidad	Descripción	Costo unitario (Q)	Costo total (Q)
1	0,5	m ³	Piedra bola Ø 4"- 5"	180,00	90,00
2	2	m ³	Piedrín tipo grava Ø ¾ "- 1"	230,00	460,00
3	6	M	Plástico de 0,7 mm de espesor (3 m de ancho útil, doble)	14,00	84,00
4	1	Tubo	Tubería PVC, sanitaria Ø 1 ½"	55,00	55,00
5	6	U	Tapón PVC, sanitario Ø 1 ½"	17,00	102,00
6	4	U	Tee PVC, sanitaria Ø 1 ½ "	15,00	60,00
7	1	tubo	Silicón	40,00	40,00
8	4	sacos	Cemento	73,00	292,00
				Total (Q)	1 183,00

Fuente: elaboración propia.

3.4. Proceso constructivo de la biojardinera

Después de definir el diseño del sistema a implementar se dio inicio a la construcción de la biojardinera; para esto se dieron las instrucciones y recomendaciones necesarias a los miembros de la familia y personas participantes en el proceso, para garantizar la correcta construcción del sistema.

A continuación se presentan las actividades y trabajos que se realizaron de acuerdo a la programación del proyecto.

- Limpieza del lugar de construcción: quitando toda vegetación y basura, esta actividad fue realizada por los miembros de la familia, utilizando herramientas manuales como pala, azadón y piocha.
- Nivelación del terreno: se colocaron cuatro estacas de madera en los distintos extremos del espacio en donde se construyó la biojardinera, unidos por una cuerda para establecer los niveles de referencia, colocando los puntos a una misma altura o en un mismo plano. A partir de allí se midieron las alturas verticales que se van a necesitar.
- Después se realizó la excavación de una forma manual: utilizando azadones y palas; finalizó cuando se logró la profundidad de diseño de 70 cm, el fondo estaba completamente plano y al mismo nivel de referencia tomado a partir de la cuerda.
- Verificación de las medidas propuestas en el diseño de la biojardinera, ancho, largo y altura.
- Impermeabilización de la biojardinera: el objetivo fundamental de este paso es impedir que las aguas grises que entran a la biojardinera se filtren en el terreno. Se puede realizar con distintos materiales como por ejemplo cemento, ladrillo, sacos, entre otros. Para este caso, con el fin de minimizar los costos, se utilizó plástico tipo *nylon*.
- Antes de colocar el plástico (*nylon*) se debe verificar que en el fondo de la excavación no existan piedras o material que pudiera dañar y perforar el mismo. El plástico debe tener un espesor mínimo de 1,4 mm. Se dobló en dos capas el *nylon* antes de colocarlo en la excavación, se colocó un reborde de fundición de cemento con piedra bola, en el

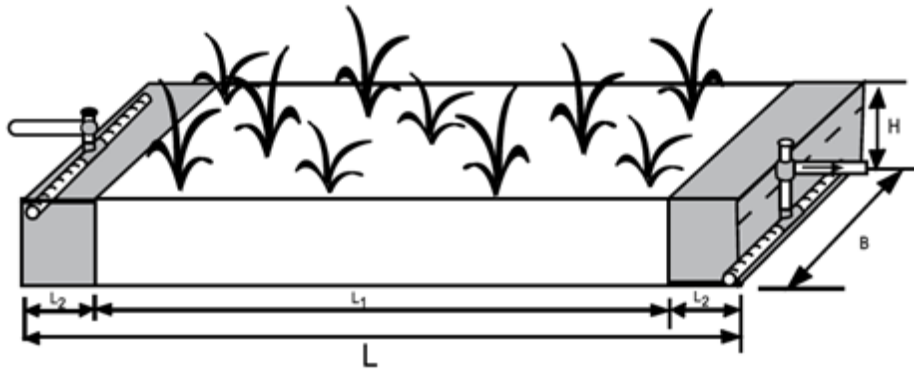
perímetro de la biojardinera con el fin de evitar entrada de agua de lluvia al tratamiento. Sobre el plástico se colocaron sacos para cubrir y protegerlo, de manera que no se rompa en el momento de colocar el material filtrante.

- Tubería de entrada y salida: se preparó la tubería PVC Ø 1 ½” que se utilizó para el ingreso y la salida de las aguas grises provenientes de la vivienda. En la biojardinera se colocó a todo lo ancho en la parte superior un tubo de distribución del agua que viene del tanque de pretratamiento, también se colocó un tubo igual en el extremo opuesto de la biojardinera, en la parte inferior, con el propósito de recoger el agua tratada que saldrá de la biojardinera.

Los tubos deben tener tapones en los extremos y el agua entra o sale por medio de una tee colocada al centro, para que el agua se distribuya de la mejor manera hacia los lados. Estos tubos se colocaron en forma horizontal y debidamente nivelados. Posteriormente se hicieron aberturas en el tubo de 3 cm con una separación de 5 cm, formando una canoa de distribución.

- Colocación material filtrante: antes de proceder a la colocación del material filtrante se debe seccionar la longitud total (L) requerida por el diseño de la biojardinera en tres tramos, así: $L = L_2 + L_1 + L_2$; L_2 corresponde a dos tramos cortos de la misma medida que se ubican en los extremos y un tramo largo en la parte central, tal como se indica en la siguiente figura.

Figura 11. **Detalle diseño lecho y material filtrante biojardinera**



Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD 2010.

Los dos tramos iguales L_2 tendrán una longitud de 25 cm cada uno. Se colocó piedra bola gruesa de aproximadamente 5", con el propósito de formar una barrera e impedir el ingreso de material fino y tapar las tuberías de entrada y de salida, en el tramo central L_1 con una longitud de 2 m se colocó piedrín tipo grava de $\frac{3}{4}$ ". El material se acomodó cuidadosamente en capas, teniendo el cuidado de no dañar el plástico en el inferior de la biojardinera.

