



**UNIVERSIDAD DE CHILE**  
**FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS**  
**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL**

**TRATAMIENTO Y REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES  
CON APLICACIÓN A CASO EN CHILE**

**MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

**MARÍA VERÓNICA FRANCO ALVARADO**

**PROFESOR GUÍA**  
**FERNANDO HIDALGO TAPIA**

**MIEMBROS DE LA COMISIÓN**  
**ANA MARÍA SANCHA FERNÁNDEZ**  
**GERARDO AHUMADA THEODULOZ**

**SANTIAGO DE CHILE**  
**Junio 2007**

RESUMEN DE LA MEMORIA  
PARA OPTAR AL TÍTULO DE  
INGENIERO CIVIL  
POR: M. VERÓNICA FRANCO A.  
FECHA: 22 DE JUNIO DE 2007  
PROF. GUÍA: FERNANDO HIDALGO T.

## **“TRATAMIENTO Y REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES. CON APLICACIÓN A CASO EN CHILE”**

De acuerdo a parámetros internacionales Chile presenta escasez hídrica en gran parte de su territorio, y la demanda por este recurso sigue en aumento. Existen diversos modos de enfrentar este problema y uno de ellos es la reutilización de agua, dentro del cual se encuentra la recuperación y reuso de aguas grises, tema ampliamente explorado en países desarrollados en las últimas décadas.

El presente Trabajo de Título tiene como objetivo principal aportar una herramienta para mejorar la eficiencia del uso del agua potable en Chile, introduciendo el tema de reutilización de aguas grises, como un medio para disminuir la demanda de agua. Este trabajo consta de investigación, experimentación y aplicación; en particular, esta última parte corresponde al diseño de una planta de tratamiento de aguas grises.

Durante la elaboración de este trabajo se efectuó investigación de estudios internacionales en: caracterización de las aguas, tratamientos, usos posibles, riesgos entre otros. Se realizó también la primera caracterización de aguas grises conocida en el país, constituida por muestras de dos casas de las ciudades de Calama y Vallenar, cuyos resultados concuerdan plenamente con los de caracterizaciones internacionales.

El proyecto de tratamiento propuesto se insertó en un proyecto hotelero en Calama, se procuró que éste fuese aplicable a diversos casos. Durante el diseño del sistema de tratamiento se efectuó una simulación de éste en laboratorio, a fin de comprobar su efectividad de purificación. Los resultados del análisis de calidad de agua, obtenida de la simulación, fueron positivos en relación a normas internacionales y la norma NCh 1333, a excepción del sodio, esto debido a la alta concentración en el agua potable de Calama.

El análisis de costos entregó que el sistema diseñado es económicamente factible de realizar, dependiendo del precio del agua potable y de la etapa de recolección, esto último dado que las conducciones paralelas requeridas están en función de la configuración del recinto, por lo que su costo está directamente relacionado a la distribución de cada caso.

A mis padres,  
Jaime y María Alicia.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a mis profesores de comisión por su gran apoyo durante el desarrollo de este Trabajo: a mi profesor guía, Fernando Hidalgo, por su confianza al aceptar el tema, por su gran ayuda, su entusiasmo y calidez; a mi profesora co-guía, Ana María Sancha, por sus buenos consejos e ideas y por incentivar me más allá de los límites de este Trabajo; y al profesor Gerardo Ahumada por responder a un sin número de consultas con excelente disposición y paciencia. Muchas gracias, fueron indispensables.

Durante la ejecución de este trabajo recibí ayuda de muchas personas entre ellos destaco: a la profesora Gabriela Castillo, por su ayuda en laboratorio y su buena disposición a responder mis consultas; a la ingeniera Elizabeth Echeverría por su excelente voluntad y ayuda; al ingeniero Jorge Castillo, por permitir el uso del laboratorio de fluidos y asesorarme en ello; al equipo del laboratorio AQUA, en especial a don Raúl Thiers, quienes realizaron gratuitamente los primeros análisis de este informe; y a Don Roberto González de CONAMA, por la ayuda y material entregado. No puedo dejar de mencionar en esta lista a mis amigos Maca y Alain quienes además de entregarme su linda amistad colaboraron en la realización de esta memoria.

Agradezco de igual forma a la empresa Magna Chile, por permitir basar parte de este trabajo en su proyecto Plaza Sol del Loa y a las familias Ahumada Herrera, de Vallenar, y Sejas Orellana de Calama, por su colaboración en la toma de muestras de aguas grises.

Sin duda a quienes debo el mayor agradecimiento, ya que sin ellos no hubiese podido llegar hasta aquí, es a mis padres Jaime y María Alicia, muchas gracias por su apoyo incondicional y por creer siempre en mí.

Agradezco a mi abuela Alicia Gebhard, con quien he vivido los últimos años, por su acogida, cariño y constante preocupación.

Gracias también a José, por estar a mi lado apoyándome y alegrándome, en los momentos más complicados de este período, eres muy importante para mí.

Y a todos quienes son o han sido importantes en mi vida, influyendo sin duda en esta etapa que hoy termina: mis hermanos, primas, familia y amigos. Gracias!!

# TABLA DE CONTENIDOS

<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Recursos Hídricos en Chile .....	2
1.2 Objetivos de este Trabajo .....	5
1.2.1 Objetivos Generales.....	5
1.2.2 Objetivos Específicos .....	5
<b>2. AGUAS GRISES .....</b>	<b>6</b>
2.1 Definición de Aguas Grises.....	7
2.2 Composición de Aguas Grises según Origen .....	8
2.3 Caracterización de Aguas Grises.....	8
2.3.1 Características Generales.....	9
2.3.2 Características de Aguas Grises según Origen .....	13
2.3.3 Comparación de Aguas Grises y Negras .....	17
2.3.4 Caracterización de Aguas Grises en Chile .....	19
2.4 Tipos de Reusos para Aguas Grises .....	22
2.4.1 Usos Urbanos.....	22
2.4.2 Usos Agrícolas.....	22
2.4.3 Restauración Ambiental y Usos Recreacionales .....	22
2.4.4 Usos Industriales y Mineros .....	23
2.4.5 Recarga de Acuíferos .....	23
<b>3. RIESGOS, SALUD Y MEDIO AMBIENTE .....</b>	<b>24</b>
3.1 Riesgos y Salud .....	25
3.1.1 Vías de Infección y Medidas de Precaución.....	25
3.1.2 Determinación del Riesgo .....	27
3.2 Efectos en Medio Ambiente .....	30
<b>4. EXPERIENCIA MUNDIAL.....</b>	<b>35</b>
4.1 Experiencia Internacional .....	36
4.1.1 Generalidades .....	36
4.2 Experiencia Nacional.....	42
4.2.1 Contexto .....	42
4.2.2 Proyectos Realizados en Chile .....	43

<b>5. TRATAMIENTOS DE AGUAS GRISES.....</b>	<b>45</b>
5.1. Tipos de Tratamiento.....	46
5.2 Experiencias Internacionales.....	48
5.2.1 Jordania. Tratamientos tipo “Barrel-System”.....	48
5.2.2 Noruega. Tratamiento Combinado de Bio-filtros y Humedales.....	51
5.2.3 Suecia. “Wetpark” Parque Húmedo. Kalmar.....	53
5.2.4 Australia. Biofiltro Aeróbico CERES.....	54
5.2.5 Colombia. Sistema de Tratamiento de Aguas Grises.....	57
<b>6. DISEÑO DE SISTEMA DE TRATAMIENTO PROYECTO PLAZA SOL DEL LOA.....</b>	<b>57</b>
6.1 Antecedentes Generales.....	58
6.2 Experiencias en Laboratorio.....	59
6.2.1 Pruebas de Jarra. Aguas Grises de Santiago.....	59
6.2.2 Simulación de Sistema de Tratamiento.....	62
6.2.3 Determinación de Turbiedad Promedio de Aguas Grises.....	65
6.2.4 Pruebas de Jarra. Aguas Grises de Calama.....	67
6.2.5 Simulación de Sistema de Tratamiento.....	68
6.2.6 Resultados de Laboratorio.....	69
6.3 Dimensionamiento.....	73
6.4 Sistema de Tratamiento.....	74
6.4.1 Tubería de Distribución.....	74
6.4.3 Sistema Dosificador de Coagulante.....	76
6.4.4 Estanques Clarificadores.....	77
6.4.5 Sistema de Bombeo.....	78
6.4.6 Filtros.....	80
6.4.7 Almacenamiento y Desinfección.....	81
6.4.8 Otros.....	83
<b>7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>84</b>
7.1 Conclusiones.....	85
7.2 Recomendaciones.....	89
<b>8. BIBLIOGRAFIA Y REFERENCIAS.....</b>	<b>92</b>

<b>ANEXOS .....</b>	<b>99</b>
ANEXO A: COMPOSICIÓN PORCENTUAL DE AGUAS SERVIDAS Y GRISES .....	100
ANEXO B: PARÁMETROS DE CARACTERIZACIÓN .....	103
ANEXO C: DETERMINACIÓN DE M <sup>2</sup> DE ÁREAS VERDES .....	109
ANEXO D: DISEÑO DE SISTEMA DE TRATAMIENTO.....	112
ANEXO E: COSTOS .....	128
ANEXO F: PLANOS .....	133

## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1.1: Proyección de Demandas por Actividad de la DGA (1996-2015).....	3
TABLA 2.1: Caracterización de Aguas Grises, según Diversas Fuentes.....	11
TABLA 2.2: Resumen. Caracterización de Aguas Grises, según Diversas Fuentes.....	12
TABLA 2.3: Características de Aguas Grises. Según Origen.....	13
TABLA 2.4: Caracterización de Aguas Grises por Origen, según Diversas Fuentes .....	14
TABLA 2.5: Resumen. Caracterización de Aguas Grises por Origen, según Diversas Fuentes .....	15
TABLA 2.6: Comparación de Aguas según diversos Parámetros .....	19
TABLA 2.7: Fechas de Muestreo y Análisis de Muestra de Calama.....	20
TABLA 2.8: Resultados de Análisis de Muestra de Calama .....	20
TABLA 2.9: Fechas de Muestreo y Análisis de Muestra de Vallenar .....	21
TABLA 2.10: Resultados de Análisis de Muestra de Vallenar.....	21
TABLA 3.1: Agentes Infecciosos en Aguas Residuales Domésticas No Tratadas.....	29
TABLA 3.2: Grado de Restricción de Uso de Agua de Riego, según CE y SSD.....	33
TABLA 3.3: Grado de Restricción de Uso de Agua de Riego, según Concentración de Iones.....	33
TABLA 3.4: Grado de Restricción de Uso de Agua de Riego según RAS y C.E .....	34
TABLA 4.1: Requerimientos de Calidad para Agua de Riego y Otros Usos. ....	40
TABLA 4.2: Criterios de Calidad Microbiológicos. Aguas para Inodoros.....	41
TABLA 4.3: Criterios de Calidad Físico-Químicos. Aguas para Inodoros .....	41
TABLA 4.4: Costos de Proyecto Piloto. CONAMA .....	44
TABLA 5.1: Resultados Obtenidos con Tratamiento Combinado.....	52
TABLA 5.2: Eficiencia de Remoción de Wetpark, Kalmar. Suecia .....	54
TABLA 5.3: Remoción de Sólidos y DQO.....	56
TABLA 6.1: Medidas de Turbiedad y pH.....	66
TABLA 6.2: Resultados Análisis de Laboratorio AQUA.....	70
TABLA 6.3: Determinación de Sodio Porcentual.....	70
TABLA 6.4: Determinación de RAS .....	71
TABLA 6.5: Resultados de Análisis de Laboratorio.....	71
TABLA 6.6: Determinación de Sodio Porcentual.....	72
TABLA 6.7: Determinación de RAS .....	72
TABLA 7.1: Normativa Propuesta: Criterios de Calidad para Agua de Inodoros y Urinarios.....	91



