

UCH-FC
Q. Ambiental
A 973
C. 1



UNIVERSIDAD DE CHILE -FACULTAD DE CIENCIAS -ESCUELA DE PREGRADO

**“ESTUDIO DE REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES EN PARQUES
PÚBLICOS: PARQUE O’HIGGINS UN CASO DE ESTUDIO”**

Seminario de Título entregado a la Universidad de Chile en cumplimiento parcial de los
requisitos para optar al Título de

QUIMICO AMBIENTAL

NOELIA EDITH AYALA ORTEGA

Director del Seminario de Título: Jorge Alberto Greene Muñoz.

Co-Director: Isel Cortes Nodarse.

Patrocinante: Cecilia Labbe D.

Diciembre 2015
Santiago - Chile



INFORME DE APROBACIÓN SEMINARIO DE TÍTULO

Se informa a la Escuela de Pregrado de la Facultad de Ciencias, de la Universidad de Chile que el Seminario de Título, presentado por el candidato:

NOELIA EDITH AYALA ORTEGA

“ESTUDIO DE REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISAS EN PARQUES PÚBLICOS: PARQUE O’HIGGINS UN CASO DE ESTUDIO”

Ha sido aprobado por la Comisión de Evaluación, en cumplimiento parcial de los requisitos para optar al Título de Químico Ambiental

COMISIÓN DE EVALUACIÓN

Jorge Alberto Greene Muñoz
Director Seminario de Título




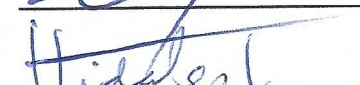

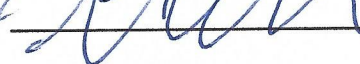
Dra. Isel Cortés Nodarse
Co-Director Seminario de Título


Dra. Cecilia Labbé Donoso
Patrocinante

Julio Hidalgo
Presidente

Ricardo Serrano
Corrector

Santiago de Chile, Abril de 2016



BIOGRAFÍA



Nacida en Santiago de Chile el Jueves 20 de Febrero de 1986. La educación básica fue realizada en la escuela Francisco Arriarán y la educación media en el liceo comercial Osvaldo Elías Param, obteniendo ahí, el título de contador. Posteriormente, la educación superior fue realizada en el centro de formación técnica del medio ambiente IDMA, obteniendo el título de técnico en gestión y control ambiental. Durante la carrera se presentaron muchas dudas sobre el aspecto químico de los problemas ambientales, tal vez por un interés personal con la química, ya que al considerar que la comprensión acabada de un problema ambiental era conociendo estos aspectos, las soluciones más certeras y precisas, se podría proponer de la misma manera. Es por esto que surgió el entusiasmo de estudiar Química Ambiental en la Universidad de Chile.

INDICE DE CONTENIDO

BIOGRAFÍA	ii
RESUMEN.....	vii
ABSTRACT.....	viii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Antecedentes Generales	1
1.1.1. Alternativas para el uso eficiente de las aguas. Reutilización de aguas residuales.....	1
1.1.2. Aguas grises. Generación y reutilización a nivel internacional.....	2
1.1.3. Alternativas de tratamiento de aguas grises.....	2
1.2. Antecedentes Específicos.....	4
1.2.1 Caracterización de las aguas grises. Diferencia con las aguas negras.	4
1.2.2 Alternativas documentadas para el reuso y tratamiento de aguas grises. Principales experiencias y requisitos.....	5
1.2.3 Normativas para el uso de agua en Chile.....	6
1.2.4 La gestión del agua en la Ciudad de Santiago. Características hídricas de la comuna de Santiago. El Parque O'Higgins.	8
1.2.4.1 Características del parque O'Higgins.....	8
1.2.5 Impacto ambiental de los proyectos de saneamiento ambiental.....	10
1.3. Hipótesis de trabajo.....	11
1.4. Objetivos.....	11
1.4.1. Objetivo General.....	11
1.4.2. Objetivos Específicos	11
II MATERIALES Y METODOS.....	12

2.1. Materiales.....	12
2.2. Métodos	13
2.2.1 Antecedentes de la gestión de uso de agua en el parque O`Higgins.....	13
2.2.2. Metodología para la caracterización fisicoquímica de aguas grises y aguas tratadas.....	13
2.2.2.1 Análisis en terreno: pH y conductividad.....	13
2.2.2.2 Análisis organolépticos.....	14
2.2.2.3. Análisis en laboratorio: SAAM (sustancias activas al azul de metileno), DQO (demanda química de oxígeno).....	14
2.3. Metodología de trabajo para las alternativas de reuso de aguas grises.....	15
2.3.1 Implementación de filtro de arena en escala piloto.....	15
2.3.2 Implementación de sistema a escala real para tratamiento de aguas grises.....	17
2.4. Metodología para la estimación de los impactos ambientales.....	18
III. RESULTADOS	19
3.1. Descripción de la gestión del agua en el Parque O`Higgins.....	19
3.1.1 Consumo de agua potable en actividades al aire libre.....	19
3.1.2 Consumo de agua en dependencias del parque.....	19
3.1.3 Iniciativas del centro educativo ambiental.....	20
3.2 Caracterización química de aguas grises en el Parque O`Higgins.....	21
3.2.1 Evaluación de cumplimiento de normativa de riego.	22
3.3 Propuesta de alternativas de reuso de aguas grises.....	25
3.3.1 Contenedores a pequeña escala.....	25
3.3.2 Filtro de arena.....	26

3.4	Identificación y evaluación de impacto ambiental de las alternativas de reuso de aguas grises.....	28
3.4.1	Características del lugar donde se implementa el filtro de arena.....	28
3.4.2	Cantidad de aguas grises que se desean tratar.....	29
3.4.3	Impactos ambientales en la etapa de construcción.....	29
3.4.4	Impactos ambientales en la etapa de operación y situaciones de contingencia	29
IV	CONCLUSIONES.....	31
V	BIBLIOGRAFÍA.....	32
VI	ANEXOS	35
6.1	.. Operación de los filtros de arena.....	35

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Límites máximos permitidos para el uso del agua como regadío.....	7
Tabla 2: Resultado de las mediciones realizadas al agua tratada y a las aguas grises	22
Tabla 3: Tiempo de descarga empleado en filtrar 200 mL de agua azul.....	26

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Ensayo a pequeña escala para medir el tiempo de descarga según las distintas distribuciones de arena.....	15
Figura 2: Diagrama de los contenedores a pequeña escala utilizados	16
Figura 3: Etapas de preparación del filtro de arena.....	17
Figura 4: Incorporación de aguas grises para comenzar el tratamiento.	18
Figura 5: Baño ecológico seco.....	21
Figura 6: Trayectoria de las líneas de corriente e impacto inercial.....	36
Figura 7: Retención de partículas en un medio filtrante de arena.....	37

RESUMEN

Debido a la escasez de agua que enfrentan algunas zonas de Chile y en varias partes del mundo, es imperativo encontrar opciones conducentes a reducir y reutilizar este recurso vital. Una manera de lograrlo, es la reutilización de aguas grises después de un tratamiento de depuración.

Se estudió una propuesta de tratamiento de depuración para reutilizar aguas tratadas a partir de aguas grises, el cual consiste en un filtro vertical de arena implementado Parque O'Higgins como caso piloto. El sistema fue operado con aguas grises generadas en el recinto a las que se le realizaron mediciones de sus parámetros fundamentales antes del tratamiento y luego del mismo. El diseño del sistema es tal que se obtenga agua de calidad para riego tal como lo establece la norma NCh 1333, además de asegurar una implementación fácil, económica y con impactos ambientales despreciables tanto durante la construcción como en la operación del mismo.

Los resultados obtenidos, demostraron que el sistema permite una disminución de 64% para de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) que disminuyó de 149 mg/L a 53,67 mg/L. Para los detergentes (expresados como tensoactivos) la disminución fue de 99% variando de 56 mg/L a 0,59 mg/L. En toda la operación, el pH se mantiene en condición neutro.

En cuanto a los sólidos y a la conductividad, se apreció un aumento. La conductividad pasó de 1430 $\mu\text{mhos/cm}$ a 2460 $\mu\text{mhos/cm}$; los sólidos disueltos pasaron de 1240 mg/L a 1980 mg/L, los sólidos suspendidos de 0 mg/L a 75 mg/L, y los sólidos totales de 1245 mg/L a 2340 mg/L. A pesar de este aumento, es posible utilizar el agua tratada para el riego de plantas ornamentales, como es el caso de la vegetación de un parque. El sistema fue probado en condiciones piloto y permite el reuso del agua gris.

Este proyecto de tesis propone una opción de fácil implementación en lugares públicos de tipo parque, a partir de un caso real realizado en el Parque O'Higgins, en la ciudad de Santiago.

ABSTRACT

Due to the water shortage facing some areas of Chile and in various parts of the world, it is imperative to find options leading to reduce and reuse this vital resource. One way to achieve this is the reuse of gray water after a purification treatment.

A proposed purification treatment was studied to reuse treated water from gray water, which consists of a vertical sand filter implemented as a pilot case O'Higgins Park. The system was operated with gray water generated in the enclosure which were performed measurements of its basic parameters before treatment and after it. The system design is such that water quality for irrigation is obtained as provided NCh 1333 standard, while ensuring an easy, economical and with negligible both during construction and operation of the same environmental impacts.