Tabla XI. Programación de actividades de construcción de biojardinera

Núm.	Actividad	Descripción	Duración (días)	Responsable
1	Limpieza del lugar de construcción	Eliminar toda la vegetación y otros materiales.	3	Grupo familiar interesado
2	Nivelación del terreno	De acuerdo al diseño; a partir de allí se medirán las alturas verticales que se necesitan.	2	Grupo familiar, supervisión profesional.
3	Excavación	Por medio manual; profundidad de diseño 70 cm.	4	Grupo familiar, supervisión profesional.
4	Verificación de las medidas propuestas en el diseño	Se verificaron ancho, largo y altura.	1	Profesional responsable supervisión.
5	Impermeabilización	Con el objetivo de impedir que las aguas grises se filtren en el terreno. Se utilizó plástico tipo <i>nylon</i> ; verificar que en el fondo no existan piedras o material que pudiera dañar y perforar el plástico (espesor mínimo de 1,4 mm).	4	Grupo familiar, supervisión profesional.
6	Fundición de reborde, cemento con piedra bola	Con el fin de evitar entrada de agua de lluvia al sistema de tratamiento.	7	Grupo familiar, supervisión profesional.
7	Instalación de las tuberías entrada y salida	Se utilizó PVC Ø 1 ½", la tubería a todo lo ancho en la parte superior un tubo de distribución del agua que viene del tanque de pretratamiento; también se colocó un tubo igual en la parte inferior (de acuerdo al diseño).	3	Grupo familiar, supervisión profesional.
8	Colocación del material filtrante	Se dividió la longitud total (L) en tres tramos, así: $L = L_2 + L_1 + L_2$ (de acuerdo al diseño).	2	Grupo familiar, supervisión profesional.

Fuente: elaboración propia.

3.5. Vegetación a utilizar

Las plantas a utilizar en el sistema de tratamiento se pueden seleccionar con base en la eficiencia proporcionada en el tratamiento de las aguas residuales. Estas deben poseer raíces largas y ser de las plantas que les gusta vivir en agua o con bastante humedad (planta acuática requiere una gran cantidad de agua en sus raíces para vivir).

De acuerdo a los antecedentes y a las condiciones del proyecto se utilizó la planta: cartucho de color blanco (*zantedeschia aethiopica*) conocida como cala o lirio de agua. Es una planta herbácea, de origen sudafricano, muy utilizada a nivel ornamental por su gran belleza.

Figura 12. **Tipo de planta utilizada en la biojardinera (cartucho blanco)**



Fuente: Aldea Xesic IV, municipio de Santa Cruz del Quiché.

3.6. Operación y mantenimiento del sistema de tratamiento

Como en todo proyecto de infraestructura es de suma importancia que el usuario realice actividades de mantenimiento para garantizar el correcto funcionamiento del mismo. A continuación se describen algunas actividades importantes que se deben realizar en este sistema.

3.6.1. Unidad de pretratamiento

Se recomienda realizar las siguientes actividades, de acuerdo a:

- Revisar semanalmente la unidad, remoción de grasa y espuma flotante y limpieza de sólidos depositados en el fondo.
- Tratamiento de los desechos que se recojan de la unidad, enterrándolos en un agujero en el patio, tapándolos con tierra. Además es importante agregar cal para evitar malos olores y deshidratar los desechos.
- Revisar frecuentemente el funcionamiento de la línea de ventilación, la cual debe tener su salida en partes altas, superior al nivel de la nariz de las personas con el fin de evitar malos olores.

3.6.2. Biojardinera

Se recomienda realizar las siguientes actividades, de acuerdo a:

- Revisar quincenalmente la tubería de entrada de las aguas grises, y limpiar la tubería de distribución para evitar taponamientos.

- Cortar las plantas que se han sembrado, la primera vez se realiza un año después de su siembra y posteriormente cada seis meses.
- Realizar periódicamente una limpieza del lecho filtrante.
- En caso de existir estancamiento de agua en la superficie, especialmente en la entrada de biojardinera, se recomienda extraer el material grueso y una parte del material de menor tamaño del lecho filtrante en todo el ancho. Se puede sacar el material y lavarlo, o bien sustituirlo con material nuevo de las mismas características, para que la eficiencia de remoción del sistema se mantenga por varios años.
- Mantener un buen control de nivel sumergido de agua se recomienda mantener ese nivel a una profundidad de 10 cm por debajo de la superficie del material filtrante.

3.7. Reutilización de agua tratada

Las aguas grises son todas aquellas utilizadas en duchas, bañeras y lavabos. Se denomina reciclaje o tratamiento de aguas grises al sistema que permite utilizar esta agua para usos en los que no es imprescindible el agua potable, tales como inodoros, riego, lavadoras o limpieza de suelos o vehículos.

Las aguas tratadas mediante este procedimiento no se podrán reutilizar para consumo humano, pero supone un ahorro del 20 % en el consumo del agua potable. El sistema de filtros-jardinera puede reutilizar hasta un 70 % del agua que ingresa al filtro. El 30 % restante será utilizado por las plantas para su crecimiento y otra parte se evaporará.

Figura 13. **Detalle del tanque de almacenamiento para reutilización de agua tratada**



Fuente: Aldea Xesic IV, municipio de Santa Cruz del Quiché.

La presencia de nitrógeno y fósforo, como nutrientes en el agua tratada, no representa un problema sino se constituye en un plus para el agua de riego puesto que, estos son nutrientes necesarios para el crecimiento de las plantas.

4. EVALUACIÓN DEL SISTEMA

4.1. Generalidades

El tratamiento de las aguas residuales es un factor prioritario puesto que disponer de agua de calidad y en cantidad suficiente, permite mejorar el ambiente, la salud y la calidad de vida. “Los humedales eliminan contaminantes mediante varios procesos que incluyen sedimentación, degradación microbiana, acción de las plantas, absorción, reacciones químicas y volatilización, purifican el agua mediante la remoción del material orgánico (DBO), oxidando el amonio, reduciendo los nitratos y removiendo el fosforo”.¹

Para la realización del análisis físicoquímico se tomaron muestras simples en envases de plástico (previamente purgados), de los que se obtiene el volumen necesario. Para los análisis microbiológicos se tomaron las muestras directamente en los frascos estériles de 100 mL; el método para recolectar las muestras para los análisis fue el mismo.

¹ DUCHICELA GOYES, Viviana Nataly y TOLEDO VERDEZOTO, Magaly Katerine. *Determinación de eficiencia de especies vegetales: totora - achira implementada en biofiltros para agua de riego en Punín 2013*. Ecuador: p. 15.

Figura 14. **Toma de muestras biojardinera (A)**



Fuente: Aldea Xesic IV, municipio de Santa Cruz del Quiché.

Los puntos donde se tomaron las muestras fueron a la entrada y salida de la biojardinera; estas se realizaron de acuerdo a las recomendaciones del personal del laboratorio de Química y Microbiología Sanitaria de la Facultad de Ingeniería, USAC. Las muestras se trasladaron al laboratorio en las condiciones adecuadas, de manera que no se alteren y que las mismas no entren en contacto con la luz.