## ÍNDICE DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1.1: Disponibilidad de Agua por Habitante. I a V y RM .....	2
GRÁFICO 1.2: Porcentajes de Uso según Actividad por Regiones .....	3
GRÁFICO 1.3: Proyección de Demandas por Actividad de la DGA (1996-2015) .....	4
GRÁFICO 2.1: Composición de Aguas Servidas según Origen .....	8
GRÁFICO 2.2: Composición de Aguas Grises según Origen .....	8
GRÁFICO 6.1: Determinación de Dosis Óptima de Coagulante.....	61
GRÁFICO 6.2: Determinación de Dosis Óptima de Coagulante.....	62
GRÁFICO 6.3: Determinación de Dosis Óptima de Coagulante.....	68

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 2.1: Fuentes de Aguas Grises .....	7
FIGURA 2.2: Crecimiento y Sobrevivencia de Bacterias en Aguas Grises.....	10
FIGURA 2.3: Comparación de Tasas de Descomposición de Aguas Grises y Aguas Negras .....	17
FIGURA 5.1: Tratamiento de Aguas Grises. Sistema de 2 Barriles .....	49
FIGURA 5.2: Tratamiento de Aguas Grises. Sistema de 4 Barriles .....	51
FIGURA 5.3: Humedal con Bio-Filtro Aeróbico Integrado .....	51
FIGURA 5.4: Esquema de Parque Húmedo (Wetpark) .....	53
FIGURA 5.5: Wetpark. Kalmar, Suecia.....	53
FIGURA 5.6: Esquema de Biofiltro CERES .....	54
FIGURA 5.7: Tratamiento en Colombia.....	55
FIGURA 6.1: Ubicación Sistema de Tratamiento Aguas Grises .....	58
FIGURA 6.2: Muestra de Agua Inicial .....	60
FIGURA 6.3: Agitación Rápida en Shaker .....	60
FIGURA 6.4: Agitación Lenta .....	60
FIGURA 6.5: Resultado de Decantación .....	60
FIGURA 6.6: Prueba de Jarra .....	61
FIGURA 6.7: Simulación de Sistema de Tratamiento .....	63
FIGURA 6.8: Simulación de Sistema de Tratamiento .....	63
FIGURA 6.9: Filtro en Matraz y Bomba de Vacío .....	69
FIGURA 6.10: Soporte de Acero .....	74

**CAPÍTULO 1**  
**INTRODUCCIÓN**

# 1. INTRODUCCIÓN

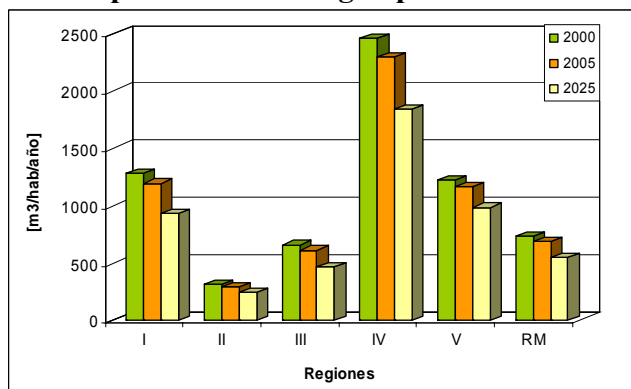
## 1.1 Recursos Hídricos en Chile

Si bien en Chile la disponibilidad media de recursos hídricos por habitante se encuentra en una buena situación a nivel mundial,  $5475[\text{m}^3/\text{año}/\text{hab}]$  en el año 1992 (Informe País, 2005), la repartición de este recurso a lo largo del país es muy irregular. Confirman esta situación los antecedentes del balance hídrico realizado por la DGA en 1987, que muestran que en un año promedio, las mayores precipitaciones y escorrentías corresponden a la XI región con valores medios de  $3263[\text{mm}]$  y  $10134[\text{m}^3/\text{s}]$  y las menores de  $44.5[\text{mm}]$  y  $0.93[\text{m}^3/\text{s}]$  pertenecientes a la II región, si se considera además que la fluctuación de precipitaciones presenta una mayor variabilidad interanual en las zonas áridas y semiáridas del país (I a IV región) (Brown y Saldivia. 2000), se tiene que el escenario del norte dista de encontrarse en buena situación de disponibilidad de recursos hídricos, siendo incluso el extremo norte considerado uno de los lugares más áridos del planeta.

En Chile las regiones con menor disponibilidad de agua por habitante son, en orden según escasez: la II, III, RM, I y V, las cuales se encuentran alrededor o bajo los  $1000[\text{m}^3/\text{año}/\text{hab}]$  (gráfico 1.1), umbral considerado internacionalmente altamente restrictivo<sup>1</sup>. Actualmente el consumo medio de agua en Chile supera esa cifra, alcanzando los  $1800[\text{m}^3/\text{año}/\text{hab}]$  (De Miguel. 1998), lo que indica que el agua pasa a ser un factor que puede limitar tanto el desarrollo económico y social como la sustentabilidad ambiental de ciudades como Santiago, la cual tiene una disponibilidad bajo los  $700[\text{m}^3/\text{año}/\text{hab}]$  (Brown y Saldivia. 2000).

En el gráfico 1.1 se presenta la proyección de disponibilidad de agua por habitante realizada el año 2000, en ella se muestra la situación proyectada para el año 2005 y 2025.

**Gráfico 1.1: Disponibilidad de Agua por Habitante. I a V y RM**

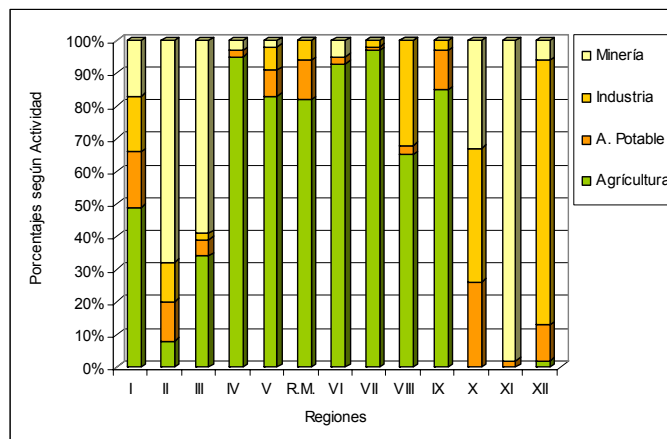


Fuente: Brown y Saldivia. Informe Nacional sobre la Gestión de Agua en Chile. CONAMA. 2000.

1 ONU: 1700-1000  $[\text{m}^3/\text{hab}/\text{año}]$  Tensión Hídrica  
1000-500  $[\text{m}^3/\text{hab}/\text{año}]$  Escasez  
< 500  $[\text{m}^3/\text{hab}/\text{año}]$  Escasez Absoluta

El uso que se le da al agua es diferente en cada región del país, en el gráfico 1.2 se detalla los porcentajes de uso de agua según actividad en cada región.

**Gráfico 1.2: Porcentajes de Uso según Actividad por Regiones**



Fuente: Política Nacional de Recursos Hídricos. MOP, DGA. 1999.

Las regiones que enfrentan el peor escenario son la II y III, considerando que la disponibilidad de agua natural en éstas se encuentra por debajo y cercana a los 500[m<sup>3</sup>/año/hab] respectivamente. En estas regiones gran porcentaje de la demanda de agua corresponde a la minería, sector que sigue incrementando su demanda y que con su alta disposición a pagar, aumenta aún más la competencia por el recurso y lleva a costosas soluciones, como es el caso de la Planta Desalinizadora de Antofagasta y la reciente Planta Desalinizadora de la Minera Escondida.

La Dirección General de Aguas ha efectuado una proyección de las demandas de agua para el período 1996-2015. La tabla 1.1 y el gráfico 1.3 muestran el aumento de la demanda por actividad proyectado para este intervalo de años.

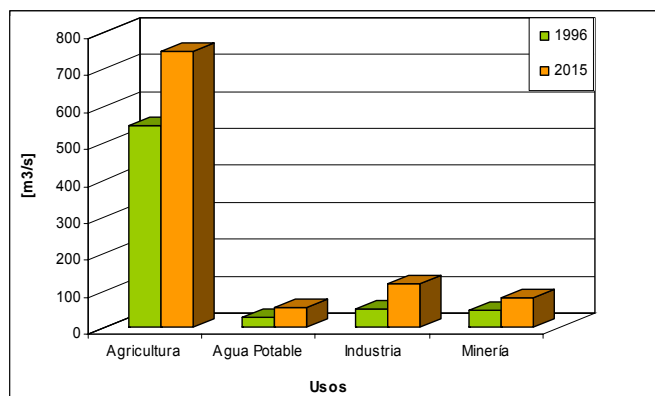
**Tabla 1.1: Proyección de Demandas por Actividad de la DGA (1996-2015)**

Actividad	Situación 1996 (m3/s)	Proyección 2015 (m3/s)	Aumento Demanda (m3/s)	Aumento Demanda (%)
<b>Agricultura</b>	546	750	204	37
<b>Agua Potable</b>	30	55	25	83
<b>Industria</b>	53	120	67	126
<b>Minería</b>	46	80	34	74
<b>Total</b>	675	1005	330	49

Fuente: Dirección General de Aguas, 1996.

En la tabla 1.1 se observa un importante aumento en la demanda de agua en todos los usos. Si bien, la agricultura es la actividad que presenta un menor aumento porcentual, ésta es la que más aporta al aumento total de la demanda.

**Gráfico 1.3: Proyección de Demandas por Actividad de la DGA (1996-2015)**



Fuente: Dirección General de Aguas, 1996.

Agrava lo anterior, el hecho que el agua destinada al uso y consumo doméstico experimenta además restricciones por mala calidad debido a: gran presencia de minerales, en particular en el norte con altas concentraciones de Boro y Arsénico (Informe País, 2002), salinización de acuíferos y contaminación derivada de las actividades industriales y mineras. Para recuperar estos recursos hídricos es necesario someterlos a tratamientos especiales con un alto costo de inversión tecnológica.

En concordancia con lo dicho anteriormente el estudio realizado por la Empresa Consultora “Golder Associates”, en el Valle de Copiapó, entregó como resultado la existencia de un déficit de 110 millones de [m<sup>3</sup>/año] en la Cuenca del Río Copiapó (El Mercurio, 29 de Julio 2006), reflejando la gran escasez de agua en la zona.

Debido a los factores mencionados, es urgente encontrar soluciones que permitan obtener una mayor eficiencia en el uso del agua. Una de las posibilidades existentes es disminuir la demanda de agua potable mediante la reutilización de aguas grises, que corresponden a aguas residuales domésticas con excepción de las provenientes de inodoros y urinarios. El tratamiento y reuso de estas aguas es realizado en muchos países desarrollados, pero por desconocimiento y limitaciones económicas no ha sido implementado masivamente en países en vías de desarrollo como el nuestro. Es por esto que surge la necesidad de buscar alternativas de tratamiento para estas aguas, que se adapten a los requerimientos del país y a las posibilidades económicas existentes.

## **1.2 Objetivos de este Trabajo**

### **1.2.1 Objetivos Generales**

Este Trabajo de Título tiene como principal objetivo entregar una herramienta para mejorar la eficiencia del uso del agua potable en el país, introduciendo el tema de reutilización de aguas grises, con la finalidad de aportar un método que permita reducir la demanda de agua potable.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

Investigar estudios realizados, internacional y nacionalmente, de caracterización y recuperación de aguas grises, a fin de obtener una visión de la situación general en que se encuentra el tema.

