

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería



**Propuesta de sistema de tratamiento de aguas grises para uso
en un residencial en el departamento de Guatemala**

Trabajo de graduación presentado por Luis Ernesto Reyes Avila para
optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Civil

Guatemala,

2019

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería



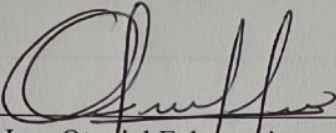
**Propuesta de sistema de tratamiento de aguas grises para uso
en un residencial en el departamento de Guatemala**

Trabajo de graduación presentado por Luis Ernesto Reyes Avila para
optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Civil

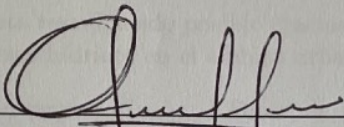
Guatemala,

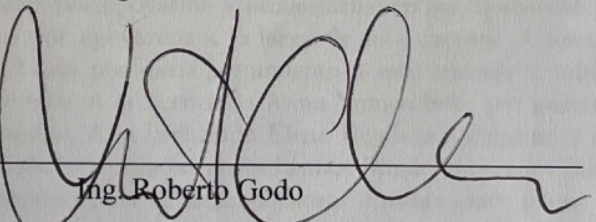
2019

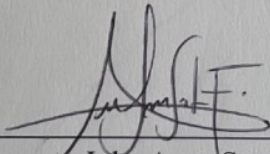
Vo.Bo.:

(f) 
Ing. Otoniel Echeverria

Tribunal Examinador:

(f) 
Ing. Otoniel Echeverria

(f) 
Ing. Roberto Godo

(f) 
Lda. Anna Soto

Fecha de aprobación: Guatemala, 4 de diciembre de 2019. ✓

La elaboración de esta tesis ha sido posible gracias a la preocupación que existe sobre la explotación de los recursos hídricos en el ámbito urbano.

Quiero agradecer, en primero lugar, a Dios por guiar mi camino y darme las fuerzas para seguir adelante. A mis padres por darme el ejemplo y la guía para ser una persona de bien. A mis hermanos por apoyarme y aconsejarme en los momentos de incertidumbre. A mi grupo de amigos por apoyarnos a lo largo de esta carrera. A los ingenieros Otoniel Echeverría y Roberto Godo por darle seguimiento a este trabajo y solucionar dudas que surgieron a lo largo de este. A la licenciada Anna Yunien Soto por guiarme y aconsejarme en el tema de las bacterias. A la licenciada Elena Reyes por guiarme y aconsejarme en el tema de la caracterización de las aguas grises brutas. Finalmente, a la Universidad del Valle de Guatemala por acogerme y ser mi segundo hogar durante cinco años.

Prefacio	V
Lista de figuras	X
Lista de cuadros	XI
Resumen	XIII
Abstract	XV
1. Introducción	1
2. Objetivos	3
2.1. Objetivo general	3
2.2. Objetivos específicos	3
3. Marco teórico	5
3.1. Agua residual	5
3.1.1. Definición de aguas residuales	5
3.1.2. Características de aguas residuales	7
3.1.3. Aguas residuales domésticas	13
3.2. Aguas grises	14
3.2.1. Definición de aguas grises	14
3.2.2. Características de aguas grises	18
3.2.3. Principales contaminantes en las aguas grises	23
3.3. Tratamiento de aguas grises	25
3.3.1. Tipos de tratamiento para aguas grises	25
4. Marco legal	37
4.1. Normativas internacionales de aguas grises	37
4.2. Normativas nacionales	40

5. Marco metodológico	43
5.1. Parámetros iniciales de diseño	43
5.2. Caracterización de aguas grises	44
5.3. Tratamiento propuesto	44
5.3.1. Trampa de grasa	44
5.3.2. Biofiltro bacteriano	44
5.3.3. Biofiltro con material granulométrico	45
5.4. Diseño civil de elementos del sistema	46
5.4.1. Predimensionamiento	46
5.4.2. Diseño del acero de refuerzo	46
6. Resultados	49
6.1. Caracterización de agua gris	49
6.2. Trampa de grasas	50
6.3. Biofiltro bacteriano	51
6.4. Biofiltro con material granular	67
6.5. Calidad del agua resultante del sistema de tratamiento	74
7. Análisis de resultados	77
8. Discusión de resultados	81
9. Conclusiones	83
10.Recomendaciones	85
10.1. Microbiología	85
10.2. Mecatrónica	86
10.3. Operación	86
10.4. Diseño	86
11.Bibliografía	89
12.Anexos	93
13.Glosario	119

Lista de figuras

1.	Clasificación de las partículas sólidas contenidas en el agua residual, según su diámetro	8
2.	Distribución de aguas grises por fuentes en vivienda	16
3.	Funcionarios del gobierno de Jordania estudian las normas de construcción del país para utilizar sistemas de aguas grises en fabricación de nuevas viviendas.	17
4.	Sistema electromecánico de aguas grises.	18
5.	Ciclo de la reutilización de aguas grises sin tratamiento previo	26
6.	Etapas de un sistema de tratamientos de aguas grises.	27
7.	Sistema de tratamiento físicos	28
8.	Sistema de tratamiento físico-químico	29
9.	Sistema de tratamiento biológico	30
10.	Filtro con material granular estandar	34
11.	Comparación de la concentración de grasa y aceite antes y después de pasar por la trampa de grasa.	51
12.	Concentraciones de fósforo total antes y después de la degradación bacteriana con cepas <i>Klebsiella pneumoniae</i> y <i>Pseudomonas sp.</i>	53
13.	Concentraciones de tensoactivos antes y después de la degradación bacteriana con cepa <i>Pseudomonas aeruginosa.</i>	54
14.	Concentraciones de nitrógeno total antes y después de la degradación bacteriana con cepa <i>Proteus mirabilis.</i>	55
15.	Concentraciones de tripolifosfato de sodio antes y después de la degradación bacteriana con cepas <i>Klebsiella pneumoniae</i> y <i>Pseudomonas sp</i>	56
16.	Concentraciones de sulfato sódico antes y después de la degradación bacteriana con cepa <i>Pseudomonas sp.</i>	57
17.	Concentraciones de carbonato de sodio antes y después de la degradación bacteriana con cepa <i>Pseudomonas sp.</i>	58
18.	Concentraciones de dodecibenceno sulfato de sodio antes y después de la degradación bacteriana con cepa <i>Bacillus subtilis.</i>	59
19.	Concentraciones de sulfonatos de alquilbenceno lineales antes y después de la degradación bacteriana con cepa <i>Bacillus subtilis M.</i>	60
20.	Concentraciones de hierro antes y después de la degradación bacteriana con cepas <i>Gallionella sp.</i> y <i>Alcaligenes sp.</i>	61

21.	Concentraciones de aluminio antes y después de la degradación bacteriana con cepas <i>Alcaligenes sp</i> y <i>Arthrobacter sp</i>	62
22.	Concentraciones de magnesio antes y después de la degradación bacteriana con cepa <i>Bacillus sp</i>	63
23.	Concentraciones de cromo total antes y después de la degradación bacteriana con cepa <i>Pseudomonas cedrina</i>	64
24.	Concentraciones de zinc antes y después de la degradación bacteriana con cepa <i>Bacillus licheniformis</i>	65
25.	Concentraciones de plomo antes y después de la degradación bacteriana con cepa <i>Photobacterium damsela subsp. piscicida</i>	66
26.	Concentraciones fósforo total antes y después de pasar por el biofiltro con material granular.	69
27.	Concentraciones nitrógeno total antes y después de pasar por el biofiltro con material granular.	70
28.	Concentraciones DBO5 antes y después de pasar por el biofiltro con material granular.	71
29.	Concentraciones DQO antes y después de pasar por el biofiltro con material granular.	71
30.	Concentraciones de <i>Coliformes totales</i> antes y después de pasar por el biofiltro con material granular.	72
31.	Concentraciones de <i>Escherichia coli</i> antes y después de pasar por el biofiltro con material granular.	73
32.	Concentraciones de sólidos suspendidos totales antes y después de pasar por el biofiltro con material granular.	74

Lista de cuadros

1.	Contaminantes de las aguas residuales	6
2.	Composición media de las aguas residuales blancas	7
3.	Composición media de las aguas residuales domésticas	14
4.	Rango de parámetros de distintas aguas grises	19
5.	Producción de aguas grises en distintos ambientes y distintos países	19
6.	Parámetros físico-químicos y microbiológicos de las aguas grises y residuales .	21
7.	Concentraciones de parámetros de aguas grises crudas domésticas provenientes de drenaje de cocina, ducha, lavaplatos, lavadora de ropa	22
8.	Contenido de distintos tipos de aguas grises	23
9.	Material granular y espesores de filtro lento	33
10.	Ventajas y desventajas de los diferentes tratamientos de aguas grises.	36
11.	Límites máximos según el tipo de reusó que se le aplique al agua	41
12.	Limites máximos para entes generadores nuevos.	42
13.	Ventajas y desventajas de elementos que integren el sistema de tratamiento de aguas grises.	45
14.	Rango de consumo de agua gris según su aplicación	46
15.	Caracterización de aguas grises brutas a tratar	50
16.	Concentración de grasas y aceites en las aguas grises antes y después de la trampa de grasas.	51
17.	Caracterización de agua antes y después de pasar por el biofiltro bacteriano. .	52
18.	Caracterización del agua saliente del biofiltro bacteriano.	67
19.	Concentración de parámetros antes y después de pasar por el biofiltro con material granular.	68
20.	Revisión del cumplimiento de calidad de agua según el Acuerdo Gubernativo 236-2006.	75
21.	Revisión del cumplimiento de calidad de agua según Decreto 90- 2001 de Chile. 76	

Los sistemas de tratamiento de aguas grises son técnicas, empleadas por el hombre, para alargar la vida útil de este recurso. Según Aqua España (2011)[1] los sistemas de tratamiento deben de contar con tres etapas: la primera es la captación y almacenamiento de las aguas grises brutas, la segunda es el tratamiento del agua y la última es el almacenamiento de aguas tratadas.

Para proponer el sistema, primero se realizó una caracterización de las aguas grises brutas, para ello se hizo una búsqueda bibliográfica sobre los compuestos de detergentes, a base de fósforo y los que no contengan fósforo, y otros productos de limpieza, también se buscó la concentración de ellos en las aguas grises urbanas.

Posteriormente, se buscaron distintos tipos de tratamientos para este tipo de agua y se propuso un sistema. La propuesta realizada en este trabajo cuenta con 4 estaciones; la primera es una trampa de grasas, la cual es propuesta para reducir los aceites y grasas provenientes de las aguas grises brutas. Tanto la segunda como la tercera etapa del sistema propuesto son biofiltros, el primero utilizando cepas bacterianas y el segundo distintas capas de material granular, estas dos etapas se encargan de reducir los contaminantes que contiene el agua. Finalmente, el último elemento propuesto en este sistema, es un tanque de almacenamiento de aguas tratadas. Cabe resaltar que todos los elementos tienen una capacidad de almacenamiento de treinta y dos litros y están enterrados bajo tierra.

Para comprobar si el agua saliente del sistema pueda aplicarse para una reutilización de llenado de cisternas, limpieza del hogar y/o llenado de fosa séptica del residencial, se comparó las concentraciones de los compuestos, después de salir del sistema, con los límites máximos para un reuso de entes generadores nuevos establecidos por el Acuerdo Gubernativo 236-2006.

Palabras clave: Aguas grises, tratamiento de aguas grises, sector urbano, biofiltros, degradación con bacterias, biofiltro con material granular.

Gray water treatment systems are techniques, used by man, to extend the useful life of this resource. According to Aqua España (2011)[1], the treatment systems must have three stages: the first is the collection and storage of raw gray water, the second is the treatment, as such and the last is the storage of treated waters.

In order to propose the system, a raw gray water characterization was first carried out, for this a bibliographic search was made on the detergent compounds, phosphorus base and those that do not contain phosphorus, and other cleaning products, we also sought the concentration of them in gray water in the urban sector.

Subsequently, different types of treatments were sought for this type of water and a system was proposed. The proposal made in this work has four seasons; The first is a grease trap, which was proposed to reduce oils and fats from raw gray water. Both the second and the third stage of the proposed system are biofilters, the first using bacterial strains and the second different layers of granular material, these two stages are responsible for reducing the contaminants contained in the water. Finally, the last element proposed in this system is a treated water storage tank. It should be noted that all the elements have a storage capacity of thirty-two liters and are buried underground.

In order to check if the outgoing water of the system can be used for a reuse with application of tank filling, household cleaning and / or septic tank filling of the residential, the concentrations of the compounds were compared, after leaving the system, with the maximum limits for a reuse of new generating entities established by the government agreement 236-2006.

Keywords: Gray water, gray water treatment, urban sector, biofilters, degradation with bacteria, biofilter with granular material.

Una de las problemáticas más preocupantes en la actualidad es la sobre explotación de los recursos hídricos y como estos podrían acabarse si se les da una mala gestión. Por esta amenaza, el ser humano ha desarrollado distintas soluciones para mitigar con este problema, una de ellas es el tratamiento de las aguas grises en el sector urbano.

El tratamiento de las aguas grises en el ámbito urbano es una práctica que no solo evita la sobre explotación de los recursos hídricos en este sector, sino que también alarga la vida útil de estos. Se le conoce como aguas grises urbanas a aquellas aguas que son el resultado de actividades de aseo, lavado de ropa y cocina. Para el tratamiento de este tipo de agua países como España, Chile, Estados Unidos, etc implementaron normativas que regulan tanto la gestión, como el desarrollo de sistema especializados para su tratamiento. Existen diferentes tipos de sistemas utilizados para el tratamiento de las aguas grises, algunos de ellos son: los sistemas basados en procesos físicos (en los que se puede encontrar sistemas con filtro y tanque de decantación), sistemas basados en procesos físico-químicos (en los que se encuentra sistemas que utilizan desinfectantes, filtros etc) y los sistemas biológicos (en los que se encuentran sistemas con reactores biológicos).

Guatemala es un país que no aprovecha este recurso, muy pocos residenciales, si no es que ninguno, posee tuberías exclusivas para las aguas grises; la mayoría mezcla las aguas negras con las grises en un mismo drenaje, lo que imposibilita el tratamiento exclusivo de este tipo de aguas. La presente tesis tiene como objetivo principal proponer un sistema de tratamiento de aguas grises con uso en un residencial ubicado en el departamento de Guatemala, Guatemala.

Para llevar acabo la propuesta, el trabajo se ha estructurado en seis capítulos. En el capítulo tres, marco teórico, se estudia que son las aguas grises como las distintas características que estas poseen, también define distintos tratamientos utilizados para volver a utilizar este tipo de agua . En el capítulo cuatro, marco legal, se revisan distintas normativas internacionales sobre el agua gris, como también el Acuerdo Gubernativo 236-2006, el cual establece la calidad de agua para ser reutilizada en Guatemala. En el capítulo cinco, marco metodológico, describe la metodología utilizada para proponer el sistema de tratamiento de

aguas grises. En el capítulo seis, resultados, se presenta los resultados obtenidos en este trabajo, los cuales son concentraciones de contaminantes antes y después de ingresar al sistema propuesto y como estos son limitados por los estándares de calidad. En el capítulo siete, análisis de resultados, se analiza los resultados obtenidos en el capítulo anterior. Finalmente, en el capítulo, discusión de resultado, se discutieran los resultados presentados.

2.1. Objetivo general

Proponer un sistema de tratamiento de aguas grises para uso en un residencial en el departamento de Guatemala, utilizando normativas nacionales e internacionales.

2.2. Objetivos específicos

- Recopilar normativas internacionales para proponer un sistema de tratamiento de aguas grises realizando búsquedas bibliográficas.
- Recopilar normativas nacionales para el cumplimiento de las características del efluente para establecer los límites que cumplirá el sistema de tratamiento, realizando búsquedas bibliográficas.
- Definir la aplicación que tendrá el agua gris ya tratada en el residencial, para establecer el tratamiento.
- Elaborar planos de la propuesta del diseño civil del sistema de tratamiento.

3.1. Agua residual

3.1.1. Definición de aguas residuales

La Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la Agricultura (FAO)[2] las define como “Agua que no tiene valor inmediato para el fin para el que se utilizó ni para el propósito para el que se produjo, debido a su calidad, cantidad al momento en que se dispone de ellas”.

Según García (2014) [3], se considera como agua residual a aquella cuya proveniencia este originada por procesos realizados por el ser humano. Es considerada desecho o bien residuo debido a sus características las cuales no tienen valor o un uso determinado. Según López y Calderón (2015) [4] las aguas residuales pueden clasificarse según su origen, los cuales son: urbanas, industriales, mixtas, pluviales y blancas.

Las aguas residuales urbanas son aquellas con origen a actividades humanas desarrolladas en el ámbito doméstico. Las principales fuentes contaminantes son: excreciones y residuos domésticos. Las excreciones son los residuos que forman las deposiciones, sólidas y líquidas, humanas. Los residuos domésticos son generados en los hogares como consecuencia de actividades domésticas. Se incluyen también en esta categoría los residuos que se generan en los hogares de aparatos eléctricos y electrónicos, ropa, pilas, acumuladores, muebles y enseres, así como los residuos y escombros procedentes de obras menores de construcción y reparaciones domiciliarias.

Las aguas residuales industriales son las que proceden de las actividades desarrolladas en las industrias tanto en la producción de bienes como en la refrigeración. La composición de estas aguas se caracteriza por su alto contenido de sustancias contaminantes, como: microbios patógenos, metales pesados (mercurio y plomo principalmente), material orgánico persistente, pesticidas, fertilizantes y sedimentos en suspensión. Las aguas residuales industriales incrementan la temperatura de la cuenca receptora, provocando importantes

efectos ambientales. Las aguas residuales mixtas son aquellas que proceden de la mezcla de las aguas residuales urbanas e industriales, donde estas últimas alteran sensiblemente la composición y características de las residuales urbanas. En el siguiente cuadro se muestran algunos parámetros presentes en las aguas residuales dependiendo de su origen.

Parámetro	Origen
Contaminantes físicos	
Sólidos	Urbano e industrial
Temperatura	Urbano e industrial
Color	Urbano e industrial
Sabor	Urbano e industrial
Contaminantes químicos	
Proteínas	Urbano e industrial
Carbohidratos	Urbano
Grasas y aceites	Urbano e industrial
Fenoles	Industrial
Pesticidas	Industrial (sector agrícola)
pH	Industrial
Cloruros	Urbano
Alcalinidad	Urbano
Nitrógeno	Urbano e industrial (sector agrícola)
Fósforo	Urbano e industrial
Azufre	Urbano e industrial
Metales pesados	Industrial
Oxígeno	Urbano
Sulfuro de hidrógeno	Urbano
Metano	Urbano
Contaminantes biológicos	
Protistas	Urbano
Virus	Urbano

Cuadro 1: Contaminantes de las aguas residuales
Fuente: Calderón (2015)[4]

Las aguas residuales pluviales son todas aquellas aguas procedentes de la escorrentía de las precipitaciones caídas en la zona objeto de estudio por las distintas superficies: techos, calles, jardines y parques. Los componentes de estas aguas se caracterizan por su alta toxicidad en los primeros 15 minutos. El componente más tóxico son los hidrocarburos procedentes de los combustibles de los automóviles. La naturaleza y características de esta agua varía según su procedencia: zonas urbanas o rurales.

Las aguas residuales blancas son aquellas procedentes de la infiltración del agua de lluvia. Es un agua cuyo contacto con las actividades humanas es muy reducido por lo que su contaminación es escasa. Esto facilitará los tratamientos a los que debe ser sometida en las estaciones depuradoras. Entre los principales componentes que forman parte de las aguas residuales blancas encontramos: elementos derivados de la contaminación atmosférica (destaca principalmente el dióxido de azufre y los óxidos de nitrógeno), restos de actividad

humana (papeles, cartones, colillas, restos de basura, etc.), contaminantes de las aguas de drenaje (se debe principalmente a las fugas del sistema de alcantarillado), residuos vegetales (son aquellos producidos en las zonas verdes) y residuos del tráfico (entre ellos encontramos los hidrocarburos, aceites, grasas, compuestos fenólicos y de plomo, etc. Estos compuestos son considerados peligrosos). En el siguiente cuadro se presenta una caracterización de las aguas residuales blancas.

Características	Origen contaminación (mg/l)
DBO5	25
DQO	65
Sólidos en suspensión	230
Amoniaca (NH3)	0.2
Nitrito (NO2)	0.05
Nitrato (NO3)	0.5
Nitrógeno orgánico	1.4
PO 4	1.15
Fosfato soluble	0.46

Cuadro 2: Composición media de las aguas residuales blancas
Fuente: Calderón (2015) [4]

3.1.2. Características de aguas residuales

Las principales características de las aguas residuales son parámetros importantes para el tipo de tratamiento, así como para la gestión técnica de la calidad ambiental. Estas características se dividen en tres grandes aspectos: físicas, químicas y microbiológicas. [4]

Características físicas

Según García (2014) [3], algunas características físicas de las aguas residuales, son fáciles de detectar para el ser humano, ya que gracias a los sentidos se puede especular la magnitud de las mismas. Un ejemplo de ello es discriminar el agua por el olor que tenga; que por cualquier otra característica no perceptible. A continuación, se presentarán las principales características físicas de las aguas residuales.

- Sólidos totales

Según García (2014) [3] el contenido de sólidos totales analíticamente se define como la materia que se saca como residuo después de pasar el agua por un proceso de evaporación entre 103 y 105°C. Los sólidos sedimentables son aquellos que sedimentan en el fondo de un recipiente de forma cónica en el transcurso de un periodo de 60 minutos. Los sólidos sedimentables, expresados en unidades de ml/L o mg/l, constituyen una medida aproximada de la cantidad de fango que se obtenga en la decantación primaria del agua residual. Los sólidos totales, o residuos de la evaporación, pueden clasificarse en filtrables o no filtrables.

La fracción filtrable de los sólidos corresponde a sólidos coloidales y disueltos. La fracción coloidal está compuesta por las partículas de materia de diámetros entre 0,001 y 1 micrómetro. Los sólidos disueltos están compuestos de moléculas orgánicas e inorgánicas e iones en disolución en el agua. Normalmente, para eliminar la fracción coloidal es necesaria la oxidación biológica o la coagulación complementadas con la sedimentación.

Cada una de las categorías de sólidos comentadas hasta ahora pueden ser, a su vez, dividida en función de su volatilidad a $550 \pm 50^\circ\text{C}$. A esta temperatura, la fracción orgánica se oxidará y desaparecerá en forma de gas, quedando la fracción inorgánica en forma de cenizas. De ahí que se empleen los términos “Sólidos volátiles” y “Sólidos fijos” para hacer referencia, respectivamente a los componentes orgánicos e inorgánicos (o minerales) de los sólidos en suspensión. El análisis de sólidos volátiles se emplea habitualmente para determinar la estabilidad biológica de fangos de aguas residuales.

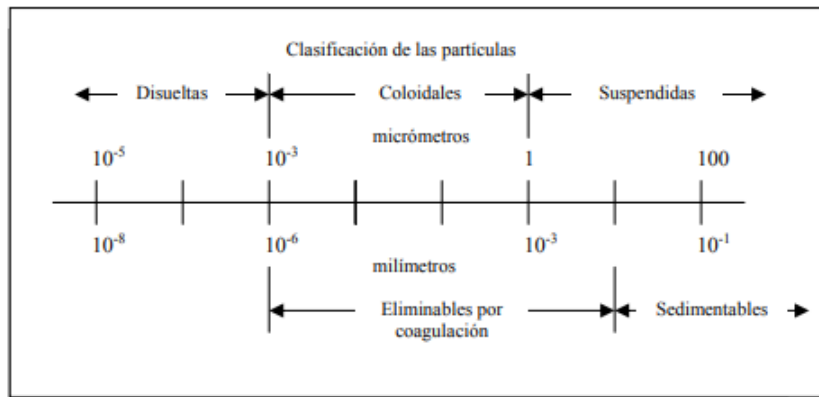


Figura 1: Clasificación de las partículas sólidas contenidas en el agua residual, según su diámetro
Fuente: Morales (2005)[5]

- Olor

Según Morales (2005) [5] el olor particular despedido por las aguas residuales es debido a los gases producidos en la descomposición de la materia orgánica, especialmente, en la presencia de ácidos sulfhídricos y otras sustancias volátiles, como el metanol. El agua residual reciente tiene un olor característico algo desagradable, pero más tolerable que el de las aguas residuales sépticas.

Según García (2014) [3] las aguas residuales séptica poseen un olor más fuerte debido a la presencia de sulfuro de hidrógeno que se produce al reducir los sulfatos a sulfitos por acción de microorganismos anaeróbicos. Las aguas residuales industriales pueden contener compuestos olorosos en sí mismo, o compuesto con tendencia a producir olores durante los diferentes procesos de tratamiento.

La principal causa del rechazo a la implantación de tratamiento de aguas negras residuales es la problemática de los olores. En los últimos años, con el fin de mejorar la opinión de la población acerca de la utilización de sistemas de tratamiento, el control y la limitación de los olores han pasado a ser factores de gran importancia en el diseño y proyecto de redes de alcantarillado, plantas de tratamiento y sistemas de evacuación de aguas residuales. A la

vista de la importancia de los olores dentro del ámbito de la gestión de las aguas residuales, resulta conveniente estudiar los efectos que producen, como se detectan, como caracterizarlo y medirlo.

- Temperatura

Según Morales (2005) [5] la temperatura de estas aguas es mayor que las aguas no contaminadas, ya que estas contienen una mayor energía liberada en las reacciones bioquímicas, que se presentan en la degradación de la materia orgánica.

Según García (2014) [3] la temperatura juega un papel fundamental en el ecosistema acuático, en las reacciones químicas y velocidades de reacción y en la aplicabilidad del agua. Altos niveles de temperatura pueden generar la producción de un cambio en las especies piscícolas que existen en el agua. A empresas industriales que utilizan aguas superficiales para refrigeración les es de suma importancia la temperatura del agua de captación.

El oxígeno es menos soluble en aguas calientes que en frías. El incremento en la velocidad de las reacciones químicas que supone un aumento de la temperatura, junto con la reducción de oxígeno presente en aguas superficiales, causa graves agotamientos, en los meses de verano, de las concentraciones de oxígeno disuelto. Estos efectos se ven aumentados cuando se vierten cantidades suficientemente grandes de agua caliente a las aguas naturales receptoras. Se debe considerar que un cambio repentino de temperatura puede dar como resultado un alto porcentaje de mortalidad de vida acuática. Finalmente, las temperaturas anormalmente elevadas, pueden llegar a ocasionar un aumento indeseable de plantas acuáticas y hongos.

La temperatura óptima para el desarrollo de la actividad bacteriana es entre 20 y los 35°C. Los procesos de digestión aerobia y la nitrificación se detienen cuando se alcanzan los 50°C. Cuando hay una temperatura de 15°C, las bacterias productoras de metano detienen sus actividades, mientras que las bacterias nitrificantes autótrofas dejan de actuar cuando la temperatura rebasa valores cercanos a los 5°C. Si se llega a temperaturas cercanas a 2°C, incluso las bacterias quimio-heterótrofas que actúan sobre la materia carbonosa dejan de actuar.

- Color

Según Morales (2005) [5] el color es un indicador de la edad de las aguas residuales. El agua residual reciente suele ser gris; sin embargo, a medida que los compuestos orgánicos son descompuestos por las bacterias, el oxígeno disuelto en el agua residual se reduce y el color cambia a negro. Según García (2014) [3], llegando al punto que el agua se torna negra, suele clasificarse el agua residual como séptica. Algunas aguas residuales industriales pueden añadir color a las aguas residuales domésticas. En la mayoría de los casos, el color gris, gris oscuro o negro del agua residual es debido a la formación sulfuros metálicos por reacción del sulfuro liberado en condiciones anaerobias con los metales presentes en el agua residual.

- Turbiedad

Según Morales (2005)[5] la turbidez es un parámetro de medición de la transmisión de la luz del agua, es otro ensayo utilizado para indicar la calidad de los vertidos de aguas

residuales con respecto a la materia suspendida. Según García (2014) [3] la medición de turbidez se realiza mediante la comparación entre la intensidad de la luz dispersada en la muestra y la intensidad registrada en una suspensión de referencia en la misma condición. La materia coloidal dispersa absorbe la luz, impidiendo su transmisión. Aun así, no se puede afirmar que exista una relación entre la turbiedad y la concentración de sólidos en suspensión de un agua no tratada. No obstante, si están razonablemente ligados la turbiedad y los sólidos en suspensión en el caso de efluentes procedentes de a decantación secundaria en el proceso de fangos activados.

- pH

Según García (2014) [3] la acumulación de ion hidrógeno es un indicador de la calidad de suma relevancia tanto para el caso de aguas naturales como residuales. El intervalo de concentraciones adecuado para la correcta proliferación y desarrollo de la mayor parte de la vida biológica es bastante estrecho y crítico. El agua residual con altos niveles de concentración de ion hidrógeno inadecuadas presenta dificultades de tratamiento con procesos biológicos, y el efluente puede modificar la concentración de ion hidrógeno en las aguas naturales si esta no se modifica antes de la evacuación de las aguas.

La acumulación de ion hidrógeno en las aguas está relacionado con la cuantía en que se disocian las moléculas de agua. El pH de un ecosistema acuático puede medirse convenientemente con un pH-metro. Para el mismo procedimiento de medición también se emplean soluciones indicadora y papeles de pH que cambian de color a determinados valores de pH. El color de la solución se compara entonces con el color de series normalizadas.

Características químicas

Según García (2014) [3] en un aspecto químico, el agua residual puede ser caracterizada desde muchos puntos de vista, ya sean los componentes químicos minerales que posee como los orgánicos, hasta los gases que se encuentran disueltos en ella.

- Materia orgánica

La materia orgánica se conforma de un noventa por ciento por carbohidratos, proteínas, grasas y aceites cuyo origen se deriva de excrementos y orina de seres human, restos de alimentos y detergentes. Estos contaminantes son biodegradables, eso quiere decir que pueden ser transformados en compuestos más simples por la acción de microorganismo naturales presentes en el agua, cuyo desarrollo se ve favorecido por las condiciones de temperatura y nutrientes de las aguas residuales.[5]

- Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)

El contaminante orgánico más ampliamente empleado en las aguas es la DBO a 5 días (DBO5). La detección de este contaminante está relacionada con la medición de oxígeno disuelto que consume los microorganismos en el proceso de oxidación bioquímica de la materia

orgánica. Los resultados de los ensayos de DBO se emplean para: determinar la cantidad aproximada de oxígeno que se requiera para estabilizar biológicamente la materia orgánica presente, para dimensionar las instalaciones de tratamiento de agua residual, medir la eficiencia de procesos de tratamiento y tener un control en el cumplimiento de las limitaciones a que están sujetos los vertidos.

En las aguas residuales es corrector decir que la DBO es la cantidad de oxígeno consumido en los procesos de estabilización biológica de la materia orgánica, a condiciones de temperatura, dilución y tiempo específico. La DBO se presenta en unidades de mg/L, pero también son aceptador valores en partes por millón. El análisis estándar de la DBO consiste en la incubación por 5 días a 20°C, el volumen utilizado de muestra varía de acuerdo al método utilizado y a la concentración de materia orgánica en la muestra de aguas a analizar previamente diluidas en un factor apropiado a las cuales se le determina la cantidad de oxígeno disuelto al inicio y al final de la prueba.[3]

- Demanda química de oxígeno (DQO)

Según AGUA MÉXICO (2017) [6] la demanda química de oxígeno es la cantidad de oxígeno (medido en mg/l) que se consumió en la oxidación de materia orgánica y materia inorgánica oxidable, bajo condiciones de prueba. Según García (2014) los ensayos de DQO se realizan para medir el contenido de materia orgánica tanto de las aguas naturales como las residuales, también este ensayo se utiliza para medir la materia tanto orgánica como inorgánica. En dicho ensayo se emplea un agente químico fuertemente oxidante en medio ácido para la determinación del equivalente de oxígeno de la materia orgánica que pueda llegar a oxidarse. El dicromato potásico proporciona excelentes resultados en este sentido. El ensayo se debe realizar a elevadas temperaturas, para facilitar la oxidación de determinados tipos de compuestos orgánicos es preciso emplear un catalizador (sulfato de mercurio). Ya que algunos compuestos orgánicos interfieren con el normal desarrollo del ensayo, deben tomarse medidas adecuadas para eliminarlos antes del ensayo.

- Metales pesados

En las aguas se puede encontrar metales a nivel de traza. Entre ellos se pueden destacar el níquel (Ni), manganeso (Mn), cromo (Cr), cadmio (Cd), zinc (Zn), cobre (Cu), hierro (Fe) y mercurio (Hg). Algunos son necesarios para el desarrollo de la vida biológica y su ausencia en cantidades suficientes podría, por ejemplo, limitar el crecimiento de algas. Muchos de estos metales también están catalogados como contaminantes primarios. La presencia de estos metales citados en cantidades excesivas interferirá con muchos usos provechosos del agua dado su toxicidad.[3]

- Gases

El agua residual contiene diversos gases con diferentes concentraciones. Los principales son:

- Oxígeno disuelto: Es el principal gas que va siendo consumido por la actividad química y biológica. La presencia de oxígeno disuelto depende de muchos factores, como temperatura, altitud, movimiento del curso receptor, actividad biológica, actividad química, etc.
- Anhídrido carbónico: Su origen está ligado a la fermentación de los compuestos orgánicos de las aguas residuales negras.
- Metano: Forma a través de la descomposición anaeróbica de los materiales orgánicos por la reducción bacteriana del CO₂.

Otros gases malolientes son producidos como: ácidos grasos volátiles y otros derivados del nitrógeno. [5]

Características microbiológica

Las propiedades microbiológicas del agua es uno de los principales indicadores de la calidad del agua. El agua es el medio de desarrollo de microorganismos de diferentes naturalezas, tales como bacterias, algas y hongos.