Figura 15. **Toma de muestras biojardinera (B)**



Fuente: Aldea Xesic IV, municipio de Santa Cruz del Quiché.

4.2. Exámenes de laboratorio antes y después del tratamiento

La composición de las aguas residuales se establece con diversas mediciones físicas, químicas y biológicas, sobre todo mediante la determinación de su contenido en sólidos, la concentración de materia orgánica (DBO y DQO) y el pH.

De acuerdo a las condiciones y características del sistema de tratamiento se tomaron muestras simples a la entrada y salida de la biojardinera; la toma de muestras persigue lo siguiente:

- Obtener una porción representativa cuyo volumen pueda ser transportado y manejado en el laboratorio.
- Proporcionar información relevante para la caracterización del agua residual en estudio.

Los parámetros que se evaluaron en el laboratorio fueron los siguientes: olor, color, sólidos sedimentables, demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno, fosfatos, nitratos y el potencial hidrógeno.

4.3. Análisis de los resultados de laboratorio

Para determinar el comportamiento del sistema de tratamiento es necesario evaluar su comportamiento por el transcurso de un tiempo adecuado que permita determinar los cambios que presenta el agua. La eficiencia completa con el tratamiento del agua en la biojardinera se logra varios meses después de haber empezado su funcionamiento.

El análisis e interpretación de los resultados debe considerar el uso o destino que tendrán las aguas tratadas. Entre los factores que afectan la eficiencia de remoción de carga contaminante en este tipo de tratamiento, se tienen los siguientes:

- El medio de soporte (área superficial, porosidad, altura del lecho)
- Temperatura, pH y de nutrientes

Tabla XII. **Parámetros fisicoquímicos evaluados en el agua residual y límite máximo permisible, aceptables**

Parámetros físico químico	LMP
Sólidos disueltos (mg/l)	1 500
Sólidos en suspensión mg/l	3 500
Demanda bioquímica de oxígeno (mg/l DBO5)	6 500
Demanda química de oxígeno (mg/l DQO)	5 000
pH (unidades de pH)	6 a 9
Nitrógeno total (mg/l)	1 400
Fósforo total (mg/l)	700
Color (Unidades platino cobalto)	1 500

Fuente: elaboración propia.

4.4. Proceso constructivo de la biojardinera

El sistema se construyó de acuerdo a la metodología indicada en el capítulo tres, no se tuvieron problemas constructivos.

4.5. Mecanismos de reducción de contaminantes en las biojardineras

Las aguas grises provenientes de la cocina son la principal fuente de grasas y aceites. Su presencia en estas aguas puede generar altos niveles de contenido orgánico y por ende dificultar aún más el tratamiento. El agua que ingresa a la biojardinera recibe un tratamiento preliminar para remover principalmente las partículas gruesas y grasosas que pueda traer. El agua a la salida del sistema presenta una reducción en la concentración de todos los parámetros, a excepción de los fosfatos y del pH.

Las biojardineras pueden eliminar un gran número de contaminantes incluyendo orgánicos (DBO y DQO), materia en suspensión, nutrientes (nitrógeno y fósforo), trazas de metales pesados y microorganismos. Esta reducción se lleva a cabo por procesos físicos, químicos y microbiológicos.

- **Materia en suspensión:** las partículas, cuando entran a la biojardinera, quedan retenidas principalmente por procesos físicos (filtración del medio granular); las raíces y rizomas de las plantas contribuyen también a la retención de partículas mediante procesos similares.

La eliminación de la materia en suspensión en el sistema ocurre fundamentalmente por una combinación de mecanismos físicos. Después que la materia en suspensión es retenida comienza a degradarse y así representa una fuente interna de materia orgánica.

- **Materia orgánica:** la que esta presente en el agua residual se puede clasificar en particulada y disuelta; existe una reducción de la DBO asociada a los sólidos retenidos. La degradación de la materia orgánica disuelta se produce por la presencia de los microorganismos que forman

la biopelícula. Se asume que los compuestos orgánicos son degradados de forma simultánea mediante procesos aeróbicos y anaeróbicos.

- **Nitrógeno:** los procesos de eliminación de nitrógeno dependen de la forma que este se encuentre. Las plantas necesitan nutrientes para desarrollar sus actividades vitales y los obtienen principalmente a través de su sistema radicular. Sin embargo, las cantidades de nutrientes que asimilan las plantas suelen ser insignificantes en comparación con las cargas de nutrientes que reciben las biojardineras. Por lo general, está comúnmente aceptado que las plantas asimilan aproximadamente el 20 % de la carga de nitrógeno aplicada.
- **Fósforo:** la eliminación del fósforo en la biojardinería se puede dar por procesos bióticos (incluyen la asimilación por las plantas y microorganismos, y la mineralización de los restos de vegetación y del fósforo orgánico) y abióticos (incluyen la sedimentación, la adsorción por el suelo y los intercambios entre el suelo y el agua residual que circula). La eliminación del fósforo es difícil en cualquiera de los sistemas de depuración normalmente utilizados, y las biojardineras no son la excepción.
- **Patógenos:** son removidos durante el paso de agua residual a través del sistema principalmente por sedimentación, filtración y adsorción por la biomasa. El sistema ofrece una combinación conveniente de factores físicos (incluyen sedimentación y filtración mecánica), químicos (incluyen oxidación, exposición a biocidas excretados por algunas plantas y absorción a materia orgánica). Los mecanismos biológicos incluyen antibiosis, depredación por nematodos y protistas, ataque por bacterias y virus y mortalidad natural.

4.6. Análisis de resultados

A continuación se presentan los resultados obtenidos en el análisis de las muestras.