Caracterizar aguas grises chilenas, con el objetivo de obtener un parámetro de comparación con los estudios internacionales.

Diseñar un sistema de tratamiento de aguas grises, que sea adaptable a un universo amplio de casos y que pueda responder a necesidades de distintos sectores del país.

Simular el tratamiento de aguas grises propuesto, con el fin de controlar que la calidad de agua obtenida cumpla normas chilenas y/o internacionales, de acuerdo al uso al que ésta sea destinada.

**CAPÍTULO 2**  
**AGUAS GRISES**

## 2. AGUAS GRISES

### 2.1 Definición de Aguas Grises

Existen diferentes definiciones dadas al término Aguas Grises. La mayoría de los autores coincide en que corresponden a aguas residuales domésticas con excepción de las provenientes de inodoros y urinarios, llamadas aguas negras, otros excluyen además de esta definición aguas provenientes de la cocina. Una subdivisión usual es separar las aguas grises en claras y oscuras, siendo las primeras correspondientes a lavamanos, duchas y tinas, y las segundas a lavadoras y lavaplatos.

Estudios realizados en diferentes países indican que el porcentaje de aguas grises, presentes en aguas servidas domésticas, se encontraría entre un 50 y 80% o, más acotado aún, entre 60 y 70%.

**Figura 2.1: Fuentes de Aguas Grises**



Fuente: Elaboración Propia.

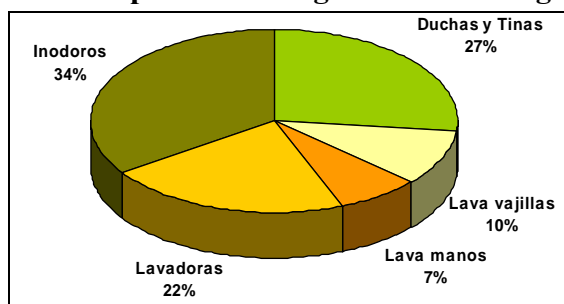
Para criterios de este trabajo, como muestra la figura 2.1, se considerarán aguas grises las aguas residuales domésticas, con excepción de las provenientes de inodoros y urinarios.



## 2.2 Composición de Aguas Grises según Origen

En los gráficos 2.1 y 2.2 se presenta la composición porcentual media aproximada según origen de las aguas servidas y grises respectivamente:

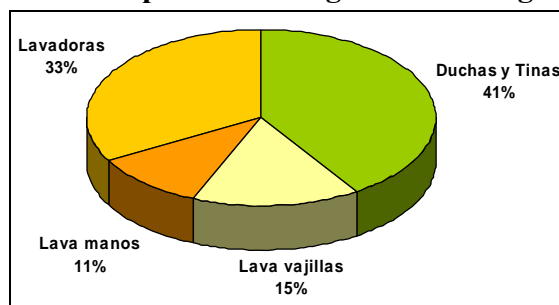
**Gráfico 2.1: Composición de Aguas Servidas según Origen**



Fuente: Elaboración propia en base a referencias (Anexo A).

Es claro que estos porcentajes en cada vivienda varían según el lugar, el ingreso económico, las costumbres, el clima, la época del año, etc. No obstante, el gráfico 2.1 sirve como parámetro de referencia, obteniéndose según éste, que la producción de aguas grises se encontraría en el rango de 60 a 70% del total de agua residual.

**Gráfico 2.2: Composición de Aguas Grises según Origen**



Fuente: Elaboración propia en base a referencias (Anexo A).

## 2.3 Caracterización de Aguas Grises

La composición de las aguas grises es también un factor variable, dependiente de las costumbres de las personas, sus edades y sexos, de los productos de limpieza ocupados, del número de personas en la vivienda, de las características del agua potable, de la época del año, de la hora del día, del clima, entre muchos otros factores.

Es posible caracterizar las aguas grises de acuerdo a los mismos parámetros que las aguas residuales domésticas, la variación entre unas y otras radica en las diferentes magnitudes de

dichos parámetros. Las aguas grises se pueden caracterizar física, química y microbiológicamente. En el anexo B se describen algunos parámetros de caracterización.

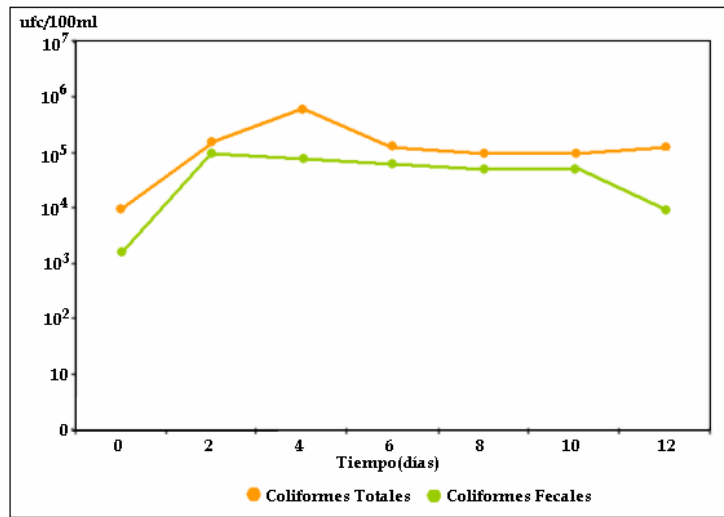
### **2.3.1 Características Generales**

Estudios realizados en diferentes países han permitido conocer la composición aproximada de las aguas grises. Las diferencias en calidad de agua potable, así como las diferentes costumbres entre países, ciudades, pueblos y familias, hacen que no se pueda estandarizar la calidad de las aguas grises, no obstante los análisis realizados en diferentes partes del mundo pueden ayudar a tener una idea de las características más marcadas de estas aguas.

Las aguas grises poseen nutrientes en cantidades mucho menores que las negras, presentando aproximadamente sólo el 10% del nitrógeno y el 21% del potasio, del total en aguas servidas domésticas (Vinneras, 2002; obtenido de Jenssen y Vrale). La misma fuente informa que solo un 26% del fósforo total corresponde a aguas grises, sin embargo este valor es subdimensionado para países como el nuestro, ya que estos datos corresponden a Noruega, país que fomenta el uso de detergentes sin fosfato. Otra fuente, “[www.greewater.com](http://www.greewater.com)”, indica que las aguas grises aportarían el 58% del fósforo total, lo que podría acercarse más a nuestra situación. Si bien el N y K de las aguas grises son bajos, en relación a las aguas servidas, estudios han demostrado que al regar con aguas grises sin tratar, las plantas y cultivos tienen un mayor crecimiento que al regar con agua cruda (Zulukasana L; Jeppeson 1996).

Patógenos se encuentran en bajas cantidades en las aguas grises, siendo generalmente sobreestimada la carga fecal al medir bacterias indicadoras, ya que pueden presentar crecimiento (*World Health Organization* (WHO), 2006), mostrando en aguas almacenadas un importante incremento de coliformes fecales y totales las primeras 48 horas (Rose, Obtenido de Zabrocki, 2003), en la figura 2.2 se puede observar este efecto:

**Figura 2.2: Crecimiento y Supervivencia de Bacterias en Aguas Grises**



Fuente: Adaptado de Zabrocki. 2003; original de Rose.

En la tabla 2.1 se muestra una recopilación de estudios de caracterización de aguas grises.

Tabla 2.1: Caracterización de Aguas Grises, según Diversas Fuentes

FUENTE		Brandes	Kristiansen y Skarner	Siegrist y Boyle	Rose et al.	Jeppersen y Solley	Naturvardsverket	Del Porto y Steinfeld	Nolde y Bullermann	Casanova et al.	Gerba	Jenssen	Palmquist y Jonsson	Eriksson et al.	Li et al.	Vinneras et al.
PAÍS		Canadá	Noruega	E.E.U.U	E.E.U.U	Australia	Norma Sueca	E.E.U.U	Alemania	E.E.U.U	E.E.U.U	Noruega	Suecia	Inglaterra	Alemania	Norma Sueca Propuesta
AÑO		1978	1979	1981	1991	1994	1995	1999	2001	2001	2001	2001	2003	2003	2004	2006
PARÁMETROS	UNIDADES															
<b>FÍSICOS</b>																
Conductividad	dS/m	-	-	-	-	0.33-1.14 (0.6)	-	-	-	-	-	-	1.44-1.48	-	-	-
SST	mg/l	162	35	45	-	45-330 (115)	107	20-1500	-	35.9	-	-	-	7-207	-	-
SDT	mg/l	-	-	-	-	-	-	420-1700	-	-	-	-	-	-	-	-
Turbiedad (UNT)	UNT	-	-	-	-	22-200 (100)	-	20-140	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>QUÍMICOS</b>																
Alcalinidad	mg/l	-	-	-	158	-	-	-	-	-	-	-	300-334	-	-	-
Amoniaco libre (NH <sub>3</sub> )	mg/l	-	-	-	-	<0.1-25.4 (5.3)	-	0.15-4.5	-	-	-	-	20	-	-	-
Amonio (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	mg/l	-	-	-	0.74	-	-	-	-	-	-	-	-	0.02-0.42	-	-
Cloruros (Cl)	mg/l	-	-	-	9	-	-	-	-	20.54	-	-	210	-	-	-
DBO5	mg/l	149	130	178*	-	90-290 (160)	187	33-620	250-550 (360)	64.85	119.8	88*	280-310	26-130	73-142	260
DQO	mg/l	366	341	456	-	-	-	-	400-700 (535)	-	-	277	1135	77-240	-	520
Dureza (CaCO <sub>3</sub> )	mg/l	-	-	-	144	15-55 (45)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fosfatos (PO <sub>4</sub> -P)	mg/l	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13	-	-	-
Fósforo (P)	mg/l	1.4	1.3	4.4	-	0.6-27.3 (8)	4	-	3-8 (5.4)	-	-	-	-	0.28-0.779	6.8-9.2	5.2
Nitrógeno Total	mg/l	11.5	19	-	1.7	-	6.7	-	10-17 (13)	-	-	8.8	-	3.6-6.4	8.7-13.1	13.6
Nitrógeno Kjeldahl	mg/l	11.3	-	15.9	-	2.1-31.5 (12)	-	0.6-50	-	-	-	4.9	24-30	-	-	-
Nitrato (NO <sub>3</sub> )	mg/l	1.7	11.5	-	0.98	-	-	0-4.9	-	-	1.8	3.8	-	<0.02-0.26	2.5	-
Nitrito (NO <sub>2</sub> )	mg/l	-	-	-	-	<0.1-0.8 (0.3)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Nitrato + Nitrito	mg/l	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<0.1-1.2	-	-	-
Orto Fosfatos	mg/l	-	-	-	-	-	-	1.4-35	-	-	-	-	11	-	-	-
pH		-	-	-	6.54	6.6-8.7 (7.5)	-	5-8.7	6.9-8	7.47	6.8	-	5.8-6.3	7.6-8.6	-	-
Sulfatos (SO <sub>4</sub> )	mg/l	-	-	-	22.9	7.9-110 (35)	-	-	-	59.59	-	-	113	-	-	-
<b>MICROBIOLÓGICOS</b>																
Ascaris spp	ova	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-	-	-
Colifagos	mg/l	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-	-	-
Coliformes Fecales	ufc/100ml	2*10 <sup>6</sup>	1*10 <sup>5</sup>	2*10 <sup>5</sup>	82*10 <sup>4</sup> -7.94*10 <sup>7</sup>	-	-	10-1.4*10 <sup>5</sup>	10 <sup>1</sup> -10 <sup>5</sup>	5.63*10 <sup>5</sup>	10 <sup>7</sup>	10 <sup>4</sup> -10 <sup>6</sup>	-	-	10 <sup>4</sup> -10 <sup>6</sup>	-
Coliformes Totales	ufc/100ml	-	-	-	2.8*10 <sup>7</sup>	-	-	-	10 <sup>2</sup> -10 <sup>6</sup>	8.03*10 <sup>7</sup>	-	-	4*10 <sup>5</sup>	6*10 <sup>4</sup> -3.2*10 <sup>5</sup>	-	-
Escherichia Coli	ufc/100ml	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4*10 <sup>5</sup>	<100-2800	-	-
Estreptococo Fecal	ufc/100ml	-	-	-	-	-	-	-	-	2.38*10 <sup>2</sup>	-	-	-	-	-	-
<b>METALES</b>																
Cadmio (Cd)	mg/l	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<0.05	-	-	-
Calcio (Ca)	mg/l	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<5	99-100	-	-
Cobre (Cu)	mg/l	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.1	-	-	-
Cromo (Cr)	mg/l	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.11	-	-	-
Magnesio (Mg)	mg/l	-	-	-	9.3	-	-	-	-	-	-	-	5.6	20.8-23	-	-
Niquel (Ni)	mg/l	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<0.1	-	-	-
Plomo (Pb)	mg/l	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.2	-	-	-
Potasio (K)	mg/l	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5.9-7.4	-	-
Selenio (Se)	mg/l	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<0.05	-	-	-
Sodio (Na)	mg/l	-	-	-	-	29-230 (70)	-	-	-	-	-	-	-	44.7-98.5	-	-
Zinc (Zn)	mg/l	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.22	-	-	-

\* Valor corresponden a BDO7

En la tabla 2.2 se muestra un resumen de los principales parámetros que caracterizan las aguas grises.