The results showed that the system allows a reduction of 64% for Chemical Oxygen Demand (COD), which decreased from 149 mg/L to 53.67 mg/L. For detergents (expressed as surfactants) decrease was 99% ranging from 56 mg/L to 0.59 mg/L. Throughout the operation, the pH is maintained at neutral condition.

Regarding solid and the conductivity increase appeared. The conductivity increased from 1430 $\mu\text{mhos/cm}$ to 2460 $\mu\text{mhos/cm}$; dissolved solids increased from 1240 mg/L to 1980 mg/L, suspended solids of 0 mg/L 75 mg/L, and the total solids of 1245 mg/L to 2340 mg/L. Despite this increase, it is possible to use the treated water for irrigation of ornamental plants, such as the vegetation of a park. The system was tested in pilot conditions and allows the reuse of gray water.

This thesis project proposes a choice of easy implementation in public places park-like, from a real case made in the O'Higgins Park in Santiago.

I. INTRODUCCION

1.1. Antecedentes Generales.

1.1.1. Alternativas para el uso eficiente de las aguas. Reutilización de aguas residuales.

Las alternativas que podemos encontrar para usar eficientemente las aguas incluyen reducir el consumo de aguas limpias y reutilizando aguas que primero tuvieron una calidad para un uso, a otros usos con diferentes requerimientos de calidad.

Para optar por la reutilización de las aguas, éstas deben pasar por un tratamiento previo que permita eliminar y/o disminuir los contaminantes hasta niveles tales que sean adecuadas para el segundo uso. Los tratamientos pueden ser variados, realizados en plantas industriales que incluyen procesos aerobios o anaerobios, o sencillos y aplicados a nivel local, próximos a la generación de las aguas contaminadas, especialmente las aguas residuales domésticas (DGA, 2010).

Las aguas residuales domésticas se dividen en aguas grises y aguas negras, que son las que contienen las excretas humanas. Las aguas grises, por su parte, son las que provienen de tinajas, duchas, lavatorios, lavadoras, etc. Es decir, son todas las aguas residuales domésticas excepto aquellas que contienen excretas. En muchas actividades comerciales, se generan aguas residuales similares a las domésticas. De todas ellas, las aguas negras tienen que ser tratadas en plantas industriales (también conocidas como Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas o PTAS) (art 1, dto. 609) mientras que las aguas grises pueden ser tratadas con sistemas modulares más sencillos.

Diferentes opciones se han descrito para tratar las aguas grises, siendo los tratamientos con medios filtrantes que retienen sólidos en suspensión, los más populares. El medio filtrante se opera pasando el flujo de agua en forma vertical o de forma horizontal, en modo ascendente o descendente del flujo.

Ambas formas puede realizarse mediante un sistema cerrado de tal manera que impida la presencia de oxígeno, ya sea mediante el paso del agua por tanque séptico

cerrado, antes de pasar por el filtro, o sistemas cerrados ubicados bajo el suelo, así, favorecen la proliferación y funcionamiento de bacterias anaerobias, además de retirar sólidos sedimentables que van al fondo del tanque, y grasas y aceites que quedan en la superficie.

La otra manera es de forma aerobia, donde el sistema está expuesto al aire para que las bacterias puedan descomponer la materia orgánica, generalmente son los sistemas que utilizan alguna opción de biofiltro, por ejemplo, lagunas de tratamiento que tienen en su superficie vegetación capaz de retener sólidos y así disminuir la carga contaminante del agua (DGA, 2010).

1.1.2. Aguas grises. Generación y reutilización a nivel internacional.

Como se expuso anteriormente, las aguas grises son aguas residuales domésticas provenientes de lavamanos, lavaplatos, lavadoras o cualquier otro que se genere en las casas, exceptuando las que contienen excrementos.

En general, las aguas grises tratadas se pueden reutilizar en actividades que no requieran agua potable (cocinar, agua de bebida, higiene personal). Esto significa que se pueden utilizar en actividades como limpieza de casas y automóviles, descarga de sanitarios, ornamental, sistema de extinción de incendio o riego. Esta última es la alternativa más difundida, considerando su sencillez y porque las aguas grises aportan nitratos y fosfatos que son nutrientes para las plantas.

Los usos más frecuentes es la descarga de sanitarios y regadío ya que en estas actividades se demandan grandes cantidades de agua y como no supone contacto directo, no se requiere agua potable para el mismo (Pires y Marques 2013).

Las alternativas de reutilización mencionadas anteriormente, también están siendo consideradas en la propuesta de ley mediante moción por el Senado, donde además incluye la posibilidad de ser usada en el regadío de estadios, campos deportivos u otro con libre acceso al público, además de uso industrial cuando no es destinada a industrias del rubro alimenticio y refrigeración no evaporativa (art. 7, boletín 9452-09).

1.1.3. Alternativas de tratamiento de aguas grises.

Varias de las alternativas para tratar aguas grises consideran la filtración que es la remoción de partículas suspendidas, mediante el paso del agua a través de un material poroso apropiado. Las que presentan mejores perspectivas para el reuso del agua son las siguientes:

- **Filtros de arena (lentos o rápidos).** La **filtración lenta** con arena es el proceso en el cual se deja percolar el agua lentamente en forma descendente a una velocidad controlada, a través de un lecho inundado de arena, de características especificadas; los procesos físicos, químicos y biológicos que se desarrollan conducen a la purificación del agua. La **filtración rápida** por su parte es el proceso para el tratamiento del agua en el cual ésta generalmente (después de una clarificación), pasa a través de un lecho de arena para eliminar las partículas residuales. En ambos casos la arena se deposita en un estanque cuidando de que el material arenoso sea más o menos del mismo tamaño, para que al pasar el agua, los espacios no se vayan tapando y obstruyan el proceso (Sinia, 2009).
- **Biofiltros.** Son humedales artificiales de poca profundidad con flujo subterráneo en los que las aguas residuales fluyen en sentido horizontal o vertical. Los biofiltros contienen capas de material poroso de distinto tamaño y en la superficie contienen alguna planta acuática como el carrizo o caña brava, papiro, junco, totora, achira, entre otros, que también cumplen la función de retener materiales en suspensión (Sinia, 2009).
- **Pretratamiento anaerobio-aerobio.** Es particularmente útil para aguas grises provenientes de la cocina. Consiste en una fosa séptica anaeróbica de tres etapas que separa lodos, aceites y grasas, luego pasa a un filtro de arena que, además de filtrar, restaura las condiciones aerobias (DGA, 2010).
- **Terrenos de infiltración.** Consisten en una cámara séptica que recibe el agua residual y contiene un volumen constante de agua, por lo tanto, la misma cantidad de agua que entra es la que sale. Los sólidos en suspensión de mayor peso molecular, se depositan en el fondo de la cámara, formando una capa de lodo y los más livianos quedan en la superficie formando una costra. Los sólidos son digeridos por bacterias que se desarrollan ahí mismo. Luego el agua pasa

a unas cañerías perforadas distribuidas en un terreno de infiltración, colocadas en zanjas rellenas con material poroso que son tapadas con tierra. El agua pasa a través de las perforaciones al material poroso, donde los microorganismos degradan los contaminantes. Finalmente llega al fondo de las zanjas y penetra el suelo (unatsabar, 2003).

- **Caja de suelo.** Consiste en una caja que contiene en el fondo una capa de polietileno, encima una malla mosquetera, sobre esta, una capa de arena gruesa y sobre la anterior, una mezcla de arena con concreto. La primera capa de 50 cm de suelo debe ser rica en humus y no ser arcilloso (DGA, 2010).

Cuando cualquiera de estos sistemas de tratamiento son de flujo vertical descendente, se incorpora el agua gris en la superficie y el agua tratada sale por la base, exceptuando los terrenos de infiltración, donde la salida es por las perforaciones de las cañerías.

1.2 Antecedentes Específicos.

1.2.1 Caracterización de las aguas grises. Diferencia con las aguas negras.

Las aguas residuales domésticas pueden ser aguas grises y aguas negras. La carga contaminante de las aguas grises se caracteriza por ser muy variable. Por ejemplo, los valores de DQO pueden variar desde los cientos a los miles de mg/L. Los indicadores de coliformes totales también son muy variados. La cantidad de sal (sodio, calcio, magnesio, potasio y otros compuestos), de aceites, de grasas, de nutrientes y de productos químicos en las aguas grises puede ser gestionada en gran medida mediante los tipos de productos utilizados en los hogares.

Comparativamente, las aguas grises tienen mayor cantidad de surfactantes provenientes de los detergentes que las aguas negras. Por su parte, las aguas negras tienen una carga bacteriana mucho mayor que las aguas grises. Esto tiene importancia, pues los procesos de descomposición son distintos, ya que las aguas grises tienen principalmente descomposición química y las aguas negras,

descomposición orgánica, por lo tanto, va a tomar relevancia la demanda química de oxígeno (DQO) en las aguas grises y la demanda biológica de oxígeno (DBO₅) en las aguas negras.

En términos generales, las aguas grises contienen jabón, grasas provenientes de la cocina y detergentes, lo que se traduce a cantidades importantes de sales, nutrientes, sólidos disueltos, suspendidos y surfactantes. Todos estos materiales aportan el color grisáceo del agua al retener la suciedad.