Tabla XIII. **Resultados del análisis de calidad del agua.**
Biojardinera aldea Xesic IV, municipio de Santa Cruz del Quiché

Parámetro	Resultados			Comentarios
	Entrada	Salida	Eficiencia de remoción (%)	
Olor	Séptico	Ligeramente séptico	↓	Se produce durante el proceso de descomposición de la materia orgánica.
Color	2 555,00 unidades	825,00 unidades	↓ 67,7	Generalmente se considera la diferencia entre el color aparente y el color verdadero.
Sólidos sedimentables	350,00 cm ³ /litro en 1 hora	00,00 cm ³ /litro en 1 hora	↓ 100,0	Son aquellos sólidos que sedimentan cuando el agua se deja en reposo durante 1 hora.
Demanda bioquímica de oxígeno	976,00 mg/L	423,00 mg/L	↓ 56,65	<ul style="list-style-type: none"> • La DBO y la DQO de las aguas grises difieren según la fuente de generación. • La concentración de organismos fecales varía grandemente dependiendo de la fuente. • En todos los casos el valor de la DQO es mayor que la DBO.
Demanda química de oxígeno	1 250,00 mg/L	783,00 mg/L	↓ 37,36	
Fosfatos	23,40 mg/L	196,00 mg/L	↑ 736,1	<ul style="list-style-type: none"> • La principal fuente de este compuesto en el agua gris son los detergentes. • Son nutrientes necesarios para el crecimiento de las plantas.

Continuación de la tabla XIII.

Fosfatos	23,40 mg/L	196,00 mg/L	↑ 736,1	<ul style="list-style-type: none"> • La principal fuente de este compuesto en el agua gris son los detergentes. • Son nutrientes necesarios para el crecimiento de las plantas.
Nitratos	176,00 mg/L	106,00 mg/L	↓ 39,77	<ul style="list-style-type: none"> • La concentración de nitrógeno es menor en las aguas residuales grises en comparación con las aguas residuales domésticas. • La fuente principal de nitrógeno en las aguas grises proviene de la cocina. • Son nutrientes necesarios para el crecimiento de las plantas.
Potencial hidrógeno	06,18 unidades	06,39 unidades	→ 3,39	<ul style="list-style-type: none"> • Representa la concentración del ion hidrogeno en el agua residual. • El uso de jabones y detergentes pueden incrementar el pH.

Fuente: elaboración propia.

De acuerdo a los anteriores resultados se realizan las siguientes observaciones:

- Remoción: capacidad del sistema para eliminar parte de la concentración de contaminantes que se encuentra en el agua residual. En este estudio, para el cálculo del porcentaje de la remoción hidráulica, se utilizó la siguiente ecuación:

Remoción (%) = $(C_i - C_f) \times 100 / C_i$, donde

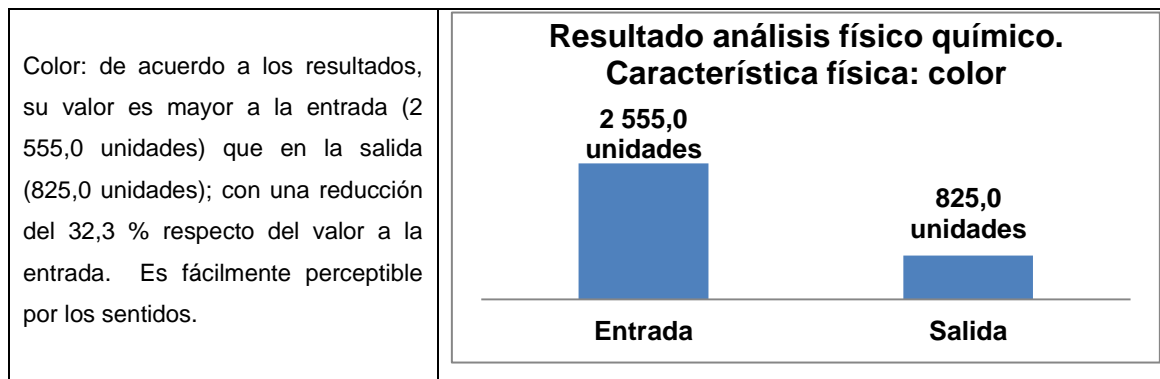
C_i = Concentración inicial

C_f = Concentración final

Cálculo remoción color: $\frac{(2555-825) \times 100}{2555} = 67,7 \%$

- Olor: de acuerdo a los resultados es menor la intensidad del olor a la salida que a la entrada. Es fácilmente perceptible por los sentidos.
- Color: al inicio se tiene un color grisáceo, a la salida de la biojardinera el color se torna más claro, evidenciándose por el sentido de la vista.

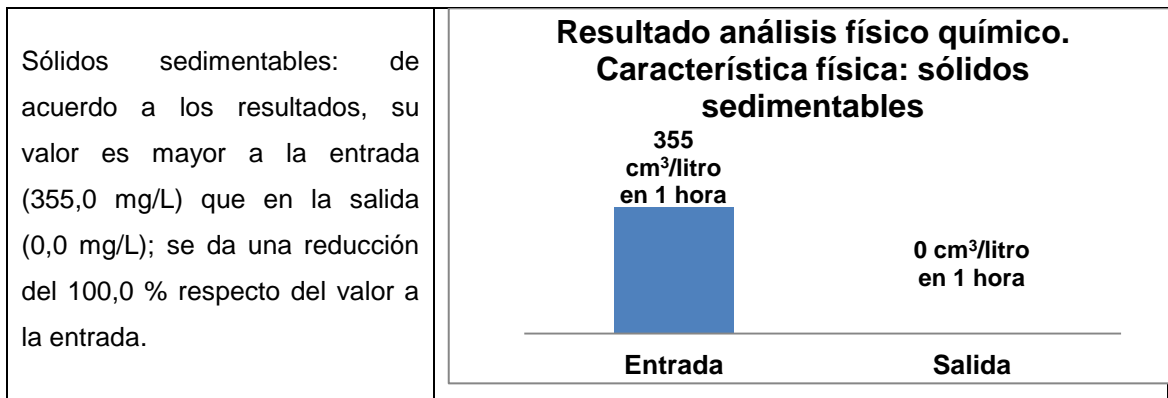
Figura 16. **Evaluación del sistema de tratamiento (biojardinera).
Comparación de resultados: color**



Fuente: elaboración propia.

- Sólidos sedimentables: es la cantidad de material que sedimenta de una muestra en un periodo de tiempo, es una medida de la cantidad de sólidos que son eliminados en el tratamiento.