**Tabla 2.2: Resumen. Caracterización de Aguas Grises, según Diversas Fuentes**

PARÁMETROS	UNIDADES	PROMEDIO	MÍN.	MÁX.
<b>FÍSICOS</b>				
C.E	dS/m	-	0.33	1.48
SST	mg/l	77.0	20	1500
SDT	mg/l	-	420	1700
Turbiedad	UNT	100	20	200
<b>QUÍMICOS</b>				
DBO <sub>5</sub>	mg/l	158.2	26	550
DQO	mg/l	515.8	77	1135
Fósforo (P)	mg/l	3.3	0.28	27.3
Nitrógeno Total	mg/l	10.2	1.7	50
Nitrógeno Kjeldahl	mg/l	10.7	0.6	50
Nitrato (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	mg/l	4.1	0	11.5
pH		7.0	5	8.7
<b>MICROBIOLÓGICOS</b>				
Coliformes Fecales	ufc/100ml	3*10 <sup>6</sup>	10 <sup>1</sup>	10 <sup>7</sup>
Coliformes Totales	ufc/100ml	-	10 <sup>2</sup>	8.03*10 <sup>7</sup>

Nota: Para el cálculo de los promedios se consideraron sólo los estudios con registros medios.

Se observa que el nitrógeno kjeldahl, correspondería prácticamente al total, esto debido a que gran parte de la materia orgánica es producto de restos de comidas y en mucha menor medida a material fecal, que pueda oxidarse en nitritos y nitratos. Siendo gran parte nitrógeno de tipo orgánico. El valor 4.1 de nitrato es bastante alto en relación a la mayoría de las referencias, ya que está influenciado por el valor 11.5, muy superior a todos los demás registros (tabla 2.1), por lo que podría considerarse como atípico.

El fósforo encontrado es producto de detergentes y elementos de limpieza. El pH es neutro, lo que puede no ser representativo ya que se espera un valor más alto debido a la presencia de detergentes y jabones, esto se puede explicar ya que en el cálculo sólo se ocuparon 3 valores, 2 de los cuales eran inesperadamente menores a 7.

La presencia de coliformes fecales indica que existe contaminación fecal y la mayor cantidad de coliformes totales, se explica por la contaminación relacionada con los residuos de alimentos contaminados, introducidos por el lavaplatos y también de ropas contaminada lavadas en lavadora. De acuerdo a lo observado en la figura 2.2, estos valores podrían estar sobre dimensionados.

### 2.3.2 Características de Aguas Grises según Origen

El agua gris presenta diferentes características, según el empleo que se le da al agua potable, a continuación se presenta una lista de características según uso (NSW. 2000; Imhof y Muhlemann. 2005):

**Tabla 2.3: Características de Aguas Grises. Según Origen**

Origen	Características
<b>Lava vajillas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Altamente contaminada con partículas de comida, aceites y grasas.</li> <li>-Cantidades variables de coliformes.</li> <li>-Generalmente presenta mayor cantidad de SST que las aguas servidas.</li> <li>-Crecimiento de microorganismos. Descomposición rápida. Mal olor.</li> <li>-Contiene detergentes, blanqueadores. Espumas.</li> <li>-Alta demanda de oxígeno.</li> <li>-Usualmente se considera como agua negra.</li> </ul>
<b>Ducha, Tina y Lavamanos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Generalmente corresponde al agua menos contaminada (aguas grises claras).</li> <li>-Ducha y tina presentan coliformes.</li> <li>-Puede contener orina, que es estéril en personas sanas, no obstante algunas infecciones en la vejiga pueden hacer que exista presencia de microorganismos, el potencial de éstos para sobrevivir y causar infecciones es considerado remoto.</li> <li>-Contiene pelos y productos de limpieza como jabón, shampoo y pasta de dientes.</li> <li>-Baja demanda de oxígeno.</li> </ul>
<b>Lavadora</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Contiene coliformes.</li> <li>-Contiene detergentes (sodio, fósforo, boro, amonio, nitrógeno). Espumas.</li> <li>-Alto pH.</li> <li>-Alta Salinidad</li> <li>-Alta cantidad de sólidos suspendidos (pelusas), alta turbiedad.</li> </ul>
<b>Piscinas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Altas concentraciones de microorganismos.</li> <li>-Gran presencia de químicos (residuos químicos de productos para mantenimiento, aceites para el cuerpo, cosméticos, etc.)</li> <li>-Polvo, pelos, pelusas.</li> <li>-Generalmente no se considera esta agua en recuperación de aguas grises, debido al gran volumen evacuado en poco tiempo.</li> </ul>

En la tabla 2.4, se muestran antecedentes reportados en varios estudios, para aguas grises generadas de duchas, cocina y lavadoras.

Tabla 2.4: Caracterización de Aguas Grises por Origen, según Diversas Fuentes

FUENTE		LEDIN ET AL. (2001)			FRIEDLER Y GALIL (2003)			JAMRAH ET AL. (2003)								
ORIGEN		HOLANDA			ISRAEL			AL-MWALEH, MUSCAT, OMAN			AL-HAIL, MUSCAT, OMAN			AL-KHODH MUSCAT, OMAN		
PARÁMETROS	UNIDADES	DUCHA	LAVAPLATO	LAVADORA	DUCHA	LAVAPLATO	LAVADORA	DUCHA	LAVAPLATO	LAVADORA	DUCHA	LAVAPLATO	LAVADORA	DUCHA	LAVAPLATO	LAVADORA
<b>FISICOS</b>																
Conductividad	dS/m	0.082-2 A,D	-	0.19-1.40 A	1.565	-	2.465	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ST	mg/l	-	-	-	1090	1272	2021	800	1250	4500	1000	750	3150	250	450	450
SST	mg/l	48-120 A, G	134-1300 F, G	70-280 A, C, G	-	-	188	410	925	665	470	305	120	180	285	160
SDT	mg/l	126-175 E	-	-	-	-	-	390	326	3835	530	445	3030	70	165	290
Turbiedad (UNT)	UNT	20-370 A, B, E	-	14-296 A,B,C	-	-	-	307	120	439	539	168	494	278	111	400
<b>QUÍMICOS</b>																
Aceites y Grasa	mg/l	-	-	8-35 A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A alcalinidad	mg/l	24-136 A, E	20-340 F	83-200 A	-	-	-	19	20	42	17	15	27	9	5	16
Amonio (NH <sub>3</sub> -N)	mg/l	<0.1-25 A, B, D, G	0.2-23 F, G	<0.1-3.47 A, B, C, G	1.3	0.5	4.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Azufre (S)	mg/l	0.14-3.3 A, G	0.12	9.5-40 A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Boro (B)	mg/l	<0.1 A	-	<0.1-0.5 A	0.35	-	0.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cloruros (Cl)	mg/l	3.1-18 A, B	-	9-88 A	284	-	450	-	-	-	-	-	-	-	-	-
COT	mg/l	15-225 E	-	100-280 C	120	-	361	37.1	32.2	190.1	107.4	115.9	331.8	105.9	62.6	2.03
DBO5	mg/l	76-200 A	-	48-380 A, C	424	-	462	60	25	212	156	73	236	174	28.2	91
DQO	mg/l	280 G	26-1600 F, G	375 G	645	1083	1339	116	60.9	340	695	77.5	278	72	35.5	76
Dureza (CaCO <sub>3</sub> )	mg/l	18-52 E	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fosfatos (PO <sub>4</sub> -P)	mg/l	-	-	-	12	29	169	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fósforo (P)	mg/l	0.11-2.2 A, G	3.1-10 G	0.062-57 A, C, G	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Nitrato (NO <sub>3</sub> -N)	mg/l	0-4.9 B	-	0.4-0.6 C	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Nitrato + Nitrito	mg/l	<0.05-0.2 A	-	0.1-0.31 A	-	-	-	6.6	3.2	<2.5	34.5	26.8	49	45	0.6	2.6
Nitrógeno Total	mg/l	0.8-7.3 B, G	13-60 G	6-21 C, G	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
OD	mg/l	0.4-4.6 D	2.2-5.8 F	-	-	-	-	2.3	2.8	2.5	2.6	2.3	2.7	2.8	3.9	3.5
Orto Fosfatos (PO <sub>4</sub> )	mg/l	4-35 B, D	0.4-4.7 F	4-15 C	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
pH		5-8.1 A, B, D, E	6.3-7.4 F	9.3-10 A	7	-	7.5	7.88	7.69	8.04	7.69	7.06	8.87	6.77	6.68	8.08
Sulfatos (SO <sub>4</sub> )	mg/l	12-40 B	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Surfactantes	mg/l	-	-	-	-	-	-	12.1	23.9	18.8	<0.5	76.5	222	17.6	25.4	114
<b>MICROBIOLÓGICOS</b>																
Coliformes Fecales	ufc/100ml	9-1.6*10 <sup>4</sup> A, B, C	1-8*10 <sup>6</sup> A, B, C	-	4*10 <sup>6</sup>	-	4*10 <sup>6</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bacterias Totales	ufc/100ml	300-6.4*10 <sup>8</sup> E, B	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bacteria heterotrófica	ufc/100ml	<1.8*10 <sup>5</sup> D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Colifagos	ufp/ml	388*10 <sup>3</sup> G	<3 G	102*10 <sup>3</sup> G	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Coliformes Termotolerantes	ufc/100ml	<8.9*10 <sup>5</sup> D, G	0.2*10 <sup>5</sup> -375*10 <sup>5</sup> G	8.4*10 <sup>5</sup> G	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Coliformes Totales	ufc/100ml	70-2.8*10 <sup>7</sup> A, B, C, E	-	56-8.9*10 <sup>5</sup> A, B, C	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Campylobacter spp.	ufc/100ml	N.D.A	-	N.D.A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cryptosporidium	ooquistes	N.D.A	-	N.D.A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Estafilococo aureus	ufc/ml	1-5*10 <sup>5</sup> E	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Escherichia Coli	ufc/100ml	3.2*10 <sup>7</sup> G	1.3*10 <sup>5</sup> -2.5*10 <sup>6</sup>	8.3*10 <sup>6</sup> G	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Estreptococo Fecal	ufc/100ml	1-5.4*10 <sup>5</sup> A, B, G	-	23-1.3*10 <sup>6</sup> A, B, C, G	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Giardia	quistes	N.D.A	-	N.D.A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pseudomonas aeruginosa	ufc/100ml	N.D.E	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Salmonella spp.	ufc/100ml	N.D.A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>METALES</b>																
Arsénico (As)	mg/l	0.001 A-<0.0038 G	<0.038 G	0.001-<0.038 A, G	-	-	-	ND	ND	0.01	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Cadmio (Cd)	mg/l	<0.01 A, G	<0.007 G	<0.01-<0.038 A, G	-	-	-	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Calcio (Ca)	mg/l	3.5-21 A, G	13-30 G	3.9-14 A, G	-	-	-	16.00	14.50	10.21	7.41	8.52	12.64	6.07	13.76	12.14
Cobre (Cu)	mg/l	0.06-0.12A, G	0.068-0.26 G	<0.05-0.27 A, G	-	-	-	ND	ND	0.005	0.003	ND	0.001	ND	ND	0.0003
Cromo (Cr)	mg/l	0.036 G	<0.025-0.072 G	<0.025 G	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fierro (Fe)	mg/l	0.34-1.4 A, G	0.6-1.2 G	0.29-1 A, G	-	-	-	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Magnesio (Mg)	mg/l	1.4-6.6 A, G	3.3-7.3 G	1.1-3.1 A, G	-	-	-	94.29	87.69	129.33	179.44	6.30	167.08	11.05	12.56	12.56
Niquel (Ni)	mg/l	<0.025 G	<0.025 G	<0.025 G	-	-	-	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01
Plomo (Pb)	mg/l	<0.063 G	<0.062-0.14 G	<0.063 G	-	-	-	0.002	0.001	0.002	0.002	0.001	0.002	0.002	0.001	0.00
Potasio (K)	mg/l	1.5-6.6 A, G	19-59 G	1.1-17 A, G	-	-	-	6.74	3.84	17.40	9.22	3.16	20.21	68.68	3.87	8.37
Selenio (Se)	mg/l	<0.001 A	-	<0.001 A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sodio (Na)	mg/l	7.4-21 A, G	29-180 G	44-480 A, G	151	-	530	274.22	253.42	1581.03	423.63	424.03	1333.30	ND	167.56	869.96
Zinc (Zn)	mg/l	0.01-6.3 A, G	0.0007-1.8 G	0.09-0.44 A, G	-	-	-	0.01	0.00	0.03	0.02	0.01	0.05	1.674	0.01	0.02