Además, es necesario considerar que la composición de las aguas grises puede variar entre los hogares, debido al tipo de detergente usado, a la cantidad de habitantes, el estilo de vida, las costumbres, el estado de las instalaciones y otras prácticas. Pero, algunos análisis han informado que el pH se mantiene cercano al neutro, los sólidos totales y disueltos, tienen concentraciones entre 100 y 326 mg/L, la DQO puede variar entre 197 y 540 mg/L. La materia orgánica que se puede encontrar en estas aguas está relacionada a residuos provenientes de la cocina (Pinto, 2010).

La variación en la concentración de las aguas negras, depende principalmente de la cantidad de habitantes. La DBO₅ puede variar entre 100 y 300 mg/L (Gómez, 2012)

1.2.2 Alternativas documentadas para el reuso y tratamiento de aguas grises. Principales experiencias y requisitos.

En varios lugares se aplica el tratamiento de aguas grises de origen residencial. Por ejemplo en un edificio de 8 pisos, que aloja estudiantes casados en del campus de Technion, Israel, se instalaron cañerías que separan las aguas grises de las negras, dirigiendo las aguas grises al sótano, donde se ubicaba la planta de tratamiento. La planta consiste en separar los sólidos gruesos mediante una malla de 1mm de tamiz. Después de pasar por el tamiz, se dirige a una cuenca de equalización que regula la entrada y salida de aguas grises en cuanto a calidad y temperatura antes de entrar al tratamiento biológico.

En el equalizador, con capacidad de 330 litros, permanece el agua por un máximo de 10 horas. Al salir del equalizador, el agua pasa a tratamiento biológico de flujo perpendicular al eje de rotación. Luego el agua pasa a una cuenca de

sedimentación donde los lodos son retirados manualmente. Saliendo el agua de esta etapa, pasa a un pre-filtrado. En esta etapa, el estanque posee rejillas para impedir el paso de moscas y mosquitos.

La etapa siguiente es la filtración mediante arenas. Este filtro posee 70 cm de profundidad y las capas de arenas se componen de cuarzo y de grava. Finalmente el agua es desinfectada mediante cloración. Con este sistema se logró reducir la turbidez, los sólidos, los nutrientes, las coliformes fecales, entre otros contaminantes, en un porcentaje mayor al 58% en todos los parámetros. Esta agua tratada está destinada la descarga de los inodoros de los departamentos del propio edificio (Friedler y col. 2005).

En Chile, una alternativa para el reuso y tratamiento de aguas grises fue la utilizada en el Liceo A-5 de Arica donde se instaló un sistema de tratamiento basado en la utilización de arenas de diferente tamaño (arena, gravilla y grava) en un contenedor cilíndrico. Este sistema de tratamiento cuenta con un estanque de almacenamiento conectado a una red de regadío por aspersión.

Son aspectos importantes a considerar en este tratamiento, el contar con un ducto conducente a alcantarillado cuando el sistema ha sido rebalsado de agua a tratar, la inspección regular del sistema para tomar medidas adecuadas por eventuales proliferaciones de algas y por último, información a los estudiantes sobre la calidad del agua que debe salir de los lavamanos, por ejemplo, libre de sustancias como temperas y residuos que puedan perjudicar la eficiencia del tratamiento (Sinia 2009).

1.2.3 Normativas para el uso de agua en Chile.

En Chile la normativa que rige los usos de agua, son las normas de calidad. Estas pueden ser primarias si están orientadas al resguardo de la salud humana y secundarias si están relacionadas con la conservación del medio ambiente. Como ejemplos tenemos:

Norma 409/1 Of 2005. Es una norma de calidad primaria que establece los requisitos que debe cumplir el agua potable; o sea, establece las concentraciones máximas permitidas de determinados componentes.

Norma 1333/1978. Establece los requisitos del agua para diferentes usos tales como, recreativo, destinadas a la estética, para la vida acuática y para riego.

A continuación se presentan los requisitos de la NCh 1333/1978 para uso en riego respecto de pH, sólidos disueltos y conductividad.

Tabla 1: Límites máximos permitidos para el uso de agua como riego, según NCh 1333. "s" se refiere al valor obtenido en el análisis de sólidos disueltos y "c" es la conductividad específica obtenida en el análisis.

pH	Sólidos disueltos totales mg/L a 105°C	Conductividad específica μ mhos/cm a 25°C	Clasificación
5,5 – 9	$s < 500$	$c < 750$	Agua con la cual generalmente no se observarán efectos perjudiciales en las plantas
	$500 < s < 1000$	$750 < c < 1500$	Agua que puede tener efectos perjudiciales en cultivos sensibles.
	$1000 < s < 2000$	$1500 < c < 3000$	Agua que puede tener efectos adversos en muchos cultivos y necesita de métodos de manejo cuidadoso.
	$2000 < s < 5000$	$3000 < c < 7500$	Agua que puede ser usada para plantas tolerantes en suelos permeables con métodos de manejo cuidadosos.

Como la norma 1333, sólo establece los requisitos para los diferentes usos del agua y considerando que es necesario buscar alternativas para preservar y maximizar el uso del agua potable debido a la escasez hídrica que enfrenta el país, el Senado propuso definir el concepto de aguas grises ya que no está definida en el Código de Aguas ni en la Ley General de Servicios Sanitarios. Por esto, mediante moción del Senado se está proponiendo un proyecto de ley que norma el servicio de recolección y disposición de aguas grises, las cuales serán aplicables en zonas urbanas y rurales. Dentro de los puntos que contempla, está la participación municipal en los sistemas de recolección, tratamiento y reutilización de aguas grises para fines de interés público, establece consideraciones a situaciones de contingencia, define destinos de uso

(urbano, recreativo, ornamental, industrial), prohíbe la reutilización para consumo humano y cualquier actividad que implique el contacto directo, además de los entes fiscalizadores, entre otros. La idea es descongestionar la demanda de uso de agua potable (boletín 9452-09).

1.2.4 La gestión del agua en la Ciudad de Santiago. Características hídricas de la comuna de Santiago. El Parque O'Higgins.

La ciudad de Santiago y el país en general tiene una geografía montañosa con cuencas hidrográficas cortas y pendientes pronunciadas hacia el oeste, lo que genera un tiempo de residencia corto del agua en la cuenca.

La disponibilidad de agua superficial dulce en la Región Metropolitana es menor a 800 m³ por persona al año (banco mundial, 2011), lo que es preocupante si a nivel mundial se considera que bajo los 1700 m³ por persona al año estamos en estrés hídrico (WWAP, 2012).

Pese a estos datos, el abastecimiento de agua potable en zonas urbanas tiene una cobertura de 99,9% y la de alcantarillado es de 95,3% (SISS, 2012). En zonas rurales la cobertura alcanza el 78% (INE, 2002).

Santiago está teniendo un incremento en proyectos mineros e hidroeléctricos y una disminución en las precipitaciones (descenso del 15% en este siglo debido al cambio climático), lo que genera gran preocupación debido a que es la ciudad más poblada del país y estas actividades son altamente demandantes de agua dulce y altamente contaminantes debido a los relaves mineros (DGA, 2014).

1.2.4.1. Características del Parque O'Higgins.

El Parque O'Higgins está destinado a la realización de diversas actividades, dentro de las que se encuentran: recreación, picnic, deportes, donde las dos primeras son más intensas los fines de semana, y las deportivas, más intensas durante la semana. En el recinto también se realizan actividades ocasionales que reúnen gran cantidad de personas como conciertos, fiestas, ramadas, parada militar, entre otras.

El Parque O'Higgins cuenta con una laguna artificial, sustentada con agua proveniente de un canal subterráneo que pasa bajo la Avenida Matta. Esta laguna tiene uso recreacional ya que cuenta con botes para navegar, y estético sobre todo para el sector de picnic. En temporada de verano, es utilizada por los visitantes para bañarse. En ella también alberga vida animal y vegetal que con los años ha ido disminuyendo considerablemente (Codoceo, 2012).

De este modo, en el parque el agua se destina a:

- Riego.
- Bebida.
- Lavado de utensilios, verduras y frutas, en la zona de picnic.
- Refrescar en temporadas más calurosas.
- Servicios de baños, que incluye lavado de manos y descarga de inodoros.

Se puede decir, entonces, que las aguas residuales generadas son diferentes en composición según el día de la semana, la época del año y la existencia de festividades. De igual forma, la cantidad generada también será distinta entre estos lapsos de tiempo, siendo mayor, en fines de semana, verano y eventos masivos. Pese a esto, si comparamos la cantidad de personas que acuden al parque en los últimos años, versus la cantidad de personas que acudían hace unos diez o veinte años atrás, es mucho menor.

Esto se puede vincular con el avance de la tecnología y comunicaciones que mantiene a las personas aisladas de la sociedad y viviendo un mundo virtual predominantemente, cualquiera sea la edad del individuo (Espino, 2014). Otra posibilidad es que existe mayor tendencia a visitar centros comerciales por las mayores comodidades que presentan.

Podría decirse que estos son los parques de nuestra época y sería interesante la implementación de un sistema de tratamiento de aguas grises en estas dependencias y poder reutilizarlas para la descargas de inodoros, como se realiza en edificios residenciales como el descrito en Israel. Esta disgregación de los visitantes,

ocasiona que la cantidad de agua utilizada en el parque sea menor y por lo tanto, también las aguas residuales.