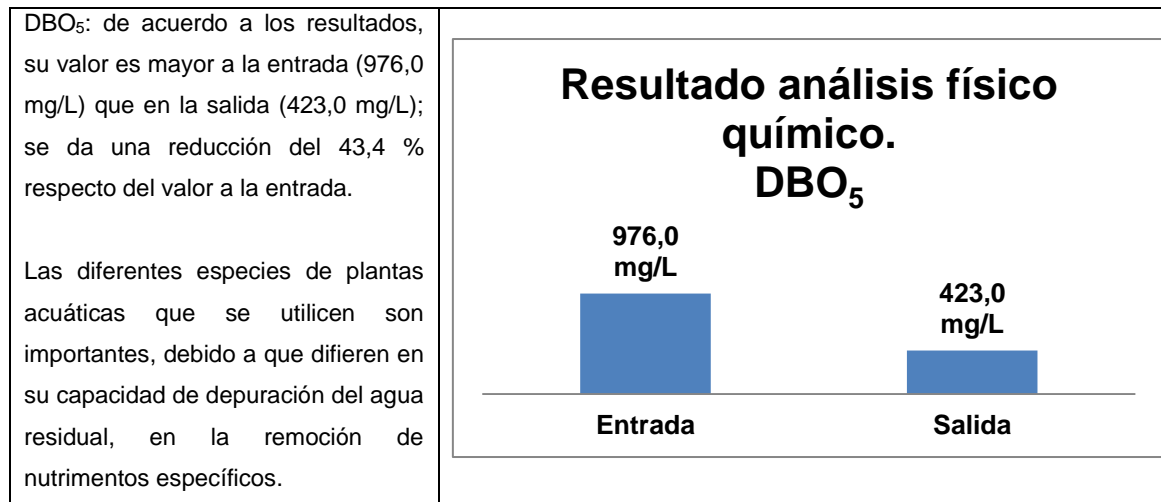
Figura 17. **Evaluación del sistema de tratamiento (biojardinera).
Comparación de resultados: sólidos sedimentables**



Fuente: elaboración propia.

- DBO₅: parámetro que mide la cantidad de oxígeno consumido al degradar la materia susceptible de ser consumida u oxidada por medios biológicos que contiene una muestra líquida o disuelta, se utiliza para determinar el grado de contaminación, normalmente se mide transcurrido 5 días de reacción.

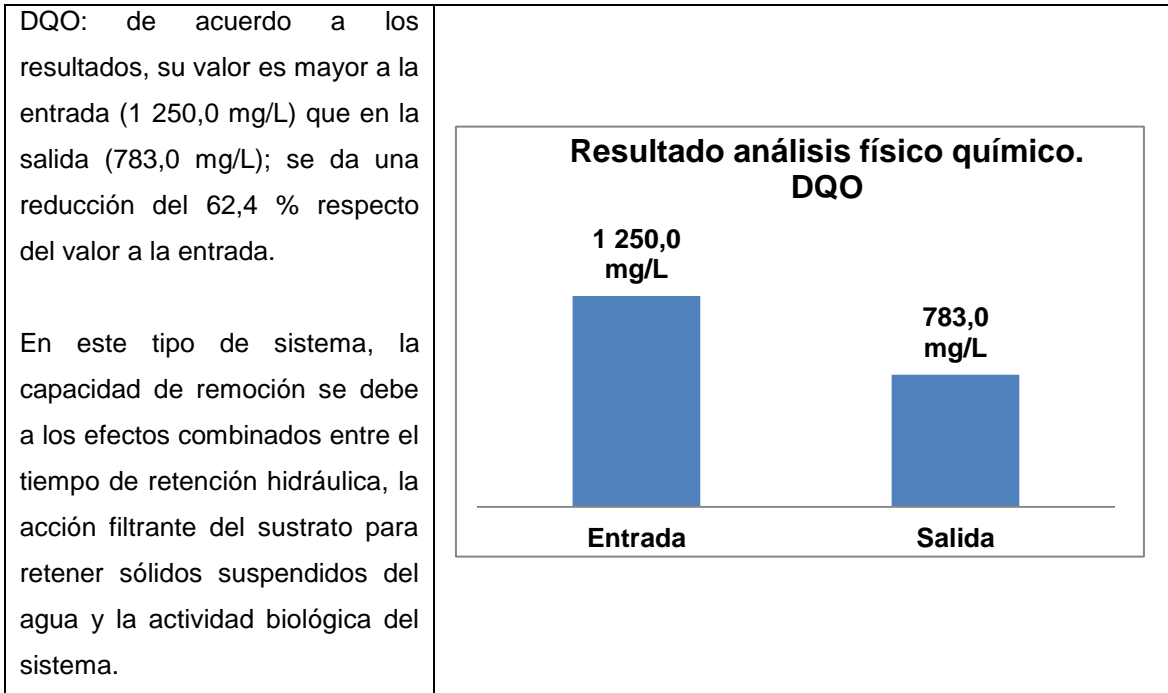
Figura 18. **Evaluación del sistema de tratamiento (biojardinera).**
Comparación de resultados: DBO₅



Fuente: elaboración propia.

- 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.