A: Christova Boal et al. (1996), B: Rose et al. (1991), C: Siegrist et al. (1976), D: Santala et al. (1998), E: Burrows et al., F: Shin et al. (1998), G: Hargelius et al. (1995)  
 ND: No Detectable

**Tabla 2.5: Resumen. Caracterización de Aguas Grises por Origen, según Diversas Fuentes**

PARÁMETROS	UNIDADES	PROMEDIO			MÍNIMO			MÁXIMO		
		DUCHA	LAVAPLATO	LAVADORA	DUCHA	LAVAPLATO	LAVADORA	DUCHA	LAVAPLATO	LAVADORA
<b>FÍSICOS</b>										
Conductividad	dS/m	0.1	-	0.2	2.0	-	2.5	-	-	-
SST	mg/l	340.8	505.0	283.3	48.0	134.0	70.0	470.0	1300.0	665.0
SDT	mg/l	330.0	312.0	2385.0	70.0	165.0	290.0	530.0	445.0	3835.0
Turbiedad (UNT)	UNT	374.7	133.0	444.3	20.0	111.0	14.0	539.0	168.0	494.0
<b>QUÍMICOS</b>										
DBO5	mg/l	203.5	42.1	250.3	60.0	25.0	48.0	424.0	73.0	462.0
DQO	mg/l	382.0	314.2	508.3	72.0	26.0	76.0	695.0	1600.0	1339.0
Fósforo (P)	mg/l	-	-	-	0.1	3.1	0.1	2.2	10.0	57.0
Nitrógeno Total	mg/l	-	-	-	0.6	13.0	6.0	7.3	60.0	21.0
Nitrato (NO <sub>3</sub> )	mg/l	-	-	-	0.0	-	0.4	4.9	-	0.6
pH		7.3	7.1	8.1	5.0	6.3	7.5	8.1	7.7	10.0
Surfactantes	mg/l	10.1	41.9	118.3	<0.5	23.9	18.8	17.6	76.5	114.0
<b>MICROBIOLÓGICOS</b>										
Coliformes Fecales	ufc/100ml	-	-	-	9.0	1.0	-	4*10 <sup>6</sup>	8*10 <sup>6</sup>	4*10 <sup>6</sup>
Coliformes Totales	ufc/100ml	-	-	-	70.0	-	56.0	2.8*10 <sup>7</sup>	-	8.9*10 <sup>5</sup>



El análisis de la información, mostrada en las tablas 2.4 y 2.5, permite realizar las siguientes observaciones respecto a algunos de los parámetros de calidad considerados:

**-Sólidos Suspendidos:** Son, en general, mayores en lavaplatos que en los otros usos, debido a los residuos de comida que son vertidos en éstos.

**-Sólidos Disueltos y Conductividad:** Son significativamente mayores en las aguas de lavadora, esto debido a la gran cantidad de sales disueltas, producto de los detergentes.

**-Turbiedad:** La turbiedad mayor es disputada entre las aguas de ducha y de lavadora. Siendo la fuente de turbiedad de las primeras el jabón, shampoo y grasas y de las segundas principalmente los productos de lavado.

**-Fósforo-Fosfatos:** Son muy superiores en aguas de la lavadora, que en las otras, debido a que éstos están presentes en importante cantidad en detergentes.

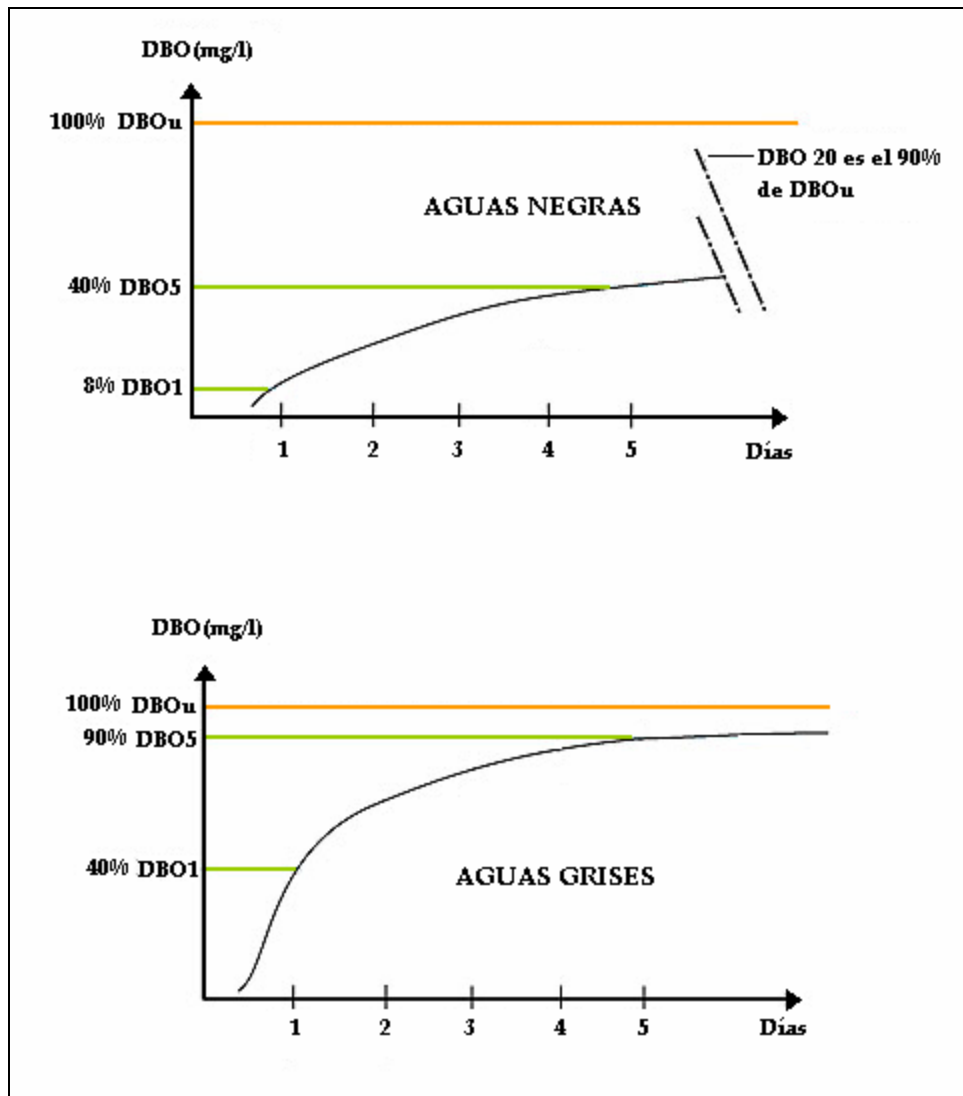
**-pH:** El pH también es mayor en lavadoras, lo que se puede atribuir a la alcalinidad de los detergentes.

**-Surfactantes:** En la mayoría de los casos, están en mayor cantidad en aguas de lavadora, debido a la presencia de éstos en detergentes. En menor medida son registrados en los otros usos, cuyo origen está en jabones y lavalozas.

### 2.3.3 Comparación de Aguas Grises y Negras

La distinta composición de aguas grises y negras, hace que las materias orgánicas contenidas en ellas tengan diferente comportamiento frente a la degradación. En la figura 2.3, se observa la comparación de las tasas de descomposición de materia orgánica en aguas grises y negras.

**Figura 2.3: Comparación de Tasas de Descomposición de Aguas Grises y Aguas Negras**



Fuente: Olson, 1967. Adaptado de [www.greywater.com](http://www.greywater.com)

Se observa en la figura 2.3 que la  $DBO_5$ , representa un 90% de la DBO última en las aguas grises y sólo 40% en las negras. Esto se puede entender dado que parte de la materia orgánica en las aguas negras, proveniente de las excretas, presenta mayor dificultad para ser degradada por microorganismos.

Entre las diferencias de las aguas grises con las aguas negras se encuentran:

**-Menor cantidad de patógenos:** Esto se explica debido que la gran fuente de patógenos en el agua residual son los excrementos.

**-Menor cantidad de nitrógeno:** Es cerca de la décima parte del correspondiente a las aguas negras. Aproximadamente la mitad de este nitrógeno, corresponde a tipo orgánico, el cual puede ser consumido por plantas. A diferencia de éste el perteneciente a las aguas negras, se convierte rápidamente en nitrito y nitrato, cancerígenos, difíciles de remover.

**-Mayor cantidad de fósforo:** Esto se explica debido al uso de detergentes ricos en fósforo, en lavadoras y lavaplatos.

**-Mayor tasa de decaimiento de contaminantes:** Ocurre ya que los componentes orgánicos de las aguas negras han pasado previamente por el aparato digestivo humano, lo cual los hace menos disponibles a los microorganismos, que la materia orgánica correspondiente a las aguas grises. Debido a esta alta tasa de descomposición, la descarga de aguas grises a ríos o lagos trae efectos más inmediatos que las aguas negras. Sin embargo, debido a la misma razón, en suelo con actividad biológica, la rápida descomposición de las aguas grises hace que éstas no sean tan contaminantes como las aguas servidas o las negras, ya que por la lenta degradación de éstas últimas, pueden contaminar sectores alejados del lugar de infiltración, a diferencia de las grises, que al degradarse rápidamente en el sector, no llevan la contaminación a otros sectores.