- Bacterias

Según Morales (2005) [5] las bacterias son los principales organismos encargados de la descomposición y estabilización de la materia orgánica. Estas pueden llegar a clasificarse, en base a su metabolismo, en heterótrofas y autótrofas. Las autótrofas son todas aquellas que se alimentan de compuestos inorgánicos, tomando la energía necesaria para su biosíntesis a partir de la luz (bacterias fotosintéticas: familia: *Thiorhodaceae*, *Chlorobiaceae*) o a partir de reacciones químicas (bacterias quimio sintéticas: *Nitrobacter*, *Nitrosomonas*, *Hydrogenomonas*, *Thiotrix*). Las heterótrofas, por otro lado, son consideradas el grupo más importante en el tratamiento biológico de aguas residuales, debido a la necesidad de compuestos orgánicos que tiene esta para el carbono celular. Las bacterias autótrofas y heterótrofas pueden dividirse a su vez en anaerobias, aerobias o facultativas según su necesidad de oxígeno:

- Bacterias anaerobias: Son las que consumen oxígeno con procedencia de los sólidos orgánicos e inorgánicos la presencia de oxígeno disuelto no les permite subsistir. Provocan proceso anaerobio, se caracterizan por la presencia de malos olores.
- Bacterias aerobias: Son las bacterias que dependen del oxígeno procedente del agua para subsistir. El oxígeno que les sirve de sustento es el oxígeno libre (molecular) del agua, y las descomposiciones y degradaciones que provocan sobre la materia orgánica son procesos aerobios, se caracteriza porque no genera mal olor.
- Bacterias facultativas: Las bacterias anaerobias y aerobias pueden adaptarse a su condición opuesta, es decir, las aerobias a medio sin oxígeno disuelto y las aerobias a aguas con oxígeno disuelto.

- Bacterias coliformes: Se utilizan frecuentemente como indicador bacteriano de la calidad sanitaria de los alimentos y el agua. Se definen como bacterias *gramnegativas*, con forma de bastón, no formadoras de esporas, que pueden fermentar la lactosa con producción de ácido y gas cuando se las incuba a 35–37 °C. Los coliformes pueden encontrarse en ambientes acuáticos, suelo y vegetación; además de estar presentes en grandes cantidades en las heces de los animales de sangre caliente. Aunque en general los coliformes en sí no causan enfermedades graves, son fáciles de cultivar y su presencia sirve para indicar la posible presencia de otros organismos patógenos de origen fecal. Dichos patógenos pueden ser bacterias, virus o protozoos y una larga serie de parásitos pluricelulares.

3.1.3. Aguas residuales domésticas

Según Díaz y Mejía (2013) [7] las aguas residuales domésticas son todas aquellas las cuales el ser humano utiliza para fines higiénicos (baño, cocinas, lavandería, etc.). Básicamente consisten en residuos humanos y de productos de higiene, su origen proviene en: hogares, edificios, oficinas, centros comerciales y otros similares. Según Morales (2005) estas aguas tienen un contenido de solida inferior al uno por ciento. Si bien su caudal y composición es variable, puede tipificarse ciertos rangos para los parámetros más característicos. Las aguas residuales domésticas se pueden clasificar en aguas negras (contaminadas con heces) y aguas residuales grises (no contaminadas con heces). En el siguiente cuadro se presentan algunos parámetros y concentraciones de las aguas residuales domesticas

Parámetros (mg/l)	Contaminación alta	Contaminación media	Contaminación ligera
Sólidos totales	1000	500	200
Sólidos volátiles	700	350	120
Sólidos en suspensión	300	150	80
Sólidos en suspensión totales	500	300	100
Sólidos en suspensión volátiles	400	250	70
Sólidos en suspensión fijos	100	50	30
Sólidos disueltos totales	500	200	100
Sólidos disueltos volátiles	300	100	50
Sólidos disueltos fijos	200	100	50
DBO5 a 20 C	300	200	100
Oxígeno consumido	150	75	30
Oxígeno disuelto	300	150	50
Nitrógeno total	86	50	25
Nitrógeno orgánico	35	20	10
Amoníaco libre	50	30	15
Nitritos	0.1	0.05	0
Nitratos	0.4	0.2	0.1
Cloruros	175	100	15
Alcalinidad	200	100	50
Grasas	40	20	0
pH	6-9	6-9	6-9

Cuadro 3: Composición media de las aguas residuales domésticas
Fuente: Calderón (2015) [4]

3.2. Aguas grises

3.2.1. Definición de aguas grises

Según Huerta *et al.* (2011) [8] las aguas grises son todas aquellas aguas cuyo origen provenga de los desagües de bañeras, lavabos, pilas de la cocina, lavavajillas o lavadoras. Según Rodríguez y Martínez (2013) [9] la producción de aguas grises por fuente es variable y dispersa según la utilización de artefactos en el hogar, la época del año y la cantidad de personas que permanezcan o habiten las viviendas. El tratamiento de las aguas grises representa la mayor fuente potencial de ahorro de aguas en las viviendas, ya que representa entre el 55 y 75 por ciento del uso total de agua.

A simple vista esta agua llega a parecer inservible, sin embargo su reutilización consigue el ahorro de entre 30 y 45 por ciento de agua, protege las reservas de agua subterránea y reduce la carga de las aguas residuales. Las aguas grises no tienen mal olor inmediatamente después de ser descargadas.[8]

Según estudios realizados por el Grupo de Enxeñaría de Auga e do Medio Ambiente (2013) [10] las aguas grises pueden clasificarse según su origen.

- Aguas grises Tipo 1 o “aguas de baja carga”: Estas son todas aquellas aguas grises cuyo origen provenga de ducha, bañera y lavabo.
- Aguas grises Tipo 2 o “aguas de media carga”: Estas aguas incluyen las aguas provenientes con lavadora más las de tipo 1.
- Aguas grises Tipo 3 o “aguas de alta carga”: Comprende a las aguas provenientes de lavavajillas, fregadero de cocina y las anterior mencionadas.

El origen de los flujos solo define el tipo de sustancia (energía) que lleve el agua, con lo cual condiciona la posterior estrategia de tratamiento, sino que también determina la cantidad y la disponibilidad de agua a reciclar, ya que los ciclos de aportación son diferentes.

El tratamiento de este tipo de agua es de carácter sencillo y son fácilmente reutilizadas para diversidad de usos. El más frecuente de los usos que se les da a las aguas grises tratadas es el relleno de cisternas de los inodoros, la cual no requiere de una gran calidad de agua. Otros usos frecuentes que tiene este tipo de agua, según la Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid (2012) [11], es: el riego de áreas verdes, en la utilización de lavadoras adaptadas para utilizar estas aguas, limpieza de superficies etc. La Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid (2012) [11] limita estos usos para casos particulares, tales como los centros médicos, sociales y de alojamiento de personas mayores y los de enseñanza infantil y primaria.

Según estudios realizados por el Grupo Enxeñaría de Auga e do Medio Ambiente (2013) [10] las principales ventajas y oportunidades del reciclaje de las aguas grises son:

- Reducción de consumo de recursos convencionales, de alta calidad, que permite que sean liberados a usos más exigentes.
- Disminución de los costos de tratamiento y de vertido de aguas residuales. El reciclaje de aguas grises ofrece una clara ventaja económica cuando los requisitos de calidad del tipo de uso previsto sean menores exigentes que los establecidos por los objetivos de vertido del medio receptor.
- Una reducción del aporte de contaminantes a los cursos naturales de agua, en particular cuando el uso final del agua gris tratada es el riego agrícola o de jardinería.
- El aplazamiento, la reducción, o incluso la supresión, de ampliaciones o nuevas infraestructuras de distribución de tratamiento de agua de abastecimiento.
- Un ahorro energético al transporte y tratar menores volúmenes de agua.
- Valoración del recurso y concienciación intrínseca de la necesidad de ahorrar. Esto obliga a la revisión de hábitos de consumo y costumbres. (tanto desde el punto de vista cuantitativo como cualitativo)

Según Rodríguez y Martínez (2013) [9] el agua gris generada por ducha y lavaderos equivalen al 54 por ciento del agua gris producida en una vivienda entre 1 y 6 habitantes y área entre 50 y 180 m². El mayor punto generador de aguas grises en las viviendas, es la ducha con un treinta y dos por ciento seguido de la lavadora con un veintidós por ciento de

total de aguas grises generadas en las viviendas. A continuación, se presenta una distribución estimada de la producción de aguas grises por fuente en una vivienda.



Figura 2: Distribución de aguas grises por fuentes en vivienda
Fuente: Rodríguez y Martínez (2013) [9]

Las aguas grises no poseen un mal olor inmediatamente después de ser descargadas. El inconveniente está cuando las aguas se quedan estancadas, ya que los microorganismos presentes en ellas usarán rápidamente el oxígeno disponible y habrá mayor presencia de bacterias anaeróbicas, que además de dar mal olor, crean un ambiente propicio para el desarrollo de agentes patógenos humanos. Adicionalmente las aguas grises contienen fósforo, potasio y nitrógeno, que convierte a las mismas en una fuente de nutrientes para el riego de plantas.

A continuación, se presentan ejemplos del reuso de aguas grises, mostrando las diferentes razones que motivaron a reutilizar el agua gris para distintos fines:[12]

La reutilización de aguas grises en el Noreste de Badia en Jordania

Según McIlwaine y Redwood (2010) [13] la zona del noreste de Badia en Jordania es seca por naturaleza, el agua escasea en gran manera. Por lo cual tomaron la decisión de utilizar la alternativa de reutilizar las aguas grises para fines como la agricultura. Para esto se separaron las tuberías de aguas negras de las grises, para ser conducidas al riego de campos de cultivo o desecharla en tierra. Los factores principales para la toma de decisión fue por actividades religiosas; esto deja ver la relevancia de la cultura para la aceptación de sistemas de tratamiento de aguas grises.



Figura 3: Funcionarios del gobierno de Jordania estudian las normas de construcción del país para utilizar sistemas de aguas grises en fabricación de nuevas viviendas.
Fuente: International Development Research Centre (2006) [14]

Sistema electromecánico para reciclar aguas grises

Según Contreras y Vinicio (2009)[15] se hace una propuesta de un sistema automatizado para el tratamiento de aguas grises domésticas por medio de un filtro de arena que fue aplicado en una casa en Quito, Ecuador, este ofrece la ventaja de no tener que ser operado manualmente con el fin de mejorar la interacción con el usuario.

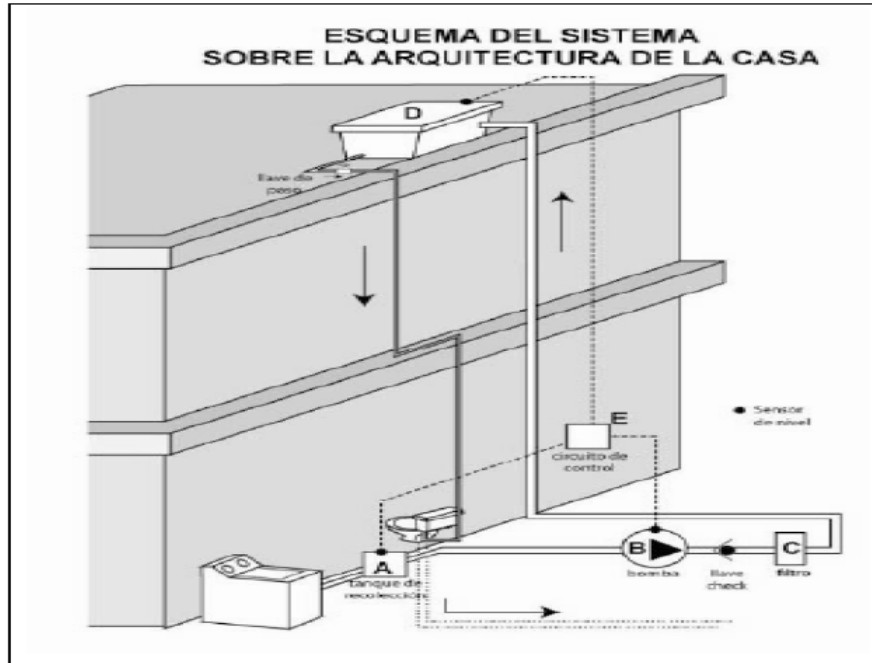


Figura 4: Sistema electromecánico de aguas grises.
Fuente: Vinicio (2009) [15]

3.2.2. Características de aguas grises

Según Rodríguez y Martínez (2013)[9] las características de las aguas grises dependen en primer lugar de la calidad del agua suministrada, en segundo lugar, el tipo de red de distribución el agua potable y gris y en tercer lugar de las actividades en el hogar. Los compuestos presentes en las aguas grises varían de una fuente a otra, donde los estilos de vida, las costumbres, las instalaciones y el uso de productos químicos de uso doméstico será de importancia en su composición. La composición varía en gran medida en términos de tiempo y lugar, dado a las variaciones en el consumo de agua en relación con las cantidades de sustancias vertidas. Además, podría haber degradación química y biológica de los compuestos químicos, dentro de la red de transporte y durante el almacenamiento.

Según estudios realizados por el Grupo de Enseñaría de Auga e do Medio Ambiente (2013) [10] las aguas grises en general, pueden contener particular de alimentos, aceites, fibras de tela, pelos, agentes patógenos, jabones, detergentes, shampoo, dentífricos, cremas de afeitar, detergentes, aceites corporales, cosméticos, restos de arena y otros productos químicos; además pueden tener presencia de diferentes metales y sustancias peligrosas. La siguiente tabla muestra algunos parámetros con sus concentraciones, según el tipo de agua gris que sea.

	Bañera, ducha y lavados	Lavadero	Cocina	Mixta	Agua residual urbana media
pH	6.4-8.1	7.1-10	5.9-7.4	6.3-8.1	
SST (mg/l)	7-505	68-465	134-1300	25-183	250
Turbidez(NTU)	44-375	50-444	298	29-375	
DQO(mg/l)	100-633	231-2950	26-2050	100-700	500
DBO5 (mg/l)	50-300	48-472	536-1460	47-466	250
Nitrógeno total (mg/l)	3.6-19.4	1.1-40.3	11.4-74	1.7-34.3	40
PT(mg/l)	0.11-48.8	ND >171	2.9-74	0.11-22.8	8
Coliformes totales (UFC/100mg//l)	10-2.4*10 ⁷	200-7*10 ⁵	2.4*10 ⁸	56-8.03*10 ⁷	10 ⁸
Coliformes fecales (UFC/100mg//l)	0-3.4*10 ⁵	50-1.4*10 ³	-	0.1-1.5*10 ⁸	10 ⁷

Cuadro 4: Rango de parámetros de distintas aguas grises
Fuente: Grupo de Enxeñaría da Auga e do Medio Ambiente (2013) [10]

Según Rodríguez y Martínez (2013) [9] la producción de aguas grises en las viviendas es muy variable, y está en función de la dinámica de las viviendas. Se influencia por factores como el servicio de suministro de agua existente e infraestructura, el número de miembros de la casa, la distribución de edades y las características del estilo de vida de los mismos. Los volúmenes de agua gris son bajos en regiones donde se usan ríos o lagos para la higiene personal, el lavado de ropa y utensilio de la cocina. Un miembro de la casa en un área más rica con el agua conducida por tubería puede, generar varios cientos de litros por día. Los datos de la literatura indican, que el consumo típico de agua gris esta entre 50 y 100 L/Hab-día, con el agua conducida por tuberías. El siguiente cuadro muestra la producción diaria por habitante de aguas grises para distintos países.

País	Vietnam	Jordania	Israel	Nepal	Suiza	Australia	Malasia
Producción	L/Hab-día						
Total	80-110	50	98	72	110	113	225
Cocina	15-20	-	30	-	28	17	-
Baños	30-60	-	55	-	52	62	-
Patio de Ropa	15-30	-	13	-	300	34	-

Cuadro 5: Producción de aguas grises en distintos ambientes y distintos países
Fuente: Rogríguez y Martínez (2013) [9]

En el Cuadro cinco, se observa que en las zonas de poco acceso al recurso, la producción es igualmente baja, derivada de los escasos del agua, y el acceso limitado al recurso. En países como Australia la producción de agua gris por persona llega a cantidades como 120L/Hab-días de los cuales cincuenta por ciento lo generan los baños.

Generalmente estas aguas representan entre el cincuenta y el ochenta por ciento del uso total de aguas de las viviendas. En nuestro medio estas corresponden al veintiséis por ciento

del agua potable consumida en una vivienda.[9]

Características físicas

Según Rodríguez y Martínez (2013) [9] la principal característica físicas de las aguas grises es el color gris que posee. Otros parámetros físicos de relevancia son: la temperatura, la turbidez y el contenido de sólidos en suspensión.

Las partículas de comida y animales crudos en la cocina, y las partículas de suelo, pelo y fibra de las aguas de lavandería son ejemplo de material sólido presente en estas aguas. Estas partículas y coloides causan turbidez en el agua e incluso pueden resultar en obstrucción física de las tuberías. Las mayores concentraciones de sólidos en suspensión se encuentran típicamente en las aguas grises de las cocinas y el lavadero. De igual modo las concentraciones de sólidos suspendidos dependen fuertemente de la cantidad de agua utilizada.

Características químicas

Según Rodríguez y Martínez (2013) [9] los compuestos presentes en las aguas grises están directamente relacionados con las actividades diarias de los hogares. Estos elementos son principalmente productos químicos sintéticos compuestos de nitratos, fosfatos y agentes tenso activos, que se utilizan en grandes cantidades para la limpieza doméstica y son vertidos directamente a la red de alcantarillados. Adicionalmente, las aguas grises domésticas contienen sodio, calcio, magnesio, compuestos de sales de potasio, aceites, grasas y nutrientes, que se derivan de las actividades diarias realizadas en los hogares, y delimitan el potencial de utilización de las aguas grises crudas.

Es de aclarar que los elementos químicos presentes en las aguas grises domésticas varían según la ubicación socioeconómica de los inmuebles y la zona en que se localicen; por ejemplo, en las zonas urbanas las concentraciones de detergentes son mayores, por la utilización de detergente para el aseo en los hogares, mientras que en zonas rurales estas concentraciones son menores, por el poco uso y acceso limitado a detergentes para el aseo.

Las sustancias químicas que podrían estar presentes en las aguas grises son: aluminio, arsénico, plomo, bario, hierro, calcio, fósforo, cadmio, sulfatos, cromo, cloruros, plata, molibdeno, nitrógeno, cobre, potencial de hidrógeno, níquel, magnesio, sodio, grasas y aceites, alcalinidad, potasio, magnesio, surfactantes y zinc.

Características microbiológica

Según Rodríguez y Martínez (2013) [9] las características microbiológicas de este tipo de agua esta relacionadas con los *Coliformes fecales, totales, Escherichia coli*, entre otros, los cuales se deben fundamentalmente a los desechos humano y animales, ya que los agentes patógenos-bacterias y virus que se encuentran en las heces, orina y sangre, son los ocasionan muchas enfermedades y epidemias. Aunque las aguas grises no posean los mismos valores de microorganismos provenientes de desechos humanos que las aguas negras, si poseen una cantidad reducida de estos microorganismos.

Las concentraciones normales de las sustancias presentes en las aguas grises domésticas varían según la temporada del año (verano e invierno) y sus contaminantes. Según estudios realizados por Tjandraatmadja y Diaper (2006) [16] las concentraciones de los contaminantes presentes en las aguas grises crudas domésticas están directamente relacionados con los volúmenes producidos por cada fuente y las actividades realizadas en e hogar. En los siguientes dos cuadros se presentan algunos parámetros físico-químicos y microbiológico de las aguas grises.

	Parámetro	Valor orientativo aguas grises	Valor típico aguas residuales
Parámetros físico-químicos	Sólidos en suspensión	45-330 mg/l	450 mg/l
Parámetros físico-químicos	DBO5	90-290 mg/l	450 mg/l
Parámetros físico-químicos	Nitrógeno Total	2.1-31.5 mg/l	50-60 mg/l
Parámetros físico-químicos	Turbidez	22-200 NTU	
Parámetros microbiológicos	Coliformes totales	10-10 ⁶ UFC/100ml	10 ⁶ -10 ⁷ UFC/100ml
Parámetros microbiológicos	<i>Escherechia Col</i>	10-10 ⁵ UFC/100ml	10 ⁵ -10 ⁶ UFC/100ml

Cuadro 6: Parámetros físico-químicos y microbiológicos de las aguas grises y residuales
Fuente: AQUA ESPAÑA (2018) [17]

Parámetro	Und	Concentración
Aluminio	mg/l	0.01-0.5
Arsénico	mg/l	<0.01
Plomo	mg/l	1-1.31
Bario	mg/l	<1
Hierro	mg/l	0.1-0.4
Calcio	mg/l	0.4-1.4
Cadmio	mg/l	<0.03
Cromo total	mg/l	<0.05
Plata	mg/l	<0.05
Molibdeno	mg/l	0.2-0.5
Cobre	mg/l	0.01-0.5
Níquel	mg/l	<0.05
Manganeso	mg/l	0.01-0.5
Sodio	mg/l	68-93
Potasio	mg/l	0.8-3
Magnesio	mg/l	0.4-5
Zinc	mg/l	0.1-0.5
Turbidez	NTU	29-375
Alcalinidad total	mg/l	12-35
Sólidos totales	mg/l	20-126
Sólidos suspendidos totales	mg/l	25-183
Sólidos suspendidos volátiles	mg/l	28-87
Conductividad	uS/cm	82-1845
Fósforo total	mg/l	0.1-2
Sulfato	mg/l	83-160
Cloruros	mg/l	20-30
pH	mg/l	6.3-8.1
Nitrógeno total	mg/l	1.7-34.8
DBO5	mg/l	47-466
DQO	mg/l	100-700
Grasas y aceites	mg/l	7-230
<i>Coliformes fecales</i>	CFU/100ml	0.1-1.5*10 ⁸
<i>Coliformes totales</i>	CFU/100m	56-8.03*10 ⁷
<i>Escherichia coli</i>	CFU/100m	0-2.51*10 ⁷
Surfactantes	mg/l	45-170

Cuadro 7: Concentraciones de parámetros de aguas grises crudas domésticas provenientes de drenaje de cocina, ducha, lavaplatos, lavadora de ropa
Fuente: Rogríguez y Martínez (2013) [9]

Las sustancias presentes en las aguas grises domésticas provienen principalmente de productos, enseres y alimentos de uso diario, los cuales contienen sustancias que acogen las aguas grises en la vivienda. Estas sustancias o productos tienen diferentes fuentes, los cuales se presenta en la siguiente cuadro.

Origen	Contenido	Contaminación media
Ducha/tina	Jabón, shampoo, algunas grasas y bacterias	-
Fregadero/lavaplatos	Materia orgánica, nutrientes, sólidos, detergentes y altos niveles de grasa y aceite	Normalmente necesita pretratamiento.
Lavadero/lavadora	Altas concentraciones de detergentes y regulares químicos como cloro, además de pelusa.	El lavado de pañales puede elevar drásticamente los niveles de patógenos
Lavamanos	Jabones, pasta de dientes y otros productos de higiene.	-
Sanitario	Altas cantidades de patógenos y materia orgánica	No debe integrarse a un sistema de aguas grises

Cuadro 8: Contenido de distintos tipos de aguas grises
Fuente: Rogríguez y Martínez (2013) [9]

Los contaminantes presentes en las aguas grises domésticas hacen parte de la contaminación antropogénica, los cuales se provocan por las actividades humanas desarrolladas en el hogar, tales como el aseo personal, aseo del hogar, lavado de utensilios, lavado de ropas y procesos de alimentación, y estos finalmente se convierten en vertidos urbanos que hacen parte de las fuentes principales de la contaminación antropogénica.

3.2.3. Principales contaminantes en las aguas grises

Las aguas grises son conocidas como aguas jabonosas ya que estas son el resultado de un proceso de limpieza. La principal sustancia en estos procesos son los detergentes, el cual es una sustancia con propiedades físico-químicas, que quita la suciedad sin corroer el material sobre el que se aplica y con capacidad humectante y enjuague. La gran mayoría de detergentes tiene altas concentraciones de fósforo y tensoactivos. [18]

- Fósforos

Las aguas grises urbanas suelen contener de 5-20 mg/l de de fósforo total, del cual el 1-5 mg/l es orgánico y el resto es inorgánico. La contribución individual tiende a aumentar ya que el fósforo es uno de los principales constituyentes de los detergentes sintéticos. La contribución individual del fósforo varía entre 0.65 y 4.80 g/habitante al día con una media de unos 2.18 g.

El fósforo en las aguas residuales proviene principalmente de los desechos humanos, actividades industriales y detergentes sintéticos y productos de limpieza. La influencia de los detergentes es fundamental en el contenido en fósforo de las aguas residuales, de forma que en los sitios en que se han aplicado normativas reguladoras del contenido en fósforo de los mismos, se han conseguido importantes reducciones en el contenido global de fósforo en

las aguas residuales urbanas. También colaboran en esta reducción de fósforo los sistemas de pretratamiento de muchas industrias antes de verter en los colectores urbanos. El fósforo total presente en un agua residual puede dividirse en las siguientes fracciones:

- Orto fosfatos inorgánicos solubles: Pertenecen a él ion y sus formas protonadas. Los compuestos de este grupo se encuentran disponibles para el metabolismo biológico. Su concentración típica en el agua urbana es de 7 mg/L.
- Fosfatos condensados o polifosfato inorgánico soluble: Estos compuestos por hidrólisis se transforman en orto fosfatos. Su concentración típica es de 3 mg/L, apareciendo en el agua residual debido a su presencia en algunos productos de limpieza.
- Fósforo orgánico, soluble y en suspensión: Tienen poca importancia en agua residuales urbanas, siendo una concentración total típica de 1 mg/L. Están presentes en aguas residuales asociadas a residuos de origen tanto animal como alimenticio.
- Tensoactivos

Son el ingrediente principal o sustancia activa de un detergente, gracias a la capacidad que tiene de romper la tensión superficial del agua es que ocurre la detergencia, el tensoactivo es la sustancia que permite al detergente emulsionar la suciedad o partículas no polares en el agua.

Los tensoactivos o surfactantes como también se les conoce, son sustancias compuestas de una estructura que consta de una parte de naturaleza polar que presenta afinidad al agua (hidrofílica) y otra de naturaleza apolar que presenta afinidad hacia sustancias no polares (lipofílica). Los distintos tipos de tensoactivos son:

- Tensoactivo catiónicos: Son aquellos que presentan una carga positiva en la parte hidrofílica de su estructura molecular, ejemplo de este tipo de tensoactivo son las sales de amonio cuaternarios y las sales de aminas. Por lo general, estos tensoactivos se utilizan en la elaboración de desinfectantes y suavizantes, esto se debe a que neutralizan a los tensoactivos aniónicos que son los que se utilizan en los detergentes para el lavado de ropa. [19]
- Tensoactivo no iónicos: Son aquellos que no poseen ningún tipo de carga en su estructura molecular, por lo general son derivados de glicoles, ésteres y glucósidos. Son utilizados mayormente como agentes emulsificantes. Y en algunos productos de uso doméstico. [19]
- Tensoactivo aniónicos: Son los que poseen una carga negativa en la hidrofilia. Es utilizado en la fabricación de algunos detergentes y jabones.
- Tensoactivos anfóteros: Son aquellos en los cuales la carga de la parte hidrofílica puede variar dependiendo del pH del medio donde se encuentren, en pH ácidos presentan cargas positivas, y en pH alcalinos una carga negativa. Prácticamente no se utilizan en la fabricación de detergentes, en la mayoría de los casos es para fines industriales. [19]

3.3. Tratamiento de aguas grises

Según Galvis (2013) [20] para lograr la reutilización de las aguas grises se realizan distintos sistemas de tratamiento de aguas que están basados en una serie de procesos físicos y químicos que tienen como objetivo eliminar diferentes contaminantes presentes en las aguas grises. El fin del tratamiento es limpiar el agua o efluente tratado. Esto es particularmente conveniente para disposición o reusó con el fin de reducir o eliminar los contaminantes presentes, permitiendo que estas cumplan con las normativas y leyes ambientales.

Según Rodríguez y Martínez (2013) [9] una amplia gama de tecnologías de tratamiento se ha aplicado en diferentes partes del mundo, las cuales han tenido en cuenta la calidad y cantidad de agua gris producida. Aquí se mencionarán algunos de los más comunes y comerciales actualmente. Un sistema de tratamiento se considera eficaz si se produce la calidad del efluente requerido, es simple en su funcionamiento con un mantenimiento mínimo, y accesible debido a su bajo consumo de energía y los costos de operación y mantenimiento.

Las aguas grises son aguas con un bajo nivel de contaminantes y la casi ausencia de productos orgánicos, por lo cual puede ser reutilizada en las viviendas para limpieza, uso en el sanitario y riego. Es importante tener en cuenta que no hay una solución única o establecida para la gestión de las aguas grises, por lo cual se selecciona los tratamientos que posiblemente se adapten mejor a la necesidades y usos finales. A su vez, es importante a la hora de seleccionar un tratamiento de aguas grises tener en cuenta el costo y la vulnerabilidad del mismo, ya que estos están directamente relacionados con la carga de contaminantes.

Allen (2015) [21] define algunos lineamientos básicos para el uso de los sistemas residenciales de aguas grises:

- No almacenar las aguas grises brutas por más de 24 horas, ya que puede ocasionar la descomposición de los nutrientes que tienen, lo que genera malos olores.
- Limitar el contacto con las aguas grises. Muchas veces las aguas grises pueden llegar a tener patógenos, los cuales son perjudiciales para la salud de cualquier ser vivo. Todos los sistemas deben ser diseñados de tal modo que no queden al alcance de animales ni personas.
- Asegurar que el sistema sea lo más simple posible, ya que los sistemas simples duran más, requieren menos mantenimientos, usan menos energía y cuestan menos. Los sistemas de bombeo y filtro requieren de un mayor compromiso y de un mantenimiento constante.
- Considerar, en el diseño, una válvula de desvío en un lugar conveniente para permitir el cambio fácil entre el sistema de aguas grises y el drenaje o sistema séptico.

3.3.1. Tipos de tratamiento para aguas grises

Según AQUA España (2011) [1] para la recuperación de aguas grises se aplican diversos tipos de tratamientos. La selección del sistema más adecuado dependerá de varios factores, entre ellos:

- Características de las aguas grises a tratar.
- Uso del agua tratada.
- Especificaciones requeridas en el agua tratada.
- Otros aportes de agua a recuperar (pluvialmente, sobrantes de picana, etc.)
- Aspectos económicos.

Los sistemas de tratamiento de aguas grises varían significativamente en tamaño, complejidad, calidad de agua obtenida, coste, etc. Se puede clasificar de la siguiente manera.

- Sistema sin tratamiento.
- Sistema con tratamiento.

Sistema sin tratamiento

Según AQUA España [1] (2011) existen sistemas que utilizan aparatos sencillos para recoger el agua gris y enviarla directamente a los puntos de uso sin tratamiento previo y con ausencia o mínimo almacenaje. Estos sistemas no realizan ningún tratamiento de al agua gris bruta. A continuación, se presentará un diagrama.

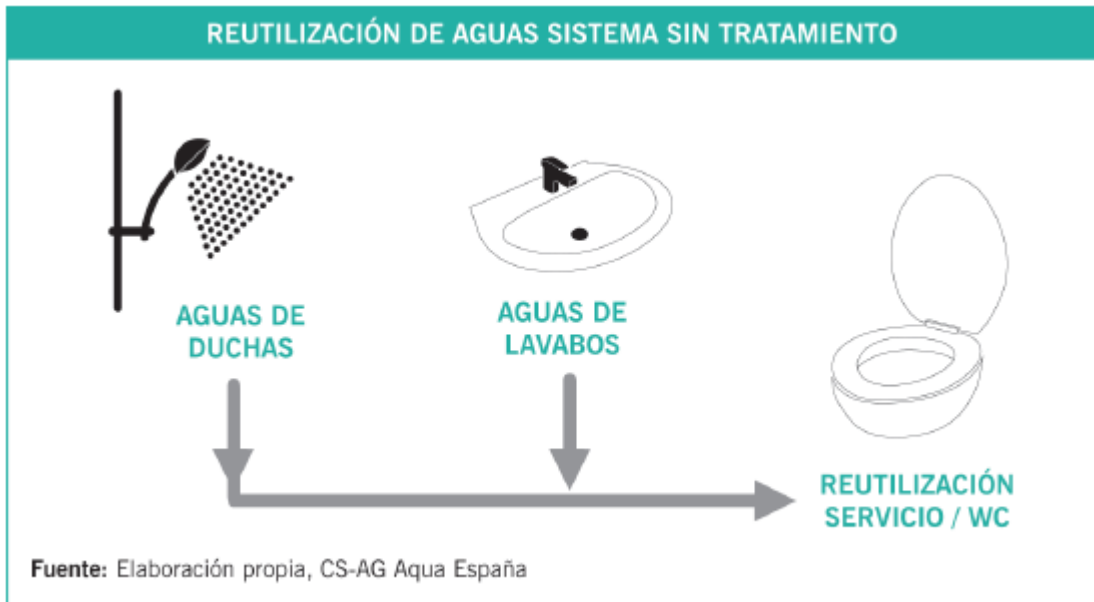
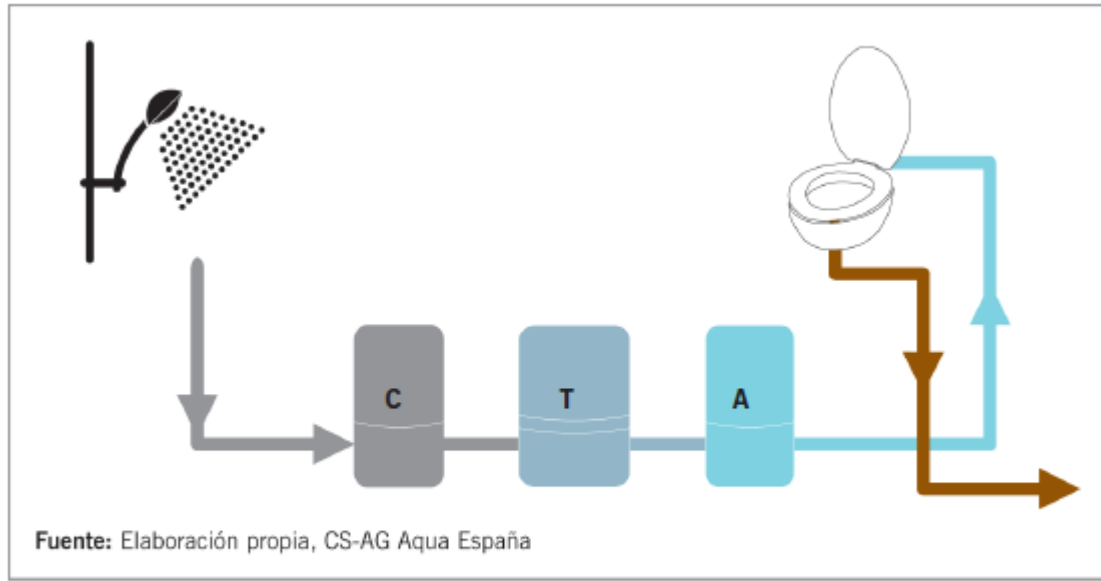


Figura 5: Ciclo de la reutilización de aguas grises sin tratamiento previo
Fuente: AQUA España (2011) [1]

Sistemas con tratamiento

Según AQUA España (2011) [1] los sistemas con tratamiento son designados para aguas que se necesite una mayor calidad, generalmente estos sistemas incluyen las siguientes etapas:



C = Captación y almacenamiento de aguas grises. **T** = Tratamiento. **A** = Almacenamiento e impulsión del agua tratada.