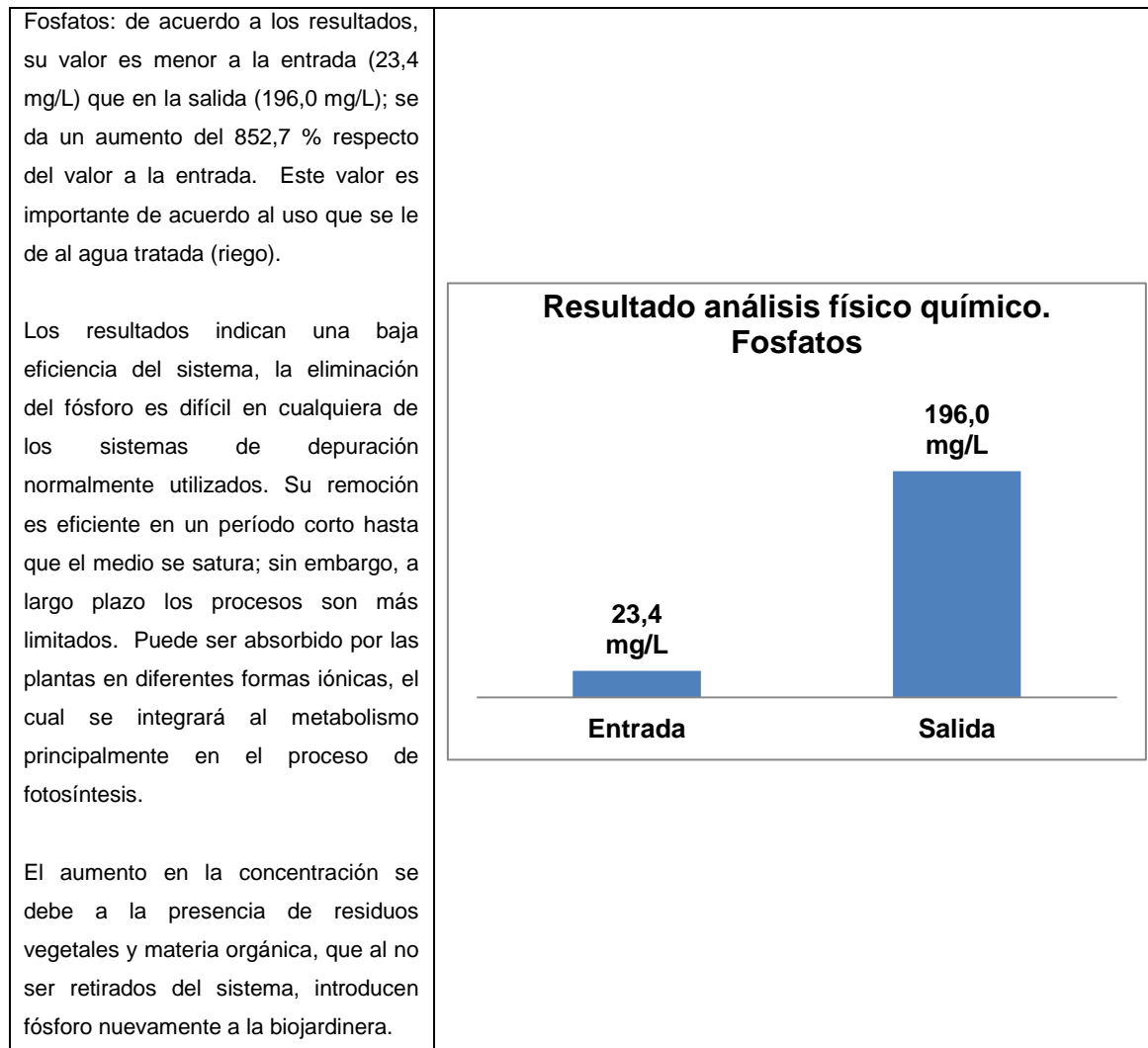
Figura 19. **Evaluación del sistema de tratamiento (biojardinera).
Comparación de resultados: DQO**



Fuente: elaboración propia.

- **Fosfatos:** la principal fuente de estos compuestos en las aguas grises son los detergentes utilizados en la casa, se consideran importantes nutrientes de las plantas produciendo el crecimiento de las mismas.

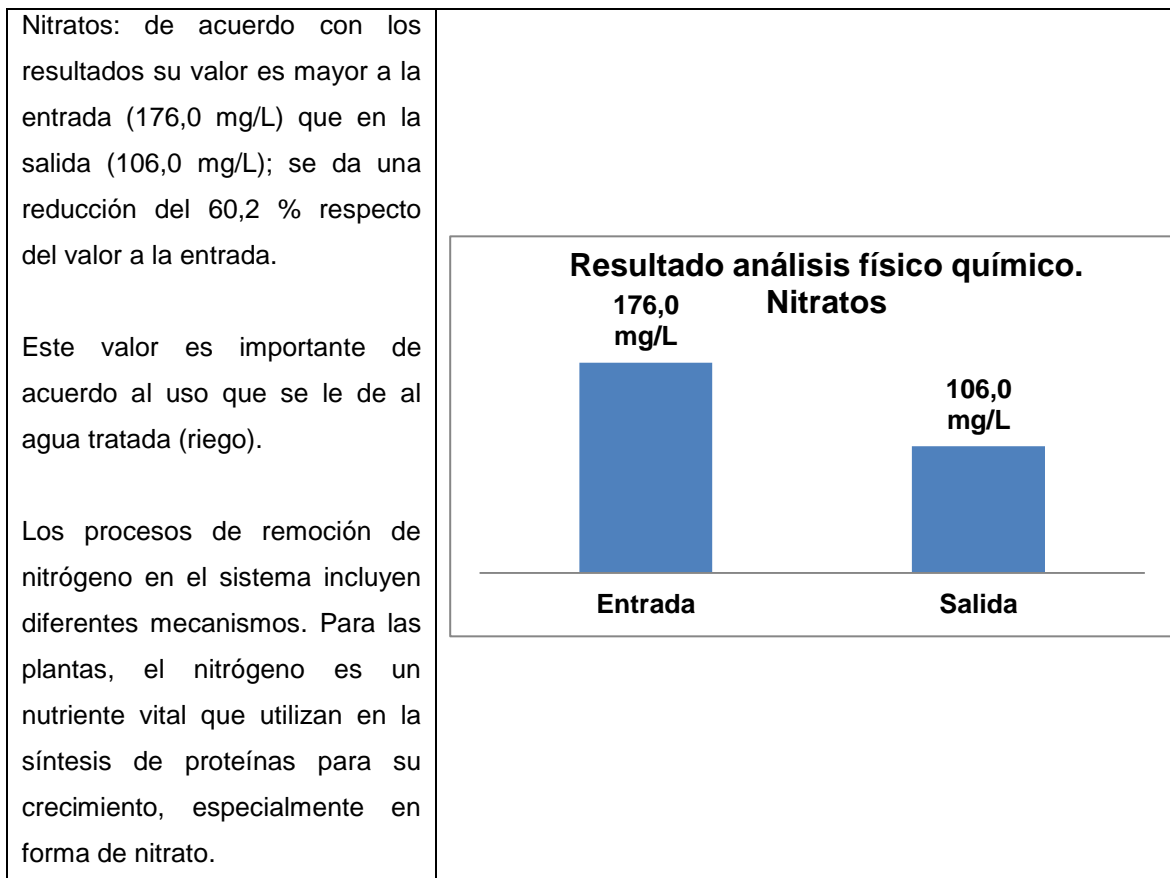
**Figura 20. Evaluación del sistema de tratamiento (biojardinera).
Comparación de resultados: fosfatos**



Fuente: elaboración propia.

- Nitratos: la principal fuente de nitrógeno en las aguas grises proviene de la cocina, nutriente necesario para el crecimiento de microorganismos.