1.2.5 Impacto ambiental de los proyectos de saneamiento ambiental.

Los impactos ambientales generados por las etapas de construcción y operación de un proyecto de saneamiento ambiental de tipo planta de tratamiento de aguas servidas domiciliarias son:

➤ **Etapas de construcción.**

- Generación de tierra y restos de materiales de construcción debido a excavaciones de terreno.
- Generación de basura doméstica.
- Generación de ruidos en actividades como acopio de material, movimiento de tierra, excavaciones, maquinarias etc.
- Emisión de material particulado fugitivo por movimiento de tierra.
- Emisión de partículas y gases durante el transporte de camiones y maquinarias.

➤ **Etapas de operación.**

- Materiales retenidos en las rejillas de filtración.
- Arenas removidas en el desarenador.
- Grasas removidas.
- Generación de basura doméstica.
- Generación de lodos residuales del tratamiento biológico, deshidratados y encalados.
- Generación de ruidos por funcionamiento de aireadores, generadores eléctricos.
- Generación de olores molestos de estanques de aireación y planta de tratamiento si existe una detención prolongada.
- Emisión de partículas y gases de generadores, camiones y maquinarias.

- Emisión de aerosoles desde las rejillas del ecualizador, del digestor y del espesador de lodos. (RCA, 2014).

1.3. Hipótesis de trabajo.

Es posible reutilizar las aguas grises provenientes de lavamanos instalados en el Parque O'Higgins, luego de un tratamiento que implique filtración con arena para limpiarla y que cumpla los requisitos para utilizar el agua en riego de la vegetación del mismo parque.

1.4. Objetivos.

1.4.1. Objetivo General.

Determinar la factibilidad técnica de reutilizar aguas grises generadas en parques públicos para ser utilizadas en el riego de la vegetación que posee la misma dependencia.

1.4.2. Objetivos Específicos.

- Caracterizar las aguas grises que se generan en el Parque O'Higgins y que se aspira a reutilizar en riego.
- Implementar y operar un filtro de arena a escala piloto.
- Analizar los parámetros de la NCh 1333 que permitan el uso en riego del agua tratada.
- Ajustar las modificaciones del sistema de tratamiento de aguas grises .
- Determinar los impactos ambientales derivados del sistema de tratamiento y sus posibles medidas de mitigación o contingencia.

II. MATERIALES Y METODOS

2.1. Materiales.

Para los ensayos a pequeña escala, se utilizó:

- 7 envases plásticos de 1 litro.
- 1 kilo de arena fina.
- 1 kilo de maicillo.
- 1 kilo de zeolita comercial (arena sanitaria para gato).
- 1 kilo de gravilla.
- 1 metro de manguera de 2 milímetros de diámetro.
- 1 pastilla sanitizante azul.
- Agua.

Para implementar y operar el filtro de arena, se utilizó:

- Un recipiente redondo de fibra de vidrio de 480 litros y 35 centímetros de profundidad.
- Una manguera de lavadora de 1 metro.
- 27 kilos de zeolita comercial (arena sanitaria para gato).
- 1 metro cúbico de arena fina.
- 1 metro cúbico de maicillo.
- 80 litros de agua potable.
- 90 litros de aguas grises de lavamanos.
- 6 envases plásticos de 250 mL.
- 6 envases de vidrio de 250 mL.



Instrumentos de medición y materiales:

Para medir tensoactivos y DQO se utilizó el instrumento de medición Spectroquant Multi de Merck y sus respectivos kit de medición. Para los sólidos, se utilizó una balanza analítica con sensibilidad igual o mayor a 0,1 mg, una estufa de secado a 104°C, filtro de fibra de vidrio de 1,5 μm tipo Whatman 934, platos de aluminio de capacidad 70 mL marca Fisher Scientific, pinzas para filtro, probeta de 100 mL y bomba de vacío. El pH y conductividad se midieron en un mismo equipo que posee las dos funciones.

2.2. Métodos.

2.2.1. Antecedentes de la gestión de uso de agua en el Parque O'Higgins.

Para determinar cómo se gestiona el agua en el Parque O'Higgins se realizaron visitas diarias de inspección de lunes a viernes y dos fines de semana (sábado y domingo). Además se realizó una consulta sobre el flujo de gente que frecuenta el parque y el uso de baños públicos durante la semana y a través de los años a una trabajadora que atiende uno de estos baños públicos en el sector de picnic durante muchos años. También se consultó a dos personas que frecuentan el parque hace unos 20 años, sobre las actividades que se han realizado y se realizan, además del flujo de personas antes y ahora.

2.2.2. Metodología para la caracterización fisicoquímica de aguas grises y aguas tratadas.

2.2.2.1. Análisis en terreno: pH y conductividad.

Se realiza en el instante en que se genera el agua residual. Se toma una muestra puntual en un envase plástico de boca ancha de 250 mL. Se toman 3 muestras de aguas grises y 3 muestras de aguas tratadas (una de cada agua por día), dejando correr el flujo de cada una por un minuto antes de tomarlas, llenando el envase.

Para realizar las mediciones se utilizaron instrumentos tales como pHmetro con electrodo de vidrio y conductímetro. Estos dos parámetros se pueden medir en un mismo equipo que posee ambas funciones. Este mismo procedimiento se le realiza al

agua tratada. De esta manera se puede verificar si el tratamiento modifica los parámetros de interés del agua.

2.2.2.2. Análisis organolépticos.

Este se realiza de manera visual para determinar grado de turbidez, y color del agua en un recipiente transparente como un frasco de vidrio que permita mirar desde un costado, y mediante percepción del olor para determinar algún grado de pudrición o presencia de algún elemento. Esto se realiza para tener un criterio referencial acerca de la muestra en los dos tipos de agua (gris y tratada).

2.2.2.3. Análisis en laboratorio: SAAM (sustancias activas al azul de metileno), DQO (demanda química de oxígeno).

- **Análisis SAAM (sustancia activa al azul de metileno).** Este ensayo entrega resultados sobre la concentración de sustancias tensoactivas que producen espuma, es decir, de aquellos productos limpiadores como detergentes. Estos mismos productos aportan a la eutroficación por cuanto contienen sales de fosfatos. Las sustancias limpiadoras de los detergentes llamadas tensoactivos, poseen una parte apolar que remueve las grasas y una parte polar que permite que el agua pueda retirarla.

Los tensoactivos tienen afinidad con el azul de metileno y esto permite cuantificarlos. Para poder realizar este análisis, se toma una muestra puntual de aguas grises en un envase de 250 mL y otra de agua tratada (se realizó en triplicado). Se mantiene a baja temperatura (4°C) hasta llegar al laboratorio en un plazo no mayor a un día. Esto se midió con el equipo Spectroquant Multi y el kit para tensoactivos.

- **DQO o demanda química de oxígeno.** Es el análisis que se realiza al agua para determinar la cantidad de sustancias oxidables por medio químico. Se expresa en miligramos de oxígeno por litro. Para determinarlo, se toma una muestra de iguales características a la anterior. A la muestra se le agrega ácido nítrico y se somete a temperatura durante una hora, de acuerdo a las

indicaciones del kit para DQO. Luego se deja enfriar 30 minutos y se coloca en el instrumento de medición Spectroquant Multi.

- **Sólidos disueltos.** Se determinaron por gravimetría. La muestra homogénea se filtró a través de un medio poroso menor o igual a 2 μm . El filtrado se seca en un plato de aluminio y se masa, luego se somete a 180 °C hasta que su masa es constante. Finalmente se realiza la diferencia de masa final con la inicial, obteniéndose la cantidad de sólidos disueltos.

2.3. Metodología de trabajo para las alternativas de reuso de aguas grises.

Se implementó como primera opción un filtro de arena de 3 capas. Para testear la velocidad de flujo del sistema de filtro, se realizaron previamente 7 pruebas con 3 réplicas cada una, en contenedores de iguales características al filtro de arena pero con tamaño reducido o escala piloto.

2.3.1. Implementación de filtro de arena en escala piloto.

Se comenzó operando el sistema a pequeña escala, con el propósito de observar la velocidad de flujo, utilizando cuatro envases de 8 cm de diámetro y 16 cm de largo, adaptados como contenedores. Además poseen una perforación en un costado en la parte más baja y una pequeña inclinación para permitir la salida del agua. En la figura 1 se observan los contenedores utilizados con el contenido de arena en su interior y el agua incorporada para su filtración.



Figura 1: Ensayo a pequeña escala para estimar el tiempo de descarga según las distintas distribuciones de arena.

1. **Los dos primeros contenedores** se rellenaron con 1 cm de gravilla, 1 cm de zeolita y finalmente con 3 cm de arena fina. Al primer contenedor, se le colocó una cantidad de agua potable (200 mL aprox.) para que las arenas se acomoden. Al finalizar la descarga de agua a través de las arenas, se le colocó, 1 cm de agua coloreada azul y se observó su comportamiento, relacionado a velocidad de goteo y tiempo empleado en cesar el goteo desde la aparición de la primera gota. Al segundo contenedor se le apretó la arena para reducir su volumen y se le agregó 1 cm de agua coloreada azul. Se observó su comportamiento de la misma manera que el contenedor anterior.
2. **Contenedores tres y cuatro** se rellenaron con 1 cm de gravilla, 1 cm de zeolita y finalmente con 5 y 8 cm de arena fina respectivamente. Se realizó la misma operación anterior y se observó su comportamiento.
3. Con el fin de contar con otra opción de filtro de arena, se realizó el mismo procedimiento anterior en los tres primeros casos pero se cambió la gravilla por maicillo. Para evitar el escurrimiento de las arenas por el orificio de salida, ya que el maicillo es considerablemente más pequeño que la gravilla, se le colocó un poco de gravilla sólo en la parte de dicho orificio.