Figura 6: Etapas de un sistema de tratamientos de aguas grises.
Fuente: AQUA España (2011) [1]

Los tratamientos de las aguas grises pueden dividirse en sistemas. Dependiendo el fin que el agua tratada tenga es el tipo de sistema que tendrá el tratamiento de estas aguas.

Sistemas físicos

Según AQUA España (2011) [1] estos sistemas tienen como única finalidad la separación de los aceites-grasas y partículas sólidas en suspensión; se basa en sistemas de filtración tipo filtros de mala, anillos, arenas, etc., con o sin separación de sólidos y/o grasas.

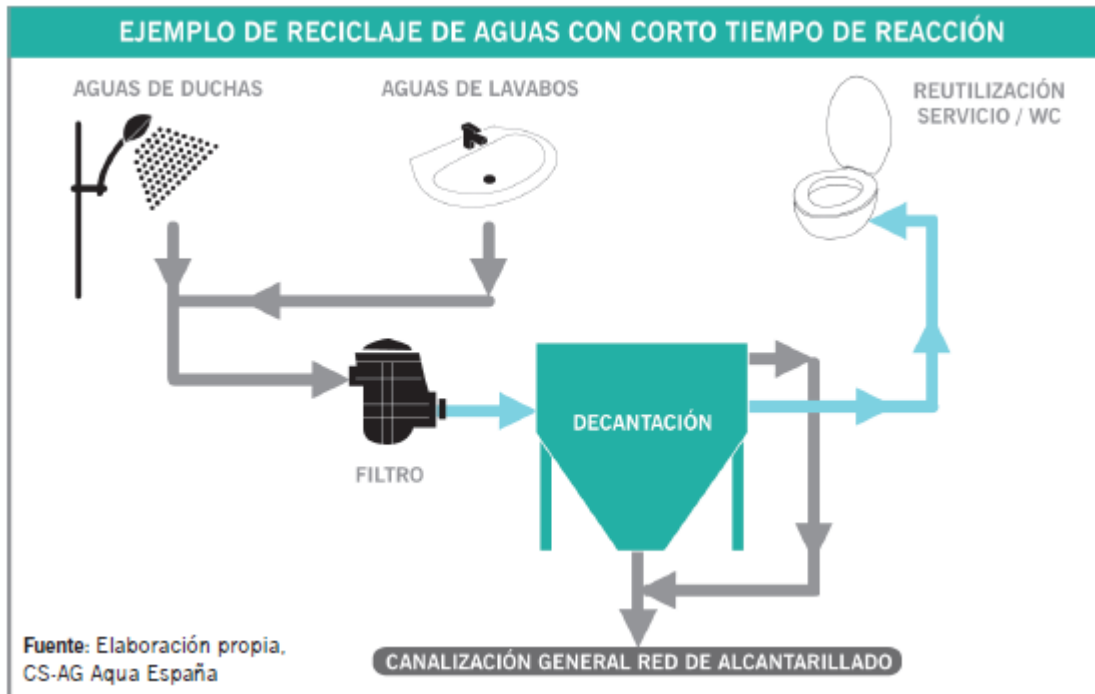


Figura 7: Sistema de tratamiento físicos
Fuente:AQUA España (2011)[1]

Estos tratamientos si bien son los más económicos y con menor mantenimiento, no se utilizan normalmente para la recuperación centralizada de las aguas grises en domiciliarios o edificios.

Sistemas físicos-químicos

Según AQUA España (2011) [1] se utilizan para la separación de aceites-grasa, emulsiones, coloides, partículas en suspensión, materia orgánica y turbidez. En la fase del tratamiento pueden incorporar las siguientes etapas:

- Uso de un prefiltro para eliminar los residuos y las partículas previas al almacenamiento.
- Dosificación de coagulantes-floculantes.
- Filtración de afino. (por ejemplo, arena, multiestratos, etc.)
- Desinfección para evitar el crecimiento microbiológico. (por ejemplo, hipoclorito sódico, UV, etc.)



Figura 8: Sistema de tratamiento físico-químico
Fuente: AQUA España (2011)[1]

Sistemas biológicos

Según AQUA España (2011) [1] los sistemas biológicos varían en forma y complejidad, pero el concepto siempre es el mismo: degradación de la materia orgánica presente en las aguas grises mediante microorganismos, cuyo crecimiento se produce aportando oxígeno al sistema.

Las bacterias son los microorganismos más comunes en los tratamientos biológicos. Son las responsables de la degradación de la materia orgánica y producen polímeros orgánicos que ayudan a formar los flóculos de las biomasas. Existen más 300 grupos diferentes actuando en los tratamientos biológicos. Las bacterias pueden ser heterótrofas (cuando utilizan carbono inorgánico en forma de CO₂). Las bacterias heterótrofas más comunes son:

- Zooglea
- Pseudomonas
- Flavobacterium
- Acinetobacter

También las bacterias pueden ser autótrofas, algunas de ellas son:

- Nitrosomonas

- Nitrobacter

Las bacterias pueden actuar en diferentes condiciones: aerobias (con oxígeno), anaerobias (en ausencia de oxígeno), y anóxicas (en presencia de nitratos, donde el oxígeno de los nitratos actúa como el oxígeno molecular en condiciones aerobias), y según en qué ambiente puedan vivir, las bacterias se clasifican en aerobias, anaerobias o facultativas.[22]

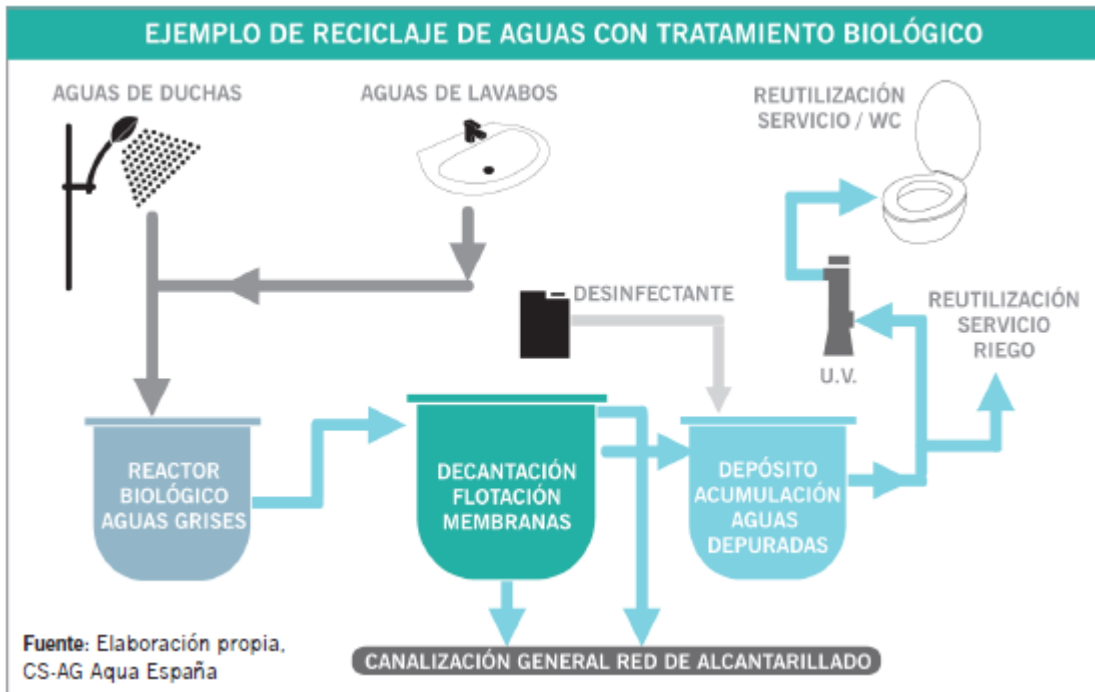


Figura 9: Sistema de tratamiento biológico
Fuente: AQUA España (2011) [1]

Algunos sistemas biológicos utilizados para la degradación de los contaminantes en las aguas grises son:

- Biofiltro bacteriano

Los sistemas de biofiltros bacterianos se basan en la biorremediación microbiana. La cual se refiere al uso de microorganismos directamente en el foco de la contaminación. Estos microorganismos pueden ya existir en ese sitio o pueden provenir de otros ecosistemas, en cuyo caso se deben de preservar ciertas características del ecosistema donde dicho microorganismo pueda desarrollarse, algunas de estas características son: temperatura, pH y nutrientes del agua. Cuando no es necesaria la inoculación de microorganismos, suelen administrarse más nutrientes, como fósforo y nitrógeno con el fin de acelerar el proceso.

Sin embargo, existen contaminantes difíciles de degradar y para los cuales no se han encontrado microorganismos capaces de transformarlos. La biotecnología moderna puede solucionar en parte este problema, generando organismos genéticamente modificados con nuevas capacidades para eliminar tales contaminantes. La base de esta estrategia consiste

en la búsqueda de las enzimas adecuadas y la posterior transferencia de los genes correspondientes a los microorganismos que se inocularán en el lugar contaminado. [23]

- Biofiltro con material granular

El proceso de biofiltración mediante material granular es uno de los más antiguos y comunes que se han aplicado en el tratamiento de aguas para uso urbano, y su objetivo es la separación de partículas y microorganismos objetables en el agua.

La biofiltración puede efectuarse en medios porosos o en medios granulares como: la arena, grava, gravilla etc, ya que estos sirven para remover partículas pequeñas contenidas en el agua. Por ejemplo, cuando el agua pasa a través de lechos de arena, las partículas son retenidas en los espacios que hay entre los granos o en la superficie de los mismos en el proceso llamado adsorción. Las partículas se detienen en la superficie de los granos y estas son retenidas por las fuerzas de adsorción. De esta manera la filtración ayuda a controlar la contaminación biológica. El tamaño de los granos de arena es de 0.2 mm y estos retienen efectivamente todas las partículas mayores a este diámetro.

En algunos sistemas de filtración se forman en el material poroso capas que contienen microorganismos, algas, bacterias y materia orgánica. Este proceso de filtración ocurre de manera natural cuando las aguas superficiales se mueven a través del material poroso del suelo para recargar los mantos freáticos y son removidas las partículas contenidas por lo que el agua del subsuelo no requiere de ningún tratamiento posterior. [24]

El filtro más ampliamente usado para remover sólidos suspendidos es el filtro de grava y arena y se le llama así precisamente porque es un lecho de grava y arena el que retiene las partículas suspendidas en el agua.

En este tipo de filtros, el agua fluye a través de un lecho de grava y arena. Las propiedades del medio causan que el agua tome caminos erráticos y largos trayectos lo cual incrementa la probabilidad de que el sólido tenga contacto con otras partículas suspendidas, y con el medio formado en la superficie del gránulo de grava o arena, siendo de esta manera retenido entre las diferentes capas de material filtrante. Para una filtración o separación de sólidos más eficiente, también es conveniente darle un tratamiento previo al agua a filtrar.

En forma general, los filtros se clasifican en filtros de gravedad filtros o filtros lentos y filtros a presión o filtros rápidos.

Según Argon (2007) [25] la filtración con material granular mejora significativamente la calidad del agua y presenta ciertas ventajas a considerar para la elección de un sistema de tratamiento de aguas. Las ventajas que este sistema aporta son:

- Este sistema es más económico que otros tipos de sistemas tradicionales.
- Ocupa poco espacio, tiene gran facilidad de operación y mantenimiento y puede aplicarse a cualquier núcleo de población, independientemente del tamaño.
- Disminución de bacterias patógenas en el agua.
- Disminución de los sólidos suspendidos.

- Filtros lentos o de gravedad

Un filtro lento es aquel que tiene un lecho de grava y arena y el agua fluye a través de este lecho por el solo efecto o acción de la gravedad y por tal motivo se le llama filtro de gravedad. La velocidad de filtración en este tipo de filtros es muy lenta, por lo que se requiere de una gran área o superficie de filtración para un flujo determinado.

Para caracterizar un filtro y conocer sus dimensiones para un flujo o gasto de agua determinado se emplea la relación Gasto/Área o Q/A . Para un filtro lento o de gravedad se emplea una relación Q/A de 0.6 a 6 LPM/m² (litros por minuto por metro cuadrado o lts/min*m²).

Cuanto menor sea la relación Q/A menor es el gasto o flujo por unidad de área del filtro, lo cual tiene como consecuencia una más eficiente remoción de los sólidos suspendidos, pero, por otro lado, si se desea trabajar con bajos valores gasto/área o Q/A se requerirá de una gran superficie de filtración para un gasto de agua específico.

El valor de diseño seleccionado finalmente dependerá de factores tales como; disponibilidad de terreno, presupuesto o recursos disponibles, calidad deseada del agua tratada, características del agua a filtrar, etc.

Una de las ventajas de filtro lento de gravedad, además de su eficiencia en la clarificación del agua, es la facilidad y sencillez de construcción de un filtro de este tipo, cuando hay superficie o terreno disponible para su construcción. El cuerpo del filtro puede ser un tanque de concreto, el cual tiene un arreglo de tubería en el fondo de este filtro para captar el agua que fluye a través del lecho de grava y arena y llega ya filtrada al fondo del tanque, de donde es extraída después del proceso.

El agua que se tratará, llega al filtro a través de una tubería o canaletas que se encuentran en la parte superior del filtro. Después de que el agua cae a la parte superior del filtro, esta inicia su trayectoria a través de las diferentes capas de grava y arena. En la parte superior se encuentra la arena más fina, dispuesta así con la intención de que los sólidos se retengan en esta parte superior del lecho. De las diferentes capas del filtro, esta primera capa de arena es la que retienen la mayoría de los sólidos suspendidos. Después de la primera capa de arena le sigue otra capa de arena más gruesa, posteriormente una capa de grava fina y al último una capa de grava gruesa. Estas capas más internas casi no captan sólidos, pero se encuentran ahí para soportar la capa de arena y generar un gran número de huecos para que realmente se presente un vacío y se manifieste el flujo descendente del agua por acción de la gravedad.

El número de capas, la granulometría del material y la altura de cada una de las diferentes capas son factores de diseño y no existe una forma única de filtro de gravedad. Cada uno de estos aspectos depende de factores como: Disponibilidad del material empleado para construir los diferentes lechos de material filtrante, la relación Q/A que empleará, la calidad de agua a tratar y la deseada en el efluente, la experiencia previa en la operación de filtros de este tipo. También es muy importante evaluar en pruebas piloto las diferentes capas de material filtrante que se desea emplear en una operación a gran escala.

- Filtro rápido o filtro a presión

El filtro a presión es similar a un filtro de gravedad en lo referente al empleo de diferentes capas de grava y arena, disponiendo la arena fina en la parte superior del filtro y la grava más gruesa en la parte inferior del mismo. También, el flujo de agua es descendente y se distribuye desde la parte superior del filtro, y el efluente o agua filtrada es colectada en un arreglo de tuberías o colectores en el fondo del filtro. La diferencia entre estos dos tipos de sistemas es que mientras que en el filtro lento el agua fluye por gravedad, en un filtro rápido el agua es forzada a fluir a través de las diferentes capas de material filtrante por presión de una bomba. En este tipo de filtro se pueden manejar relaciones Q/A entre 80 y 120 LPM/m², lo cual significa que con un área de filtración muy reducida (comparada con la de un filtro lento) se pueden manejar grandes volúmenes de agua.

Aún y cuando la eficiencia en la remoción de sólidos es baja comparada con la correspondiente a un filtro lento, la situación de que no siempre es posible tener una gran área disponible para construir un filtro lento, han hecho de este filtro rápido uno de los más empleados, ya que operándolo adecuadamente y con un buen diseño en lo referente a las diferentes capas de material filtrante, es posible obtener agua de calidad similar a los filtros más eficientes, por lo que los filtros rápidos o filtros a presión son la mejor opción donde se requiere la operación de filtración.

Para la selección del número de capas y de la granulometría de cada una de estas, depende de las características del agua que se desee tener. No existe una forma única para seleccionar y disponer dichas capas de material filtrante, por lo que es recomendable, en ausencia de datos, de efectuar pruebas piloto para poder seleccionar y diseñar un filtro con el cual se tenga resultados satisfactorios. Esto se aplica tanto a filtros lentos como a filtros cerrados o filtros de presión. Un filtro estándar de grava y arena pudiese tener las siguientes características en lo que se refiere a la granulometría y altura de las diferentes capas.

Tipo de material	Diámetro (pulgadas)	Espesor (pulgadas)
Grava gruesa	1 1/2 a 3/4	8
Grava mediana	3/4 a 1/2	2 1/2
Grava fina	1/2 a 1/4	2 1/2
Gravilla	1/4 a 1/8	3
Arena gruesa	1.2 a 0.8 mm	3
Arena fina	0.55 a 0.45 mm	20-24

Cuadro 9: Material granular y espesores de filtro lento
Fuente: Ruiz (2012)[26]

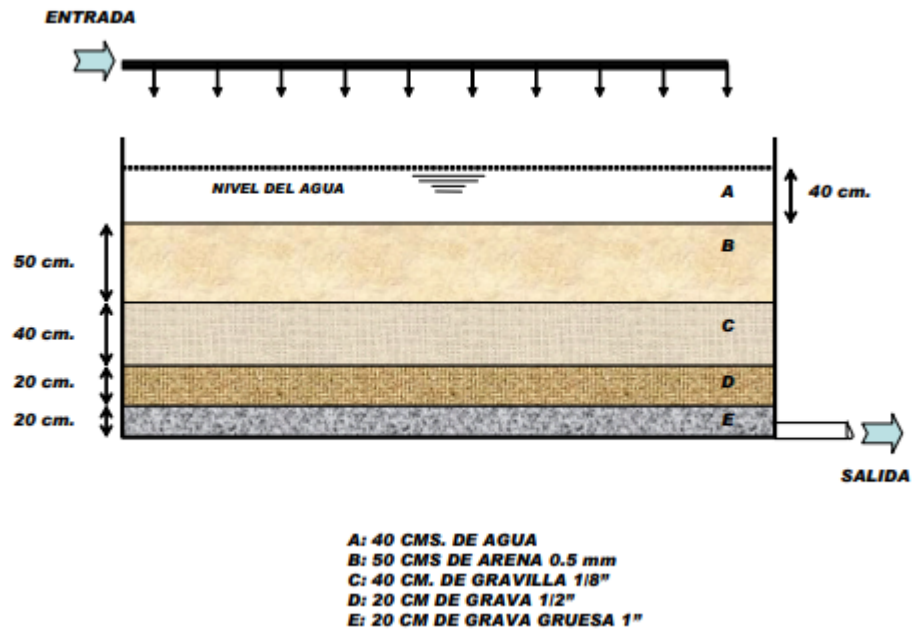


Figura 10: Filtro con material granular estándar
Fuente: Ruiz (2012) [26]

Sistema híbridos

Según AQUA España (2011) [1] son sistemas que permiten el tratamiento conjunto de aguas grises y pluviales.

El agua pluvial es un recursos el cual se puede aprovechar con este tipo de sistemas. Estas aguas son limpias en comparación con otras fuentes de agua dulce disponible.

Este tipo de sistema posee un mecanismo de captación de agua pluvial, la cual incorpora al agua gris tratada para que estas se mezclen y el agua resultante posea un menor porcentaje de contaminación. Los sistemas híbridos son utilizados normalmente en apartamentos y residenciales.

Sistemas mixtos

Según AQUA España (2011) [1] para este sistema se utilizan una mezcla de los sistemas anteriores.

Sistemas de filtración con membranas

Los procesos de filtración por membranas consisten en el empleo de membranas con distintos tamaños de poro (microfiltración (MF), 1-0.1 μm ; ultrafiltración (UF), 0.1-0.01 μm ; nanofiltración (NF), 0.01-0.001 μm), así como de membranas selectivas semipermeables

(ósmosis inversa (OI), tamaño de poro $< 0.001 \mu\text{m}$).

En los últimos tiempos, la aplicación de membranas para el tratamiento de aguas ha aumentado considerablemente. La ventaja de estos sistemas de filtración es que son capaces de retener un gran número de sustancias contaminantes en las aguas, entre ellos los COEs; sin embargo, no permiten la degradación de las mismas, por lo que dichos contaminantes se concentran en forma de residuos sólidos, requiriendo de un tratamiento adicional posterior, y, por tanto, encareciendo los costos del proceso .

En este sentido, y con el fin de superar estas limitaciones, los bioreactores de membrana se posicionan como una de las tecnologías más competitivas capaces de degradar contaminantes como los COEs.[27]

Bioreactores de membrana (BRMs)

Los BRMs se definen como aquellos sistemas en los que se combina la filtración por membranas con la degradación biológica, usando fangos activos consiguiendo tanto la retención física de los contaminantes como su biodegradación. En un BRM, el proceso de filtración puede estar situado en el exterior o en el interior del reactor biológico; por tanto, existen dos configuraciones posibles: (1) bioreactores con membrana externa (BRMEs) y (2) bioreactores con membrana sumergida (BRMSs). De estos, los BRMSs, podrían considerarse como sistemas más asequibles para el tratamientos de contaminantes de las aguas residuales. Estos sistemas presentan flexibilidad de operación; son capaces de resistir altas cargas orgánicas; y presentan gran capacidad para retener y degradar tanto compuestos orgánicos como inorgánicos. [27]

Acontinuación se presentara una tabla donde se observa algunas ventas y desventajas de los diferentes tipos de tratamientos.

Tratamiento	Ventajas	Desventajas
Físico	*Capacidad de remover sólidos suspendidos, grasas y aceites. *Bajos costos de operación y mantenimiento. *Fácil operación y de mantenimiento sencillo.	Baja calidad del agua
Físico-Químico	*Capacidad de remover sólidos suspendidos, microorganismos, materia orgánica, grasas y aceites.	*Elevados precios de mantenimiento. *Dependencia de sustancia química para la descontaminación.
Biológico	*Capacidad de remover materia orgánica y otros contaminantes presentes en las aguas. *Mantenimiento no tan complejo. *Aumento de la población bacteriana mientras degradan los contaminantes en el agua.	*Dependencia de los microorganismo. *Mantener condiciones del medio donde abiten los microorganismos *cultivar los microorganismos

Cuadro 10: Ventajas y desventajas de los diferentes tratamientos de aguas grises.
Elaboración propia.

4.1. Normativas internacionales de aguas grises

Estados Unidos de América

Estados Unidos fue uno de los primeros países en establecer normativas acerca de las aguas grises. La regulación de las aguas grises surgió en 1989 en Santa Bárbara, California implementándose en todo el estado a través del Uniform Plumbing Code en 1992. A continuación, se presentan un resumen de las solicitudes generales de permiso para aguas grises en Nueva Arizona R19-9-711:[20]

Tipo I. Solicitud general de permiso para aguas grises.

- Para un domicilio se permite el tratamiento de menos de 300 l/día.
- No debe existir contacto humano con las aguas grises brutas y el suelo regado.
- El agua gris que proviene de las residencias debe ser almacenada y usadas en horticultura compostaje, riego del césped o irrigación dentro del límite de la propiedad.
- No podrá aplicarse superficialmente aguas grises brutas en irrigación o riego de plantas destinadas al consumo, excepto arboles de nueces y el cítrico.
- Las aguas grises no deberán contener productos químicos peligrosos provenientes de actividades como eliminación de soluciones de laboratorios fotográficos, aceite para autos u otras actividades similares.
- La red de aguas grises debe ser construida de modo que, si se obstruye o llega a taparse, las aguas grises puedan ser dirigidas al sistema general de recolección de aguas servidas

o al sistema de tratamiento y disposición de aguas servidas según sea aplicable. Para ampliar la vida útil y minimizar la posibilidad de taponamiento de la red de aguas grises, se puede incluir en forma previa a un componente de filtración.

- Cualquier tanque de almacenamiento de aguas grises debe estar cubierto para restringir el acceso y reducir atracción de mosquitos u otros vectores.
- La red de aguas grises debe estar ubicada fuera de zonas inundables.
- La red de aguas grises debe estar ubicada a manera tal que permita mantener una distancia mínima vertical de al menos 5 ft de separación entre el punto de aplicación y el punto más alto estacional del nivel de las aguas subterráneas.
- Para residencias que usan un sistema local de tratamiento y disposición de aguas servidas, el empleo de una red de aguas grises no cambiará el diseño, capacidad, exigencias o requisitos de área del sistema de tratamiento de las aguas servidas, debiendo este tener la capacidad de recibir el caudal combinado de aguas negras y grises ante el evento de no utilizarse la red de aguas grises.
- Cualquier tubería de presión usada en una red de agua gris que pueda cruzar la conexión con una red de agua potable debe indicar claramente que la tubería de agua gris no lleve agua potable.
- El agua gris aplicada a riego superficial no debe contener el agua usada para lavar pañales u otra ropa potencialmente contaminada bacteriológicamente, a no ser que el agua gris esté sujeta a un proceso de desinfección antes de ser usada para riego.
- El riego superficial de aguas grises debe ser solo riego tendido o por goteo.

Prohibiciones. Los siguientes usos están prohibidos: [20]

- Empleo de aguas grises brutas para objetivos distintos del riego.
- Riego por aspersión.

España

La ley fue emitida del 11 al 22 de julio del 2005 y modifica el Plan Hidrológico Nacional de España y contiene una modificación de la Ley de Aguas de España, aprobado por el Real Decreto Legislativo 01 del 20 de julio del 2001 dando nueva redacción al Artículo 109.1 que reza “El Gobierno establecerá las condiciones básicas para la reutilización de las aguas, precisando la calidad exigible a las aguas depuradas según los usos previstos. El titular de la concesión u autorización deberá sufragar los costes necesarios para adecuar la reutilización de las aguas a las exigencias de calidad vigentes en cada momento”.

La modificación del Artículo 109.1 se completa con la supresión de algunos apartados, por lo cual, el cambio legislativo exigió adaptar los Artículos dedicados a la reutilización del Reglamento del Dominio Público Hidráulico, aprobado por el Real Decreto 849 del 11 de abril de 1986. Con esto se establece una regulación reglamentaria más completa y detallada que posibilita las soluciones necesarias respecto de la reutilización de aguas. Así, por ejemplo,

se define el concepto de reutilización y se introduce la denominación de aguas regeneradas, más acorde con las posibilidades de reutilización que la norma establece y ampliamente admitida en la doctrina técnica y jurídica.

El 7 de diciembre de 2007 mediante el Real Decreto 1620-2007 el Ministerio de la Presidencia estableció el Régimen Jurídico de la reutilización de las aguas depuradas. [20]

Chile

El Ministerio de Salud redacta “Proyecto de reglamento sobre condiciones sanitarias básicas para la reutilización de aguas grises” el cual establece las condiciones sanitarias que deberán cumplir el diseño y la operación de los sistemas destinados a la reutilización de aguas grises, ya sea que estos se ubiquen dentro o fuera de las áreas operacionales de las empresas sanitarias.

Art.6: Aclara que únicamente trataran las aguas grises provenientes de lavamanos, duchas, tinas y lavadoras de ropa.[28]

Art.17: La planta de tratamiento de aguas grises podrá contemplar entre sus unidades un estanque de homogeneización, para amortiguar las variaciones de caudal y concentración que se producen en las aguas grises generadas durante el período de 24 horas. Dicho estanque deberá estar ubicado en el lugar de emplazamiento de la planta de tratamiento de aguas grises y para los efectos de este reglamento, no será considerado estanque de almacenamiento si no que parte de las unidades de tratamiento.

Art.18: La planta de tratamiento de aguas grises y los estanques de almacenamiento de aguas tratadas deberán estar provistos de dispositivos de protección, tales como rejas, barreras, casetas, mallas u otros, para evitar el contacto de personas ajenas a la operación del sistema con la planta de tratamiento y con las aguas grises con y sin tratamiento. Así mismo, estos dispositivos de protección deberán evitar el contacto de los animales con las aguas grises con y sin tratamiento. Además, los estanques de almacenamiento de aguas grises tratadas, con excepción de aquellos pertenecientes a viviendas individuales, deberán estar señalizados con un letrero visible a una distancia de 10 m, que indique “CONTIENE AGUAS GRISES – AGUA NO POTABLE”.

Art.21: Los estanques de almacenamiento de aguas grises tratadas deberán cumplir con las siguientes condiciones, además de aquellas señaladas en el artículo 18^o de este reglamento:

- Capacidad adecuada para mantener los volúmenes de agua requeridos para el correcto funcionamiento del sistema de reúso proyectado.
- Contar con tapa que permita el cierre del estanque y evite el ingreso de insectos y roedores.
- Estar provistos de ducto de ventilación protegido para evitar el ingreso de vectores como insectos y roedores. En caso de estanques ubicados al interior de una edificación, el ducto de ventilación deberá evacuar los gases hacia el exterior y deberá proyectarse por sobre el nivel de la edificación sobresaliente 60 cm.
- Contar con un rebosadero y desagüe de fondo conectados a la red de alcantarillado, para evitar rebases de aguas grises tratadas desde los estanques.

- Contar con suministro de agua potable para realizar las labores de limpieza de los estanques de almacenamiento.
- Todo estanque de almacenamiento de aguas grises tratadas de establecimientos que reutilicen las aguas grises en la recarga de inodoros y/o urinarios, en caso de una disminución en la generación de aguas grises, deberán contar con sistema que permita el llenado de estos con agua potable, para asegurar el volumen requerido para el uso previsto. El llenado de los estanques con agua potable siempre deberá realizarse por sobre el nivel de rebase de este, para evitar la contaminación del agua potable con aguas grises.

Art.31: Los efluentes provenientes de los sistemas de reutilización de aguas grises sólo podrán ser destinados a los siguientes usos:

- Urbanos: esta categoría incluye la recarga de inodoros, urinarios, cisternas y/o fosa séptica; el riego de jardines privados y uso con fines de limpieza superficial del hogar.
- Riego áreas recreativas y de servicios: Esta categoría incluye el riego de áreas verdes con libre acceso al público como, por ejemplo, parques, áreas verdes de establecimientos educacionales, cementerios parque, campos deportivos, entre otras.
- Riego ornamental: Esta categoría incluye el riego de áreas verdes y jardines ornamentales con fines exclusivamente estéticos y de decoración, sin acceso al público.
- Industrial: Esta categoría incluye el uso en todo tipo de procesos industriales a excepción de los destinados a la fabricación de productos alimenticios, el uso en torres de refrigeración y en condensadores evaporativos.

4.2. Normativas nacionales

Se utilizó normativas nacionales para ver aspectos de la calidad del agua ya tratado según el tipo de uso que se le tenga planificada a esta. Para ello se consultó con el Acuerdo Gubernativo 236-2006, el cual fue desarrollado por el ministerio de ambiente y recursos naturales de Guatemala.

Acuerdo gubernativo 236-2006, Capítulo VII: Parámetros de aguas para reutilizar

Art.34: Autorización de reusó

El presente Reglamento autoriza los siguientes tipos de reusó de aguas residuales, que cumplan con los límites máximos permisibles que a cada uso correspondan.

- Tipo I: Reusó 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 reusó los cultivos considerados en el tipo II.

- Tipo II: Reusó 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 del artículo 35. Adicionalmente, ara 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 fosforo total.

- Tipo III: Reusó para acuicultura

Uso de un efluente para la piscicultura y camaronicultura, de conformidad con los límites máximos permisibles establecido en el artículo 35.

- Tipo IV: Reusó 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: Reusó recreativo

Con restricción en el aprovechamiento para fines recreativos en estanques artificiales donde el ser humano solo 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 reusó no contemplado en el presente artículo deberá ser autorizado previamente por el ministerio de ambiente y recursos naturales.

Art.35: Parámetros y límites máximos permisibles para reusó

El agua residual para reusó deberá cumplir con los límites máximos permisibles del siguiente Cuadro.

Tipo de reuso	Demanda bioquímica de oxígeno (mg/l)	Coliformes fecales, número más probable por cien mililitros
Tipo I	No aplica	No aplica
Tipo II	No aplica	<200
Tipo III	200	No aplica
Tipo VI	No aplica	<2000
Tipo V	200	<2000

Cuadro 11: Límites máximos según el tipo de reusó que se le aplique al agua
Fuente: Ministerio de ambiente y recursos naturales (2006) [29]

Art.36: Metales pesados y cianuros

Los límites máximos permisibles de metales pesados y cianuros en las aguas para reusó son los presentados en el Cuadro del artículo 21.

Parámetros	Dimensionales	Limites máximos permisibles
Temperatura	Grados Celsius	TCR+/-7
Grasas y aceites	mg/l	10
Materia flotante	Ausencia/presencia	Ausente
Sólidos suspendidos	mg/l	100
Nitrógeno total	mg/l	20
Fósforo total	mg/l	10
Potencial de hidrógeno	Unidades de potencial de hidrógeno	6 a 9
Coliformes fecales	Número más probable de cien mililitros	$<1 \cdot 10^4$
Arsénico	mg/l	0.1
Cadmio	mg/l	0.1
Cianuro total	mg/l	1
Cobre	mg/l	3
Cromo	mg/l	0.1
Mercurio	mg/l	0.01
Niquel	mg/l	2
Plomo	mg/l	0.4
Zinc	mg/l	10
Color	Unidades platino cobalto	500

Cuadro 12: Limites máximos para entes generadores nuevos.
Fuente: Ministerio de ambiente y recursos naturales (2006) [29]

5.1. Parámetros iniciales de diseño

Para el diseño de cualquier sistema de tratamiento de aguas es importante definir ciertos parámetros iniciales, los cuales limitarán tanto la geometría del sistema como el tipo de tratamiento que esta empleara. Estos parámetros son: ubicación, población, agua a tratar y aplicación del agua tratada.

La ubicación definirá variables como: temperatura ambiental y aspectos sísmicos del lugar. La población se refiere al número de habitantes que dependan del sistema para tratar las agua contaminadas. El agua que se trató se refiere al tipo de agua bruta que el sistema capte para que sea tratada, el tipo de agua definirá las características del agua bruta como el nivel de contaminación que posea. Es importante definir el uso que tendrá el agua después de su tratamiento ya que conociendo esto se puede decidir el tipo de tratamiento que tendrá el agua.