En la tabla 2.6 se presenta la comparación entre aguas grises y negras, de acuerdo a parámetros relevantes:

**Tabla 2.6: Comparación de Aguas según diversos Parámetros**

Parámetro	Aguas Negras	Aguas Grises
<b>Coliformes Fecales</b>	XXX	X
<b>DBO<sub>5</sub>/DBO<sub>U</sub></b>	X-XX	XXX
<b>Fósforo</b>	XX	XXX
<b>Nitrato</b>	XXX	<X
<b>Nitrógeno</b>	XXX	X
<b>Sólidos Suspendidos</b>	XXX	XXX
<b>Surfactantes</b>	-	XX
<b>Turbiedad</b>	XXX	XXX
X :Valor Escaso XX :Valor Moderado XXX :Valor Alto - :Ausente		

Fuente: Elaboración Propia en base a revisión bibliográfica.

### 2.3.4 Caracterización de Aguas Grises en Chile

En Chile no existen estudios de caracterización de aguas grises conocidos, sólo estudios de aguas servidas, que incluyen aguas negras.

Para tener un punto de comparación con los estudios internacionales, se realizó un análisis de dos muestras de aguas grises pertenecientes a dos casas, una ubicada en Calama y otra en Vallenar. La razón de elegir estas ciudades se debe a que se encuentran en la II y III región respectivamente, zonas del país que presentan mayor escasez hídrica. Para la toma de muestras de aguas grises se siguieron los pasos mencionados a continuación:

- Se solicitó a integrantes de ambos domicilios realizar actividades cotidianas juntando el agua usada de duchas, lavaplatos, lavamanos y lavadora.
- Se realizó la mezcla de aguas de cada domicilio según los porcentajes correspondientes a cada uso (gráfico 2.2).
- Para análisis de coliformes fecales se llenaron botellas de vidrio esterilizadas.
- Para los demás análisis se llenaron botellas de polietileno de alta densidad, previamente enjuagadas con agua destilada.
- Se conservaron en frío las muestras, hasta su entrega al laboratorio. El tiempo transcurrido entre la toma de las muestras y su recepción en el laboratorio fue menos de 24 horas.

En las tablas 2.7 y 2.8 se presentan las fechas de realización de muestreos y análisis, y los resultados entregados por el laboratorio AQUA.

**Tabla 2.7: Fechas de Muestreo y Análisis de Muestra de Calama**

Actividad	Fecha	Hora
Muestreo	27-sep	19-21:00 hrs
Ingreso Laboratorio	28-sep	17:50 hrs
Análisis	29-sep	8:45 hrs

**Tabla 2.8: Resultados de Análisis de Muestra de Calama**

Parámetros	Unidad	Valor Medido
DBO5 Total	mg/l	194
DQO	mg/l	457
SS a 105°C	mg/l	70
NK	mg/l	9.30
P	mg/l	3.94
CF	NMP/100ml	$1.5 \cdot 10^3$

Se observa al comparar las tablas 2.8 y 2.2, que los valores de DBO<sub>5</sub>, DQO, SST, N<sub>K</sub> y P, son muy similares a los promedios internacionales, lo que puede tener explicación en que estos parámetros dependen mucho de los usos al interior de las casas y no de las características del agua potable, como por ejemplo es el caso de la dureza del agua y de los cloruros. Estos resultados podrían indicar que otros parámetros también siguieran las tendencias promedio.

Los coliformes fecales obtenidos, si bien se encuentran dentro de los rangos internacionales, fueron bastante bajos, en relación al promedio de los estudios citados. Quizás una explicación a esto sea que en algunos de los países considerados, se usen trituradores de comida, o simplemente a que el análisis de datos se realizase con más posterioridad a la toma de las muestras. Esto último influiría ya que, el número de coliformes fecales y totales aumenta fuertemente las primeras 48 horas (Rose, 1991; obtenido de Zabrocki, 2003). La tercera opción es que sólo coincidiera el caso de bajo contenido de contaminación fecal.

Si consideramos el N<sub>K</sub> cercano al total, como es el caso internacional, se tiene que la relación N:P es igual a 2.4, bastante baja si se considera como base para agua con fines de riego, ya que el valor óptimo para las plantas es cercano a 10, por lo que, en caso de regar con esta agua, existiría riesgo de baja reducción de fósforo y posiblemente de acumulación en el suelo. (Folke G., 1995).

En las tablas 2.9 y 2.10 se presenta el caso de Vallenar:

**Tabla 2.9: Fechas de Muestreo y Análisis de Muestra de Vallenar**

Actividad	Fecha	Hora
Muestreo	28-sep	10-11:30 hrs
Ingreso Laboratorio	28-sep	17:50 hrs
Análisis	29-sep	8:45 hrs

**Tabla 2.10: Resultados de Análisis de Muestra de Vallenar**

Parámetros	Unidad	Valor Medido
DBO5 Total	mg/l	384
DQO	mg/l	719
SS a 105°C	mg/l	119
NK	mg/l	6.14
P	mg/l	4.90
CF	NMP/100ml	$1.3 \cdot 10^4$

De la comparación con la tabla 2.2, al observar los valores medios en ésta, se puede concluir que todos los valores obtenidos de los análisis, concuerdan con los rangos de los estudios internacionales.

Se observa que la DBO<sub>5</sub> de Vallenar es un poco alta, en relación al promedio internacional, esto se podría explicar debido a que el agua del lavaplatos, fue obtenida del lavado de utensilios usados para cocinar almuerzo, esta hora es claramente más cargada de restos de alimentos que la hora de desayuno o onces, en las cuales el agua descargada presenta menores concentraciones de residuos.

La relación N:P es menor aún que en el caso de Calama, siendo de 1.3. En caso de tener como finalidad reusar esta agua en riego, una opción a esto, si el tratamiento no permite reducir el fósforo, es fertilizar con nitrógeno.

## **2.4 Tipos de Reusos para Aguas Grises**

Entre los usos dados a las aguas grises tratadas se encuentran los de tipo: urbano, agrícola, industrial y minero, ambiental, recreacional y recarga de acuíferos.

### **2.4.1 Usos Urbanos**

Los usos urbanos dados a las aguas grises tratadas son de tipo no potable, entre estos están:

- Riego: Áreas verdes como: parques, canchas deportivas, campos de golf, césped residencial, cementerios, etc. Riego de caminos de tierra.
- Limpieza: de calles, vehículos, ventanas, lavado de ropa en lavadoras, entre otros.
- Estanques de inodoros y urinarios.
- Paisajismo, por ejemplo uso en fuentes y caídas de agua.
- Control de incendios.
- Derretimiento de nieve, a fin de evitar su acumulación en calles (Suzuki Y.).

Los principales usos urbanos dados al agua tratada son en riego y en estanques de inodoros. El uso en estanques de inodoros permite un ahorro de un 30 a un 40% del agua usada al interior de la casa. En el caso de uso en riego residencial, es posible reusar el 60 a 70% del agua residual generada, correspondiente a aguas grises, permitiendo un considerable ahorro de este recurso y/o un aumento de áreas verdes residenciales. El nivel de calidad exigida a las aguas de riego depende del tipo de riego usado y del acceso existente a estas áreas.

### **2.4.2 Usos Agrícolas**

En agricultura las aguas grises recuperadas son ocupadas principalmente en riego, dirigido a cultivos, huertos, viñas, árboles frutales y prados. También son usadas para dilución de fertilizantes y pesticidas.

Según el tipo de uso agrícola, la forma de consumo de los alimentos producidos y la exposición de trabajadores y otras personas a la zona regada; varían las exigencias de calidad de agua de riego. Así por ejemplo, el uso que requiere agua de mejor calidad, es el riego de cultivos de consumo crudo.

### **2.4.3 Restauración Ambiental y Usos Recreacionales**

Algunos de estos usos son aumento de esteros y lagunas, ya sea con fines de preservación ambiental o de agrado como paseos en bote, pesca y natación. (CDM, 1992).

#### **2.4.4 Usos Industriales y Mineros**

Los rubros industrial y minero son importantes consumidores de agua que frecuentemente reutilizan su propia agua residual de procesos, sin embargo no es muy común que las aguas grises tratadas sean empleadas en ellos. No obstante, en países como E.E.U.U., las industrias son grandes demandantes de las aguas efluentes de plantas de aguas servidas, por lo que son potenciales usuarios de aguas grises recuperadas. Entre estos usos se tienen: agua de refrigeración, agua de lavado, agua de procesos y riego de caminos. Algunas de las industrias demandantes son las papeleras, la industria textil y la química (CDM, 1992).

#### **2.4.5 Recarga de Acuíferos**

En países desarrollados, se usa también esta opción. Entre los objetivos se encuentran: establecer barreras a intrusiones salinas de la costa, ocuparlo como tratamiento adicional, aumentar acuíferos, proveer agua de reserva o para ser usada y para prevenir la depresión de la napa (CDM, 1992).



**CAPÍTULO 3**  
**RIESGOS, SALUD Y MEDIO AMBIENTE**

### **3. RIESGOS, SALUD Y MEDIO AMBIENTE**

#### **3.1 Riesgos y Salud**

##### **3.1.1 Vías de Infección y Medidas de Precaución**

Si bien las aguas grises son mucho menos contaminadas que las aguas negras, éstas también contienen excretas humanas provenientes de baños de ducha o tina y del lavado de ropas. Personas que gozan de buena salud pueden también excretar patógenos, los cuales son parte normal de la flora intestinal.

No hay registros de serios efectos en salud humana por la reutilización de aguas grises (*Center for the Study of the Built Environment (CSBE)*, 2003). El riesgo de transmitir enfermedades a los humanos, asociado al uso de aguas grises domésticas en terrenos y jardines, es considerado como bajo (*Australian Capital Territory (ACT)*, 2004). Sin embargo, parte de la población es más susceptible, éstos son: niños, ancianos y personas con compromisos inmunológicos.

El riesgo de transmisión aumenta, cuando existe un manejo centralizado de aguas residuales, debido a que la diversidad de microorganismos patógenos aumenta con la población.

##### **Posibles vías de infección:**

- Ingesta de agua contaminada, por situaciones casuales o, por ejemplo, producto de extracción de agua de acuíferos contaminados.
- Por el consumo de frutas o verduras crudas regadas con aguas grises.
- Inhalación de agua por aerosoles, producto de limpieza de patios, regado de caminos, riego por aspersión etc.
- Contacto con medio de tratamiento, por ejemplo, con filtros y suelo contaminado, en el caso de irrigación. Transmisión por medio de manos contaminadas, por contacto con ojos, boca y fosas nasales, o indirectamente por tocar elementos contaminados.
- Contacto directo (absorción de la piel), por ejemplo, durante vaciado de estanque de inodoro o al usar la lavadora.
- Transmisión por medio de mascotas, o de vectores como insectos y ratones.

### **Prácticas para minimizar la probabilidad de transmisión de enfermedades:**

-Evitar contacto humano con aguas grises no tratadas y minimizarlo con las tratadas y suelo regado, por ejemplo, colocando barreras o carteles que adviertan que se debe evitar el contacto.

-Educación de trabajadores, en adecuados hábitos de higiene. Eliminar contacto directo con cultivo.

-Tratamientos adecuados al tipo de agua y uso.

-No regar con aguas grises sin tratar, y evitar hacerlo con tratadas plantas comestibles las cuales son consumidas crudas, a excepción de las que su fruto se encuentre separado de la tierra.

-Desinfección para usos como inodoros, urinarios y lavadoras.