La incorporación de agua azul, se realizó tres veces, una seguida de la otra, al finalizar la descarga, con el objetivo de visualizar el movimiento del agua por el sistema.

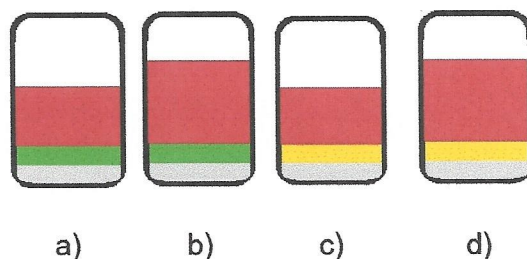


Figura 2: Diagrama de los contenedores a pequeña escala utilizados.

a) 1 cm de gravilla, 1 cm de zeolita, 3 cm de arena. b) 1 cm de gravilla, 1 cm de zeolita, 5 cm de arena. c) 1 cm de gravilla, 1 cm maicillo, 3 cm de arena. d) 1 cm de gravilla, 1 cm maicillo, 5 cm de arena.

color plomo: gravilla. color amarillo: maicillo. color verde: zeolita. color rojo: arena fina.

- **Recintos privados.** Se caracteriza por:
- El Parque de diversiones "Fantasilandia" que utiliza agua con fines recreacionales y refrescantes en verano.
- El Movistar Arena, que utiliza agua principalmente en baños, al igual que el instituto educacional, jardín infantil y museos.
- Restaurantes donde el uso de agua es mayormente de lavaplatos.

Estas descripciones dan cuenta de la predominancia de tipos de agua que se generan durante toda la semana, teniendo mayor carga contaminante los fines de semana, pues el uso que se le da al agua en actividades deportivas al aire libre, genera como agua residual, aquella sin utilizar.

La mayor carga contaminante se genera en las dependencias privadas del parque, ya que es aquí donde es más factible el uso de agentes de limpieza y en la zona de picnic cuando se utilizan desengrasantes. En este último, sería interesante la implementación de un sistema de tratamiento de aguas grises que podría contar con un filtro de arena y un estanque previo para separar grasas.

En este caso podría utilizarse el agua tratada para regar el pasto del mismo sector. La zona de picnic estuvo en proceso de remodelación, quedando activa este año. Se piensa que con esta nueva zona, se podrá contar con mayor cantidad de visitantes.

3.1.3. Iniciativas del Centro Educativo Ambiental.

Las actividades principales del Centro Educativo Ambiental, incluyen el compostaje con diversas metodologías y un punto de reciclaje donde se acopian materiales tales como papeles y cartones, vidrio, plástico, por nombrar algunos. También cuenta con huerto orgánico y una pantalla solar.

En el Centro Educativo Ambiental, el agua disponible para el regadío de cultivos propios del recinto, proviene de aguas subterráneas que se acumulan en un estanque llenado semanalmente. El compost es regado periódicamente por camiones con

estanque de agua (actividad necesaria para favorecer la descomposición). Estos mismos camiones son los encargados de regar la vegetación del parque.

Actualmente se está instalando dos baños ecológicos secos, que consisten en mezclar las aguas negras con paja o ceniza, tierra seca y cal para la deshidratación, con el objetivo de que se produzca compostaje a través de microorganismos propios de las heces fecales y aporte de nutrientes de las orinas.



Figura 5: Baño ecológico seco.

La instalación de baños es necesaria para recibir visitas de estudiantes de establecimientos educacionales y tiene dos objetivos, la utilización para cubrir una necesidad ineludible y dar a conocer una opción ambientalmente sustentable.

Las aguas de lavamanos generadas aquí, se trasladarán a través de un ducto que se dirige al extremo opuesto de la salida de agua tratada para aprovechar no tan solo la filtración vertical, sino también la horizontal. Esta agua tratada, regará las ligustrinas aledañas. El tratamiento de aguas grises complementa el sistema aportando utilidad y demostración con fines educativos.

3.2. Caracterización química de aguas grises en el Parque O'Higgins.

En la Tabla 2, se presentan las características químicas de las aguas grises y los resultados del tratamiento con filtro de arena. Se observa que el tratamiento provoca un aumento en los sólidos totales y la conductividad, disminuyendo los tensoactivos y la DQO (demanda química de oxígeno).

3.2.1. Evaluación de cumplimiento de normativa de riego.

- **pH.** En promedio, las aguas grises tienen un valor de 6,97 y las aguas tratadas, un promedio de 6,75. Estos valores están cercanos al neutro y no existe una modificación considerable entre antes y después del tratamiento.

De acuerdo a los análisis realizados en otras investigaciones relacionadas a tratamiento de aguas grises, no se esperaba que el tratamiento de purificación provocara variaciones en este parámetro. La norma NCh 1333 establece como requisito que el pH en el agua de regadío debe estar entre 5,5 y 9, por lo tanto, el pH cumple con la norma.

Tabla 2: Resultado de las mediciones realizadas al agua tratada y a las aguas grises.

parámetro	aguas grises			aguas tratadas		
	muestra 1	muestra 2	muestra 3	muestra 1	muestra 2	Muestra 3
pH	6,89	6,99	7,04	6,89	6,67	6,70
Conductividad (µmhos/cm)	1750	1260	1290	2510	2340	2520
Sólidos suspendidos (mg/L)		0			75	
sólidos disueltos (mg/L)		1240			1980	
Sólidos totales (mg/L)		1245			2340	
Tensioactivos (SAAM, mg/L)	32,50	86,50	49	1.01	0,36	0,39
DQO (mg/L)	147	<150	<150	61	47	53

El agua potable, o agua no usada de acuerdo a los requisitos de la NCh409/1, debe tener un pH entre 6,5 y 8,5. Los sólidos disueltos pueden ser menores o igual a 1500 mg/L. Además debe ser inodora e insípida.

- **Conductividad:** La norma NCh 1333 establece una conductividad de 750 $\mu\text{mhos/cm}$ medida a 25°C que se usará en regadío, para no observar efectos perjudiciales en las plantas. Cuando el valor medido está entre 750 y 1500 $\mu\text{mhos/cm}$, puede haber efectos perjudiciales en cultivos sensibles y cuando el valor está entre 1500 y 3000 $\mu\text{mhos/cm}$ se considera que el agua podría tener efectos adversos en muchos cultivos y necesita de métodos cuidadosos de manejo y tanto las aguas grises generadas en el recinto como las aguas tratadas por el filtro de arena, arrojan resultados correspondientes a esta última categoría.

En promedio de las tres muestras de aguas grises presentaron 1430 $\mu\text{mhos/cm}$ y para las aguas tratadas, 2460 $\mu\text{mhos/cm}$. Las aguas tratadas tienen un valor más alto que las aguas grises. Esto se puede deber al arrastre de sales solubles, tanto de la zeolita como de la arena fina, de ser así, será necesario reemplazar la zeolita por otro medio filtrante. Si el agua potable pasa por el filtro de tratamiento, estos pasarían a tener mayor cantidad de sólidos.

Otra opción es la contaminación de la muestra en el momento de la recepción. Para efectos de la norma, a pesar de que los resultados no estaban muy de acuerdo a lo que se esperaba, debido a que el filtro retiene sustancias, está dentro de lo exigido y por lo tanto es cumplida.

- **Sólidos disueltos totales:** Los sólidos disueltos también presentaron mayor valor en las aguas tratadas que en las aguas grises. Este parámetro sólo se midió en la muestra 2 de cada agua, siendo 1240 mg/L para aguas grises y 1980 mg/L para aguas tratadas.

La norma NCh 1333 referente a regadío, establece que bajo 500 mg/L, el agua generalmente no genera efectos perjudiciales. Cuando este valor está entre los 500 y los 1000 mg/L, puede tener efectos perjudiciales en cultivos sensibles. Y cuando está entre 1000 y 2000 mg/L, que es éste caso, el agua puede tener efectos adversos en muchos cultivos y necesita de métodos de manejo cuidadoso.

El agua tratada con el filtro instalado en el recinto del Parque O'Higgins, pretende regar ligustrinas que se encuentran en la reja divisoria del Centro Educativo Ambiental y el Movistar Arena, debido a que es un sistema chico y el

agua que se manipula es suficiente para este conjunto de vegetación, en otras palabras, el regadío no será para cultivos, sino para vegetación más robusta, por lo que no se espera que tenga efectos perjudiciales en el receptor.

Los parámetros que competen a la norma NCh 1.333 para regadío, son los mencionados con anterioridad, los demás se midieron para comparar si hubo disminución y por lo tanto retención de algunas sustancia propias de las aguas grises.