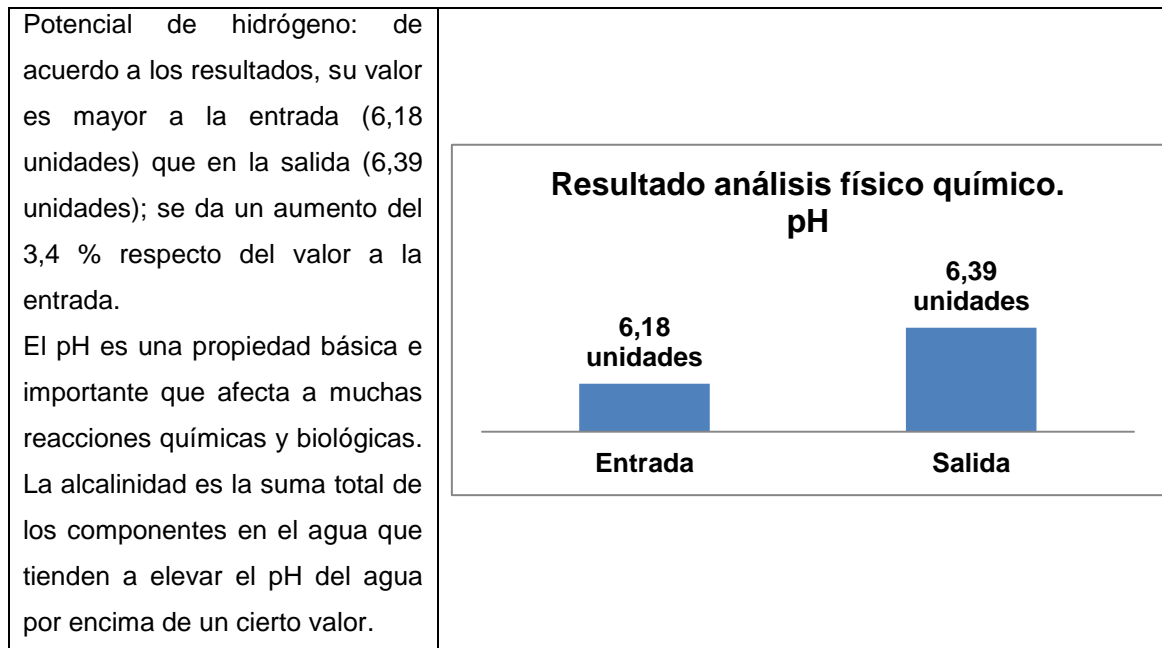
Figura 21. **Evaluación del sistema de tratamiento (biojardinera).
Comparación de resultados: nitratos**



Fuente: elaboración propia.

- pH: el potencial de hidrógeno característico de las aguas grises es de 6,2 a 8, el uso de jabones y detergentes puede incrementarlo.

Figura 22. **Evaluación del sistema de tratamiento (biojardinera).
Comparación de resultados: potencial de hidrógeno**



Fuente: elaboración propia.

4.7. Reutilización del agua tratada

Las biojardineras son unidades de procesamiento de aguas grises que permiten su tratamiento y reutilización. Este tipo de tratamiento de las aguas residuales se basa en los principios de los sistemas naturales, ya que se acercan a lo que ocurre en la naturaleza.

De acuerdo a las condiciones del proyecto, las aguas tratadas con este tipo de sistema no puede emplearse para el consumo humano. El agua tratada se utilizará en actividades de riego dentro de la propiedad; por facilidad para su manejo, se almacenará en depósitos plásticos identificados, de manera que se conozca su contenido.

CONCLUSIONES

1. El sistema de tratamiento por medio de la biojardinera resulta eficiente en el tratamiento de aguas grises de acuerdo a las condiciones particulares del proyecto.
2. El diseño de la biojardinera se realizó de acuerdo a las recomendaciones y criterios utilizados regularmente en este tipo de sistema de tratamiento.
3. Con el sistema propuesto, el tratamiento y la recuperación de las aguas grises es ecológicamente como económicamente factible y beneficiosa. La planificación, ejecución como el mantenimiento no generan mayores problemas.
4. Para determinar la eficiencia del sistema de tratamiento es necesario evaluar el comportamiento de la biojardinera en un tiempo adecuado (semestral o anual, época seca o de lluvia).
5. El porcentaje de remoción de la DBO se considera como el parámetro principal en la determinación de eficiencia de la biojardinera.
6. El sistema evaluado posee un bajo o nulo consumo energético, produce pocos residuos durante su operación y se integra muy bien al medio ambiente natural.

7. La baja frecuencia con que se realiza la remoción de grasas y sólidos en el pretratamiento y tubo de entrada a la biojardinera, es la principal causa de colmatación del sistema.
8. Realizar un amplio estudio de caracterización de aguas que se traten en biojardineras ya instaladas, con el fin de definir en el diseño concentraciones de entrada de la DBO y coliformes fecales más precisas y características de este tipo de aguas en Guatemala.
9. De acuerdo a los resultados la biojardinera posee una alta capacidad para remover la DBO, la DQO, nitrógeno, sólidos suspendidos y sedimentables;
10. Este tipo de biojardinera no es muy eficaz para remover fosfatos debido a las pocas oportunidades de contacto entre el agua residual y el terreno, la adición de arcilla expandida y de óxidos de hierro y aluminio al sustrato puede ser prometedora para la eliminación más efectiva de fósforo.

RECOMENDACIONES

1. Implementar y desarrollar el mantenimiento adecuado para el sistema, de manera que se obtengan los mejores resultados en el tratamiento de las aguas residuales.
2. Las autoridades municipales deben realizar campañas que permitan difundir las ventajas de este tipo de tratamiento a las poblaciones.
3. Los profesionales como arquitectos e ingenieros civiles apliquen esta tecnología en el proceso de planificación y construcción de obras nuevas.
4. Limpiar y sustituir la piedra de la biojardinera regularmente con el fin de mejorar su eficiencia al remover excesos vegetales o grasa acumulada, que afecten el rendimiento del sistema.
5. Incentivar a los usuarios de las biojardineras a realizar adecuadamente las actividades de mantenimiento, además de dar un seguimiento constante de su funcionamiento.