-No acumular aguas grises excepto para regulación, a menos que sea tratada y desinfectada.

-Minimizar permanencia de agua en superficie y asegurarse que las aguas grises no creen molestias como olores, charcos o escurrimiento fuera del recinto de uso.

-Mantener conexión a alcantarillado y prevenir cruce de tuberías de aguas grises con agua potable. Esto es posible que se de cuando las aguas grises son usadas para estanques de inodoro. Diferenciar tuberías según agua.

-Usar productos de limpieza que sean ambientalmente benignos, por ejemplo productos de limpieza bajos en sales y fosfatos.

-Las aguas grises no deben contener químicos peligrosos. En caso de usar, por ejemplo, residuos de actividades como pintura, no se deben descargar al sistema de aguas grises, y al lavar ropa contaminada, es preferible evacuar las aguas al sistema tradicional.

-El sistema de aguas grises debe estar fuera de áreas inundables.

-Evitar que queden gotas suspendidas en el aire, como sucede en limpieza de patios, regado de caminos, riego por aspersión, etc.

-Los estanques acumuladores de aguas grises deben ser tapados, para evitar mosquitos u otros vectores, en especial cuando se incluyen aguas de lavaplatos.

-En caso de uso en riego, debe haber una distancia mínima entre el punto de aplicación de las aguas grises y la napa subterránea (Arizona, exige 1.5 m).

-En caso de riego, se debe preferir los horarios de bajo público.

-Preferir riego sub-superficial.

### **3.1.2 Determinación del Riesgo**

Para un reuso seguro se requiere el cálculo de la probabilidad de un efecto indeseable a la salud humana, causado por agentes patógenos o químicos. Para el cálculo de riesgo por microorganismos, de acuerdo al sistema de Estocolmo QMRA (*quantitative microbiological risk assessment*) (WHO, 2006; Ottoson, 2003), se tienen 4 etapas:

-Identificación del Riesgo.

-Cálculo de la Exposición.

-Determinación de Dosis de Respuesta.

-Caracterización del Riesgo.

#### **-Identificación del Riesgo:**

Esta etapa tiene por finalidad describir qué efectos en salud humana tiene un determinado riesgo, pudiendo ser de tipo patógeno o químico.

En aguas grises uno de los riesgos radica en la contaminación fecal, que si bien es baja en relación a las aguas negras o servidas, existe, y es producto de, por ejemplo, lavado personal y de lavado de ropa contaminada. El lavaplatos también es una fuente de riesgo, ya que patógenos pueden introducirse por esta vía, por medio de comida contaminada. Bacterias oportunistas pueden crecer en sistemas de agua caliente, por ejemplo *pseudomonas spp*, *mycobacterias* o *legionella spp*

#### **-Cálculo de la Exposición:**

La dosis de patógenos es calculada de la densidad de organismos en el agua y el volumen ingerido. Las densidades se calculan de la toma de datos, generalmente de microorganismos indicadores.

### **-Determinación de Dosis de Respuesta:**

En estudios se han obtenido relaciones entre la dosis administrada y la probabilidad de infección en la población expuesta. Dos ecuaciones son usadas para describir la relación entre dosis y respuesta: Exponencial y Beta-Poisson.

Si los organismos están distribuidos al azar y la probabilidad de infección es igual a  $r$ , para cualquier organismo, se tiene:

$$P_{inf}=1-e^{(-r*dosis)}$$

Si la probabilidad de infección, no es constante y tiene una distribución propia, distribución  $\beta$ , se tiene:

$$P_{inf}=1-(1+dosis/\beta)^{-\alpha} \quad (\text{Fuente: Ottoson, 2003})$$

Donde  $\alpha$  es un parámetro que describe la probabilidad de infección y  $\beta$  es la dosis media infectiva, correspondiente al número de microorganismos ingeridos. Se tiene así por ejemplo, para el caso de un virus, una bacteria y un protozoo:

Distribución Beta-Poisson:	Rotavirus:	$\alpha= 0.253, \beta= 0.426$
	Campylobacter jejuni:	$\alpha= 0.145, \beta= 7.58$
Distribución Exponencial:	Cryptosporidium parvum:	$r= 0.059$

Fuente: Haas et al (1999), Messner et al (2001); obtenidos de Australian Guidelines. 2006.

La EPA ha propuesto un límite de infección de 1 persona en 10000 como límite de un riesgo aceptable para agua de bebida.

### **-Caracterización del Riesgo:**

Es necesario saber la magnitud del problema de salud generado. Las dosis infectivas de los microorganismos son variables según tipo. Se tiene que las bacterias, como: *Vibrio cholerae*, *Escherichia coli*, *Salmonella typhi*, *Shigella*, *Campylobacter jejuni* y *Yersinia enterocolitica*, tienen una alta dosis infectiva (CEPIS). Para virus y protozoos las dosis son menores, algunos son excretados en suficientes cantidades como para generar problemas de salud, como por ejemplo, *Giardia cysts*, *Cryptosporidium oocysts* y rotavirus, éste último es el que presenta mayor riesgo de infección (Fuente: Ottoson, 2003).

La supervivencia de los patógenos en el medio, depende de factores ambientales, como son el potencial osmótico del agua, la luz del sol, el pH, los nutrientes orgánicos y la carga de materia coloidal (Ottoson, 2003).

Para disminuir el riesgo asociado a la exposición humana a patógenos se pueden tomar medidas, como por ejemplo, en el caso de riego optar por el subsuperficial.

En la tabla 3.1, se presentan una lista de microorganismos, asociados a enfermedades, que pueden presentarse en las aguas residuales.

**Tabla 3.1: Agentes Infecciosos Potencialmente Presentes en Aguas Residuales Domésticas No Tratadas (EPA. 1999)**

<b>ORGANISMO</b>	<b>ENFERMEDAD</b>
<b>Bacterias</b>	
Escherichia coli (enterotoxígeno)	Gastroenteritis
Leptospira (spp.)	Leptospirosis
Salmonella typhi	Fiebre tifoidea
Salmonella (2100 serotipos)	Salmonelosis
Shigella (4 spp.)	Shigellosis (disentería bacilar)
Vibrio cholerae	Cólera
<b>Protozoos</b>	
Balantidium coli	Balantidiasis
Cryptosporidium parvum	Cryptosporidiasis
Entamoeba histolytica	Amebiasis (disentería amebica)
Giardia lamblia	Giardiasis
<b>Helmintos</b>	
Ascaris lumbricoides	Ascariasis
T. solium	Teniasis
Trichuris trichiura	Tricuriasis
<b>Virus</b>	
Enterovirus (72 tipos; por ejemplo: víruses echo y coxsackie del polio)	Gastroenteritis, anomalías del corazón y meningitis.
Hepatitis A	Hepatitis de tipo infeccioso
Agente de Norwalk	Gastroenteritis
Rotavirus	Gastroenteritis

### 3.2 Efectos en Medio Ambiente

Es evidente que el principal beneficio de reutilizar el agua, en este caso las aguas grises, es la disminución de la demanda de agua de las fuentes tradicionales, vale decir, agua potable, pozos, ríos, etc. En lugares donde el agua es muy escasa y costosa, permite que ésta sea una forma económica de riego, pudiendo tener así cultivos, frutales etc, los cuales se traducen en fuente de alimento y/o ingreso. Por otro lado una posibilidad de ahorro importante de agua potable, es en los inodoros, una de las grandes demandas de agua al interior de la casa, la cual si bien debe cumplir cierto grado de calidad, en especial referente a microorganismos, no tiene por que tener calidad de agua de consumo humano.

Otro efecto positivo del reuso de las aguas grises, incluso si éstas han recibido tratamiento, es el actuar como fertilizante en riego, aportando fósforo, nitrógeno y potasio al suelo y algunos micronutrientes como boro. Sin embargo, en cantidades excesivas estos nutrientes pueden ser dañinos.

Uno de los principales riesgos ambientales es la contaminación de acuíferos, es por esto que algunos reglamentos incluyen restricciones al riego, según el nivel freático en el lugar. Una condición favorable es que en el contexto doméstico la cantidad de aguas grises ocupada es muy pequeña, por lo que la mayoría del agua y nutrientes son captados por las plantas, y la materia orgánica es degradada en el terreno más superficial (CSBE, 2003).

Las aguas grises contienen productos de limpieza ocupados en los hogares, los cuales pueden ser dañinos para las plantas. La mayoría de los detergentes, en particular los en polvo, contienen cantidades excesivas de compuestos de sodio, por lo que es mejor usar detergentes líquidos, en caso de reutilización en riego. También aportan compuestos de sodio, gran parte de los jabones de uso personal, los cuales se fabrican en base a hidróxido de sodio y se ocupa para ello cloruro de sodio, los jabones alternativos a éstos son los en base a potasio. Los detergentes además pueden contener iones de boro y cloruro, peróxidos y destilados de petróleo (CSBE, 2003). También los blanqueadores, generalmente contienen gran cantidad de cloruros.

Algunos ablandadores de agua también aportan compuestos de sodio, ya que intercambian iones de calcio y magnesio por iones de sodio, por lo cual deben ser evitados donde las aguas grises son reusadas.

Los detergentes aportan grandes cantidades de fósforo a las aguas grises, el cual en exceso puede generar problemas. El uso de detergentes altos en fósforo está prohibido en algunos países, sugiriéndose en cambio los detergentes en base a potasio (Western Australia, 2005).

El agua de la cocina presenta gran cantidad de material orgánico, lo cual constituye una fuente de nitrógeno para las plantas. Sin embargo, ésta es frecuentemente prohibida para el reuso, debido a su tendencia a ponerse séptica y a la rápida proliferación de microorganismos.

## **Nutrientes**

### **-Nitrógeno:**

Las plantas, en su mayoría, requieren del nitrógeno, más que cualquier otro nutriente, siendo el más limitante para el crecimiento de éstas. Un déficit de N hace que las plantas se presenten pequeñas y verde amarillentas y que los cultivos tengan bajo rendimiento (*Food and Agriculture Organization* (FAO)). Sin embargo, grandes cantidades pueden producir trastornos en los cultivos como excesivo crecimiento de vegetación, retraso o desigual maduración de cosechas, o baja calidad y cantidad de éstas. El efecto depende del tipo de cultivo y de la etapa en que éste se encuentre, un nivel alto de nitrógeno puede ser beneficioso en etapas iniciales pero ser perjudicial posteriormente en floración y frutos (U. Chile. SAG, 2005).

En general las aguas grises no presentan grandes cantidades de nitrógeno, como para generar problemas. La principal fuente de nitrógeno de éstas son las aguas residuales de la cocina, específicamente los desechos de comida, presentándose cerca del 50% como nitrógeno orgánico ([www.greywater.com](http://www.greywater.com)).

El nitrógeno orgánico y el amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) pueden ser fácilmente convertidos a nitrato ( $\text{NO}_3$ ), por microorganismos del suelo. El nitrato es la forma más móvil de nitrógeno en el suelo, que en caso de no ser absorbido totalmente por las plantas, existe el riesgo de lixiviación y contaminación de las aguas subterráneas, pudiendo producir eutroficación en éstas.

### **-Fósforo:**

Es el segundo nutriente más importante para las plantas. Es muy necesario en el desarrollo de la raíz, en crecimiento, maduración y productividad (FAO). Un déficit de P hace que las plantas presenten hojas pequeñas y de color púrpura (U. Chile. SAG, 2005).

En riego, la mayor parte de la fracción soluble del fósforo se fija por adsorción a las partículas del suelo, manteniéndose en el suelo más superficial y escasamente disponible para las plantas. A diferencia del nitrógeno, es difícil que el fósforo sea lixiviado, a excepción de suelos arenosos donde menor cantidad de fósforo se fija por adsorción, quedando una mayor fracción soluble, pudiendo lixiviar.