- **Sólidos suspendidos:** La muestra número 2 de aguas grises no presenta sólidos suspendidos detectables por el instrumento y la muestra número 2 de aguas tratadas, tiene 75 mg/L. Esto indica que los sólidos suspendidos son bastante bajos. Si el agua se hubiese contaminado en el momento de recibir la muestra, estos valores debieran haber sido altos, por lo tanto, lo más probable, debido a que todas las mediciones de sólidos salieron más altos en las aguas tratadas, es que existe arrastre de sales solubles del sistema.
- **Sólidos totales:** La muestra número 2 de aguas grises contiene 1245 mg/L de sólidos totales y la muestra número 2 de aguas tratadas, tiene 2340 mg/L. Si los sólidos totales corresponden a la suma de los sólidos disueltos y suspendidos, entonces los valores obtenidos de sólidos totales, están en concordancia con los resultados obtenidos en los sólidos disueltos y suspendidos.
- **Tensoactivos (SAAM):** En promedio las aguas grises generadas, tienen un valor de 56 mg/L y las aguas tratadas, en promedio 0,59 mg/L. El filtro de arena logra disminuir la concentración de tensoactivos casi en un 99%.
- **DQO:** La demanda química de oxígeno sobrepasa en las muestras 2 y 3 de las aguas grises, el rango de medición del instrumento pero como el valor de la primera muestra es de 147 mg/L y tratándose de aguas con características similares, el valor debe estar cercano al máximo del rango, por lo tanto un valor aproximado del promedio entre estas 3 muestras, puede ser 149 mg/L y el promedio de las aguas tratadas es 53,67 mg/L. El tratamiento disminuiría aproximadamente en un 64% la DQO.

Los parámetros organolépticos también presentaron modificaciones. La turbidez de las aguas grises era baja, y con un color entre blanco y gris, en cambio, el

agua tratada es transparente y un color levemente amarillento, lo que confirma que hubo disminución de sustancias en las aguas grises pero incorporación de otras. En cuanto al olor, las aguas grises tienen un leve olor al aroma de los jabones y las aguas tratadas no presentan olor.

3.3. Propuesta de alternativas de reuso de aguas grises.

3.3.1. Contenedores a pequeña escala.

Todos los contenedores comienzan descargando el agua filtrada a goteo rápido, el cuál va siendo más lento a medida que el agua va disminuyendo en la superficie. En los contenedores en donde la arena no está comprimida (contenedores 1 y 3), tanto gravilla como maicillo, comienza el goteo a espacios de menos de un segundo, y en los contenedores con compresión de arena, comienza el goteo a intervalos de 1 y/o 2 segundos.

Además el tiempo que demora en aparecer la primera gota, desde el momento en que se incorporó el agua azul al contenedor de arenas, en los contenedores número 1, es prácticamente inmediato, en los contenedores número 2, es de 5 minutos en promedio, y en los contenedores número 3 también tiende a ser inmediato.

De acuerdo a los resultados obtenidos se puede ver que independiente del tipo de arena utilizada la diferencia en tiempo de descarga no es muy distinto y el agregar más centímetros verticales de arena, tampoco genera una diferencia muy grande, en cambio, al comprimir las arenas, el agua demora en ser descargada, unas cuatro veces más.

Es necesario hacer el alcance de que los tiempos de descarga para cada contenedor son considerablemente los mismos, ya que a través de los resultados prácticos, se pudo notar que cuando el tiempo es muy superior al resultado anterior, es porque hubo algún grado de taponamiento de la salida.

Esto se puede observar en los resultados del contenedor número 1, que fue el primero que se realizó para comparar resultados. En los contenedores siguientes, en caso de existir, diferencias considerables, se descartó la prueba y se realizó el destapado con aire a contracorriente, por lo tanto los resultados expresados en la tabla son los obtenidos sin el inconveniente.

Lo que se logra al comprimir las arenas es aumentar la densidad del medio, generando una disminución de la permeabilidad ya que disminuye la porosidad. Es por esto que los tiempos de descarga son mayores que los realizados en las arenas sin compresión. Se puede observar los resultados en la tabla 3.

Tabla 3: Tiempo de descarga empleado en filtrar 200 mL de agua azul.

n° contenedor	condiciones del filtro	tiempo de descarga		
		1	2	3
1	1 cm gravilla, 1 cm zeolita, 3 cm arena	33 min	45 min	66 min
2	contenedor 1 con arenas comprimidas	66 min	72 min	140 min
3	1 cm gravilla, 1 cm zeolita, 5 cm arena	16 min	22 min	27 min
4	1 cm gravilla, 1 cm zeolita, 8 cm arena	39 min	31 min	30 min
5	1 cm maicillo, 1 cm zeolita, 3 cm arena	10 min	16 min	16 min
6	contenedor 5 con arenas comprimidas	45 min	40 min	66 min
7	1 cm maicillo, 1 cm zeolita, 5 cm arena	16 min	14 min	25 min

Como los resultados no varían mucho si se utiliza maicillo o gravilla, se armó el sistema con 8 cm de maicillo de base, sobre este, 7 cm de zeolita y finalmente, 13 cm de arena fina. Sólo se colocó un poco de gravilla en el sector de la salida para evitar que se desprenda el material filtrante ya que poseen tamaño inferior al diámetro de salida.

3.3.2. Filtro de arena.

Los resultados obtenidos en el filtro de arena instalado con las cantidades mencionadas anteriormente, se pueden observar en la tabla 3 y de acuerdo a estos, es notable la disminución de sustancias activas al azul de metileno (SAAM) y de demanda química de oxígeno (DQO).

El filtro empleado logró remover en un 99% los tensoactivos, pasando de 56 mg/L en las aguas grises a 0,59 mg/L de las aguas tratadas. La DQO disminuyó en un 64 % siendo 149 mg/L para las aguas grises y 53,67 mg/L para las aguas tratadas. El pH se mantiene en el neutro, 6,97 para aguas grises y 6,75 para aguas tratadas.

Como se mencionó, el pH se mantiene cercano al neutro. Como el tratamiento corresponde a un sistema que no involucra procesos de neutralización, el agua obtenida cumple la norma. En cuanto a la conductividad y los sólidos, estos presentan mayor cantidad en el agua tratada que en el agua gris pero de acuerdo a los requisitos de la norma NCh 1333, estaría dentro de lo establecido para las plantas que se desean regar en este caso y por lo tanto no genera inconveniente. Pero el propósito de un tratamiento de filtración es reducir o retirar elementos y no incorporar, así que, debido al aumento de sólidos, se sugiere colocar plantas que poseen la capacidad de retenerlos, como el junco, totora o el papiro, modificando el filtro de arena en un biofiltro. Aunque esta solución es una medida parche, lo ideal sería cambiar el material absorbente (zeolita) por otro, como por ejemplo el carbón activado, ya que el problema que generó la arena sanitaria fue su desintegración. Puede que existan arenas absorbentes como esta, que no se desintegrarían con el uso y podrían ser una opción, aunque a mayor calidad, mayor costo.

La idea de cambiar el tratamiento de arena por un biofiltro, si bien es otro elemento que aporta en la retención de sólidos, mejorando la calidad del filtrado, es visualmente más atractivo para fines educativos y estético. Por lo tanto, cambiar el material absorbente por uno que no se desintegre e incorporar plantas para transformar el filtro de arena en un biofiltro es una buena idea a implementar en el centro educativo ambiental y en parques con fines estéticos y que cuente con un resguardo adecuado que garantice la seguridad de los visitantes. Esto último también es un aporte educativo social con vías a sensibilizar sobre la importancia de cuidar el agua, ya que pese a que hay escasez, no existe consciencia de esto. La gran mayoría, cada vez que requiere agua, abre la llave y la obtiene en abundancia, sin saber que en las plantas de producción de agua potable, el agua no alcanza a ser almacenada debido a la escasez mencionada y la alta demanda (aguas andinas 2015).

Para que el tratamiento de limpieza mediante un filtro de arena sea efectivo, el agua gris incorporada debe pasar por éste en un tiempo de alrededor de 3 a 5 días, cuando existen varias sustancias que se desean retirar pero en el caso de aguas de lavamanos, el agua puede quedar en condiciones deseadas requiriendo menos tiempo. En esta experiencia, el agua tratada, recolectada, tuvo un tiempo de filtrado de aproximadamente 2 días.

El paso del agua por el filtro debe ser lento, así los sólidos y demás sustancias que se desean remover, alcanzan a ser retenidos por la arena, que aparte de esta función retenedora, da lugar a la formación de una biomembrana de microorganismos, potenciando la limpieza.

Para corroborar la eficiencia del tratamiento, se implementó un filtro de arena en el Centro Educativo Ambiental, ubicado en el Parque O'Higgins. El tamaño y distribución de arenas, es adecuado para que opere el tratamiento de aguas grises provenientes de lavamanos para la cantidad máxima de visitas que el recinto puede recibir (30 personas) y generar agua suficiente para el regadío de las ligustrinas aledañas.

Debido a que los sólidos aumentaron al salir del filtro, se colocarán plantas de totora para ayudar en su retención, aunque puede ser interesante probar con otros medios absorbentes como el carbón activado o utilizar ambos.

3.4. Identificación y evaluación de impacto ambiental de las alternativas de reuso de aguas grises.

3.4.1. Características del lugar donde se implementa el filtro de arena.

El lugar donde se instaló el filtro de arena, es el Centro de Educación Ambiental de la Municipalidad de Santiago, ubicada en el sector poniente del Parque O'Higgins. Las coordenadas de su ubicación son 33°27'50,65``S y 70°39'44,97`` O. Hacia el este del recinto hay una calle que no suele ser transitada, perteneciente al Centro de eventos Movistar Arena.

Hacia el poniente hay 112 metros de vegetación correspondiente a parque, que abarca todo el sector poniente, norte y sur del recinto. Durante los días de semana es escasa la concurrencia de personas en este sector del parque. Generalmente se ve vacío.