La propuesta empleada en la presente tesis estará ubicada en el departamento de Guatemala, Guatemala y la albergará un residencial con 70 casas con 5 habitantes cada una, lo cual da una población total de 350 habitantes dependientes del sistema. El sistema captara las aguas grises provenientes de drenajes de lavamanos, duchas, pilas y lavadoras de ropa. Aunque las aguas generadas en la cocina (como fregadero, lavaplatos, etc.) son aguas grises, no se consideraran en la propuesta debido a su alto contenido de materia orgánica y residuos generados por la comida. La aplicación que tendrá el agua tratada será el de llenado de cisternas, limpieza del hogar y/o llenado de fosa séptica del residencial.

5.2. Caracterización de aguas grises

La caracterización de las aguas brutas da un parámetro de las condiciones actuales que se encuentra el agua y que tipo de tratamiento esta necesita para poder ser aprovechada nuevamente.

La técnica que se utiliza para la caracterización de las aguas grises brutas será a través de una búsqueda bibliográfica, la cual consistirá en investigar los compuestos de los detergentes con y sin fosfato, jabones, shampoo y otros productos de limpieza. Posteriormente se investigará las concentraciones de estos compuestos en las aguas grises urbanas.

5.3. Tratamiento propuesto

El sistema de tratamiento de aguas grises para uso en residencial propondrá cuatro estaciones para el tratamiento de las aguas:

5.3.1. Trampa de grasa

Consiste en la instalación de un tanque rectangular receptor de aguas grises, con capacidad de almacenar 27200 L, lo que equivale a 27.2 m³. Este volumen se tomó considerando los 350 habitantes del residencial y que cada uno genere 70 litros diarios de agua gris.

Este elemento contribuirá al sistema, no solo la separación del agua con la espuma (generada por jabones detergentes etc.) y grasas, sino que también en regular los caudales de entrada al sistema, para que estos ingresen de una manera constante. Según Ramírez y Obeid (2018) [30] la trampa de grasa rectangular puede separar grasas y aceites de las aguas residuales en un rango de ochenta y tres a noventa por ciento.

5.3.2. Biofiltro bacteriano

Después de pasar por la trampa de grasa, las aguas grises pasarán al tratamiento con el biofiltro bacteriano, el cual consistirá en un tanque rectangular de 27.2 m³. El biofiltro bacteriano albergara ciertas cepas bacterianas las cuales serán las encargadas de degradar los contaminantes presentes en las aguas grises.

Para la selección de las cepas se deben de considerar ciertas variables, las cuales definirán la eficiencia de estas en el sistema. Estas son: condiciones en las que las bacterias puedan desarrollarse (temperatura, pH del agua, nutrientes, si trabajan en condiciones aerobias o anaerobias) y porcentaje de degradación del contaminante.

5.3.3. Biofiltro con material granulométrico

El biofiltro con material granulométrico consiste en el paso de las aguas grises mediante distintas capas de diferentes tipos de materiales granulares. Los distintos tipos de agregados serán almacenados en un tanque rectangular con capacidad de 27200 L lo que equivale a 27.2 m³

El biofiltro con material granulométrico será del tipo por gravedad o de filtrado lento, lo cual consiste que el agua se traslade por efectos de la gravedad a través de las distintas capas del sistema. La función de este filtro es retener las bacterias, en un noventa y seis punto ocho por ciento, del proceso anterior y reducir las concentraciones de DBO₅ (ochenta y cinco punto cinco por ciento), DQO (ochenta y cuatro punto cinco por ciento), sólidos suspendidos (treinta y cinco punto cinco por ciento), nitrógeno total (setenta y nueve punto cinco por ciento) y fósforo total (treinta y dos punto cinco por ciento) todo esto en 24 horas. Se propuso otro filtro, biofiltro con material granulométrico, para controlar la reutilización de las aguas a tratar, ya que se podría acumular las concentraciones de los contaminantes en las aguas reutilizadas, superando así los límites establecidos por el Acuerdo Gubernativo 236-2006, de dicho contaminante.[31].

A continuación se presentara un cuadro donde se presentará las ventajas y desventajas de cada elemento propuesto.

Elementos	Ventajas	Desventajas
Trampa de grasas	<ul style="list-style-type: none"> *Capacidad de remover sólidos suspendidos, grasas y aceites. *Bajos costos de operación y mantenimiento. *Fácil operación y de mantenimiento sencillo. 	Baja calidad del agua
Biofiltro bacteriano	<ul style="list-style-type: none"> *Reducción de los contaminantes presentes en las aguas grises. *Aumento de la población bacteriana mientras degradan los contaminantes en el agua. *Fácil elaboración * Buena calidad de agua 	<ul style="list-style-type: none"> *Dependencia de los microorganismos. *Dependencia de las condiciones del medio donde abiten los microorganismos. *Dependencia de personal capacitado para el cultivo de los microorganismos
Filtro con material granulométrico	<ul style="list-style-type: none"> *Capacidad de remover materia orgánica y otros contaminantes presentes en las aguas. *De fácil mantenimiento y elaboración. *Capacidad de disminuir sólidos suspendidos. 	<ul style="list-style-type: none"> *Tiempo elevado para la filtración del agua. *Mantenimiento mínimo una vez a la semana. *Agua de menor calidad que la resultante del Biofiltro bacteriano

Cuadro 13: Ventajas y desventajas de elementos que integren el sistema de tratamiento de aguas grises.

Fuente: Elaboración propia

5.4. Diseño civil de elementos del sistema

Todos los elementos que integrarán el sistema serán contenidos en tanques rectangulares ubicados por debajo del nivel del suelo, enterrados. Los materiales propuestos serán: concreto con $f'c=210$ kgf/cm² y acero de refuerzo con un $f_y=4,200$ kgf/cm² el suelo donde estarán los tanques tendrá un peso específico de 1,850 kgf/m³ y el suelo del relleno 1,500 kgf/m³.

5.4.1. Predimensionamiento

Para pre dimensionar cada elemento se debe de conocer el volumen de agua gris que se genere diariamente. Para ello la guía técnica española de recomendaciones para el reciclaje de aguas grises en edificios da un estimado del consumo de agua gris según la aplicación que tenga.

Aplicación	Producción estimada
Viviendas	50-100 litros/persona/día
Hoteles	50-150 litros/persona/día
Complejos deportivos	30-60 litros/persona/día

Cuadro 14: Rango de consumo de agua gris según su aplicación
Fuente: AQUA España (2011)[1]

Con estos datos, se selecciona un valor dentro del rango, preferiblemente un intermedio, y se obtienen el volumen requerido para el tanque. Luego se proponen dimensiones que cumplen con el volumen requerido.

5.4.2. Diseño del acero de refuerzo

Para el diseño del acero de refuerzo se deben de considera, aparte del peso propio, la presión del agua y la presión del suelo, las fuerzas dinámicas del agua, ocasionadas por el movimiento del fluido.

Las fuerzas dinámicas del agua, fuerza convectiva e impulsiva, se calcularán según el ACI 350-3-01[32], el cual describe la forma que actúan dichas fuerzas, su punto de aplicación y la forma en que se analizan en estructuras que retiene agua, como tanques. El cálculo de estas fuerzas se puede observar en Anexos.

Subsiguiente de definir las fuerzas actuantes en el tanque rectangular se analizarán tres situaciones críticas a las que podría llegar a estar sujeta la estructura. La primera situación crítica es cuando el tanque se encuentra lleno del fluido, pero este se encuentra sin la presión del suelo de relleno, desenterrado, es crítico ya que solo habría presión en una cara del muro lo que pudiera ocasionar efectos de volteo. De igual modo, la segunda situación es crítica por las mismas razones que la anterior de solo tener presión en una cara, la cual es que el

tanque este enterrado, pero este vacío. Por último, se analizará cuando el tanque este vacío y exista una presión dinámica del suelo.

En el diseño del biofiltro con material granular se considerarán las presiones ejercidas por cada distinto tipo de agregado.

CAPÍTULO 6

Resultados

En el presente capítulo se presentara la caracterización del agua a tratar, aguas grises provenientes de drenajes de lavamanos, duchas, pilas y lavadoras. Como también la calidad del agua después de salir por el sistema propuesto.

6.1. Caracterización de agua gris

A continuación se presentará la caracterización de las aguas grises brutas a tratar con su respectivo rango de concentración. Cabe mencionar que se asumirá los valores máximos de cada parámetro.

Parámetros	Rango de concentración (mg/l)
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	100-400
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	47-200
Sólidos suspendidos totales	18-30
Grasas y aceites	7-50
<i>Coliformes totales</i>	5000-10000 UFC/100 ml
<i>Escherichia coli</i>	5000-10000 UFC/100 ml
Fósforo total	5-20
Tensoactivo total	20-230
Nitrógeno total	2.1-31.5
Tripolifosfato sódico	0.0145-0.020
Sulfato sódico	0.00476-0.005
Carbonato de sodio	0.25-0.3
Dodecilbenceno sulfato de sodio	1-10
Sulfonatos de alquilbenceno lineal	0.25-0.3
Hierro	0.0005-0.0104
Aluminio	0.01-0.5
Magnesio	0.0066-0.1
Cromo total	<0.05
Zinc	0.1-0.5
Plomo	1-1.31

Cuadro 15: Caracterización de aguas grises brutas a tratar
Elaboración propia.

6.2. Trampa de grasas

Debido a que el agua bruta es la resultante de procesos de limpieza, las concentraciones de grasas y aceites son elevados, con valores de 50 mg/l, por lo que se decidió reducir dichas

concentraciones con una trampa de grasa, la cual es capaz de reducir en un rango de ochenta y tres punto treinta y ocho a noventa por ciento de las grasas y aceites del agua.

A continuación, se mostrará la comparación de las concentraciones de grasas y aceites antes y después de entrar a la trampa de grasas.

Componente	Concentración de entrada a trampa de grasa (mg/l)	Porcentaje de retención (%)	Concentración de salida de trampa de grasa (mg/l)
Grasas y aceites	50	83.38	8.31

Cuadro 16: Concentración de grasas y aceites en las aguas grises antes y después de la trampa de grasas.

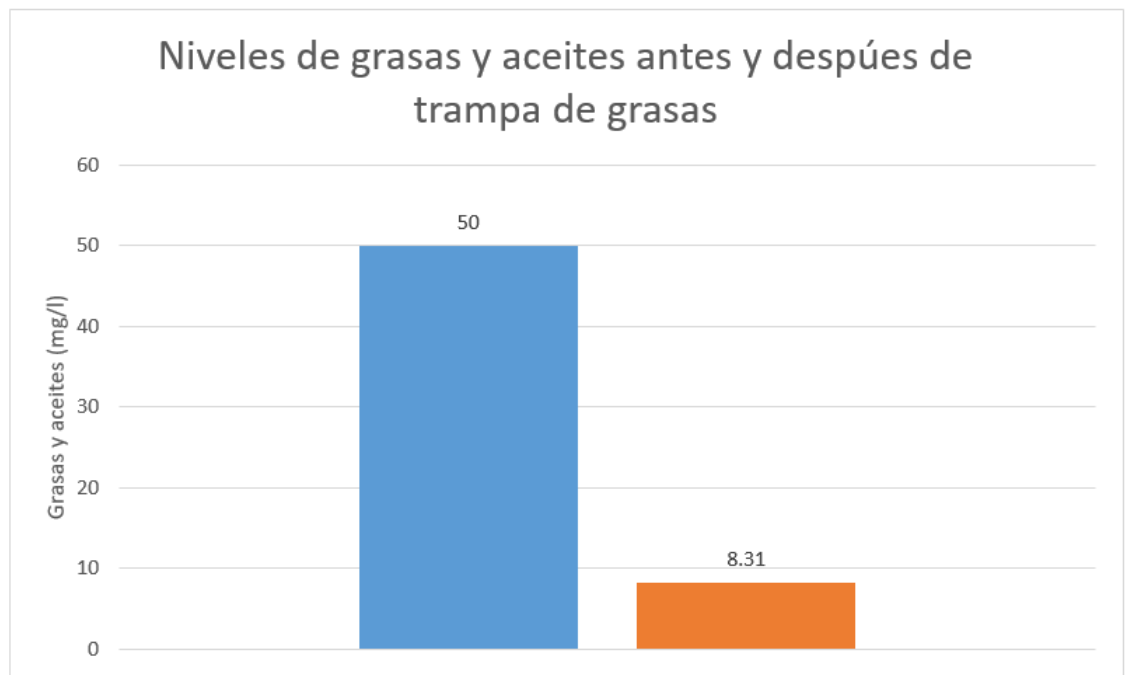


Figura 11: Comparación de la concentración de grasa y aceite antes y después de pasar por la trampa de grasa.

6.3. Biofiltro bacteriano

Las cepas bacterianas seleccionadas para la degradación de los distintos contaminantes, trabajan en condiciones aerobias, soportan aguas cuyo pH ronde entre 6-9 y el rango de temperatura, en los que ellas habitan, es entre 20-35 grados Celsius. El tiempo de degradación de estas bacterias dura entre 2 días después de que estas pasen por su fase exponencial. Para poder desarrollarse y trabajar en condiciones óptimas las bacterias necesitan nutrientes en el medio donde habiten, estos son: oxígeno y el contaminante específico para cada bacteria. Cada cepa tiene una población inicial bacteriológica de 2.5×10^5 UFC/ml (Unidad Formadora de Colonias/ mililitro)

Para la preparación del biofiltro bacteriano, primero es necesario cultivar cada una de las cepas bacterias, cada cultivo se debe incubar por 24 horas a 30 grados Celsius y a 200 rpm (revolución por minuto). Luego colocar las cepas en muestra de agua gris bruta, esto con el objetivo de que las bacterias se acoplen a este tipo de medio. Ya con el biofiltro construido y lleno del agua a tratar se prosigue a introducir las cepas en este nuevo medio, donde se nutrirán con los contaminantes presentes en este tipo de agua. En el siguiente cuadro se presenta cada una de las cepas seleccionadas con los contaminantes a degradar, también se muestra la concentración de contaminantes antes y después de ser degradados por el biofiltro bacteriano.

Contaminante	Concentración (mg/l)	Cepa bacteriana	Porcentaje de degradación (%)	Degradación bacteriana (mg/l)
Fósforo total	20	<i>Klebsiella pneumoniae</i> y <i>Pseudomonas sp</i>	60	8
Tensoactivo total	230	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	70	69
Nitrógeno total	31.5	<i>Proteus mirabilis</i>	57.85	13.36
Tripolifosfato sódico	0.020	<i>Klebsiella pneumoniae</i> y <i>Pseudomonas sp</i>	60	0.008
Sulfato sódico	0.005	<i>Pseudomonas sp</i>	93	0.00035
Carbonato de sodio	0.3	<i>Pseudomonas sp</i>	65	0.105
Dodecibenceno sulfato de sodio	10	<i>Bacillus subtilis</i>	50.69	4.931
Sulfonatos de alquilbenceno lineal	0.3	<i>Bacillus subtilis</i>	97	0.009
Hierro	0.0104	<i>Gallionella sp.</i> y <i>Alcaligenes sp</i>	15	0.00884
Aluminio	0.5	<i>Alcaligenes sp.</i> y <i>Arhrobacter sp</i>	83.5	0.0825
Magnesio	0.1	<i>Bacillus sp</i>	80	0.02
Cromo total	0.05	<i>Pseudomonas cedrina</i>	89	0.0055
Zinc	0.5	<i>Bacillus licheniformis</i>	52.5	0.2375
Plomo	1.31	<i>Photobacterium samselae subsp. piscicida</i>	86	0.1834

Cuadro 17: Caracterización de agua antes y después de pasar por el biofiltro bacteriano.
Elaboración propia

Según estudios realizados por José Jeraldo y Nicolás Garrido (2012) [33] las bacterias *Klebsiella pneumoniae* y *Pseudomonas sp* pueden habitar y desarrollarse en distintos humedales. El humedal seleccionado en su estudio fue el de la región IV de Coquimbo, Chile el cual posee altas concentración de fósforo. Se utilizó la degradación bacteriana de fósforo, la cual obtuvo un porcentaje de degradación del sesenta por ciento.

El crecimiento bacteriano de *Klebsiella pneumoniae* y *Pseudomonas sp* se produjo a temperaturas de 25-30 grados Celsius y el medio donde ocurrió la degradación bacteriana de fósforo, presentó concentraciones de otros compuestos, como cloruro de sodio y sulfatos.

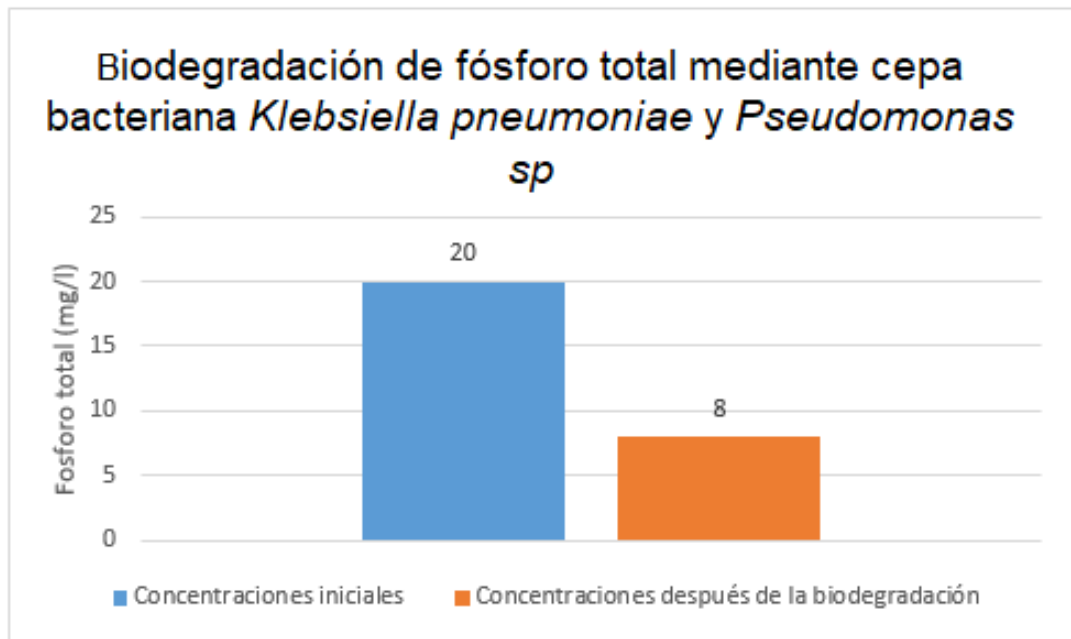


Figura 12: Concentraciones de fósforo total antes y después de la degradación bacteriana con cepas *Klebsiella pneumoniae* y *Pseudomonas sp*.

La bacteria *Pseudomonas aeruginosa* es utilizada para la degradación de tensoactivos presentes en las aguas. Esta bacteria presenta porcentajes de degradación del setenta por ciento, en un medio que contenga oxígeno.

Esta bacteria puede tener un buen crecimiento poblacional en temperaturas de 20-37 grados Celsius y puede desarrollarse en medios donde estén presentes otros compuestos como sal mineral y dodecil sulfato de sodio. La bacteria *Pseudomonas aeruginosa* soporta aguas cuyos ph estén entre 6 a 9. [34]

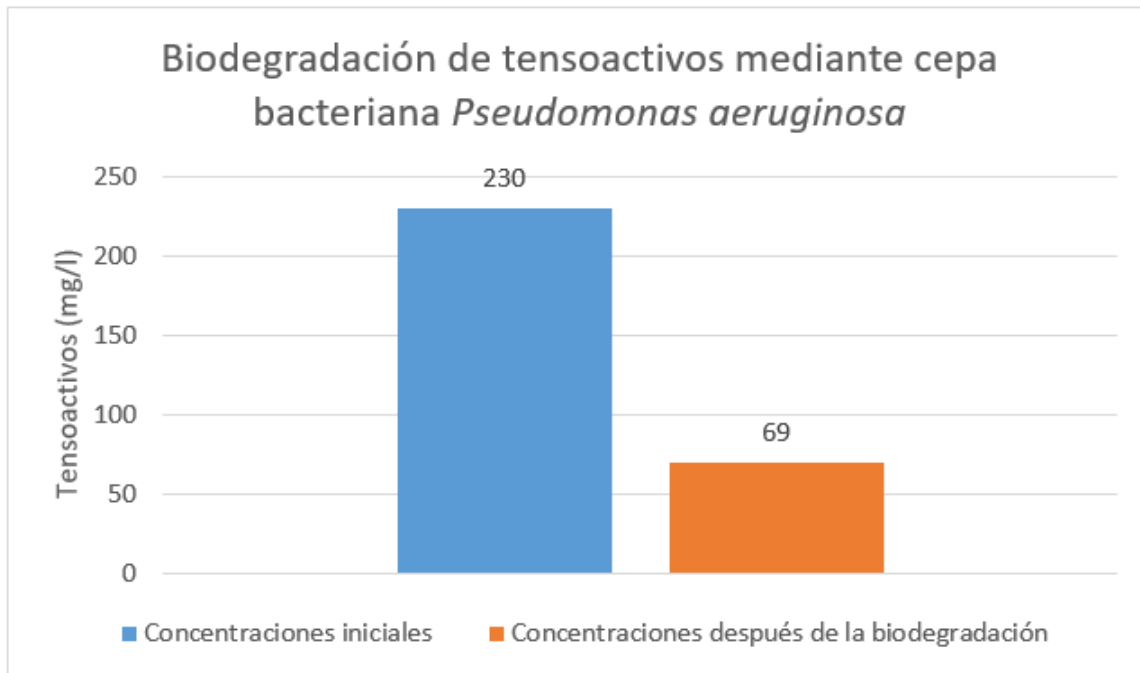


Figura 13: Concentraciones de tensoactivos antes y después de la degradación bacteriana con cepa *Pseudomonas aeruginosa*.

La bacteria utilizada para la degradación de nitrógenos totales es la *Proteus mirabilis*, la cual posee un porcentaje de degradación del cincuenta y siete punto cincuenta y ocho por ciento en medios donde el oxígeno esté presente. Estudios realizados por Sergio Pérez y Zulay Niño (2017) [35] dicen que el nitrógeno degradado por esta bacteria incluía nitrógeno orgánico (en concentraciones de 2045 ppm) y nitrógeno amoniacal (en concentraciones de 2788 ppm).

Este microorganismo puede tener un crecimiento bacteriológico en presencia de compuestos como la urea y algunos sulfatos, también puede establecerse en medios cuyo valor de pH llegue hasta 10.2 y soporta temperaturas de hasta 37 grados Celsius.

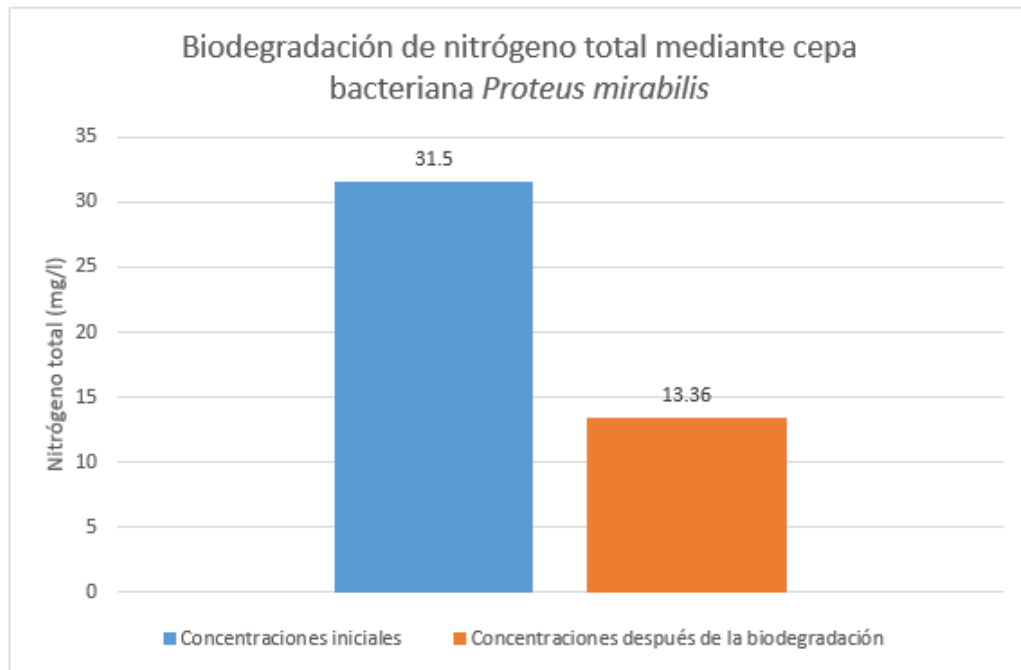


Figura 14: Concentraciones de nitrógeno total antes y después de la degradación bacteriana con cepa *Proteus mirabilis*.

Las bacterias utilizadas para la degradación de tripolifosfato de sodio son *Klebsiella pneumoniae* y *Pseudomonas sp* las cuales, junto a un medio donde el oxígeno esté presente, muestran un porcentaje de degradación del sesenta por ciento.

Estos microorganismos pueden tener un crecimiento bacteriológico en medios donde existan concentraciones de cloruro de sodio y fósforos totales, suele hacerlo en temperaturas de 25-30 grados Celsius. [33]

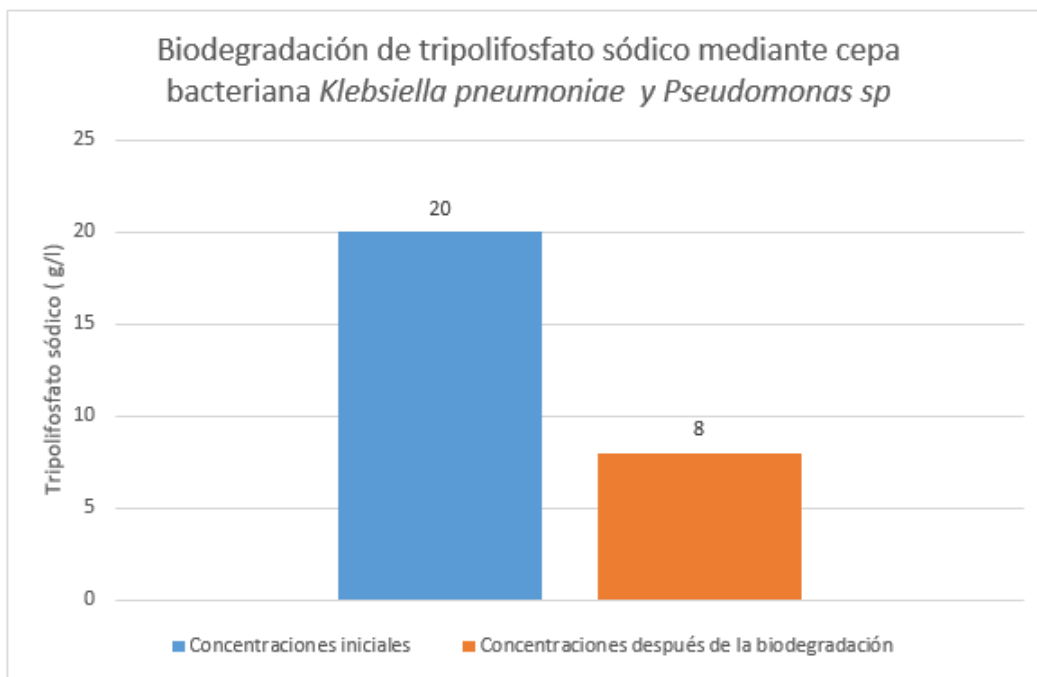


Figura 15: Concentraciones de tripolifosfato de sodio antes y después de la degradación bacteriana con cepas *Klebsiella pneumoniae* y *Pseudomonas sp*

La bacteria *Pseudomonas sp* es utilizada para la degradación de sulfato de sodio y presenta, en un medio donde haya oxígeno, un porcentaje de degradación del noventa y tres por ciento. Estudios realizados por Robert Goodnow y Arthur Harrison (1972) [36] demuestran que la bacteria *Pseudomonas sp* muestra un mayor porcentaje de degradación que la bacteria *Bacillus subtilis* M la cual presenta un porcentaje de degradación del setenta por ciento.

Este microorganismo puede tener un crecimiento bacteriológico en presencia de otros compuestos como distintos tipos de sulfato y glucosa. También puede desarrollarse a temperaturas de 25-31 grados Celsius.

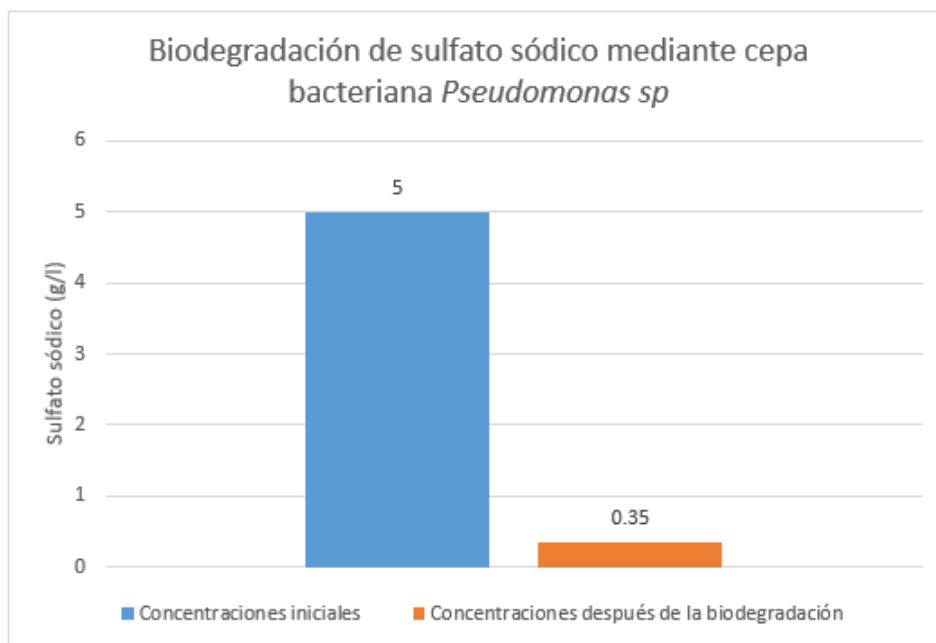


Figura 16: Concentraciones de sulfato sódico antes y después de la degradación bacteriana con cepa *Pseudomonas sp.*

La bacteria *Pseudomonas sp* es utilizada para la degradación de carbonato de sodio y presenta, junto a un medio donde hallan oxígeno, un porcentaje de degradación del sesenta y cinco por ciento.

Este microorganismo puede tener un crecimiento bacteriológico en presencia de otros compuestos como cloruro de sodio, sulfatos y distintos tipos de tensoactivos, suele hacerlo a temperaturas de 25-32 grados Celsius. [33]

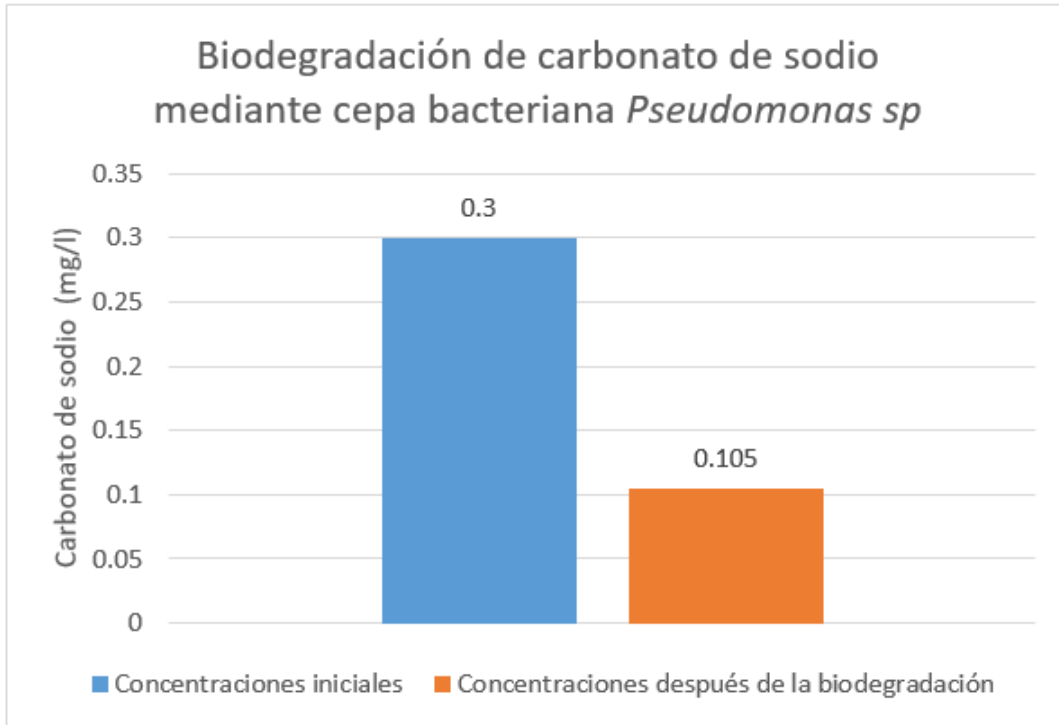


Figura 17: Concentraciones de carbonato de sodio antes y después de la degradación bacteriana con cepa *Pseudomonas sp.*

La bacteria *Bacillus subtilis* es utilizada para la degradación de dodecibenceno sulfato de sodio y llega a tener, en un medio donde el oxígeno este presente, un porcentaje de degradación de hasta el ochenta y siete punto cinco por ciento.

Este microorganismo puede tener un crecimiento bacteriológico en medios donde estén presente compuestos que componen a los detergentes, suele hacerlo a temperaturas de 25-30 grados Celsius. Estudios realizados por María Meneses (2018) [37] demuestran que esta bacteria puede sobrevivir en concentraciones de detergentes con los niveles recomendados a usar por el fabricante del detergente, en concentraciones del doble de lo recomendado por el fabricante y a concentraciones de la cuarta parte de lo recomendado por el fabricante. En los primeros cinco días la población bacteriana decencia, luego se mantiene casi constante creciendo esta.