BIBLIOGRAFÍA

1. Instituto Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados, Ente Regulador. *El Saneamiento de tus aguas grises, empieza ya! Construye, opera y mantiene tu biojardín*. Nicaragua: INAA, 2005. 17 p.
2. *Manual de biojardineras*. [en línea]. <http://aula.aguapedia.org/file.php/22/Biojardineras/Manual_Biojardinera.pdf>. [Consulta: 03 de noviembre de 2013].
3. *Manual de Disposición de Aguas Residuales. Origen, Descarga, Tratamiento y Análisis de las Aguas Residuales Tomo I*. Perú: GTZ, 1991. 442 p.
4. Metcalf & Eddy. *Ingeniería de Aguas Residuales. Tratamiento, vertido y reutilización*. 3a ed. Aravaca: Volumen II. Metcalf & Eddy, Inc. Mcgraw-Hill. /Interamericana de España, S.A. 2002. 1485 p.
5. Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. *Acuerdo Gubernativo número 236-2006. Reglamento de las Descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición final de lodos*. Guatemala: MARN, 2006. 24 p.
6. Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. *Acuerdo Ministerial número 105-2008. Manual General del Reglamento de las Descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición final de lodos*. Guatemala: MARN, 2008. 52 p

7. MONCADA CORRALES, Sharon. *Evaluación del diseño de una biojardinera de flujo subsuperficial para el tratamiento de aguas grises en Zapote, San José*. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Escuela de Química, Carrera Ingeniería Ambiental. 2011. 157 p.

8. ROMERO AGUILAR, Mariana, COLÍN CRUZ, Arturo, SÁNCHEZ SALINAS, ORTIZ HERNÁNDEZ, Enrique Ma. Laura. *Tratamiento de aguas residuales por un sistema piloto de humedales artificiales: evaluación de la remoción de la carga orgánica*. Rev. Int. Contam. Ambient. 25 (3), 2009. 12 p.

ANEXOS

Anexo 1.

Informes de laboratorio Núm. 2135, 2136.

		CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA FACULTAD DE INGENIERIA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA			
ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO DE AGUAS RESIDUALES DE ORIGEN DOMÉSTICO Y/O DESECHOS INDUSTRIALES					
Orden de trabajo No.: 34 106			No. 2239 Informe No. 2135		
INTERESADO:	NELSON ESAU MUÑOZ SOTO, (Carné No. 200312494)	PROYECTO :	TEMA "DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS GRISAS POR MEDIO DE BIOJARDINERA APLICADO A VIVIENDAS RURALES DEL DEPARTAMENTO DEL QUICHÉ"		
MUESTRA CAPTADA POR:	Interesado	DEPENDENCIA:	FACULTAD DE INGENIERÍA/USAC		
MUESTRA CAPTADA EN:	XESIC IV	FECHA DE RECOLECCIÓN DE LA MUESTRA:	2014-11-08; 16 h 00 min.		
FUENTE:	Entrada	FECHA Y HORA DE LLEGADA AL LABORATORIO:	2014-11-10; 09 h 50 min.		
MUNICIPIO:	Santa Cruz del Quiché	CONDICIONES DE TRANSPORTE:	Con refrigeración		
DEPARTAMENTO:	El Quiché				
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS					
OLOR:	Séptico	SÓLIDOS SEDIMENTABLES:	350,00 cm ³ /litro en 1 hora		
COLOR:	2 555,00 unidades				
DETERMINACIONES QUÍMICAS					
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (D.B.O. ₅):	976,00		mg/L		
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (D.Q.O.):	1 250,00		mg/L		
FOSFATOS	23,40	mg/L	NITRATOS:	176,00	mg/L
POTENCIAL DE HIDRÓGENO (pH):	06,18	unidades			
OTRAS DETERMINACIONES: _____					
TÉCNICAS DEL "STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER" DE LA A.P.H.A. - A.W.W.A. - W.E.F. 21 TH EDITION 2,005. NORMA COGUANOR NGO 4.010 SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES.					
Guatemala, 2014-11-18					
Vo.Bo.					
	Inga. Telma Marcela Cano Morales DIRECTORA CII/USAC				
					
				Zelma Muñoz Soto Ing. Química, Col. No. 420 MSc. en Ingeniería Sanitaria Jefe Técnico Laboratorio	
					
FACULTAD DE INGENIERÍA - USAC - Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12 Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121 Página web: http://cii.usac.edu.gt					



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



**ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO DE AGUAS RESIDUALES DE ORIGEN DOMÉSTICO
Y/O DESECHOS INDUSTRIALES**

No. 2240

Informe No. 2136

Orden de trabajo No.: 34 106		PROYECTO TEMA "DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS GRISAS POR MEDIO DE BIOJARDINERA APLICADO A VIVIENDAS RURALES DEL DEPARTAMENTO DEL QUICHÉ"	
INTERESADO:	NELSON ESAU MUÑOZ SOTO, (Carné No. 200312494)	DEPENDENCIA:	FACULTAD DE INGENIERÍA/USAC
MUESTRA CAPTADA POR:	Interesado	FECHA DE RECOLECCIÓN DE LA MUESTRA:	2014-11-08; 16 h 00 min.
MUESTRA CAPTADA EN:	XESIC IV	FECHA Y HORA DE LLEGADA AL LABORATORIO:	2014-11-10; 09 h 50 min.
FUENTE:	Salida	CONDICIONES DE TRANSPORTE:	Con refrigeración
MUNICIPIO:	Santa Cruz del Quiché		
DEPARTAMENTO:	El Quiché		

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

OLOR:	Lig. Séptico	SÓLIDOS SEDIMENTABLES:	00,00 cm ³ /litro en 1 hora
COLOR:	825,00 unidades		

DETERMINACIONES QUÍMICAS

DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (D.B.O.₅):	423,00	mg/L
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (D.Q.O.):	738,00	mg/L
FOSFATOS	196,00	mg/L
POTENCIAL DE HIDRÓGENO (pH):	06,39	unidades
NITRATOS:	106,00	mg/L

OTRAS DETERMINACIONES: _____

TÉCNICAS DEL "STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER" DE LA A.P.H.A. – A.W.W.A. – W.E.F. 21TH EDITION 2.005. NORMA COGUANOR NGO 4.010 SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES.

Guatemala, 2014-11-18

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

(Firma)
Zelmar Muñoz Soto
Ing. Químico Col. No. 220
MSc en Ingeniería Sanitaria
Jefe Técnico Laboratorio



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

Fuente: Laboratorio de Química y Microbiología Sanitaria de la Facultad de Ingeniería, USAC.

Anexo 2.

Fotografías Biojardinera

Fotografía 1. **Nivelación del terreno**



Fuente: aldea Xesic IV, municipio de Santa Cruz del Quiché.

Fotografía 2. **Impermeabilización de la biojardinera**



Fuente: aldea Xesic IV, municipio de Santa Cruz del Quiché.

Fotografía 3. Colocación del material filtrante



Fuente: aldea Xesic IV, municipio de Santa Cruz del Quiché.