Los lugares de interés cercanos al recinto, debido a la capacidad de reunir personas, son el patinódromo que se encuentra a 99 metros al sur este, hacia el sur, a 51 metros se encuentra el vivero municipal, a 160 metros, una plaza de juegos y a 222 metros las canchas de tenis municipal.

Hacia el norte, el Centro de eventos Movistar Arena se encuentra a 100 metros y el Parque de diversiones Fantasilandia a 260 metros. Al finalizar el parque al poniente, se encuentra la calle Beaucheff y un sector residencial.

El filtro de arena, se ubicará a 30 metros del punto de reciclaje y a 30 metros del acopio de tierra compostada. Esto es en el extremo este del recinto junto a la calle perteneciente al Movistar Arena.

En el recinto, suele haber olor a descomposición proveniente de la gran cantidad de residuos orgánicos en proceso de compostaje. Pero como medida de mitigación, existen plantaciones de pino alrededor del recinto para minimizar la propagación más allá del perímetro, lo que ayudaría también en alguna eventualidad del tratamiento de aguas grises.

3.4.2. Cantidad de aguas grises que se desean tratar.

El Centro Educativo Ambiental tiene capacidad para recibir alrededor de 30 personas. Si consideramos que la cantidad de agua utilizada para el lavado de manos es alrededor de 600 centímetros cúbicos, entonces la cantidad de aguas grises que se generarían aproximadamente, si todas las personas visitantes hacen uso del lavamanos, es de 18 litros.

3.4.3. Impactos ambientales en la etapa de construcción.

Para colocar el recipiente plástico es necesario remover tierra de un volumen igual a 480 litros y una profundidad de 35 cm. Aquí se genera material particulado en suspensión que es posible minimizar rociando un poco de agua.

Para realizar las oberturas de entrada y salida del recipiente, se genera también material en suspensión, pero éste puede minimizar su llegada a las vías respiratorias, utilizando una mascarilla, ya que su emisión afecta principalmente el área local de trabajo.

3.4.4. impactos ambientales en la etapa de operación y situaciones de contingencia.

El posible impacto ambiental del filtro de arena en operación es la generación de olores por eventual pudrición de alguna sustancia orgánica no contemplada como

hojas de los árboles, restos de frutas o inclusive, cabello. Para contrarrestar esta posibilidad, el filtro debe contar con un techo para evitar que las hojas de los árboles que están alrededor, caigan directamente y debe tener una altura suficiente que permita observar el tratamiento del agua. Además debe tener una reja en todo el contorno para evitar que el ingreso de perros contamine el filtro y una educación e instructivo previo de los cuidados y usos.

Con estas medidas preventivas, más una limpieza periódica que consista en retirar hojas y suciedad que pudiera haber caído, es posible mantener en buenas condiciones el biofiltro. Para aquellos residuos que se puedan incorporar por el ducto, de entrada, es necesario colocar rejillas tanto en el lavamanos como en el ducto, que tengan la posibilidad de limpieza frecuente. Otra actividad necesaria para detectar algún problema de este tipo es estar atentos a alguna presencia extraña de olores, con el fin de evitar que estos sean más intensos, mediante una intervención, revisando las partes del filtro y limpiando.

Una situación de contingencia es la posible sobrecarga de aguas grises en el filtro de arena o el taponamiento de la salida. Esto se puede prever con un ducto de salida hacia el sistema de alcantarillado en caso de sobrecarga y el taponamiento, con mantenciones periódicas del sistema, es decir, supervisando que el flujo del agua tratada, esté dentro del promedio de su funcionamiento. La medida sobre salida al alcantarillado, también está siendo contemplada en la ley sobre aguas grises que se está discutiendo en el Senado.

Las mantenciones periódicas para evitar el taponamiento y el mal funcionamiento, pueden realizarse una vez al mes o más de acuerdo a las condiciones del agua y la frecuencia de uso. Esta puede consistir en remover las arenas y lavarlas con agua limpia. Otra opción que se puede realizar con mayor frecuencia sin necesidad de remover las arenas, es realizar un retrolavado, donde el agua limpia entra por el ducto de salida y sale a la superficie (Sellés, 2014).

IV. CONCLUSIONES

- Las aguas grises estudiadas presentaron sólidos disueltos de 1240 mg/L, 1245 mg/L de sólidos totales y 1430 μ mhos/cm de conductividad.
- El pH de las aguas grises es neutro, con 56 mg/L de tensioactivos y 149 mg/L de DQO.
- Este filtro deberá tener conexiones que lleven el agua hacia la vegetación que se desea regar, ya que el agua generada no podrá ser almacenada pues existe la posibilidad de pudrición que generaría malos olores, convirtiéndose en un problema ambiental.
- Es aconsejable que exista una revisión anual y mantenciones periódicas del filtro para garantizar el buen funcionamiento del tratamiento.
- Al evaluar los impactos de este sistema se constató que no existen impactos ambientales de gran envergadura, en su estado de operación, pues no posee grandes dimensiones y en caso de generación de olores, es posible atender con tiempo antes que pueda afectar a las personas debido a su ubicación aislada. Está emplazado adecuadamente para la observación de un ciclo de tratamiento con motivos educativos desde la generación de aguas grises que posteriormente pasan al filtro y finalmente tiene salida a las plantas.

V. BIBLIOGRAFÍA

- Bubenheim D., Wignarajah K., Berry W. and Wydeven T. 1997. Phytotoxic effects of gray water due to surfactants. pp 793-795.
- Codoceo F., 2012. Guía urbana de Santiago: Parque O`Higgins.
- Decreto nº 236 de 1926 del Ministerio de Higiene,Asistencia, Previsión Social y Trabajo. pp 9-18.
- Diaz Carlos. 2014. Tratamiento de aguas residuales a través de humedales, Quinto Congreso internacional de Ingeniería civil, Universidad Santo Tomás, seccional tunja. pp 2-5.
- Dirección General de Aguas. 2010. Actualización para reutilización de aguas grises del "Reglamento general de alcantarillados particulares, fosas sépticas, camaras filtrantes, cámaras de contacto, cámaras absorbentes y letrinas domiciliarias".
- Domènech X., Peral J. 2006. Química ambiental de sistemas terrestres. pp. 190.
- E. Friedler, R. Kovalio, and N.I. Galil. 2005. On-site greywater treatment and reuse in multi-storey buildings. pp. 187-194.
- Espino E., 2014. El impacto neuropsicológico de las tecnologías de la información. pp. 57.
- Frêne C., Andrade P., Ojeda G., Santibáñez J., Donoso C., Sanzana J., Molina C., Nuñez M., 2014. Agua en Chile. Diagnósticos territoriales y propuestas para enfrentar la crisis hídrica. pp. 6-9.
- Gómez C. 2012. Manejo de aguas residuales en pequeñas comunidades. Escuela de ciencias agrícolas, pecuarias y del medio ambiente. pp. 8.

- Hernández S., Cruz-Medina M. 2011. Sustainable management of domestic water residues and diminution of discharges into municipal collectors in Mexico. pp 24-30.
- <http://www.elmercurio.com/Campo/Noticias/Redes/2014/04/29/Mantenimiento-riego.aspx>
- <http://polis.revues.org/5091>.
- http://www.senado.cl/comision-de-recursos-hidricos-comenzara-analisis-detallado-de-reutilizacion-de-las-aguas-grises/prontus_senado/2015-04-10/120821.html
- http://www.senado.cl/fomento-para-el-uso-de-aguas-grises-pasa-su-primera-prueba-y-sera-visto-por-la-sala-del-senado/prontus_senado/2015-12-24/103025.html
- http://www.senado.cl/recuperacion-de-aguas-grises-politica-concreta-para-enfrentar-la-desertificacion-pasa-a-segundo-tramite/prontus_senado/2016-01-28/134041.html
- Jefferson B., Palmer A., Jeffrey P., Stuetz R., and Judd S. 2004. Grey water characterisation and its impact on the selection and operation of technologies for urban reuse. pp. 157-165.
- Ley sobre Bases Generales del Medio Ambiente 19300. pp 18-24.
- Lopez Camilo. 2009. Guía para la utilización de aguas grises de lavamanos en establecimientos educacionales, Gobierno de Chile. pp 7-22.
- Norma Chilena 409/1 2005. Establece requisitos de agua potable.
- Norma Chilena 1333/1978. Requisitos de agua para distintos usos.
- Pires M., Marques L. 2013. Sustainable construction: water use in residential buildings in Portugal. pp 14-21.
- Resolución de calificación ambiental "construcción planta de tratamiento de aguas servidas olivar bajo y rincón de abra", 2014.

- Santos C., Matos C. y Taveira-Pinto F. 2014. A comparative study of greywater from domestic and public buildings, water science and technology: water supply.
- Soromenho Ana Rita, De Figueiredo Jorge. 2014. Domestic water reuse, evaluating water conservation measures and feasibility analysis. pp. 20-48.

VI ANEXOS

Operación de los filtros de arena

Las arenas, al ser un medio poroso, permiten que pase el agua o un fluido cualquiera a través de sus poros pero cuando ésta se encuentra con sólidos de muy pequeño tamaño, en suspensión, estos quedan retenidos en la superficie de las arenas ya que no alcanzan a pasar a través de los poros, sobre todo cuando la velocidad de circulación es baja.