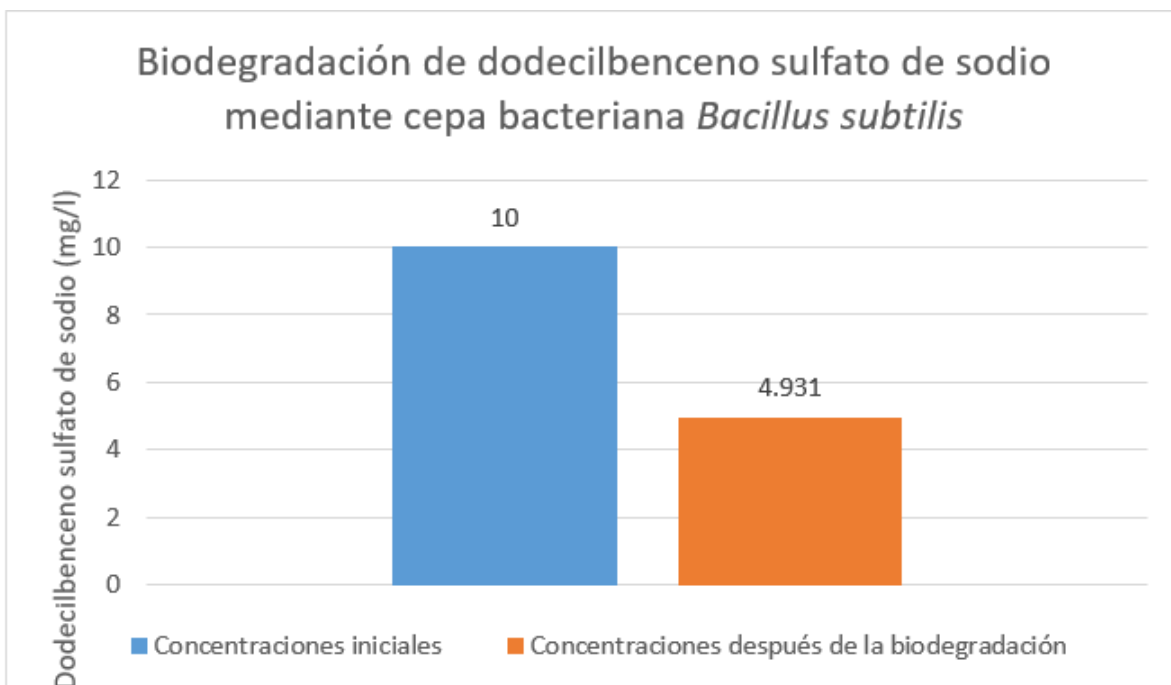


Figura 18: Concentraciones de dodecibenceno sulfato de sodio antes y después de la degradación bacteriana con cepa *Bacillus subtilis*.

La bacteria *Bacillus subtilis* M es utilizada para la degradación de sulfonato de alquilbenceno lineal y presenta, en un medio que contiene oxígeno, un porcentaje de degradación del noventa y siete por ciento. Estudios realizados por Robert Goodnow y Arthur Harrison (1972) [36] de muestran que la bacteria *Pseudomonas species 40.1* también puede utilizarse para la degradación de sulfonato de alquilbenceno lineal, pero presenta un porcentaje de degradación ochenta y siete por ciento en las mismas condiciones.

El microorganismo *Bacillus subtilis* M puede tener un crecimiento bacteriológico en presencia de compuestos como distintos sulfatos y presenta un crecimiento óptimo en presencia de glucosa, suele a hacerlo en temperaturas de 25-31 grados Celsius.

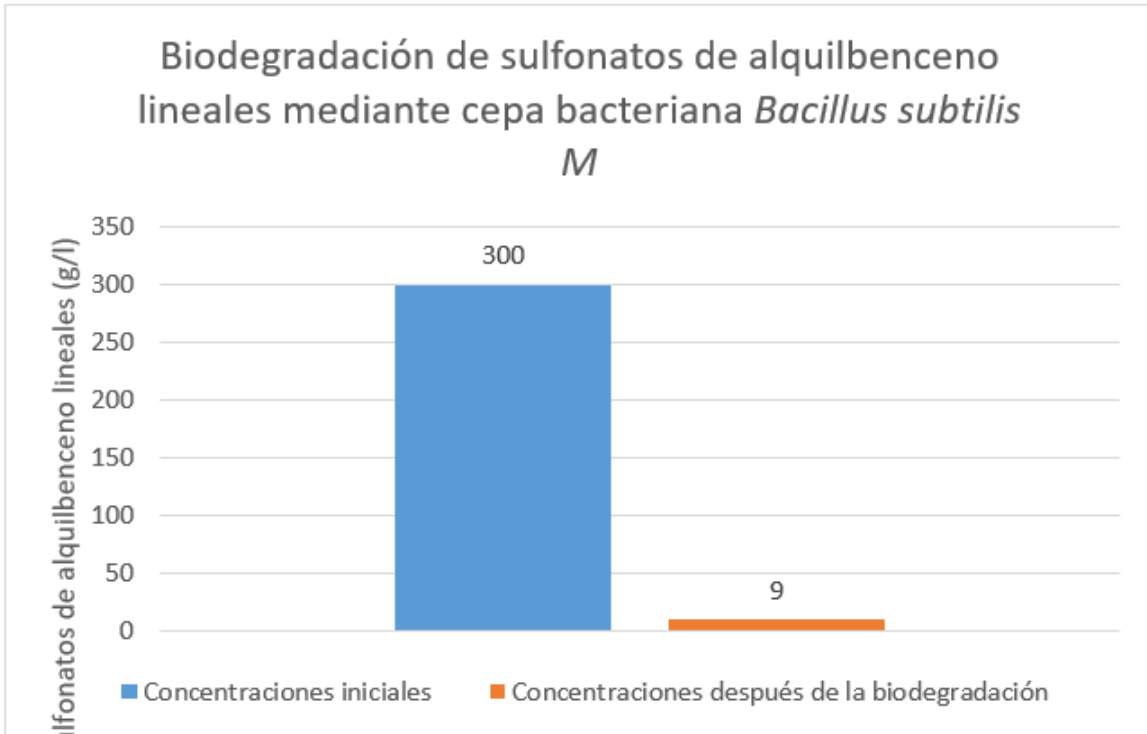


Figura 19: Concentraciones de sulfonatos de alquilbenceno lineales antes y después de la degradación bacteriana con cepa *Bacillus subtilis* M.

Las bacterias *Gallionella sp.* y *Alcaligenes sp* son utilizadas para la degradación de hierro tanto en suelos como en aguas residuales, estas presentan, en un medio que contenga oxígeno, un porcentaje de degradación del quince por ciento.

Estos microorganismos pueden tener un crecimiento bacteriológico en presencia de compuestos como óxido de aluminio y cloruro férrico y suelen hacerlo en temperaturas de 24.8-28 grados Celsius. Estudios realizados por Gabriela Alarcón (2010) [38] demuestran que dichas bacterias incrementan su población en los primeros 8 días de estar en contacto con el hierro.

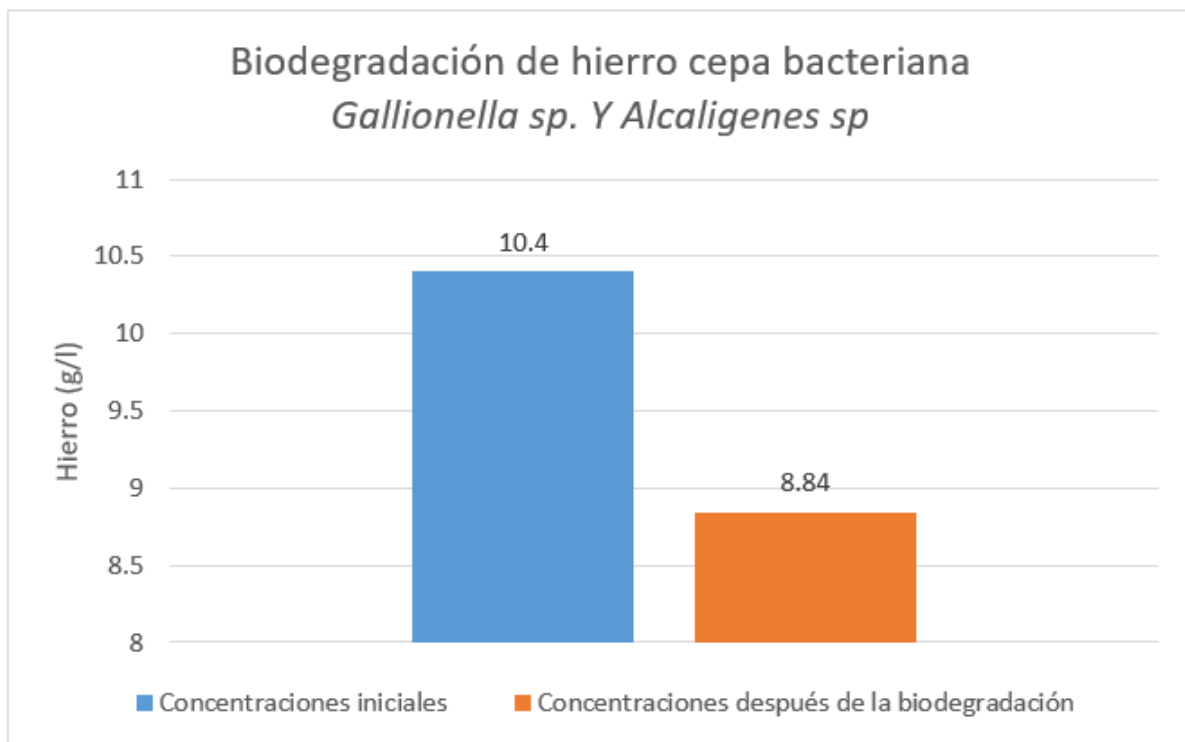


Figura 20: Concentraciones de hierro antes y después de la degradación bacteriana con cepas *Gallionella sp.* y *Alcaligenes sp.*

Las bacterias *Alcaligenes sp* y *Arthrobacter sp* son utilizadas para la degradación de aluminio tanto en suelos como en aguas residuales y presentan, en un medio donde haya oxígeno, un porcentaje de degradación del ochenta tres punto cinco por ciento.

Estos microorganismos pueden tener un crecimiento bacteriológico en medios donde contengan compuestos como óxido de aluminio y cloruro férrico y lo suelen hacer a temperaturas 24.8-28 grados Celsius. Estudios realizados por Gabriela Alarcón (2010) [38] demuestran que dichas bacterias incrementan su población en los primeros 8 días de estar en contacto con el aluminio.

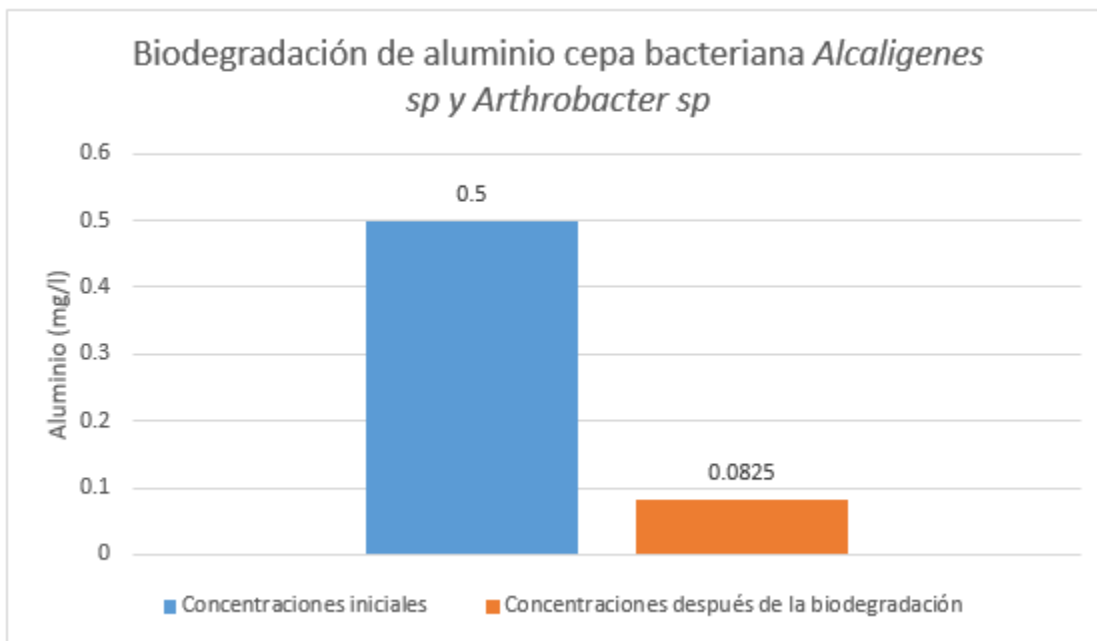


Figura 21: Concentraciones de aluminio antes y después de la degradación bacteriana con cepas *Alcaligenes sp* y *Arthrobacter sp*.

La bacteria *Bacillus sp* es utilizada para la degradación de magnesio tanto en aguas residuales como en suelos contaminados. Esta bacteria presenta un porcentaje de degradación, en un medio con oxígeno del, ochenta por ciento.

La bacteria *Bacillus sp* crece bien en medios con presencia de fuentes de carbono. Muchos producen enzimas extracelulares, como hidrolasas, que rompen polisacárido complejo, ácidos nucleicos o ácidos grasos hasta unidades asimilables por las células: estos productos sirven como fuente de carbono y donadores de electros. La temperatura usada para el crecimiento bacteriológico es de 25-30 grados Celsius. [39]

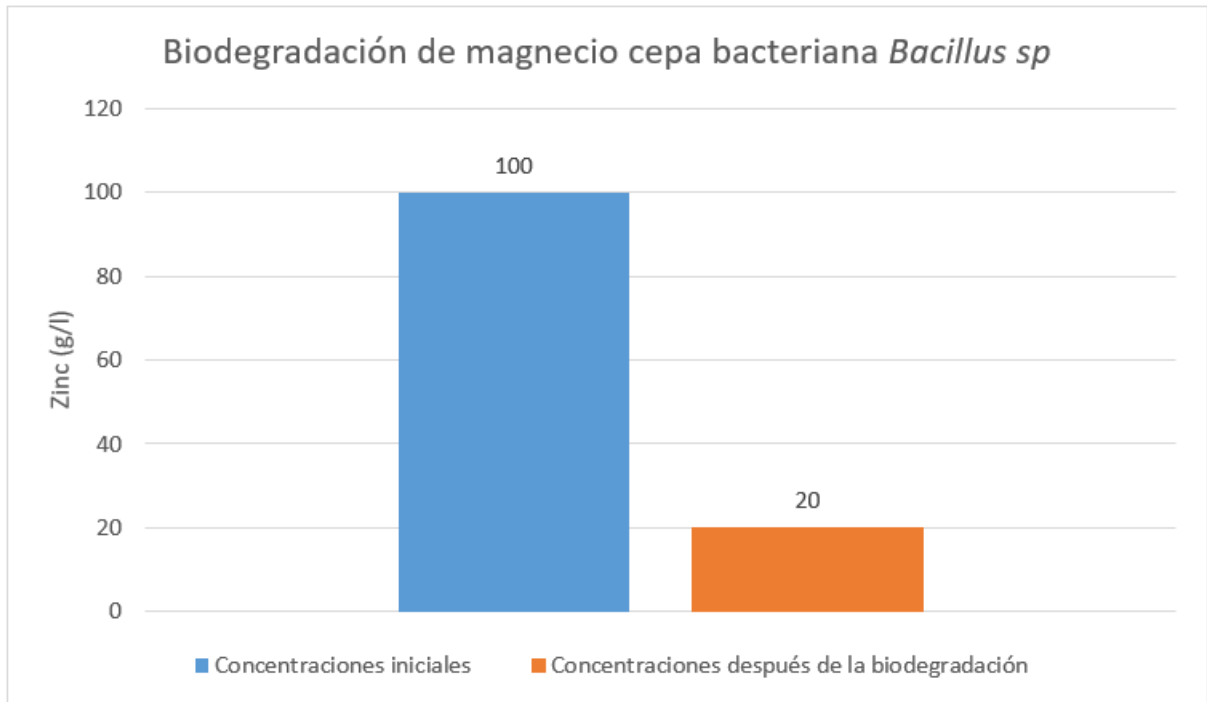


Figura 22: Concentraciones de magnesio antes y después de la degradación bacteriana con cepa *Bacillus sp*.

La bacteria *Pseudomonas cedrina* es utilizada para la degradación de cromo total tanto en suelos contaminados como en aguas residuales. Esta bacteria presenta un porcentaje de degradación, en medios que posean oxígeno, del ochenta y nueve por ciento. Según estudios realizados por Mariana Islas y Mario Esparza (2012) [40] esta bacteria a diferencia de otras degradadoras de cromo, como lo son la *P. graminis* y *E. cancerogenus*, puede desarrollarse en presencia de Cr (VI). La *Pseudomonas cedrina* mantiene una fase exponencial de crecimiento las primeras 48 horas de incubación. El crecimiento bacteriológico de esta bacteria ocurre en temperaturas de 25-28 grados Celsius.

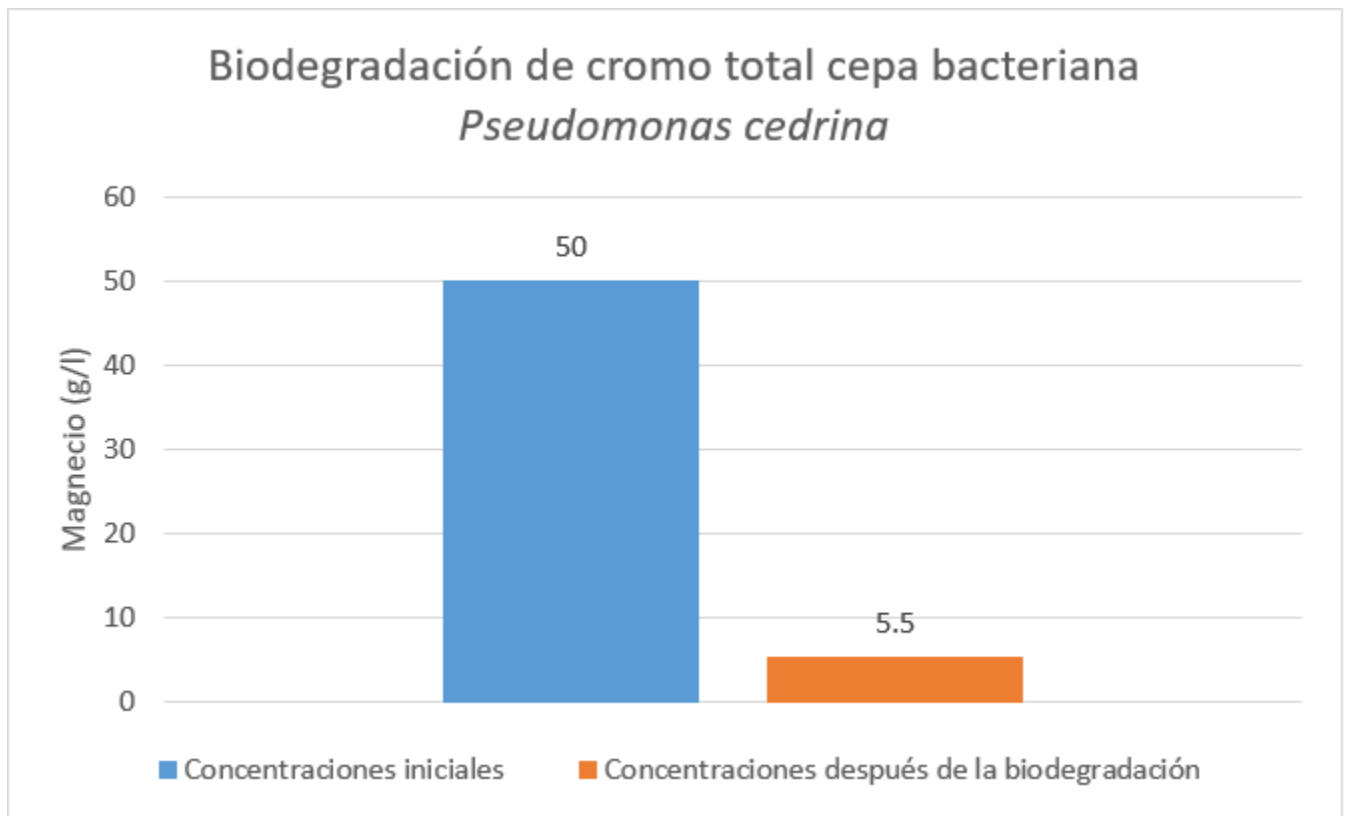


Figura 23: Concentraciones de cromo total antes y después de la degradación bacteriana con cepa *Pseudomonas cedrina*.

La bacteria *Bacillus licheniformis* es utilizada para la remoción de zinc tanto en aguas residuales como en suelos contaminados. Esta presenta un porcentaje de degradación, en medios con oxígeno, del cincuenta y dos punto cinco por ciento.

Según estudios realizados por Diana Garcia (2011) [41] el crecimiento bacteriano de dicha bacteria, en presencia de zinc aumenta hasta el segundo día, luego se mantiene casi constante. Esta bacteria puede desarrollarse en presencia de: glucosa, sulfato de amonio, fosfato monobásico de potasio, fosfato dibásico de potasio, sulfato de magnesio monohidratado, cloruro de sodio, sulfato de calcio, sal disódica, sulfato ferroso y solución tampón fosfato a pH 6. Suele desarrollarse a temperaturas de 27-30 grados Celsius.

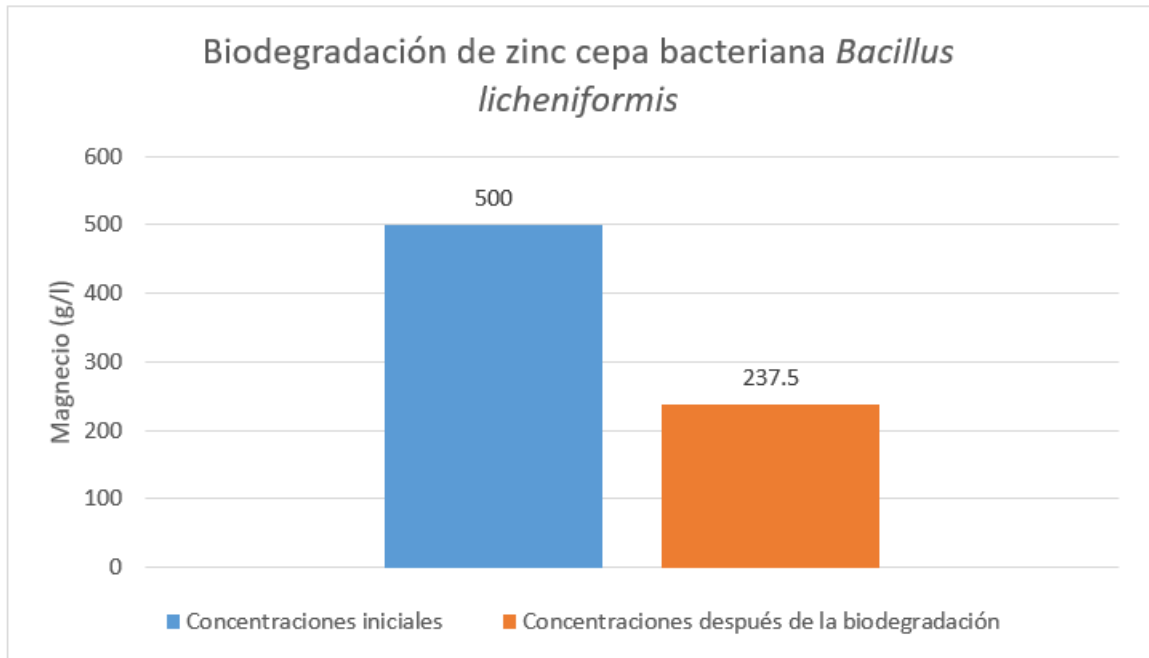


Figura 24: Concentraciones de zinc antes y después de la degradación bacteriana con cepa *Bacillus licheniformis*.

La bacteria *Photobacterium damsela* subsp. *piscicida* es utilizada para la degradación de plomo tanto en aguas residuales como en suelos contaminados. Esta bacteria posee un porcentaje de degradación, en un medio con oxígeno, del noventa y tres punto tres por ciento.

La bacteria *Photobacterium damsela* subsp. *piscicida* puede desarrollarse en medios donde se presentan compuestos como sulfatos de amonio, levadura, sacarosa, para un crecimiento bacteriano óptimo el pH del agua donde habite tiene que ser de entre 4-6.5 y la temperatura entre 25-30 grados Celsius .[42]

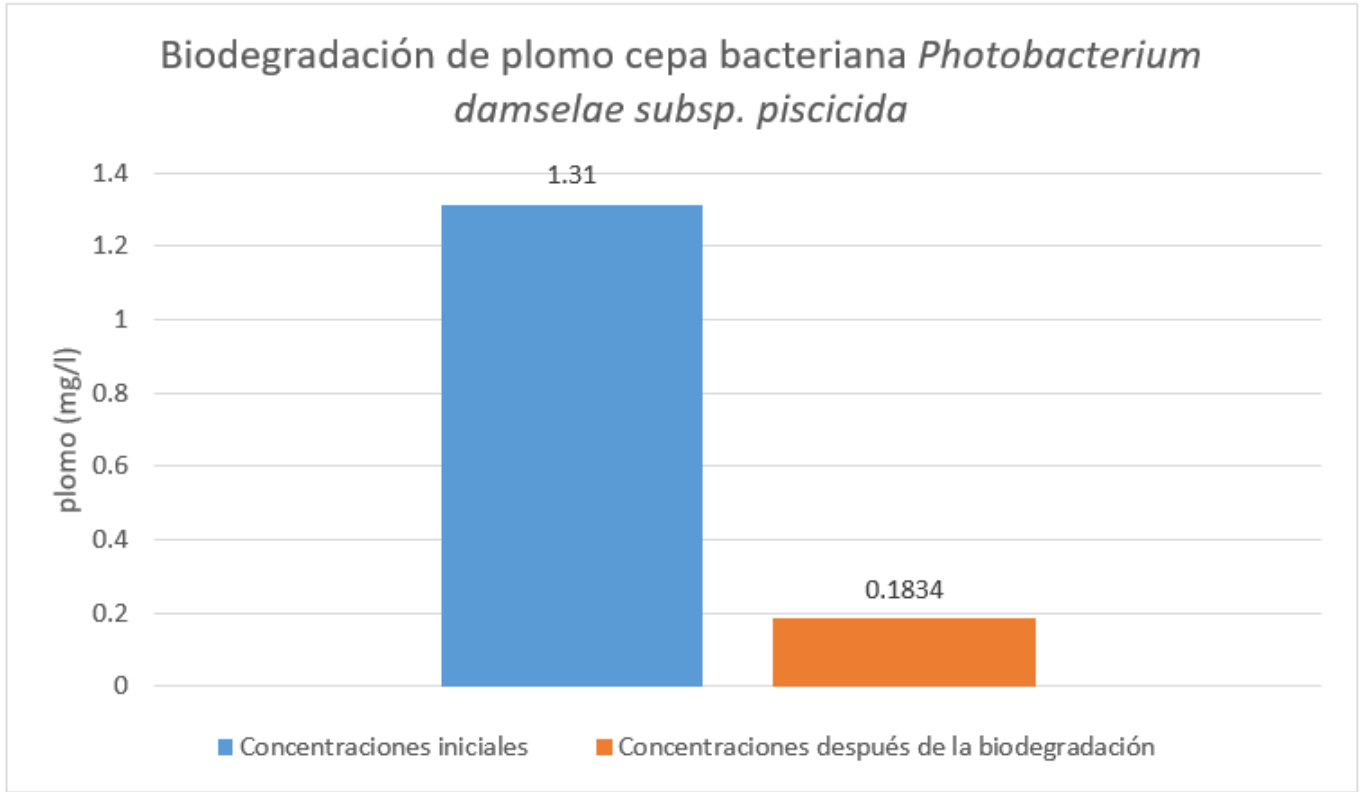


Figura 25: Concentraciones de plomo antes y después de la degradación bacteriana con cepa *Photobacterium damsela subsp. piscicida*.

A continuación se presentara de manera resumida la caracterización del agua gris después de salir por el biofiltro bacteriano.

Parámetros	Rango de concentración (mg/l)
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	400
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	200
Sólidos suspendidos totales	30
Grasas y aceites	8.31
<i>Coliformes totales</i>	10000 UFC/100 ml
<i>Escherichia coli</i>	10000 UFC/100 ml
Fósforo total	8
Tensoactivo total	69
Nitrógeno total	13.36
Tripolifosfato sódico	0.008
Sulfato sódico	0.00035
Carbonato de sodio	0.105
Dodecilbenceno sulfato de sodio	4.931
Sulfonatos de alquilbenceno lineal	0.009
Hierro	0.00884
Aluminio	0.0825
Magnesio	0.02
Cromo total	0.0055
Zinc	0.2375
Plomo	0.1834

Cuadro 18: Caracterización del agua saliente del biofiltro bacteriano.
Elaboración propia.

6.4. Biofiltro con material granular

El biofiltro con material gradual propuesto en esta tesis tendrá un área transversal de 16 m². En la parte inferior del tanque tendrá una capa de 0.2 m de grava gruesa, lo que

equivale a un volumen de 3.2 m³; arriba de esta otra con 0.2 m de grava, lo que equivale a un volumen de 3.2 m³; arriba una capa de 0.4 m de gravilla, lo que equivale a un volumen de 6.4 m³ y por último en la parte superior del tanque, una capa de 0.5 m de arena fina , lo que equivale a un volumen de 8 m³. El proceso de filtración dura un día desde que el agua ingresa en el biofiltro.

A continuación, se presentarán las concentraciones de ciertos parámetros antes y después de entrar al biofiltro con material granular.

Parámetro	Concentración de entrada al filtro (mg/l)	Porcentaje de retención (%)	Concentración de salida del filtro (mg/l)
DBO5	200	85	30
DQO	400	84.5	62
Nitrógeno total	13.36	79.15	2.79
Fósforo total	8	32.25	5.42
Sólidos Suspendedos totales	30	35.5	19.35
<i>Coliformes totales</i>	10 ³ UFC/100ml	96.8	32 UFC/100ml
<i>Escherichia coli</i>	10 ³ UFC/100ml	96.8	32 UFC/100ml

Cuadro 19: Concentración de parámetros antes y después de pasar por el biofiltro con material granular.

Elaboración propia

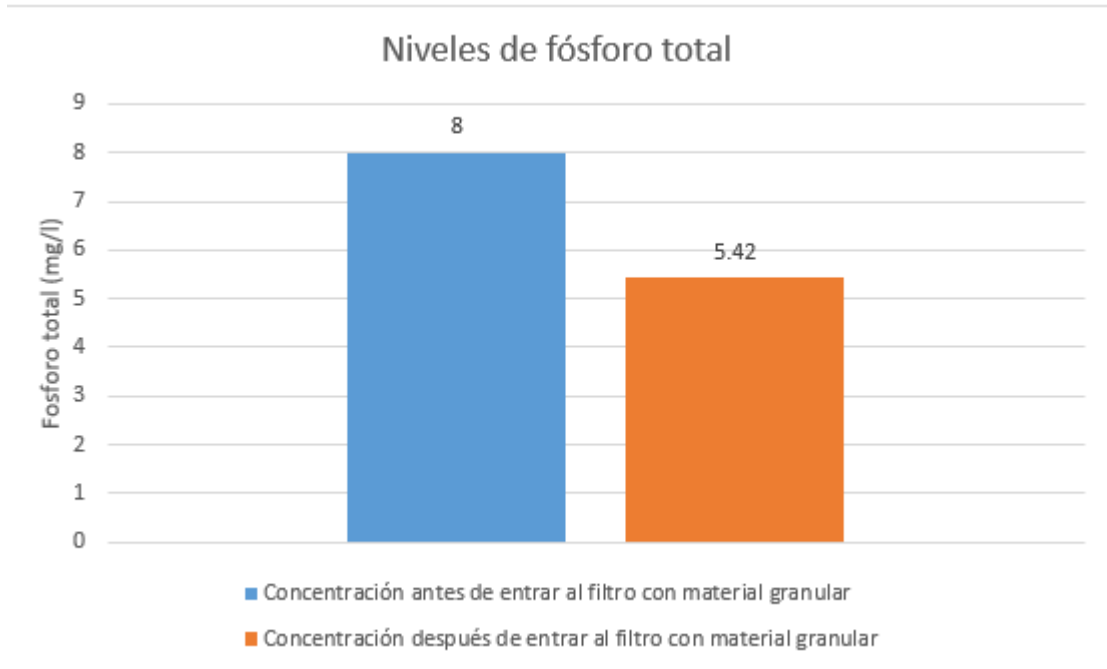


Figura 26: Concentraciones fósforo total antes y después de pasar por el biofiltro con material granular.

Como se muestra en la Tabla 17 y en la Figura 27 los niveles de fósforo total se reducen en un 32.25 por ciento. Teniendo una concentración inicial de 8 mg/l, después de pasar por el biofiltro bacteriano, para ser reducida, por el filtro con material granular, a 5.42 mg/l.

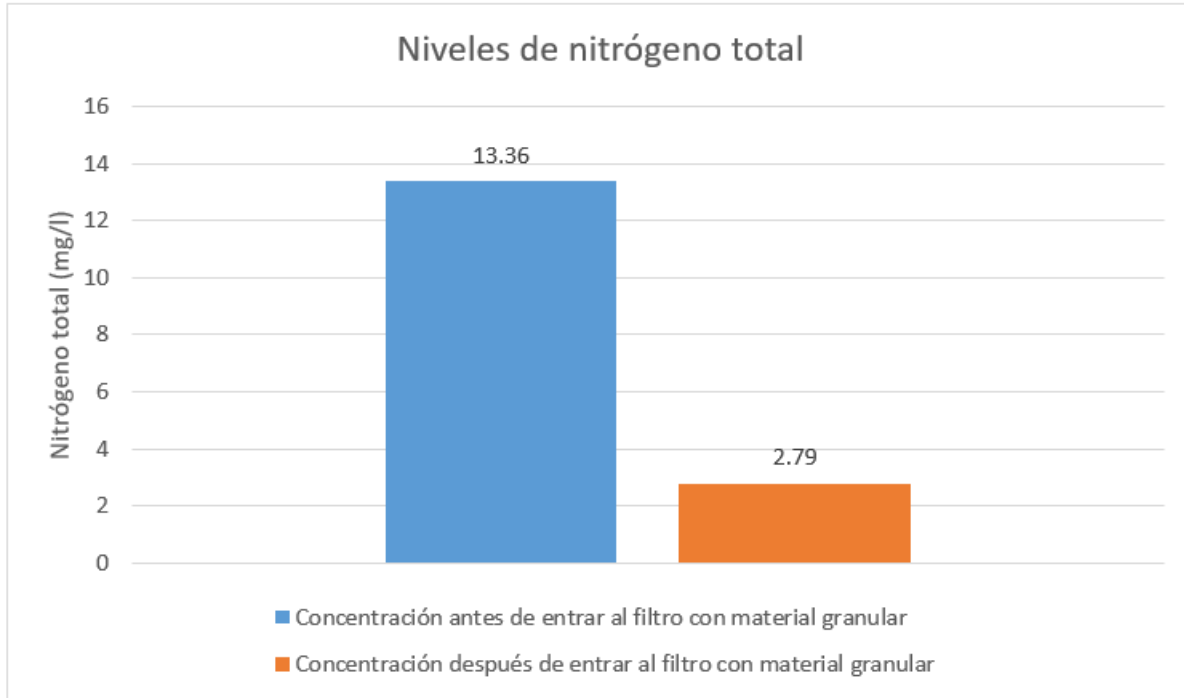


Figura 27: Concentraciones nitrógeno total antes y después de pasar por el biofiltro con material granular.