A medida que el agua con contenido de sólidos pasa por el medio poroso, los sólidos se van acumulando progresivamente en la superficie, lo que genera una disminución de la porosidad y como consecuencia de esto, una pérdida de carga total con el tiempo de operación. Esta pérdida de carga o resistencia al movimiento, se puede expresar a través del teorema de Bernoulli, que explica el movimiento de un fluido en un medio poroso y se puede observar en la ecuación 1.

ecuación 1: ecuación de pérdida de carga (H) del teorema de Bernoulli.

$$H = z + u/Y_w + v^2/2g$$

donde H: pérdida de carga hidráulica.

z: altura.

u/Y_w : altura de presión (término relacionada a energía potencial).

$v^2/2g$: altura de velocidad (término relacionado a energía cinética).

Las partículas que quedan adheridas a las arenas, permanecerán en ellas mientras resistan la fuerza de corte debido a las condiciones hidrodinámicas del escurrimiento.

A medida que el filtro de arena se va llenando de partículas que retuvo del agua, la eficiencia de remoción aumenta, ya que estas también contribuyen a la retención de las partículas que posteriormente han de llegar en el agua que se desea limpiar. Al contar con un medio de filtración mayor, debido a esto, la pérdida de carga en el tiempo, será mayor.

Otro aspecto importante, que ocurre también durante el escurrido del agua a tratar, es el impacto inercial, que consiste en el choque de las partículas de los sólidos suspendidos debido a la velocidad que llevan en su trayectoria y no alcanzan a seguir la trayectoria de las líneas de corriente debido a la divergencia de estas al toparse con los granos de arena, como se puede apreciar en la figura 6.

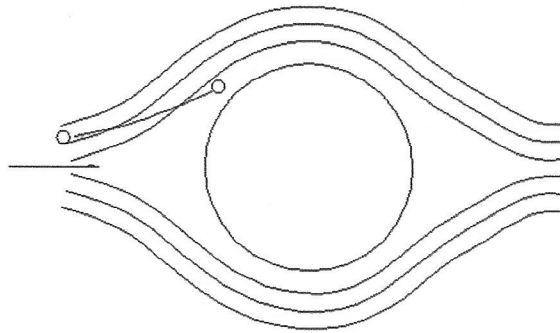


Figura 6: Trayectoria de las líneas de corriente e impacto inercial.

La carga química o potencial Z también influye en la eficiencia de remoción, pues si las arenas, que poseen una carga negativa, se enfrentan a partículas positivas, va a haber mayor eficiencia de remoción que si las partículas tuvieran carga negativas.

Finalmente, en la dinámica de filtración, es importante considerar que existen dos partes importantes, uno es la filtración superficial, que se produce en las primeras capas del medio filtrante y es responsable del 90% de la pérdida de carga o resistencia al movimiento, y la otra es la profundidad, donde quedan retenidas aquellas partículas que no alcanzaron a adherirse en las primeras capas, como se muestra en la figura 8 (Escobar, 2005).



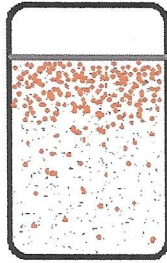
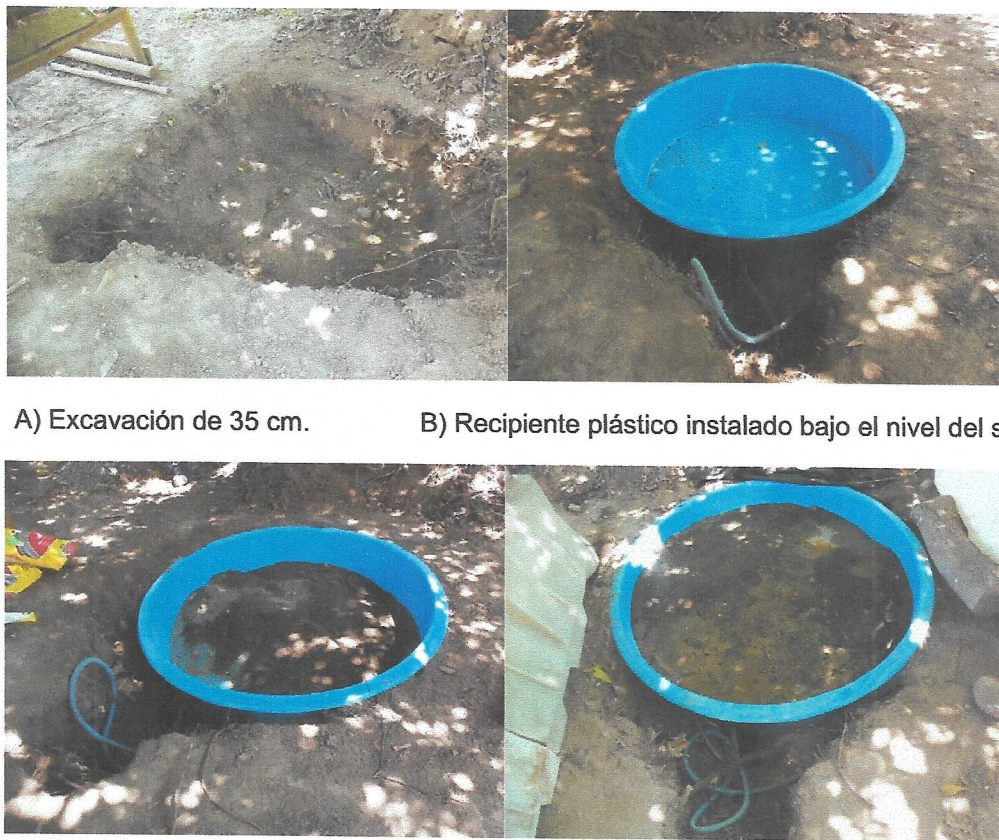


Figura 7: Retención de partículas en un medio filtrante de arena.

2.3.2. Implementación de sistema a escala real para tratamiento de aguas grises.

Se realizó el tratamiento de aguas grises provenientes de lavamanos utilizando un recipiente plástico redondo de fibra de vidrio con capacidad para 480 L y una profundidad de 0,35 metros, como contenedor de arenas con las características del contenedor a pequeña escala, que representó de mejor manera el tiempo de recorrido del flujo esperado. (Figura 3).



A) Excavación de 35 cm.

B) Recipiente plástico instalado bajo el nivel del suelo.

C) Proceso de llenado con arenas.

D) Filtro de arena listo.

Figura 3. Etapas de preparación del filtro de arena.

Como este filtro se pretende usar de manera vertical, se le coloca agua proveniente de lavamanos en la superficie de las capas de arena y se recibe el agua en la base del envase que cuenta con una salida de agua. El mismo debe contar con una pequeña inclinación para favorecer el recorrido hasta la salida y en un tiempo

deseable de 3 a 5 días para asegurar la adherencia de los residuos en la superficie de las partículas de arena.

El agua filtrada, se recibió en un recipiente de plástico para ser analizada. Al agua gris proveniente de lavamanos, se le realizaron los mismos análisis antes de ser tratada, para verificar la eficiencia del sistema.

Una vez instalado el recipiente con la distribución de arenas, se le colocaron 80 litros de agua potable de una sola vez, para acomodar las arenas y luego, a medida que se generaban aguas grises provenientes de lavamanos, se fueron incorporando también, para comenzar el proceso de tratamiento mediante filtración. Después de haber agregado 90 litros de aguas grises, se procedió a tomar muestras de la manera antes mencionada. (Figura 4).

Según se requiera es posible modificar la configuración de acuerdo al parámetro que se requiera ajustar para lograr los niveles de contaminantes requeridos para que el agua tratada sea apta para el uso propuesto.



Figura 4. Incorporación de aguas grises para comenzar el tratamiento.

2.4. Metodología para la estimación de los impactos ambientales.

1. Se caracteriza el lugar donde se desea implementar el filtro de arena.
2. Se calcula la cantidad de aguas grises que se desean tratar.
3. Se determinan los impactos ambientales en la etapa de construcción y operación, tanto de residuos sólidos, líquidos y gaseosos, deduciendo además situaciones de contingencia.

III. RESULTADOS Y DISCUSION

3.1. Descripción de la gestión del agua en el Parque O'Higgins.

3.1.1. Consumo de agua potable en actividades al aire libre.

Existen tres puntos importantes de abastecimiento de agua potable para las personas que realizan actividades al aire libre:

- **Piletas.** Utilizadas principalmente por quienes van a correr, andar en bicicleta o cualquier otra actividad deportiva al aire libre. Las actividades deportivas al aire libre se realizan principalmente los días de semana. Existen dos piletas con fines estéticos, una está dentro del parque y solo tiene una acumulación de agua como una especie de laguna, la otra está en la entrada del lado este del recinto y cuenta con largos chorros verticales de agua que emanan desde el suelo, así en épocas de calor es utilizada por los transeúntes para refrescarse a su paso.
- **Lavaplatos en zona de picnic.** Utilizados principalmente en fines de semana debido a actividades recreativas familiares, y los viernes principalmente por grupos de jóvenes.
- **Baños públicos.** A pesar que tienen uso constante, estos realizan su apertura los días viernes y fines de semana debido a la precaria demanda de lunes a jueves.

3.1.2. Consumo de agua en dependencias del parque.

- **Dependencias deportivas.** Un caso distinto es el uso de agua de actividades deportivas de dependencias dentro del recinto, tales como piscina, canchas de tenis y patinódromo, ya que estas cuentan con servicio de duchas en las que es posible la utilización de jabones y shampoo, generando una carga contaminante caracterizada por DQO, sólidos disueltos y materia orgánica, entre otras.