Como se muestra en la Tabla 17 y en la Figura 28 los niveles de nitrógeno total se reduce en un 79.15 por ciento. Teniendo una concentración inicial de 13.36 mg/l, después de pasar por el biofiltro bacteriano, para ser reducida, por el filtro con material granular, a 2.79 mg/l.

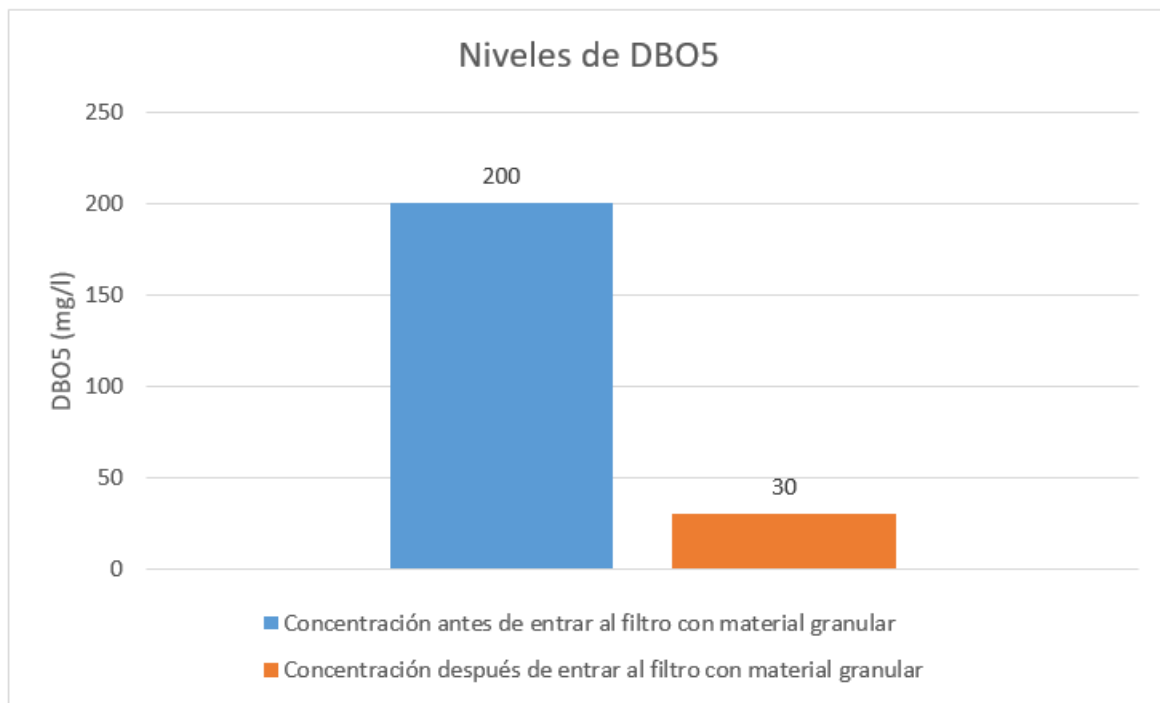


Figura 28: Concentraciones DBO5 antes y después de pasar por el biofiltro con material granular.

Como se muestra en la Tabla 17 y en la Figura 29 los niveles de DBO5 se reducen en un 85 por ciento. Teniendo una concentración inicial de 200 mg/l, después de pasar por el biofiltro bacteriano, para ser reducida, por el filtro con material granular, a 30 mg/l.

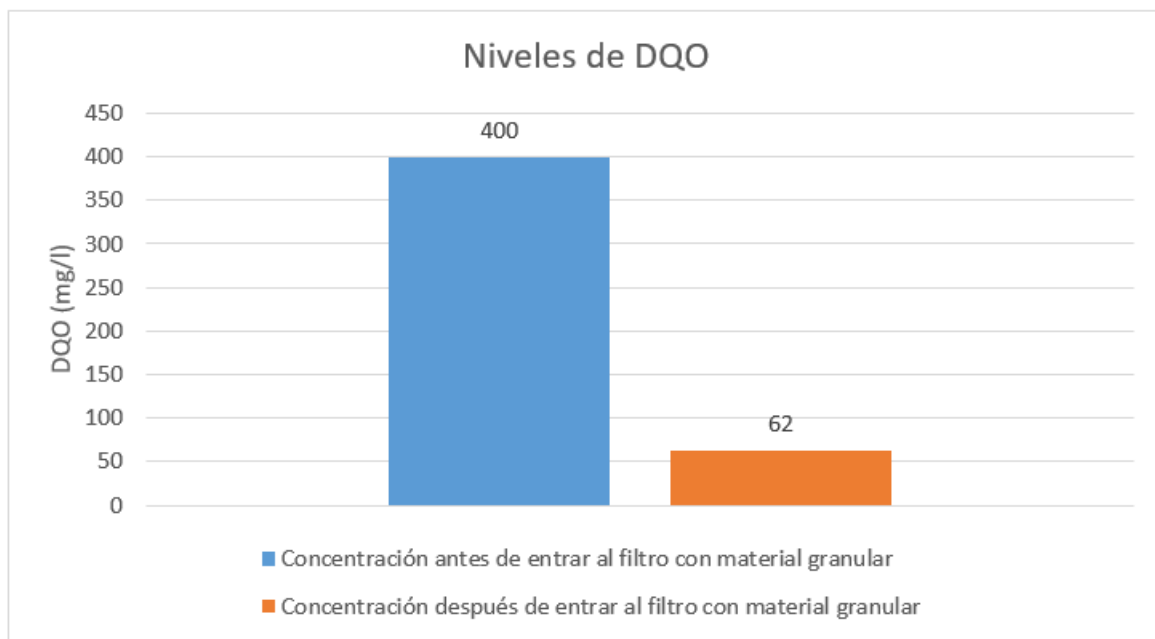


Figura 29: Concentraciones DQO antes y después de pasar por el biofiltro con material granular.

Como se muestra en la Tabla 17 y en la Figura 30 los niveles de DQO se reducen en un 84.5 por ciento. Teniendo una concentración inicial de 400 mg/l, después de pasar por el biofiltro bacteriano, para ser reducida, por el filtro con material granular, a 62 mg/l.

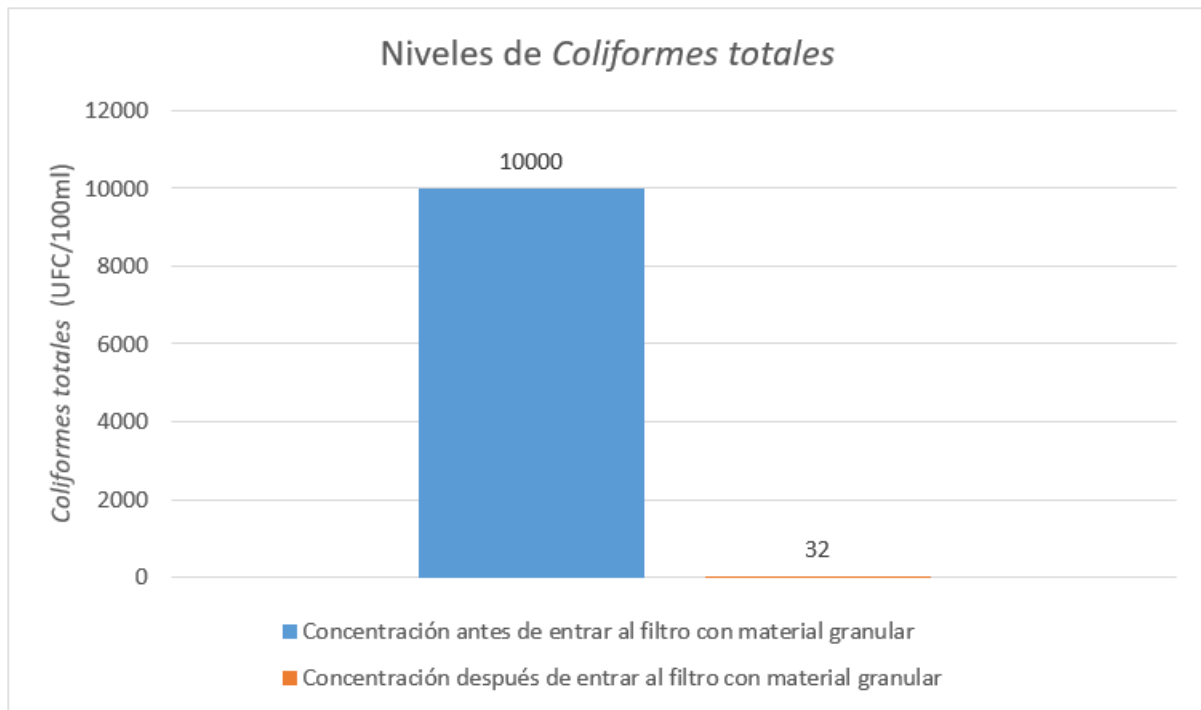


Figura 30: Concentraciones de *Coliformes totales* antes y después de pasar por el biofiltro con material granular.

Como se muestra en la Tabla 17 y en la Figura 31 los niveles de *Coliformes totales* se reducen en un 96.8 por ciento. Teniendo una concentración inicial de 10000 mg/l, después de pasar por el biofiltro bacteriano, para ser reducida, por el filtro con material granular, a 32 mg/l.

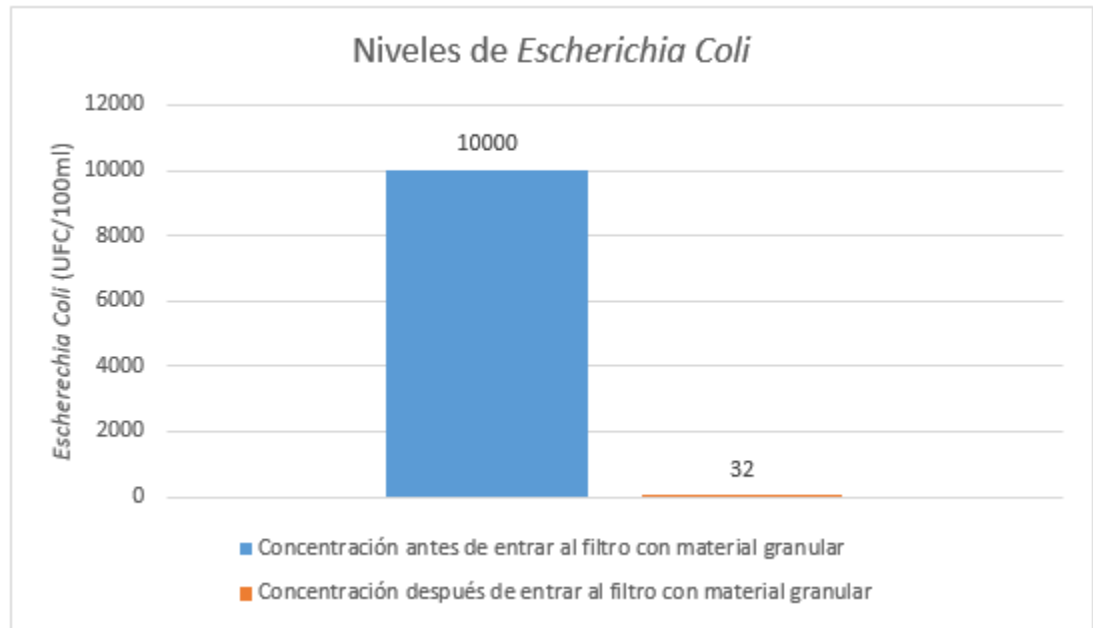


Figura 31: Concentraciones de *Escherichia coli* antes y después de pasar por el biofiltro con material granular.

Como se muestra en la Tabla 17 y en la Figura 32 los niveles de *Escherichia coli* se reducen en un 96.8 por ciento. Teniendo una concentración inicial de 10000 mg/l, después de pasar por el biofiltro bacteriano, para ser reducida, por el filtro con material granular, a 32 mg/l.



Figura 32: Concentraciones de sólidos suspendidos totales antes y después de pasar por el biofiltro con material granular.

Como se muestra en la Tabla 17 y en la Figura 33 los niveles de sólidos suspendidos se reducen en un 35.5 por ciento. Teniendo una concentración inicial de 30 mg/l, después de pasar por el biofiltro bacteriano, para ser reducida, por el filtro con material granular, a 19 mg/l.

6.5. Calidad del agua resultante del sistema de tratamiento

Como parte de todo sistema de tratamiento de aguas, se debe de hacer una comparación entre la calidad del agua saliente del sistema, con los límites máximos para cada país. En Guatemala se utiliza el Acuerdo Gubernativo 236-2006 el cual nos da los parámetros de la calidad del agua dependiendo su re-aplicación.

A continuación, se mostrará las concentraciones de los contaminantes presentes en el agua ya tratado como también los límites establecidos por el Acuerdo Gubernativo para entes generadores nuevos.

Parámetros	Concentración (mg/l)	Límites máximos según Acuerdo Gubernativo 236-2006 (mg/l)	Cumplimiento con el Acuerdo Gubernativo 236-2006
Fósforo total	5.42	10	-
Tensoactivo total	69	-	-
Nitrógeno total	2.79	40	-
Tripolifosfato sódico	0.008	10	-
Sulfato sódico	0.00035	-	-
Carbonato de sodio	0.105	-	-
Dodecilbenceno sulfato de sodio	4.931	-	-
Sulfonatos de alquilbenceno lineal	0.009	-	-
Hierro	0.00884	0.01	-
Aluminio	0.0825	-	-
Magnesio	0.02	-	-
Cromo total	0.0055	0.1	-
Zinc	0.2375	10	-
Plomo	0.1834	0.4	-
DBO5	30	200	-
DQO	62	-	-
Sólidos suspendidos totales	19.35	100	-
Grasas y aceites	8.31	10	-
Escherichia coli	32 UFM/100ml	100 UFM/100ml	-
Coliformes totales	32 UFM/100ml	100 UFM/100ml	-

Cuadro 20: Revisión del cumplimiento de calidad de agua según el Acuerdo Gubernativo 236-2006. Elaboración propia.

Para comprobar la efectividad del sistema y que este no solo cumple normativas nacionales sino que también internacionales, se comparará la calidad del efluente con los límites máximos establecidos por el Decreto 90- 2001 de Chile, el cual establece la calidad del agua para entes nuevos generadores.

Parámetros	Concentración (mg/l)	Límites máximos del Decreto 90-2001 de Chile (mg/l)	Cumplimiento del Decreto 90-2001 de Chile (mg/l)
Fósforo total	5.42	10	-
Tensoactivo total	69	100	-
Nitrógeno total	2.79	20	-
Tripolifosfato sódico	0.008	10	-
Sulfato sódico	0.00035	3	-
Carbonato de sodio	0.105	3	-
Dodecibenceno sulfato de sodio	4.931	10	-
Sulfonatos de alquilbenceno lineal	0.009	0.015	-
Hierro	0.00884	0.01	-
Aluminio	0.0825	1	-
Magnesio	0.02	0.03	-
Cromo total	0.0055	0.1	-
Zinc	0.2375	1	-
Plomo	0.1834	0.2	-
DBO5	30	50	-
DQO	62	-	-
Sólidos suspendidos totales	19.35	50	-
Grasas y aceites	8.31	10	-
Escherichia coli	32 UFM/100ml	80 UFM/100ml	-
Coliformes totales	32 UFM/100ml	80 UFM/100ml	-

Cuadro 21: Revisión del cumplimiento de calidad de agua según Decreto 90- 2001 de Chile.
Elaboración propia.

Análisis de resultados

El sistema propuesto en esta tesis se compone de cuatro elementos que se encargan de volver el agua gris bruta, resultante de drenajes de lavamanos, duchas, pilas y lavadoras de ropa, en agua reutilizable según el Acuerdo Gubernamental 236-2006.

La caracterización del agua gris a tratar dio concentraciones de : DQO entre 100-700 mg/l, DBO5 entre 47-350 mg/l, sólidos suspendidos totales entre 18-40 mg/l, grasas y aceites entre 7-50 mg/l, *Coliformes totales* de 10000 UFC/100 ml, *Escherichia coli* de 10000 UFC/100 ml, fósforo total entre 5-20 mg/l, tensoactivo total entre 20-230 mg/l, nitrógeno total entre 2.1-31.5mg/l, tripolifosfato sódico entre 0.0145-0.020 mg/l, sulfato sódico 0.00476-0.005 mg/l, carbonato de sodio entre 0.25- 0.3 mg/l, dodecibenceno sulfato de sodio entre 1-10 mg/l, sulfonatos dealquilbenceno lineal entre 0.25-0.3 mg/l, hierro entre 0.0005-0.0104 mg/l, aluminio entre 0.01-0.5 mg/l, magnesio entre 0.066-0.1 mg/l, cromo total menores a 0.05, zinc entre 0.1- 0.5 mg/l y plomo entre 1-1.31 mg/l. El contaminante con una mayor concentración en este tipo de aguas son los tensoactivos totales, provenientes de los detergentes lavamanos, duchas, pilas y lavadoras de ropa. De esta caracterización se tomó los valores máximos de cada compuesto.

Con la caracterización del agua, se propuso un sistema que convierta las concentraciones de los parámetros en valores aceptables, según el Acuerdo Gubernamental 236-2006. El primer elemento propuesto, trampa de grasas, se encarga de reducir los aceites y grasas provenientes de actividades de limpieza, el Acuerdo Gubernamental 236-2006 limita este parámetro a un rango menor o igual que 10 mg/l y como se aprecia en el Cuadro trece, la concentración de grasas y aceites en la caracterización de aguas grises supera este valor, llegando a un máximo de 50 mg/l. Por lo que la trampa de grasa se encarga de reducir esta concentración a un 83.38 por ciento, lo que resulta en una acumulación, después de salir de la trampa de grasas, de grasa y aceite de 8.31 mg/l, lo cual está en el rango limitado por la normativa guatemalteca de calidad de agua.

Luego, el agua pasa por dos filtros, el primero utilizando cepas bacterianas y el segundo distintas capas de material granular. Se propuso la utilización de dos filtros, ya que como se le dará un ciclo de reutilización al agua, podría darse el caso que se acumule tanto cierto compuesto que supere los valores que un solo filtro podría degradar.

Para el biofiltro bacteriano, se propuso utilizar las siguientes cepas: *Klebsiella pneumoniae* y *Pseudomonas sp* (degradando el 60 por ciento del fósforo total), *Pseudomonas aeruginosa* (degradando el 70 por ciento del tensoactivo total), *Proteus mirabilis* (degradando el 57.85 por ciento del nitrógeno total), *Klebsiella pneumoniae* y *Pseudomonas sp* (degradando el 60 por ciento de tripolifosfato sódico), *Pseudomonas sp* (degradando el 93 por ciento de sulfato sódico), *Pseudomonas sp* (degradando el 65 por ciento de carbonato de sodio), *Bacillus subtilis* (degradando el 50.69 por ciento de dodecilbenzeno sulfato de sodio), *Bacillus subtilis* (degradando el 97 por ciento de sulfonatos de alquilbenzeno lineal), *Gallionella sp.* y *Alcaligenes sp.* (degradando el 15 por ciento de hierro), *Bacillus subtilis* (degradando el 80 de magnesio), *Pseudomonas cedrina* (degradando el 89 por ciento de cromo total), *Bacillus licheniformis* (degradando el 52.5 por ciento de zinc) y *Photobacterium samselae subsp. piscicida* (degradando el 86 por ciento de plomo). Como se observa, muchas de estas bacterias se repiten por lo que el biofiltro solo necesita diez distintas cepas, siendo la *Bacillus subtilis* la que mayor porcentaje de degradación tiene.

El biofiltro con material granular fue diseñado como un filtro de gravedad ya que este posee un área transversal de 16 m² y un caudal de entrada de 24500 l/día (esto considerando que los 350 habitantes del residencial generen 70 l/día) lo que equivale a 17.014 l/min. Obteniendo una relación Q/A de 1.06 LPM/m², que según Argon (2007) [25] un filtro por gravedad tiene una relación Q/A entre 0.6 a 6 LPM/m².

Para este filtro se propuso utilizar una capa de 0.2 m de grava gruesa, arriba de esta otra con 0.2 m de grava, arriba una capa de 0.4 m de gravilla y por ultima en la parte superior del tanque, una capa de 0.5 m de arena fina. Este tipo de filtro es capaz de reducir las concentraciones de DBO5 (85 por ciento), DQO (84.5 por ciento), nitrógeno total (79.15 por ciento), fósforo total (32.25 por ciento), sólidos suspendidos totales (35.5 por ciento) y retener las bacterias del proceso anterior (96.8 por ciento).

Finalmente, se verifico la efectividad del sistema, comparando las concentraciones de los compuestos, después de salir del sistema, con los límites máximos del Acuerdo Gubernamental. El fósforo total, siendo uno de los principales contaminantes en las aguas residuales urbanas, está limitado a valor menor o igual que 10 mg/l. En el agua saliente del sistema propuesto la concentración de fósforo es de 5.42 mg/l, lo que es menor que el límite máximo. Cabe mencionar que se pudo llegar a este valor después de pasar por ambos filtros, ya que después de salir del primer filtro, biofiltro bacteriano, el fósforo total presentaba una concentración de 8 mg/l, dicho valor aunque cumple con los estándares de calidad, está muy cercano al límite máximo, pudiendo acumularse en un futuro ciclo de reutilización del agua. Al igual que el fósforo, el nitrógeno total es uno de los principales contaminantes en las aguas residuales, este es limitado a un valor menor o igual a 40 mg/l. El efluente, después de salir del sistema propuesto, presentó una concentración de 2.79 mg/l de nitrógeno total, lo que está muy por debajo del límite. La concentración de tripolifosfato sódico, después de salir por el sistema, fue de 0.008 mg/l lo cual está muy por debajo del límite de fósforo total. La concentración de hierro, por ser un metal, tiene una mayor restricción que otros compuestos, con un rango de valores menores o iguales a 0.01 m/l, el efluente presentó una concentración

de hierro de 0.00884mg/l lo cual se puede considerar como aceptable. Otro compuesto altamente restringido es el cromo total, con un rango de valores menores o iguales a 0.1 mg/l, el efluente presentó una concentración de cromo de 0.0055 mg/l, lo que está dentro del rango. El acuerdo 236-2006 limita tanto al zinc como al plomo en valores menores o iguales a 10 mg/l y 0.4 mg/l respectivamente, el plomo por ser un compuesto altamente peligroso para los seres vivos tiene una mayor limitación que el zinc; la concentración de zinc y de plomo en el agua saliente del sistema es de 0.2375 mg/l y 0.1834 respectivamente.

Además de servir como método para regular las concentraciones de contaminantes, el biofiltro con material granular fue propuesta también para regular otros parámetros, como lo son: DBO5, DQO, sólidos suspendidos totales y bacterias provenientes del tratamiento anterior, biofiltro bacteriano. En acuerdo 236-2006 limita la concentración de sólidos suspendidos en valores menores o iguales a 100 mg/l, el efluente presentó una concentración de 19.35 mg/l después de salir por el biofiltro con material granular, dicho valor está dentro del rango establecido para la calidad del agua. El acuerdo limita las concentraciones de DBO5 en un rango entre valores menores o igual que 200 mg/l, el DBO5 presente en el efluente fue de 30 mg/l, lo que se podría considerar como aceptable. Las bacterias, aunque fueron los principales agentes de descontaminación en el sistema, también son las principales fuentes de enfermedades. Por ello, aunque el agua no tendrá un reuso para consumo humano, se debe controlar el número de bacterias en el efluente. El filtro con material granular es capaz de retener el 96.8 por ciento de las bacterias provenientes del filtro anterior. El acuerdo gubernamental 236-2006, aunque no menciona la restricción de bacterias para uso de agentes nuevos generadores, si las limita para el reuso tipo cinco, este se refiere al agua con uso recreativo, a un rango de valores menor o igual que 100 Coliformes fecales por cien mililitros. El efluente presento 32 Coliformes fecales por cien mililitros lo que está dentro del rango.

Como se puede observar, el agua saliente del sistema propuesto cumple con todos los estándares de calidad de agua de Guatemala, por lo cual, es una adecuada propuesta para el tratamiento de las aguas grises en Guatemala.

Discusión de resultados

En la elaboración de la propuesta del sistema de tratamiento de aguas grises se observó que el contaminante con mayor concentración, en las aguas grises brutas provenientes de drenajes de lavamanos, duchas, pilas y lavadoras, son los tensoactivos totales. Esto debido a que estas aguas son provenientes de actividades de limpieza y gran parte de los productos de limpieza se componen de tensoactivos. La concentración de dicho compuesto fue de 230 mg/l.

Para degradar los compuestos en las aguas grises brutas se propuso el uso de 4 elementos que componen el sistema. El primer elemento es la trampa de grasas, esta con objetivo de reducir los niveles de grasas y aceites resultantes de actividades de limpieza. El segundo elemento es un biofiltro utilizando diversas cepas bacterianas, esto con el fin de degradar los contaminantes presentes en este tipo de aguas. La cepa con mayor porcentaje de degradación es la *Bacillus subtilis*, eliminando el 97 por ciento de los sulfonatos de alquilbenceno lineal.

El tercer elemento es un biofiltro utilizando distintos tipos de materiales granulares (3.2 m³ de grava gruesa, 3.2 m³ de grava, 6.4 m³ de gravilla, 8 m³ de arena fina), esto con objetivo de complementar al biofiltro bacteriano, reduciendo las concentraciones de los contaminantes en las aguas grises. El mayor porcentaje de retención del filtro con material granular son las bacterias provenientes del biofiltro bacteriano, reteniendo 97.8 por ciento. El último elemento propuesto en el sistema es un tanque de almacenamiento de agua, este con el fin de recolectar las agua ya tratadas y poderlas distribuir en tuberías para una nueva ciclo de aplicación.

Conclusiones

- La normativa chilena redactada por El Ministerio de Salud es adecuada para el diseño de sistemas de tratamiento de aguas grises.
- Para comprobar la calidad del efluente en Guatemala se debe utilizar el Acuerdo Gubernamental 236-2006.
- Se definió que el agua tratada tendrá una aplicación de llenado de cisternas, limpieza del hogar y/o llenado de fosa séptica del residencial.
- Para la elaboración de los planos del diseño civil se tomó un volumen de 32 m³ y se consideró la presión del agua, presión del suelo y fuerzas dinámicas.
- El agua saliente del sistema propuesto cumplió con los límites máximos establecidos por el Acuerdo Gubernativo 236-2006 de Guatemala y el Decreto 09-2001 de Chile, siempre y cuando se utilicen las bacterias propuestas.

10.1. Microbiología

- La caracterización del agua a tratar es un parámetro relevante a la hora de diseñar un sistema de tratamiento. En la presente propuesta se tomó una caracterización teórica del agua gris bruta (tomando los contaminantes presentes en algunos productos de limpieza) por lo que es importante hacer un estudio, a nivel de laboratorio, de los compuestos y sus concentraciones en las aguas grises brutas provenientes de drenajes de lavamanos, duchas, pilas y lavadoras de ropa.
- Los porcentajes de degradación de las cepas bacterianas son tomados de estudios previos de cada una de las bacterias, por lo que se debe de realizar un análisis a cada una de las bacterias para ver su capacidad de degradación, esto a través de estudios de laboratorio. Se propuso utilizar cada una de las distintas bacterias debido a su porcentaje de degradación y a la similitud del medio en donde habitan, pero estas pueden cambiarse (por otro tipo de bacteria) siempre y cuando su porcentaje de degradación sea mayor o igual que el de la bacteria propuesta en este sistema y que se desarrolle en el medio que presenta el biofiltro bacteriano.
- Cambiar las bacterias patógenas utilizadas en el biofiltro, como la *Pseudomonas aeruginosa* y *kebsiella pneumoniae*, por otras con un porcentaje de degradación similar. También se debe de estudiar cada bacteria para ver si esta no es un agente patógeno.
- Se debe de estudiar la interacción que hay entre todas las bacterias en el biofiltro y si estas pueden habitar en un mismo medio.
- Revisar, a la hora de cambiar de bacteria, que siga cumpliendo los límites máximos establecidos por la normativa utilizada.

10.2. Mecatrónica

- Elaborar un tipo de sensor el cual de las concentraciones, en tiempo real, de los contaminantes presentes tanto en las aguas brutas como en las aguas tratadas. Esto para automatizar el sistema propuesto.

10.3. Operación

- Se debe de compactar bien todas las capas del filtro con material granula. Una vez por mes se debe hacer una limpieza con agua limpia y a presión del filtro, también se debe de remover todo residuo retenido que se encuentre en la parte superior del filtro. Es recomendable cambiar el material granulométrico cada 3 o 5 años, limpiar el filtro vacío y remplazar las capas por el mismo tipo de material granular respetando los volumen iniciales.
- Con el fin de demostrar la efectividad del sistema propuesto, se debe de elaborar un prototipo que simule las condiciones de cada elemento que compone el sistema. Con este prototipo se probara la eficiencia de cada elemento del sistema. Es importante tener en cuenta que el sistema propuesto en este trabajo es considerando un residencial de 350 habitantes y que cada uno genere 70 litros/día de agua gris, por lo que hay que adecuar el volumen de los elementos que componen el sistema según la cantidad de agua gris bruta que se estime en el proyecto.
- Es importante que el sistema cuente con llaves de paso para cada tanque, esto por si se le quiere dar mantenimiento a un elemento del sistema. También el sistema debe de contar con ductos de ventilación los cuales deben de estar protegidos para evitar el ingreso de insectos y si el sistema va estar en el interior de un edificio el ducto de ventilación deberá evacuar los gases hacia el exterior; El sistema debe de contar con un rebosadero y desagüe de fondo conectados a la red de alcantarillado, para evitar rebases de aguas grises tratadas desde los estanques. Se debe de hacer un tratamiento adecuado para los lodos generados por el sistema. Es importante respetar las normativas de aguas grises que se planeé utilizar para el desarrollo de un sistema de tratamiento de aguas grises.

10.4. Diseño

- Se debe de desarrollar un sistema de red de tuberías de aguas grises.
- Se debe de diseñar los elementos para que estos sean capas de soportar la combinación del agua gris con el agua pluvial. Esto para que el sistema sea un sistema híbrido.
- Se deben de revisar los parámetros y normativas utilizadas en Centro América y México, ya que son las condiciones mas similares a Guatemala.
- Analizar la viabilidad de incorporar un tanque homogeneizador de caudales de entrada y un tanque al final del sistema, esto para suplir la demanda de las horas pico.

- Analizar que tan efectivo es colocar el filtro bacteriano antes que el filtro con material granular.
- Realizar estudio económico de la propuesta. Esto para ver que tan factible es desarrollar el sistema.
- Analizar la factibilidad de que la misma estructura sea capaz de soportar las distintas presiones o proponer otra solución para que la estructura no soporte tanta presión y así alargar la vida útil del sistema.
- Revisar alternativas variables a la propuesta.

-
- [1] A. España, *Manual de diseño para manejo de aguas grises para riego exterior*. Asociación Española de Empresas de Tratamiento y Control de Aguas, 2011.
 - [2] J. M. Sagasta, *Reutilización de aguas para agricultura en América latina y el caribe*. La Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la Agricultura, 2017.
 - [3] H. Garcia, *Caracterización y Propuesta de tratamiento de aguas residuales de la industria de galvanizado de lámina por inmersión en caliente*. Universidad San Carlos de Guatemala, 2014.
 - [4] S. C. y Jesús López, *Depuración de aguas residuales*. Elearning S.L, 2015.
 - [5] J. Morales, *Naturaleza del agua residual domestica y su tratamiento*. Universidad de piura, 2005.
 - [6] A. Mexico, *Demanda química de oxígeno*. Fondo para la comunicación y la educación ambiental, 2017.
 - [7] N. D. y Jorge Mejía, *Caracterización, evaluación y propuestas, para el mejoramiento de las plantas de tratamiento de agua residual domestica por lodos activados en la mina Marlin, ubicada en el departamento de San Marcos*. Universidad de San Carlos de Guatemala, 2013.
 - [8] E. J. y E. P. Gustavo Huerta, *Sistema automático recuperador de agua pluvial y aguas grises*. Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica Unidad Zacatenco, 2011.
 - [9] C. M. y E. D. Nestor Rogríguez, *Estudio de las aguas grises domésticas en tres niveles socio económicos de la ciudad de Bogotá*. Pontificia Universidad Javeriana, 2013.
 - [10] G. de Enxeñaría da Auga e do Medio Ambiente, *Reciclaje de aguas grises como complemento a las estrategias de la gestión sostenible*. Universidad Coruña, 2013.
 - [11] —, *Reutilización de aguas grises y vertido de aceites usados en la red de evacuación*. Escola Gremial d'Instal·ladors de Barcelona, 2012.
 - [12] W. Soto, *Sistemas de tratamiento de aguas grises domesticas, como una alternativa para la seguridad hídrica de tijuana*. CICESE, 2012.

- [13] S. Mellwaine y M. Redwood, *Graywater use in the Middle East: Technical, social, economic and policy issues*. Practical action publishing-Center for the study of the built environment-International development research Centre, 2010.
- [14] I. D. R. Centre, *Abordando el déficit de agua en Jordania*. IDRC, 2006.
- [15] V. C. y Marco Rodero, *"Diseño y construcción de un sistema electromecánico para reciclar aguas grises y conducir las a los servicios higiénicos de una casa promedio"*. Escuela Politecnica Nacional, 2009.
- [16] C. Diaper y G. Tjandraatmadja, *Sources of critical contaminants in domestic wastewater*. Smart Water Fund, 2006.
- [17] A. España, *Aguas residuales*. AQUA España, 2018.
- [18] R. Romero, *Detergentes con sin fosfatos*. Ingeniería y servicio integral contra incendios, 2011.
- [19] J. León, *Detergentes y tensoactivos como fuentes de contaminación en las aguas*. steemit, 2018.
- [20] M. Galvis, *Viabilidad Técnica y Económica del aprovechamiento de aguas grises domésticas*. Universidad Nacional de Colombia, 2013.
- [21] L. Allen, *Manual de diseño para manejo de aguas grises para riego exterior*. Greywater Action, 2015.
- [22] M. S. Valencia, *Eliminación biológica de nitrógeno y fósforo*. aguasresiduales.info, 2017.
- [23] E. Cortón, *Solucionando grandes problemas ambientales con ayuda de pequeños amigos: las técnicas de biorremediación*. Ecosistemas Revista científica y técnica de ecología y medio ambiente, 2006.
- [24] E. Salamanca, *Tratamiento de aguas para el consumo humano*. Universidad de Manizales, 2016.
- [25] Á. Aragon, *La biofiltración, una alternativa para la potabilización del agua*. Revista Lasallista de investigación, 2007.
- [26] P. Ruiz, *filtro con material granual*. geocities, 2012.
- [27] A. R. C. y Edwin Lenin Chica Arrieta, *Procesos de tratamiento de aguas residuales para la eliminación de contaminantes orgánicos emergentes*. Revista Ambiente y Agua, 2013.
- [28] M. de salud, *Proyecto de reglamento sobre condiciones sanitarias básicas para la reutilización de aguas grises*. Division de politicas publicas saludables y promoción, 2007.
- [29] M. de ambiente y recursos naturales, *Acuerdo gubernamental 236-2006*. Gobierno de Guatemala, 2006.
- [30] K. O. y Adriana Ramírez, *Diseño de una trampa de grasas en la planta de tratamiento de aguas residuales en una planta panificadora ubicada en el departamento del Atlántico*. Universidad de San Buenaventura, 2018.
- [31] J. López, *Diseño, construcción y evaluación de un filtro intermitente de arena pómez*. Universidad de San Carlos de Guatemala, 2012.
- [32] A. 350, *Diseño sísmico de estructuras contenedoras de líquidos (ACI350.3-0) y comentarios (305.3R-01)*. ACI, 2017.

- [33] J. F. y Nicolas Garrido, *Biorremediación de aguas contaminadas con detergentes por medio de bacterias quimiosintetizadoras*. Colegio Gerónimo Rendic, 2012.
- [34] A. Gomaa, *Biodegradation of Anionic Surfactants (SDS) by Bacteria Isolated from Waste Water in Taif Govern*. University of Texas at San Antonio, USA, 2018.
- [35] S. P. y Zulay Niño, *Uso de Enzimas de tipo ureasa en el tratamiento de aguas residuales con alto contenido de nitrógeno orgánico*. Universidad de Carabobo, 2007.
- [36] R. Goodnow y Arthur Harrison, *Bacterial Degradation of detergent Compounds*. Division of Biological, Sciences, University of Missouri, 1972.
- [37] M. Meneses, *Determinación de la efectividad de agentes microbianos para la deradación de tensoactivos soscil bencen sulfonato de sodio lineal presente en detergentes*. Escuela superior politécnica de chimborazo, 2018.
- [38] G. Alarcón, *Biodegreación de Al y Fe mediado por bacterias aisladas de zoa tropical*. Universidad nacional agraria de la selva, 2010.
- [39] K. V. y Walter Moreno, *Efecto de la temperatura y concentración microbiana de bacillus sp. En la degradación de grasa de agua residuale de curtiembre quimpiel*. Universidad nacional de trujillo, 2018.
- [40] M. I. y Mario Esparza, *Biorreducción de Cr (VI) a Cr (III) por bacterias resistentes a cromo aisladas del río Lerma*. Universidad Autónoma del estado de México, 2012.
- [41] D. García, *Evaluación de la capacidad de biorremoción de zinc en agua sintética de dos consorcios microbianos nativos, a escala de laboratorio*. Escuela Politécnica del ejército, 2011.
- [42] L. R. y Santiago Guerra, *Evaluación in vitro de la remoción de plomo en aguas residuales por Photobacterium damsela*. Universidad Politécnica Salesiana, 2017.
- [43] A. Sanches, *Biodegradación*. Ecologiahoy, 2011.
- [44] L. R. Pérez, *Gestión de agua y saneamiento sostenible*. BID, 2018.
- [45] A. Ramírez, *Presión hidrodinámica en tanques de almacenamiento producida por aceleración horizontal*. Instituto Mexicano de tecnología del agua, 1996.
- [46] J. Perez, *UNIDAD 3. FENÓMENOS DE SUPERFICIE. ADSORCIÓN*. Universidad Nacional Autónoma de México, 2014.

CAPÍTULO 12

Anexos

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería



Memoria de cálculo de
Propuesta de sistema de tratamiento
de aguas grises para uso en un residencial en el
departamento de Guatemala

Luis Ernesto Reyes Avila
Carné 14250
Guatemala, 2019

Datos generales

Datos Generales		
Numero de habitantes en el residencial	350	hab
Litros de agua gris generado por habitante	70	Litros
Litros de agua gris generado en residencial	24500	Litros
Volumen requerido	24.5	m ³
Peso específico de agua gris (γ_w)	1100	kgf/m ³
Peso específico del suelo considerado (γ_s)	1850	kgf/m ³
Peso específico del concreto (γ_c)	2400	kgf/m ³
f'_c	210	kgf/cm ²
Modulo de elasticidad del concreto (E_c)	218819.7889	kgf/m ²
Peso específico de impurezas γ_l	907.185	kgf/m ³
F_y	4,200	kgf/cm ²
Dimensiones propuestas para cumplir con los litros generados en el residencial		
Ancho (C)	4	m
Largo (b)	4	m
Altura total (a)	2	m
Alto de agua	1.7	m
Espesor de muro	0.2	m
Espesor de cubierta	0.12	m
Espesor de suelo	0.25	m
borde libre	0.3	m
Volumen de agua	27.2 m ³	

Comportamiento	
Luz larga/Luz corta	1
Comportamiento	Bidireccional

Datos sísmicos de la zona		
Por su ubicación		
Índice de sismicidad	I _o	4.2
Ordenada espectral periodo corto	S _{cr}	1.5
Ordenada espectral periodo de 1 s	S _{1r}	0.55
Clase de obra		
Clase de obra	Ordinaria	
Nivel de protección sísmica	D	
Probabilidad de excedencia	En años 50 años	10%
Ajuste por clase de sitio		
Clase de sitio	D	
Coeficiente de Sitio		

Datos generales

Coeficiente de sitio periodo corto	Fa	1
Coeficiente de sitio periodo largo	Fv	1.7
Ajuste por intensidades sísmicas especiales		
Factor para períodos cortos de vibración a 10 km	Na	1
Factor para períodos largos de vibración a 10 km	Nv	1
Factor de importancia para tanque	I	1
Modificación de respuesta sísmica para anclados, bas	Rw	1
Factor de escala		
Factor de acuerdo al nivel de sismo: sismo ordinario	Kd	0.66
Periodo		
Ts	1.604278075	
To	0.320855615	
Calibración de espectro sísmico		
$Scs=Scr*Fa*Na$	Scs	1.5
$S1s=S1r*Fv*Nv$	S1s	0.935
$Scd=Ks*Scs$	Scd	0.99
$S1d=Kd*S1s$	S1d	0.6171
Sistema estructural		
Sistema estructural (Sistema de marcos resistente a momento)	E1	
R	8	
Ω_r	3	
Cs	5.5	
ρ	1	
Periodo Fundamental de vibración		
hn	2	m
Kt	0.047	
x	0.85	
Ta	0.084717543	s
Tmax	0.118604561	s
Coeficiente sísmico al límite de cedencia		
Sa	0.99	g
Cs	0.12375	
Cs min 1	0.04356	
Cs min 2	0.03403125	

Fuerzas dinámicas

Condiciones de Borde en paredes y tapa del tanque		
E concreto	98512.75552	psi
E concreto	679245449.3	Pa
Pared		
b	1	m
h	0.2	m
L	4	m
$I = (bh^3)/12$	0.000666667	m ⁴
$K \text{ pared} = 4*EI/L$	452830.2995	N/m
Tapa		
h	0.12	m
$I = (bh^3)/12$	0.000144	m ⁴
$K \text{ tapa} = 4*EI/L$	97811.3447	N/m
$K \text{ pared}/K \text{ tapa}$	4.62962963	
Condición de apoyo pared tapa	Simplemente apoyado	

Presión estático del agua (distribución triangular)		
$q_{\text{agua}} = \gamma_w * H$	2200	kg/m ²
L	4.2	m
Peso del agua Wl	32986.8	kgf
Fuerza impulsiva, Wi	14996.37358	kgf
Fuerza convectiva, Wc	8262.164774	kgf

Fuerzas dinámicas laterales		
Factor de zona, Z	0.4	
Factor de suelo, S	1	
Factor de importancia, I	1.25	
f.modif respuesta, Rwi	4	
f.modif. Respuesta, Rwc	1	
ε Coeficiente de masa efectiva	1	
$Sds = 2/3 * S_{cr} * F_a$	1	
$Sd1 = 2/3 * S1s * F_v$	1.060	
$T_s = Sd1/Sds$	1.060	s
mw	6.932	
mi	306.067	
$m = mw + mi$	312.999	
Ti	0.165	s
λ=	5.200	
Tc	2.476	s

Fuerzas dinámicas

Fuerzas dinámicas laterales		
Ci	2.75	
Cc	0.98	
Pi	5155.00	kg
Pc	4042.72	kg
L/HI	2.47	
hi	0.6375	m
hc	0.949615197	m
y	0	
Presiones dinámicas		
P dinámica, convectiva unitaria, Pcy	770.99	kg/m
P dinámica, impulsiva unitaria, Piy	2653.31	kg/m
$\varepsilon=$	0.641779239	
Chequeo	OK	
Fuerza de inercia unitaria, Pwy	37.06	kg/m

Diseño de trampa de grasas

Suelo de Cimentación				Agua gris			
Peso específico	Y=	1850	kgf/m ³	Peso espec. Del agua	yw=	1100	kgf/m ³
Angulo de fricción	Φ=	30					
Presión última del suelo	Qsuelo	3	kgf/cm ²				
Materiales para construcción del Muro				Suelo de Relleno			
Concreto Tipo	fc	210	kgf/cm ²	Peso específico	Ys=	1500	kg/m ³
Acero de Refuerzo	fy	4,200	kgf/cm ²	Angulo de fricción	Φ=	30	
Peso específico concreto	Yc	2400	kgf/m ³				
Condición Sísmica				Condición Sísmica			
Indice de sismicidad	Io	4.2					
	Ao	0.25					
pre-dimensionamiento							
Datos de Muros				Datos cubierta			
Largo	b	4	m	Espesor	e=	0.12	m
Alto Total	h	2	m	Recubrimiento	r=	0.05	m
Altura del agua	ha	1.7	m	d	d=	0.07	
Datos de losa inferior							
Espesor		0.25	m				
recubrimiento		0.07	m				
d=		0.18	m				
Caso 1: Tanque lleno sin suelo							
Agua llena				Fuerza impulsiva			
W = yw (h ² /2)=	1589.5	kgf/m		Piy=	1326.66	kgf/m	
Punto de aplicación	0.5666667	m		Punto de aplicación	0.6375	m	
M=W*x	900.71667	kgf-m		M=W*x	845.742749	kgf-m	
V	6171	kgf		V	6186.0041	kgf	
Fuerza convectiva				Fuerza inercial del muro			
Pcy=	385.50	kgf/m		Pwy=	37.06	kgf/m	
Punto de aplicación	0.9496152	m		Punto de aplicación	1	m	
M=W*x	366.07192	kgf-m		M=W*x	37.062751	kgf-m	
V	3408.143	kgf		V	37.062751	kgf	
Momento total	1248.8774	kgf-m		Corte	9631.20982		
Mu1=	1998.2039	kgf-m		Vu1=	15409.9357	kgf	
Caso 2: Sobrecarga de Suelo + Tanque vacío							
Empuje de tierra							
P= 1/2 Kah y _i Hi ² =	1000	kgf/m					
Kah= (1-sinθ)/(1+sinθ)	0.3333333						
Punto de aplicación	0.6666667	m					
Momento				corte			
Mu2	1066.67	kgf-m		Vu2	15840	kgf	
Caso 3 Empuje de Suelo +Sismo							
Coeficiente de presión dinámica activa							
Ka=	$\frac{\text{Sen}2(\Psi+\Phi-\Theta)}{\cos\Theta*\text{sen}2\Psi*\text{sen}(\Psi-\delta-\Theta)[1+v(\text{sen}(\Phi+\delta)\text{sen}(\Phi-\beta-\Theta))\text{sen}(\Psi-\delta-\Phi)\text{sen}(\Psi+\beta)]}$						
δ= 2/3Φ	20						
Φ=	30						
Ψ=	90			Ka	0.40		
β=	0						
Θ=	7.8						
Csh= 0.5Ao	0.125						
Ao	0.25						
Csv= 0.7Csh	0.0875						
Empuje Activa total							
EA=	1684.08	kgf/m					
P	1000	kgf/m		0.406			
ΔDEa = (1/2 YH ²)(Kas-Ka)(1-Csv)	684.08	kgf/m					
Punto de aplicación=	0.6666667	m					
Momento				Corte			
M3=P*x	1796.35	kgf-m		Vu3	16334.4611	kgf	

Diseño de trampa de grasas

Calculo del acero de refuerzo para muro			
		Acero a utilizar	
El acero se colocara en doble cama a la separación escogida			
t=	0.2	m	
Asmin	4	cm ²	0.11 m
Varilla No.	4	@	
As=	11.5	cm ²	
Momento nominal			
$\phi Mn = \phi As \cdot fy \cdot (d-a/2)$	5069.3691	kgf-m	
$a = As \cdot Fy / 0.85 \cdot fc \cdot b$	0.6764706	cm	
As=	11.5	cm ²	
b	400	cm	
$\phi =$	0.9		
recubrimiento	4	cm	
d=	12	cm	
Chequeo			
Mu	999.10	kgf-m	
ϕMn	5069.3691	kgf-m	
$\phi Mn > Mu$	Cumple		
Corte			
$\phi Vc = \phi 2 \sqrt{f'c} \cdot b \cdot d$	104337.91		
b=	400	cm	
d=	12	cm	
$\phi =$	0.75		
Vu	16334.461		
Chequeo			
$\phi Vc > Vu$	Cumple		
Acero por fraguado y temperatura (horizontal)			
El acero se colocara en doble cama a la separación escogida			
Asmin=	2.16	cm ² /cm	
Varilla no.	3	@	0.2 m
As=	3.6	cm ²	
$Mu/\phi \cdot b \cdot d^2$	0.077091199		
ρ_{min}	0.0018		
Momento resistente (gravitarorio)			
Wpp	960	kgf	
x	0.1	m	
Mpp	96	kgf·m	
Wsobrecarga	1892	kgf	
x	0.1	m	
Msobrecarga	189.2	kgf·m	
Mt	2081.2		
Mu	3329.92		
Chequeo	No considerar		
Calculo del acero de refuerzo para cubierta			
Cargas sobre losa			
Peso propio del concreto	288	kgf/m ²	
Sobre carga	85	kgf/m ²	
Carga Viva	100	kgf/m ²	
W total	473	kgf/m ²	
Momento ultimo			
L	4	m	
W=	473	kgf/m ²	
$M = W \cdot L^2 / 8$	946	kgf-m	
$Mu = 1.4 \cdot M$	1324.4	kgf-m	
Momento nominal			
$\phi Mn = \phi As \cdot fy \cdot (d-a/2)$	1921.9632	kgf-m	
$a = As \cdot Fy / 0.85 \cdot fc \cdot b$	0.4411765	cm	
As =	7.5	cm ²	
b =	400	cm	
$\phi =$	0.9		
recubrimiento =	2.5	cm	
d =	7	cm	
Chequeo			
Mu=	1324.4	kgf-m	
$\phi Mn=$	1921.9632	kgf-m	
$\phi Mn > Mu$	Cumple		
Chequeo por corte		Chequeo de deflexión	
$\phi Vc = \phi 2 \sqrt{f'c} \cdot b \cdot d$	60863.782	$U = wL^4 / 384EI$	11.06237878
b =	400	E=	69283035.83
d =	7	I=	0.000576
$\phi =$	0.75	Uadm=L/360	11.11
Vu=	946	$\delta < Uadm$	Cumple
$\phi Vc > Vu$	Cumple		
Calculo del acero de refuerzo para losa inferior			
Carga sobre losa		Acero a utilizar	
Peso propio del concreto	600	kgf/m ²	
Peso del agua	1870	kgf/m ²	
peso de elementos sostenidos	2393.00		
W total	4863	kgf/m ²	
Momento nominal		Chequeo por corte	
L=	4	m	$\phi Vc = \phi 2 \sqrt{f'c} \cdot b \cdot d$
$M = W \cdot L^2 / 12$	6484	kgf-m	156506.8689
$Mu = 1.4 \cdot M$	9077.6	kgf-m	b =
			400
			d =
			18
			$\phi =$
			0.75
			Vu=
			9726
			$\phi Vc > Vu$
			Cumple

Diseño de trampa de grasas

Calculo del acero de refuerzo para losa inferior			
Momento Resistente			
$\phi M_n = \phi A_s \cdot f_y \cdot (d - a/2)$	10085.218	kgf-m	
$a = A_s \cdot f_y / (0.85 \cdot f_c \cdot b)$	0.8941176	cm	
$A_s =$	15.2	cm ²	
$b =$	400	cm	
$\phi =$	0.9		
recubrimiento =	7	cm	
$d =$	18	cm	
Chequeo			
$M_u =$	9077.6	kgf-m	
$\phi M_n =$	10085.218	kgf-m	
$\phi M_n > M_u$	Cumple		
Chequeo de deflexión			
$U = wL^4 / 384EI$	0.012578109	mm	
$E =$	69283035.83		
$I =$	0.005208333		
$U_{adm} = L/360$	11.11111111	mm	
$\delta < U_{adm}$	Cumple		
Acero por fraguado y temperatura (horizontal)			
El acero se colocara en doble cama a la separación escogida			
$A_{smin} =$	3.24	cm ² /ft	
Varilla no.	3	@	0.2 m
$A_s =$	3.6	cm ²	
$M_u / \phi \cdot b \cdot d^2$	0.311303155		
ρ_{min}	0.0018		

Diseño de Biofiltro

Suelo de Cimentación			
Peso específico	$\gamma =$	1850	kgf/m ³
Angulo de fricción	$\Phi =$	20	
Presión última del suelo	Q_{suelo}	3	kgf/cm ²
Materiales para construcción del Muro			
Concreto Tipo	f_c	210	kgf/cm ²
Acero de Refuerzo	f_y	4,200	kgf/cm ²
Peso específico concreto	γ_c	2400	kgf/m ³
Agua gris			
Peso espec. Del agua	$\gamma_w =$	1100	kgf/m ³
Suelo de Relleno			
Peso específico	$\gamma_s =$	1500	kg/m ³
Angulo de fricción	$\Phi =$	30	
Condición Sísmica			
Índice de sísmicidad	I_o	4.2	
	A_o	0.25	
pre-dimensionamiento			
Datos de Muros			
Largo	b	4	m
Alto Total	h	2	m
Altura del agua	h_a	1.7	m
Datos de losa inferior			
Espesor		0.25	m
recubrimiento		0.07	m
$d =$		0.18	m
Datos cubierta			
Espesor		$e =$	0.12 m
Recubrimiento		$r =$	0.05 m
d		$d =$	0.07
Caso 1: Tanque lleno sin suelo			
Agua llena		Fuerza impulsiva	
$W = \gamma_w (h^2/2) =$	1589.5	$P_{iy} =$	1326.66
Punto de aplicación	0.5666667	Punto de aplicación	0.6375
$M = W * x$	900.71667	$M = W * x$	845.742749
$V =$	6171	$V =$	6186.0041
Fuerza convectiva		Fuerza inercial del muro	
$P_{cy} =$	385.50	$P_{wy} =$	37.06
Punto de aplicación	0.9496152	Punto de aplicación	1
$M = W * x$	366.07192	$M = W * x$	37.062751
$V =$	3408.143	$V =$	37.062751
Momento total	1248.8774	Corte	9631.20982
$Mu1 =$	1998.2039	$Vu1 =$	15409.9357
Caso 2: Sobrecarga de Suelo + Tanque vacío			
Empuje activo de tierra			
$P = 1/2 K_a \gamma_s H^2 =$	1000		
$K_a = (1 - \sin\theta) / (1 + \sin\theta)$	0.3333333		
Punto de aplicación	1.3333333		
Momento		corte	
$Mu2 =$	2133.33	$Vu2 =$	15840
	kgf-m		kgf
Caso 3 Empuje de Suelo + Sismo			
Coefficiente de presión dinámica activa			
$K_a =$	$\frac{\text{Sen}^2(\Psi + \Phi - \Theta)}{\cos\Theta * \text{sen}2\Psi * \text{sen}(\Psi - \delta - \Theta) [1 + v(\text{sen}(\Phi + \delta)\text{sen}(\Phi - \beta - \Theta))]^2 \text{sen}(\Psi - \delta - \Phi)\text{sen}(\Psi + \beta)}$		
	$\delta = 2/3\Phi$	20	
	$\Phi =$	30	
	$\Psi =$	90	
	$\beta =$	0	
	$\Theta =$	7.8	
	$C_{sh} = 0.5A_o$	0.125	
	$A_o =$	0.25	
	$C_{sv} = 0.7C_{sh}$	0.0875	
	$K_a =$	0.40	
Empuje Activa total			
$E_A =$	1684.08		
$P =$	1000	0.406	
$\Delta DE_a = (1/2 YH^2)(K_a - K_a)(1 - C_{sv})$	684.08		
Punto de aplicación =	1.3333333		
Momento		Corte	
$M3 = P * x$	3592.70	$Vu3 =$	16334.4611
	kgf-m		kgf

Diseño de Biofiltro

Cálculo del acero de refuerzo para muro			
		Acero a utilizar	
El acero se colocara en doble cama a la separación escogida			
t=	0.2	m	
Asmin	4	cm ²	0.11 m
Varilla No.	4	@	
As=	11.5	cm ²	
Momento nominal			
$\phi Mn = \phi As \cdot fy \cdot (d-a/2)$	5069.3691	kgf-m	
$a = As \cdot Fy / 0.85 \cdot Fc \cdot b$	0.6764706	cm	
As=	11.5	cm ²	
b=	400	cm	
$\phi =$	0.9		
recubrimiento	4	cm	
d=	12	cm	
Chequeo			
Mu	1796.35	kgf-m	
ϕMn	5069.3691	kgf-m	
$\phi Mn > Mu$	Cumple		
Corte			
$\phi Vc = \phi 2 \sqrt{f'c} b d$	104337.91		
b=	400	cm	
d=	12	cm	
$\phi =$	0.75		
Vu	16334.461		
Chequeo			
$\phi Vc > Vu$	Cumple		
Cálculo del acero de refuerzo para cubierta			
Cargas sobre losa			
Peso propio del concreto	288	kgf/m ²	
Sobre carga	85	kgf/m ²	
Carga Viva	100	kgf/m ²	
W total	473	kgf/m ²	
Momento ultimo			
L	4	m	
W=	473	kgf/m ²	
$M = W \cdot L^2 / 8$	946	kgf-m	
$Mu = 1.4 \cdot M$	1324.4	kgf-m	
Momento nominal			
$\phi Mn = \phi As \cdot fy \cdot (d-a/2)$	1921.9632	kgf-m	
$a = As \cdot Fy / 0.85 \cdot Fc \cdot b$	0.4411765	cm	
As =	7.5	cm ²	
b =	400	cm	
$\phi =$	0.9		
recubrimiento =	2.5	cm	
d =	7	cm	
Chequeo			
Mu=	1324.4	kgf-m	
ϕMn =	1921.9632	kgf-m	
$\phi Mn > Mu$	Cumple		
Chequeo por corte			
$\phi Vc = \phi 2 \sqrt{f'c} b d$	60863.782		
b =	400		
d =	7		
$\phi =$	0.75		
Vu=	946		
$\phi Vc > Vu$	Cumple		
		Chequeo de deflexión	
$U = wL^4 / 384EI$	11.06237878	mm	
E=	69283035.83	kgf/m ²	
I=	0.000576	m ³	
Uadm=L/360	11.11	mm	
$\phi < Uadm$	Cumple		
Cálculo del acero de refuerzo para losa inferior			
Carga sobre losa			
Peso propio del concreto	600	kgf/m ²	
Peso del agua	1870	kgf/m ²	
peso de elementos sostenidos	2393.00		
W total	4863	kgf/m ²	
Momento nominal			
L=	4	m	
$M = W \cdot L^2 / 12$	6484	kgf-m	
$Mu = 1.4 \cdot M$	9077.6	kgf-m	
		Chequeo por corte	
$\phi Vc = \phi 2 \sqrt{f'c} b d$	156506.8689	kgf	
b =	400	cm	
d =	18	cm	
$\phi =$	0.75		
Vu=	9726	kgf	
$\phi Vc > Vu$	Cumple		
		Acero a utilizar	
El acero se colocara en doble cama a la separación escogida			
Asmin=	5	cm ²	
Varilla no.	5	@	0.11 m
As=	18	cm ²	

Diseño de Biofiltro

Calculo del acero de refuerzo para losa inferior			
Momento Resistente			
$\phi M_n = \phi A_s \cdot f_y \cdot (d - a/2)$	11886.988	kgf-m	
$a = A_s \cdot F_y / 0.85 \cdot F_c \cdot b$	1.0588235	cm	
$A_s =$	18	cm ²	
$b =$	400	cm	
$\phi =$	0.9		
recubrimiento =	7	cm	
$d =$	18	cm	
Chequeo			
$M_u =$	9077.6	kgf-m	
$\phi M_n =$	11886.988	kgf-m	
$\phi M_n > M_u$	Cumple		
Chequeo de deflexión			
$U = wL^4 / 384EI$	0.012578109	mm	
$E =$	69283035.83		
$I =$	0.005208333		
$U_{adm} = L/360$	11.11111111	mm	
$\delta < U_{adm}$	Cumple		
Acero por fraguado y temperatura (horizontal)			
El acero se colocara en doble cama a la separación escogida			
$A_{smin} =$	3.24	cm ² /ft	
Varilla no.	4	@	0.3 m
$A_s =$	4.2	cm ²	
$M_u / \phi \cdot b \cdot d^2$	0.311303155		
ρ_{min}	0.0018		

Diseño de biofiltro con material granular

Suelo de Cimentación				Agua gris			
Peso específico	Ys=	1850	kgf/m ³	Peso espec. Del agua	yw=	1100	kgf/m ³
Angulo de fricción	Φ=	20					
Presión última del suelo	Qsuelo	3	kgf/cm ²				
Materiales para construcción del Muro				Suelo de Relleno			
Concreto Tipo	f _c	210	kgf/cm ²	Peso específico	Ys=	1500	kgf/m ³
Acero de Refuerzo	f _y	4,200	kgf/cm ²	Angulo de fricción	Φ=	30	
Peso específico concreto	Y _c	2400	kgf/m ³				
Materia granulométrico				Condición Símica			
Peso espec. De la arena fina	yaf=	1990	kgf/m ³	Índice de simicidad	Io	4.2	
Peso espec. De la gravilla	ygr=	2000	kgf/m ³	Ao		0.25	
Grava	y _g	2700	kgf/m ³				
Grava gruesa	Y _{gg}	1450	kgf/m ³				
Altura del material granular							
	haf=	0.5	m				
	hgr=	0.4	m				
	hg=	0.2	m				
	hgg=	0.2	m				
pre-dimensionamiento							
Datos de Muros				Datos cubierta			
Largo	b	4	m	Espesor	e=	0.12	m
Alto Total	h	2	m	Recubrimiento	r=	0.05	m
Altura del agua	ha	1.7	m	d	d=	0.07	
Datos de losa inferior				relacion Q/A			
Espesor		0.25	m			1.063368056	(L ³ /min)/m ²
recubrimiento		0.07	m	tipo de filtrado		filtrado lento	
d=		0.18	m				
Caso 1. Tanque lleno de agua y material granular, sin suelo							
Agua llena		Arena fina		Fuerza impulsiva			
W = yw (h ² /2)=	1589.5	kgf/m	Waf=yaf(h ² /2)=	248.75	kgf/m	Piy=	1326.66
Punto de aplicación	0.566666667	m	Punto de aplicación	0.166666667	m	Punto de aplicación	0.6375
M=W*x	900.7166667	kgf-m	M=W*x	41.45833333	kgf-m	M=W*x	845.742749
V	6171	kgf	V	3283.5	kgf	V	6186.0041
Fuerza conectiva		Gravilla		Fuerza inercial del muro			
Pcy=	385.50	kgf/m	Wgr=ygr(h ² /2)=	160	kgf/m	Pwy=	37.06
Punto de aplicación	0.949615197	m	Punto de aplicación	0.633333333	m	Punto de aplicación	1
M=W*x	366.071918	kgf-m	M=W*x	101.3333333	kgf-m	M=W*x	37.062751
V	4131.082387	kgf	V	2640	kgf	V	37.062751
Grava		Grava gruesa					
Wg=yaf(h ² /2)=	54	kgf/m	Wgg=yaf(h ² /2)=	29	kgf/m		
Punto de aplicación	0.966666667	m	Punto de aplicación	1.166666667	m		
M=W*x	52.2	kgf-m	M=W*x	33.83333333	kgf-m		
V	1782	kgf	V	957	kgf		
Momento total	1477.702418	kgf-m	Corte	19016.6492			
Mu1=	2364.323868	kgf-m	Vu1=	30426.6388	kgf		
Caso 2. Sobrecarga de Suelo +Tanque vacío							
Empuje activo de tierra							
P= 1/2 Kah y, Ht ² =	1000	kgf/m					
Kah= (1-sinθ)/(1+sinθ)	0.333333333						
Punto de aplicación	1.333333333	m					
Momento			corte				
Mu2	2133.33	kgf-m	Vu2	15840	kgf		
Caso 3 Empuje de Suelo +Sismo							
Coefficiente de presión dinámica activa							
$Ka = \frac{\text{Sen}2(\Psi + \Phi - \Theta)}{\cos\Theta \cdot \text{sen}2\Psi \cdot \text{sen}(\Psi - \delta - \Theta) [1 + \text{v}(\text{sen}(\Phi + \delta) \text{sen}(\Phi - \beta - \Theta))^2 + \text{sen}(\Psi - \delta - \Phi) \text{sen}(\Psi + \beta)]}$							
$\delta = 2/3\Phi \quad \Phi = 30 \quad \Psi = 90 \quad \beta = 0 \quad \Theta = 7.8 \quad \text{Kas} = 0.40$							
$Csh = 0.5Ao \quad Ao = 0.25 \quad Csv = 0.7Csh \quad 0.0875$							
Empuje Activa total							
EA=	1684.08	kgf/m					
P	1000	kgf/m	0.406				
ΔDEa = (1/2 YH ²)(Kas-Ka)(1-Csv)	684.08	kgf/m					
Punto de aplicación=	1.333333333	m					
Momento							
M3=P*x	3592.70	kgf-m	Vu3	16334.4611	kgf		

Diseño de biofiltro con material granular

Cálculo del acero de refuerzo para muro (muros a dirección del sismo)			
		Acero a utilizar	
El acero se colocara en doble cama a la separación escogida			
t=	0.25	m	
Asmin	5	cm ²	0.16 m
Varilla No.	4	@	
As=	7.9	cm ²	
Momento nominal			
$\phi Mn = \phi As \cdot fy \cdot (d-a/2)$	5007.154765	kgf-m	
$a = As \cdot fy / 0.85 \cdot fc \cdot b$	0.464705882	cm	
As=	7.9	cm ²	
b=	400	cm	
$\phi =$	0.9		
recubrimiento	4	cm	
d=	17	cm	
Chequeo			
Mu	1796.35	kgf-m	
ϕMn	5007.154765	kgf-m	
$\phi Mn > Mu$	Cumple		
Corte			
$\phi Vc = \phi 2 \sqrt{f'c} b d$	147812.0428		
b=	400	cm	
d=	17	cm	
$\phi =$	0.75		
Vu	30426.63879		
Chequeo			
$\phi Vc > Vu$	Cumple		
Momento resistente (gravitarorio)			
Wpp	1200	kgf	
x	0.125	m	
Mpp	150	kgf*m	
Wsobrecarga	1892	kgf	
x	0.125	m	
Msobrecarga	236.5	kgf*m	
Mt	2128.5		
Mu	3405.6		
Chequeo	No considerar		
Acero por fraguado y temperatura (horizontal)			
El acero se colocara en doble cama a la separación escogida			
Asmin=	3.06	cm ² /ft	
Varilla no.	3	@	0.2 m
As=	3.6	cm ²	
$Mu/\phi \cdot b \cdot d^2$	0.069063855		
ρ_{min}	0.0018		
Cálculo del acero de refuerzo para cubierta			
Cargas sobre losa			
Peso propio del concreto	288	kgf/m ²	
Sobre carga	85	kgf/m ²	
Carga Viva	100	kgf/m ²	
W total	473	kgf/m ²	
Momento ultimo			
L	4	m	
W=	473	kgf/m ²	
$M=W \cdot L^2/8$	946	kgf-m	
$Mu=1.4 \cdot M$	1324.4	kgf-m	
Momento nominal			
$\phi Mn = \phi As \cdot fy \cdot (d-a/2)$	1921.963235	kgf-m	
$a = As \cdot fy / 0.85 \cdot fc \cdot b$	0.441176471	cm	
As =	7.5	cm ²	
b =	400	cm	
$\phi =$	0.9		
recubrimiento =	2.5	cm	
d =	7	cm	
Chequeo			
Mu=	1324.4	kgf-m	
ϕMn =	1921.963235	kgf-m	
$\phi Mn > Mu$	Cumple		
Chequeo por corte		Chequeo de deflexión	
$\phi Vc = \phi 2 \sqrt{f'c} b d$	60863.78233	$U=W \cdot L^4/384EI$	0.011062379 mm
b =	400	E=	69283035.83 kgf/m ²
d =	7	I=	0.000576
$\phi =$	0.75	Uadm=L/360	11.11 mm
Vu=	946	$\phi < Uadm$	Cumple
$\phi Vc > Vu$	Cumple		
Cálculo del acero de refuerzo para losa inferior			
Carga sobre losa		Acero a utilizar	
Peso propio del concreto	600	kgf/m ²	
Peso del agua	1870	kgf/m ²	
Peso de la arena fina	995	kgf/m ²	
Peso de la gravilla	800	kgf/m ²	
Peso de la grava	540	kgf/m ²	
Peso de la grava gruesa	290	kgf/m ²	
W total	5095	kgf/m ²	
Momento nominal		Chequeo por corte	
L=	4	m	
$M=W \cdot L^2/12$	6793.333333	kgf-m	
$Mu=1.4 \cdot M$	9510.666667	kgf-m	
Momento Resistente		$\phi Vc = \phi 2 \sqrt{f'c} b d$	156506.8689 kgf
$\phi Mn = \phi As \cdot fy \cdot (d-a/2)$	10085.21788	kgf-m	
$a = As \cdot fy / 0.85 \cdot fc \cdot b$	0.894117647	cm	
As =	15.2	cm ²	
b =	400	cm	
$\phi =$	0.9		
recubrimiento =	7	cm	
d =	18	cm	
Vu=	10190	kgf	
$\phi Vc > Vu$	Cumple		
Chequeo de deflexión		Chequeo de deflexión	
$U=W \cdot L^4/384EI$	0.013178175 mm	$U=W \cdot L^4/384EI$	0.013178175 mm
E=	69283035.83	E=	69283035.83
I=	0.005208333	I=	0.005208333
Uadm=L/360	11.11111111 mm	Uadm=L/360	11.11111111 mm
$\phi < Uadm$	Cumple	$\phi < Uadm$	Cumple

Diseño de biofiltro con material granular

Cálculo del acero de refuerzo para losa inferior			
Chequeo Momentos		Acero por fraguado y temperatura (horizontal)	
El acero se colocara en doble cama a la separación escogida			
Mu=	9510.666667	kgf-m	
ϕMn=	10085.21788	kgf-m	
ϕMn>Mu	Cumple		
Asmin=	3.24	cm ² /ft	
Varilla no.	3	@	0.2 m
As=	3.6	cm ²	
Mu/ϕ*b*d ²	0.32615455		
ρmin	0.0018		

Diseño de tanque de almacenamiento de aguas tratadas

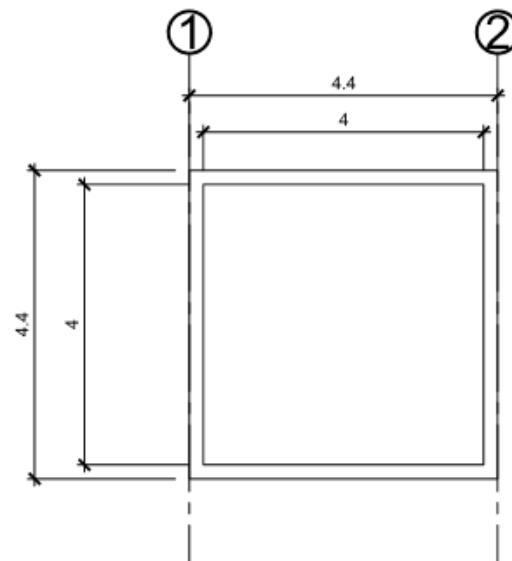
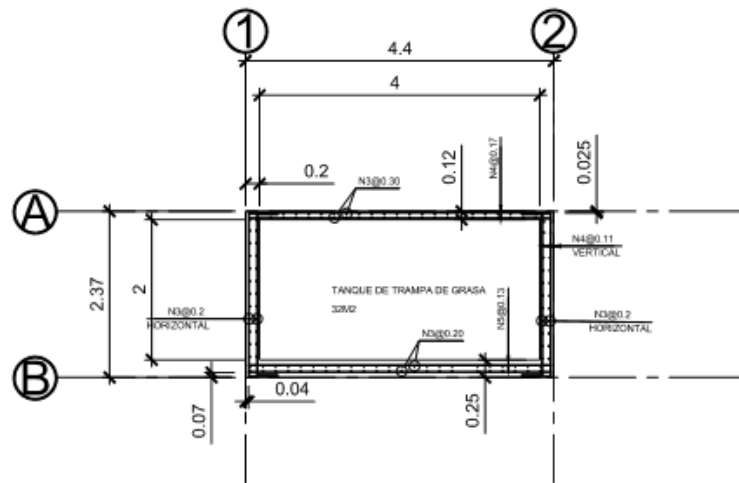
Suelo de Cimentación				Agua gris			
Peso específico	γs=	1850	kgf/m ³	Peso espec. Del agua	γw=	1000	kgf/m ³
Angulo de fricción	Φ=	20					
Presión última del suelo	Qsuelo	3	kgf/cm ²				
Materiales para construcción del Muro				Suelo de Relleno			
Concreto Tipo	fc	210	kgf/cm ²	Peso específico	γs=	1500	kg/m ³
Acero de Refuerzo	fy	4,200	kgf/cm ²	Angulo de fricción	Φ=	30	
Peso específico concreto	Yc	2400	kgf/m ³				
pre-dimensionamiento				Condición Sísmica			
Datos de Muros				Datos cubierta			
Largo	b	4	m	Espesor	e=	0.12	m
Alto Total	h	2	m	Recubrimiento	r=	0.05	m
Altura del agua	ha	1.7	m	d	d=	0.07	
Datos de losa inferior							
Espesor		0.25	m				
recubrimiento		0.07	m				
d=		0.18	m				
Caso 1. Tanque lleno sin suelo							
Agua llena				Fuerza impulsiva			
W = γw (h ² /2)=		1445	kgf/m	Piy=		1326.66	kgf/m
Punto de aplicación		0.5666667	m	Punto de aplicación		0.6375	m
M=W*x		818.83333	kgf-m	M=W*x		845.742749	kgf-m
V		5610	kgf	V		6186.0041	kgf
Fuerza convectora				Fuerza inercial del muro			
Pcy=		385.50	kgf/m	Pwy=		37.06	kgf/m
Punto de aplicación		0.9496152	m	Punto de aplicación		1	m
M=W*x		366.07192	kgf-m	M=W*x		37.062751	kgf-m
V		3408.143	kgf	V		37.062751	kgf
Momento total		1248.8774	kgf-m	Corte		9631.20982	
Mu1=		1998.2039	kgf-m	Vu1=		15409.9357	kgf
Caso 2: Sobrecarga de Suelo + Tanque vacío							
Empuje activo de tierra							
P= 1/2 Kah γs Ht ² =		1000	kgf/m				
Kah= (1-sinθ)/(1+sinθ)		0.3333333					
Punto de aplicación		1.3333333	m				
Momento				corte			
Mu2		2133.33	kgf-m	Vu2		15840	kgf
Caso 3 Empuje de Suelo +Sismo							
Coeficiente de presión dinámica activa							
Ka=		$\frac{\text{Sen}2(\Psi+\Phi-\Theta)}{\cos\Theta \cdot \text{sen}2\Psi \cdot \text{sen}(\Psi-\delta-\Theta) [1+v(\text{sen}(\Phi+\delta)\text{sen}(\Phi-\beta-\Theta))]^2}$ $\frac{\text{sen}(\Psi-\delta-\Phi)\text{sen}(\Psi+\beta)}{\text{sen}(\Psi-\delta-\Phi)\text{sen}(\Psi+\beta)}$					
	δ= 2/3Φ	20					
	Φ=	30					
	Ψ=	90		Kas		0.40	
	β=	0					
	Θ=	7.8					
	Csh= 0.5Ao	0.125					
	Ao	0.25					
	Csv= 0.7Csh	0.0875					
Empuje Activa total							
EA=		1684.08	kgf/m				
P		1000	kgf/m			0.406	
ΔDEa = (1/2 YH ²)(Kas-Ka)(1-Csv)		684.08	kgf/m				
Punto de aplicación=		1.3333333	m				
Momento				Corte			
M3=P*x		3592.70	kgf-m	Vu3		14849.51009	kgf

Diseño de tanque de almacenamiento de aguas tratadas

Cálculo del acero de refuerzo para muro (muros a dirección del sismo)			
		Acero a utilizar	
El acero se colocara en doble cama a la separación escogida			
t=	0.2	m	
Asmin	4	cm ²	0.11 m
Varilla No.	4	@	
As=	11.5	cm ²	
Momento nominal			
$\phi Mn = \phi As \cdot fy \cdot (d-a/2)$	5069.3691	kgf-m	
$a = As \cdot Fy / 0.85 \cdot Fc \cdot b$	0.6764706	cm	
As=	11.5	cm ²	
b	400	cm	
$\phi =$	0.9		
recubrimiento	4	cm	
d=	12	cm	
Chequeo			
Mu	1796.35	kgf-m	
ϕMn	5069.3691	kgf-m	
$\phi Mn > Mu$	Cumple		
Corte			
$\phi Vc = \phi 2 \sqrt{f'c} b d$	104337.91		
b=	400	cm	
d=	12	cm	
$\phi =$	0.75		
Vu	15840		
$\phi Vc > Vu$	Cumple		
Momento resistente (gravitatorio)			
Wpp	960	kgf	
x	0.1	m	
Mpp	96	kgf*m	
Wsobrecarga	1892	kgf	
x	0.1	m	
Msobrecarga	189.2	kgf*m	
Mt	2081.2		
Mu	3329.92		
Chequeo	No considerar		
Acero por fraguado y temperatura (horizontal)			
El acero se colocara en doble cama a la separación escogida			
Asmin=	2.16	cm ² /ft	
Varilla no.	3	@	0.45 m
As=	1.6	cm ²	
$Mu / \phi \cdot b \cdot d^2$	0.13860732		
ρ_{min}	0.0018		
Cálculo del acero de refuerzo para cubierta			
Cargas sobre losa		Acero a utilizar (vertical)	
Peso propio del concreto	288	kgf/m ²	
Sobre carga	85	kgf/m ²	
Carga Viva	100	kgf/m ²	
W total	473	kgf/m ²	
Acero por fraguado y temperatura (horizontal)			
El acero se colocara en doble cama a la separación escogida			
Asmin=	1.26	cm ² /ft	
Varilla no.	3	@	0.45 m
As=	1.6	cm ²	
$Mu / \phi \cdot b \cdot d^2$	0.30031746		
ρ_{min}	0.0018		
Momento ultimo		Chequeo de deflexión	
L	4	m	
W=	473	kgf/m ²	
$M = W \cdot L^2 / 8$	946	kgf-m	
$Mu = 1.4 \cdot M$	1324.4	kgf-m	
Momento nominal		U=wl ⁴ /384EI	11.06237878 mm
$\phi Mn = \phi As \cdot fy \cdot (d-a/2)$	1921.9632	kgf-m	
$a = As \cdot Fy / 0.85 \cdot Fc \cdot b$	0.4411765	cm	
As =	7.5	cm ²	
b =	400	cm	
$\phi =$	0.9		
recubrimiento =	2.5	cm	
d =	7	cm	
Chequeo		E=	69283035.83 kgf/m ²
Mu=	1324.4	kgf-m	
ϕMn =	1921.9632	kgf-m	
$\phi Mn > Mu$	Cumple	I=	0.000576 m ⁴
Chequeo por corte		Uadm=L/360	11.11 mm
$\phi Vc = \phi 2 \sqrt{f'c} b d$	60863.782	$\delta < Uadm$	Cumple
b =	400		
d =	7		
$\phi =$	0.75		
Vu=	946		
$\phi Vc > Vu$	Cumple		
Cálculo del acero de refuerzo para losa inferior			
Carga sobre losa		Acero a utilizar	
Peso propio del concreto	600	kgf/m ²	
Peso del agua	1700	kgf/m ²	
peso de elementos sostenidos	2393.00		
W total	4693	kgf/m ²	
Acero por fraguado y temperatura (horizontal)			
El acero se colocara en doble cama a la separación escogida			
Asmin=	5	cm ²	
Varilla no.	5	@	0.11 m
As=	18	cm ²	
Momento nominal		Chequeo por corte	
L=	4	m	
$M = W \cdot L^2 / 12$	6257.3333	kgf-m	
$Mu = 1.4 \cdot M$	8760.2667	kgf-m	
$\phi Vc = \phi 2 \sqrt{f'c} b d$	156506.8689	kgf	
b =	400	cm	
d =	18	cm	
$\phi =$	0.75		
Vu=	9386	kgf	
$\phi Vc > Vu$	Cumple		

Diseño de tanque de almacenamiento de aguas tratadas

Calculo del acero de refuerzo para losa inferior			
Momento Resistente			
$\phi M_n = \phi A_s \cdot f_y \cdot (d - a/2)$	11886.988	kgf-m	
$a = A_s \cdot f_y / 0.85 \cdot f_c \cdot b$	1.0588235	cm	
$A_s =$	18	cm ²	
$b =$	400	cm	
$\phi =$	0.9		
recubrimiento =	7	cm	
$d =$	18	cm	
Chequeo			
$M_u =$	8760.2667	kgf-m	
$\phi M_n =$	11886.988	kgf-m	
$\phi M_n > M_u$	Cumple		
Chequeo de deflexión			
$U = wL^4 / 384EI$	0.012138406	mm	
$E =$	69283035.83		
$I =$	0.005208333		
$U_{adm} = L/360$	11.11111111	mm	
$U < U_{adm}$	Cumple		
Acero por fraguado y temperatura (horizontal)			
El acero se colocara en doble cama a la separación escogida			
$A_{smin} =$	3.24	cm ² /ft	
Varilla no.	4	@	0.3 m
$A_s =$	4.2	cm ²	
$M_u / \phi \cdot b \cdot d^2$	0.300420668		
ρ_{min}	0.0018		



PROYECTO: Tratamiento de aguas grises

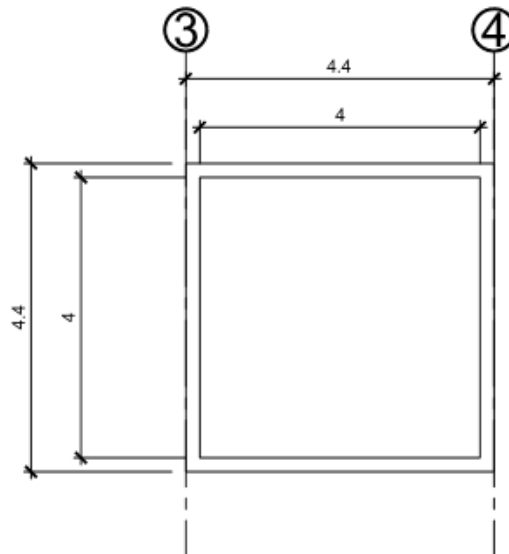
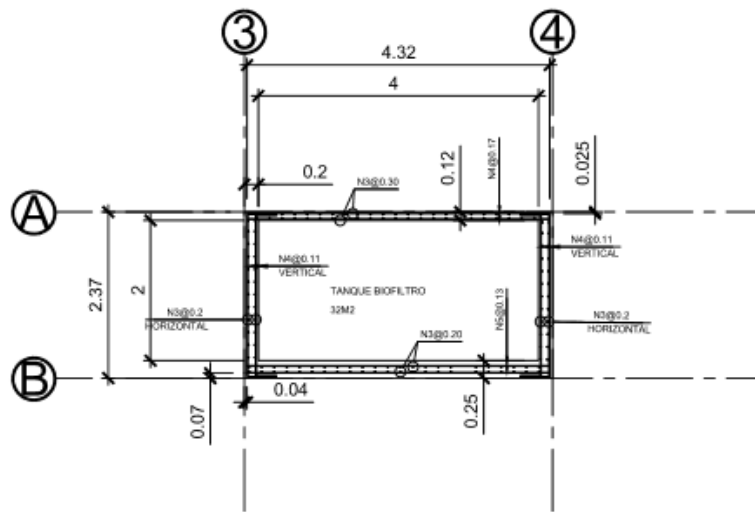
PLANO: Trampa de grasas

DIBUJANTE: Luis Ernesto Reyes Avila, 14250

FIRMA:

ESCALA: 8:1





PROYECTO: Tratamiento de aguas grises

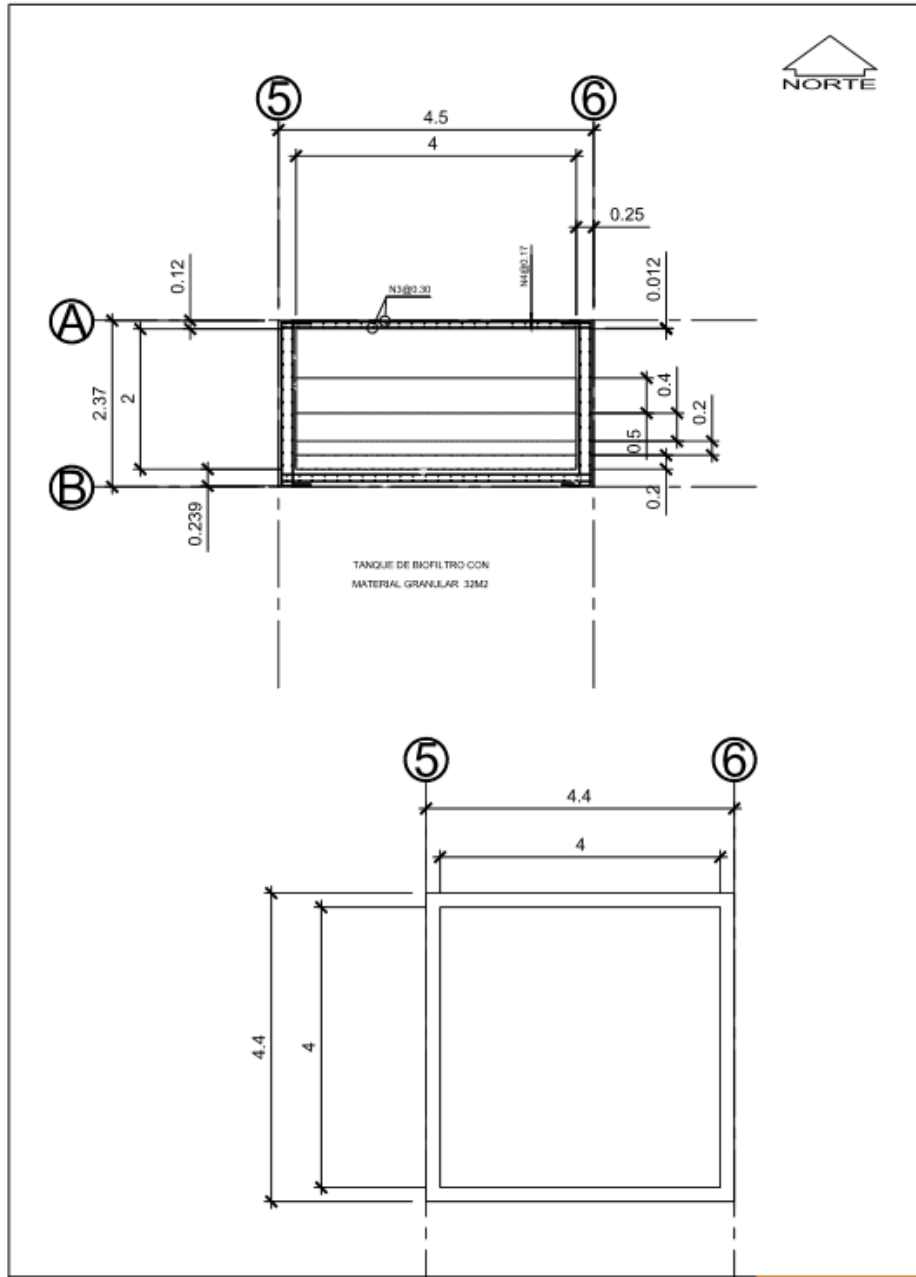
PLANO: Biofiltro bacteriano

DIBUJANTE: Luis Ernesto Reyes Avila, 14250

FIRMA:

ESCALA: 8:1





PROYECTO: Tratamiento de aguas grises

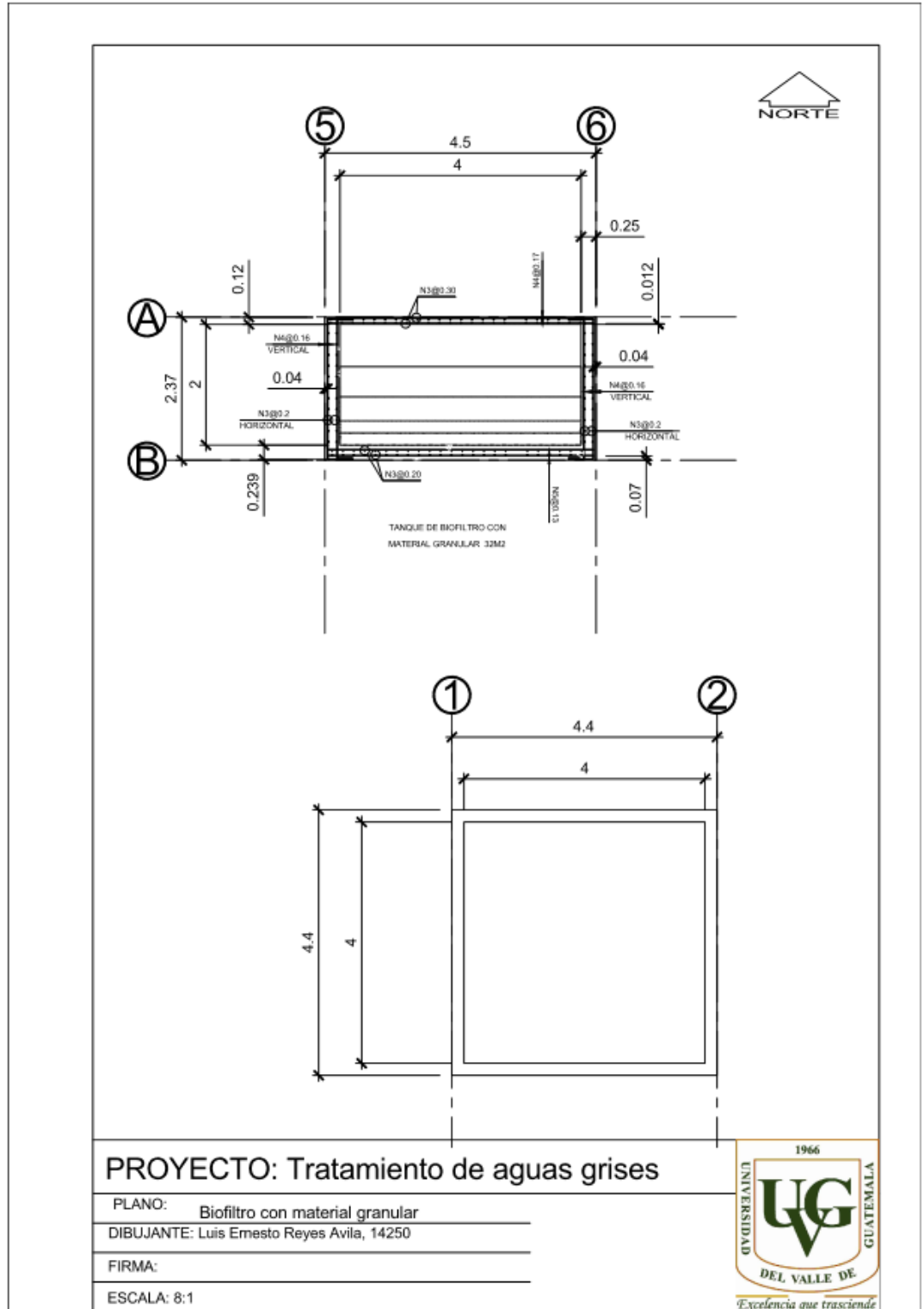
PLANO: Biofiltro con material granular

DIBUJANTE: Luis Ernesto Reyes Avila, 14250

FIRMA:

ESCALA: 8:1

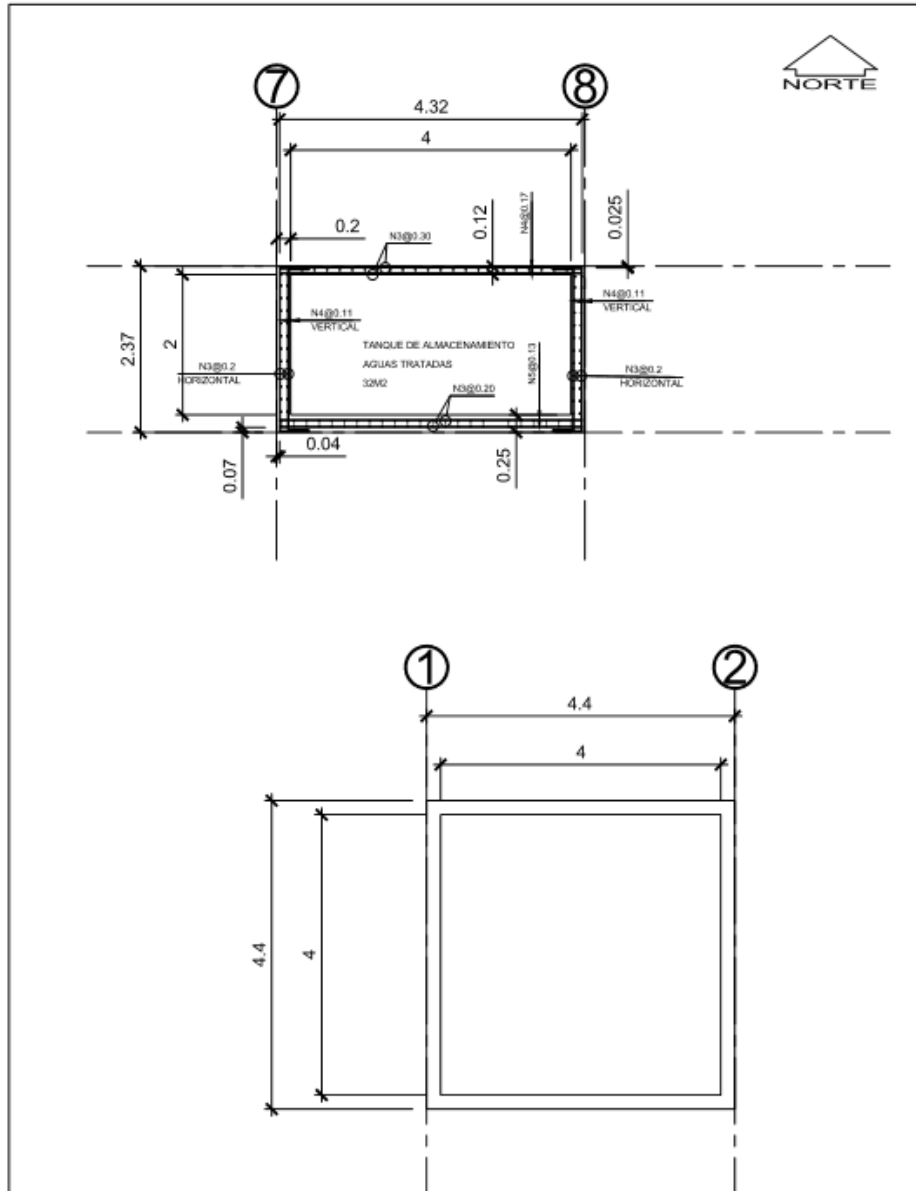




PROYECTO: Tratamiento de aguas grises

PLANO:	Biofiltro con material granular
DIBUJANTE:	Luis Ernesto Reyes Avila, 14250
FIRMA:	_____
ESCALA:	8:1

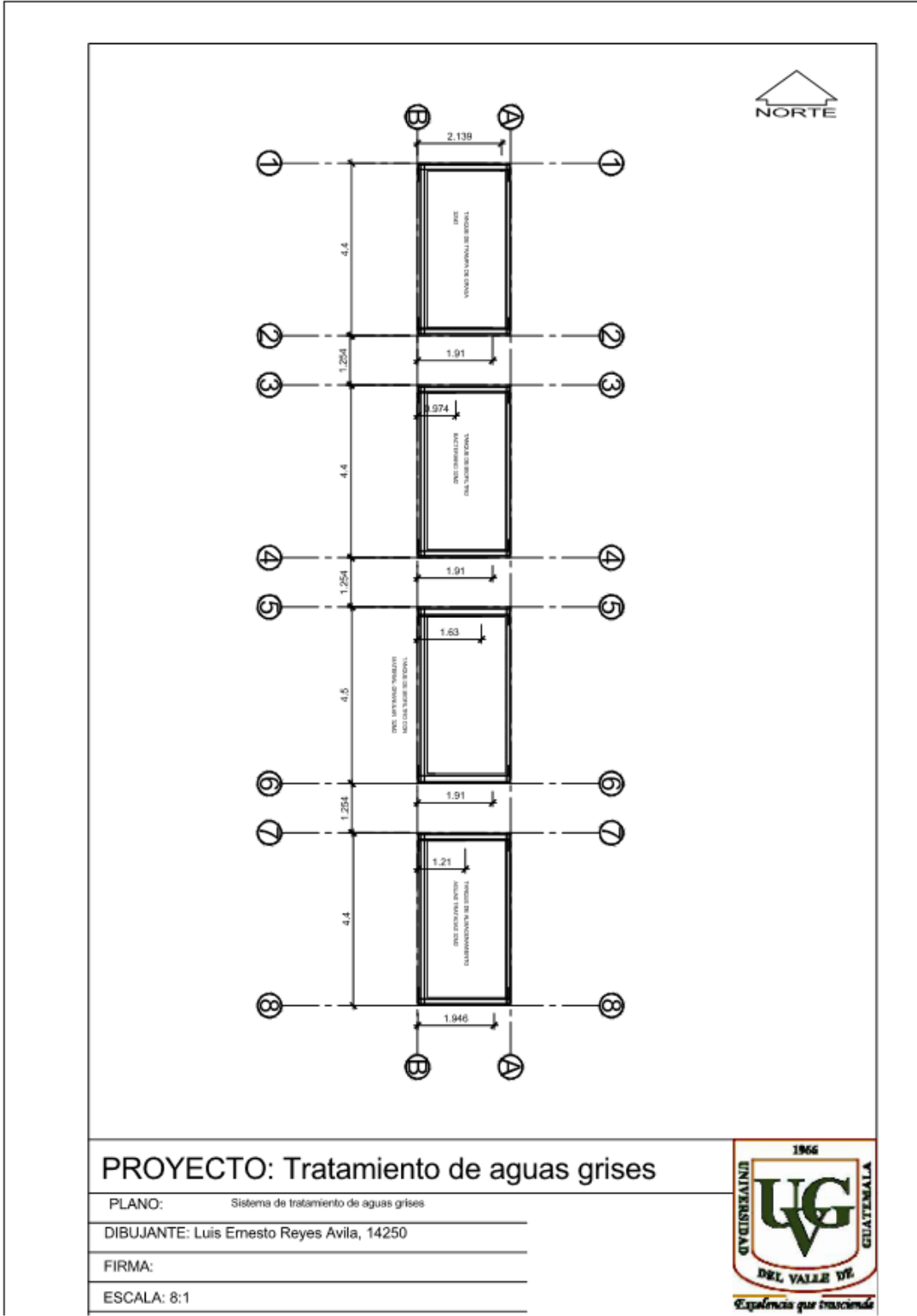




PROYECTO: Tratamiento de aguas grises

PLANO:	Tanque de almacenamiento
DIBUJANTE:	Luis Ernesto Reyes Avila, 14250
FIRMA:	
ESCALA:	8:1





- Aguas residuales domésticas: Representa el conjunto de las aguas procedentes de cocinas, baños, lavadoras y similares de viviendas. [1]
- Agua gris bruta: Aguas residuales domésticas procedentes de duchas, bañeras y lavamanos. Se excluyen las aguas procedentes de cocinas, bidets, lavadoras, lavavajillas, procesos industriales o con productos químicos contaminantes y/o un elevado número de agentes patógenos y/o estos fecales.[1]
- Agua gris reciclada: Se denomina así al agua gris bruta convenientemente tratada y preparada para ser entregada al punto de uso. [1]
- Aguas Negras: Aguas servidas provenientes de inodoros y urinarios, que contienen materia fecal y/u orina. [28]
- Aguas pluviales: Agua de lluvia, precipitación natural que ha recorrido una columna atmosférica. [1]
- Tensoactivos: Son sustancias que disminuyen la tensión superficial de un líquido o la acción entre dos líquidos. [19]
- Sistema de reutilización de aguas grises: Conjunto de instalaciones destinadas a la recolección, tratamiento, almacenamiento y conducción de las aguas grises para su uso en la alternativa de reutilización que se proyecte. Además, incluye instalaciones para el uso de las aguas grises tratadas, el cual debe cumplir con la calidad requerida según el uso previsto. [28]
- Trampa de grasa: Es un dispositivo de plomería con forma de caja grande donde se intercepta la grasa y los residuos sólidos que evitan que ingrese al sistema de saneamiento de la ciudad. Con el uso del agua y la gravedad separa grasa y sólidos. [30]

- Biofiltro: Son dispositivos utilizados para la remoción de contaminantes en el agua. Su sus contribuye a evitar la contaminación de cuerpos de agua superficiales y subterráneas, causada por verter directamente el agua residual. [23].
- Cepa bacteriana: Es un conjunto de bacterias con igual en términos de sus características biológicas, es decir, bacterias de la misma especie, se llaman cepas o colonias bacterianas. [33]
- Fase exponencial o logarítmica: Es aquella durante la cual los microorganismos se multiplican hasta el máximo nivel posible, en función de su potencial genético, tipo de medio y las condiciones en que crece. Los microorganismos se dividen y duplican su número en intervalos regulares. [37]
- Biodegradación: Es la disolución química de los materiales por bacterias u otros medios biológicos. El termino se utiliza a menudo en relación con la ecología, la gestión de residuos, la biomédica y el medio ambiente y es ahora comúnmente asociados con los productos respetuosos del medio ambiente que son capaces de descomponerse nuevamente dentro de los elementos naturales. [43]
- Material granular: Cualquier tipo de material gravoso, limo o arena, enormemente poroso pero sin coherencia ni plasticidad alguna. [24]
- Tanque de almacenamiento: Es una estructura con dos funciones: almacenar la cantidad suficiente de agua para satisfacer la demanda de una población y regular la presión adecuada en el sistema de distribución dando así un servicio eficiente. [44]
- Presión hidrostática: Es la presión que ejercida por un líquido fluido que se encuentra en reposo. [23]
- Fuerza impulsiva: La fuerza impulsiva es una carga de corta duración generada por el impacto inicial del agua sobre una estructura. La fuerza impulsiva actuará al momento del primer contacto del agua con la estructura, mientras que la fuerza hidrodinámica actuará una vez que haya pasado el impacto.[23]
- Fuerza convectiva: Fuerza producida por la oscilación del líquido y proporcionales a la amplitud del movimiento. [45]
- Tiempo de adaptación: Es el tiempo que una bacteria tarda para que su crecimiento sea constante. [34]
- Fuerza de adsorción: Es el proceso por el cual átomos o moléculas de una sustancia que se encuentra en determinada fase, son retenidas en la superficie de otra sustancia, que se encuentra en otra fase. Como resultado de este proceso, se forma una capa de líquido o gas en la superficie de una sustancia sólida o líquida. [46]