El fósforo se encuentra en gran cantidad en las aguas grises, en especial en las de lavado, producto de los detergentes. Problemas asociados al exceso de fósforo en riego son, el posible daño a plantas sensibles al fosfato e inducir a deficiencias de zinc, esto último particularmente en suelos de pH alto.

La relación óptima entre nitrógeno y fósforo para las plantas es N:P=10:1, si esta relación es menor, hay riesgo de baja reducción de fósforo, pudiendo acumularse en el suelo (Folke G., 1995).

### **-Potasio:**

El potasio es un nutriente de las plantas que es absorbido por las raíces de éstas como catión K<sup>+</sup>. Influye en el crecimiento, producción, resistencia a plagas, heladas y sequías. En la mayor parte de los suelos las pérdidas de potasio son relativamente pequeñas. A menos que se trate de suelos con texturas muy gruesas. La deficiencia de potasio genera clorosis a lo largo de los márgenes de las hojas, secamiento y coloración parda de las hojas más viejas, crecimiento lento, tallos débiles y baja producción (FAO). En caso de exceso de potasio puede haber una acción negativa en la síntesis de proteínas, en particular en situaciones de bajos contenidos en nitrógeno.

### **Salinidad**

Cuando hay exceso de sales se produce una disminución de la disponibilidad de agua para la planta, al acumularse en la zona de la raíz sales solubles, esto debido a que la energía requerida para obtener agua de la solución salina es mucho mayor que en situaciones no salinas.

Para controlar este problema, es usada la lixiviación, es decir, lavado del suelo con agua no salina. La cantidad de lixiviación requerida es dependiente de la calidad de las aguas grises y de la tolerancia del cultivo a la salinidad.

Productos de lavado con sales de potasio o detergentes líquidos, son recomendados para reducir la salinidad de las aguas grises.

Los sólidos disueltos totales y la conductividad eléctrica del agua son usados como parámetros de medida de salinidad. En la tabla 3.2 se presentan los grados de restricción de uso, dados por FAO, según la conductividad y los sólidos disueltos en el agua.

**Tabla 3.2: Grado de Restricción de Uso de Agua de Riego, según Conductividad Eléctrica y Sólidos Disueltos (FAO)**

Parámetro	Grado de Restricción de Uso		
	Ninguno	Escaso a Moderado	Severo
CE[dS/m]	< 0.7	0.7 – 3.0	> 3.0
SDT[mg/L]	< 450	450 – 2000	> 2000

**Iones: Sodio (Na), Cloruro (Cl) y Boro (B)**

Los iones más tóxicos en aguas de riego son cloruros, sodio y boro. Las cantidades en las aguas grises dependen de los productos de lavado usados. Este problema es mayor en zonas áridas donde existen elevadas tasas de evapotranspiración. Las plantas que tienen grandes cantidades de iones pueden representar peligro para animales y humanos al ser consumidas.

**Tabla 3.3: Grado de Restricción de Uso de Agua de Riego según Concentración de Iones (FAO)**

Ión	Unidad	Grado de Restricción		
		Ninguno	Debil a Moderado	Severo
<b>Sodio</b>	mg/l	<69	69-207	>207
<b>Boro</b>	mg/l	<0.75	0.75-2	>2
<b>Cloruro</b>	mg/l	<142	142-355	>355

**-Sodio:**

El exceso de sodio en el suelo genera disminución de la capacidad de éste de absorber agua. Como medida de este efecto se ocupa el índice de razón de absorción de sodio (RAS), parámetro que relaciona la cantidad de sodio, calcio y magnesio en el agua. Un RAS alto, hace que el suelo tenga baja permeabilidad, baja aireación y que se produzca degradación de la estructura del suelo. La razón de absorción de sodio (RAS) se define como:

$$RAS = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca + Mg}{2}}}$$

**Tabla 3.4: Grado de Restricción de Uso de Agua de Riego según RAS y C.E (FAO)**

SAR	Rango	C.E.	Grado de Restricción		
			Ninguno	Debil a Moderado	Severo
	0 – 3		> 0.7	0.7 – 0.2	< 0.2
	3 – 6		> 1.2	1.2 – 0.3	< 0.3
	6 – 12		> 1.9	1.9 – 0.5	< 0.5
	12 – 20		> 2.9	2.9 – 1.3	< 1.3
	20 – 40		> 5.0	5.0 – 2.9	< 2.9

En caso de exceso de sodio se recomienda lixiviación, para evitar que el suelo llegue a ser incapaz de mantener plantas. También para compensar este exceso se puede agregar yeso o nitrato de calcio.

Otros efectos del sodio son formación de costras, decoloración y quemaduras en hojas, también puede contribuir a una condición de suelo alcalino.

Los ablandadores de agua también introducen compuestos de sodio al agua, y deben ser evitados donde las aguas grises son reusadas.

**-Boro:**

El boro es un micronutriente, esencial para el crecimiento de las plantas, aunque en exceso es tóxico para la mayoría de ellas. La planta dañada por boro presenta, amarillamiento, manchas, bordes de las hojas quemados y caída prematura de hojas, entre otros efectos.

El boro se mueve lentamente con el agua del suelo, por lo que requiere más lixiviación, que lo que se necesita para reducir el cloruro o la salinidad.

**-Cloruro:**

El cloruro está presente en el agua reciclada como ión  $Cl^-$ . Se mueve con el agua en el suelo, de donde es tomado por las plantas y debido a la transpiración es acumulado en las hojas. Los cloruros pueden dañar a las plantas, especialmente si el agua toca el follaje. Entre los efectos de exceso de cloruro se tiene la tendencia de las hojas nuevas a aparecer desteñidas y quemaduras o muerte del tejido de la hoja.

**CAPÍTULO 4**  
**EXPERIENCIA MUNDIAL**

## **4. EXPERIENCIA MUNDIAL**

### **4.1 Experiencia Internacional**

#### **4.1.1 Generalidades**

Se ha estimado que en 50 años más, sobre el 40% de la población mundial vivirá en países con estrés hídrico o escasez de agua. En 1995 31 países estaban clasificados de esta forma, se estima que el año 2025 y 2050 respectivamente, serán 48 y 54 los países dentro de esa clasificación, de acuerdo a proyecciones de PAI (Population Action International), basadas en registros de población de la ONU. Esta estadística no incluye países como el nuestro, en los cuales existe suficiente agua pero mal distribuida.

Considerando además que un 10% de los cultivos mundiales son regados con aguas servidas (IDRC, Canadá), que en gran parte de los casos no son tratadas previamente, países desarrollados buscan tratar y reutilizar de manera segura las aguas residuales. Es por esto que las aguas grises han sido ampliamente estudiadas en diversas partes del mundo, tanto su calidad como la factibilidad y conveniencia de su reutilización, en búsqueda de formas para mejorar la eficiencia del uso del agua.

En los últimos años este tema como otros relacionados con la sustentabilidad ambiental se han hecho frecuentes. Muchos estudios y proyectos se han realizado buscando aprovechar eficientemente el agua. Uno relevante es el de “La Casa del Agua” (1985-1999), realizada en Tucson, Arizona, la cual fue construida como sitio de demostración e investigación para el ahorro del agua a nivel residencial. Destacó en especial por su aporte en educación, incentivando a gran cantidad de personas a seguir su ejemplo. Según registros, aproximadamente la mitad de las personas que visitaron la casa pusieron en práctica en las suyas algunas de las ideas. Este proyecto animó además otros proyectos en E.E.U.U y el mundo.

#### 4.2.2 Legislaciones Existentes

En el mundo son muchos los países que han legalizado la utilización de aguas servidas tratadas y un número menor, pero no despreciable, ha incluido en su normativa el tema de las aguas grises. En general éstos últimos corresponden principalmente a países desarrollados ó que han recibido ayuda internacional en el tema. No obstante, muchos países sin legislación asociada, aumentan día a día esta práctica, en especial la llamada de tipo “on site”, vale decir, de reuso en las mismas viviendas o grupos de viviendas en que las aguas grises se han generado. A continuación se detallan algunas posturas en cuanto a la legalidad de la reutilización de estas aguas.

##### **-Unión Europea:**

No existe una legislación de la Unión Europea respecto a la reutilización de aguas grises, sólo existe legislación para calidad de agua de baño. Si bien no existe legislación respecto al tema, en la U.E. se fomenta la reutilización de aguas grises y otras actividades relacionadas con el medioambiente, en especial el agua, así por ejemplo financiando publicaciones de promoción de temas ambientales, como “Manejo Sustentable del Agua” (*Sustainable Water Management*), que en el ejemplar de Enero de 2007, el 30% de los temas abordados, tratan de casos de reutilización de aguas grises. Algunos países de la UE si tienen legislaciones propias del tema, entre ellos Austria, Alemania, Suecia, Noruega y Chipre.

La postura frente al tema de los gobiernos varía según las condiciones de cada país, así por ejemplo, el gobierno de Chipre posee un programa de subsidio, para las casas que instalen sistemas de la reutilización de aguas grises, para uso en jardines y estanques de inodoros. En cambio en Alemania, si bien el reuso de aguas grises es legal, no se considera en gran medida debido a que se prefiere, para uso en inodoro, las aguas lluvia que son de mejor calidad.

En el caso de Inglaterra, y seguramente de otros países de la U.E., aunque existe reciclaje e investigación de tratamiento de aguas grises, no existe legislación sobre este tema.

Por otro lado hay países donde está prohibido el reciclaje de las aguas grises. Es el caso de Dinamarca, en que el Ministerio de Medioambiente, ha realizado proyectos de tratamiento y reuso de aguas grises, con fines de investigación, en búsqueda de un mejor conocimiento y experiencia en el tema, considerando aún insuficientes los estudios como para legalizar esta actividad.

### **-Japón:**

Investigaciones de reuso de aguas servidas se han efectuado en Japón desde 1964, luego que este país fuera afectado por una gran sequía. En este país la reutilización de las aguas grises está principalmente enfocada al reciclaje en edificios o en conjuntos de éstos, siendo su principal finalidad el llenado de estanques de inodoros. En ciudades como Tokio y Fukuoka, se exige para edificios nuevos, mayores a 5000[m<sup>2</sup>], un sistema paralelo de distribución de aguas. Los sistemas de reuso a gran escala son subsidiados, en un 50%, por el Ministerio de Construcción (MOC). Para los sistemas “on-site” (en el sitio), existe la guía “*Guideline for On-site Wastewater and Rainwater Reuse Systems*”, elaborada por el MOC.

### **-Australia:**

En Australia, existe gran interés en el reuso de las aguas grises, así como también en el aprovechamiento de las agua lluvias. La guía nacional para el reciclaje de agua, “*National Guidelines for Water Recycling*“, publicada en noviembre de 2006, es un completo documento referido a la reutilización, enfocado principalmente a la seguridad humana y ambiental. Además de esta guía, los estados y territorios, exceptuando el Territorio Norte de Australia, poseen regulaciones para el uso de las aguas grises tratadas. En todos ellos se permite reutilizar esta agua cumpliendo parámetros de calidad impuestos. Entre los usos regulados se encuentran: riego, estanques de inodoros, lavadora y lavado de autos. Los usos permitidos y los parámetros exigidos varían de una regulación a otra, así como también, si se permite el reuso en todo lugar o solamente en sectores sin alcantarillado, como es el caso de la legislación de Tasmania.

### **-E.E.U.U.:**

En EEUU no existe normativa a nivel de país, por lo que depende de cada estado la autorización para tratar y reutilizar aguas grises. California fue el primer estado en legislar respecto al tema en 1977 (*State Board Resolution No. 77-1*) (CSBE, 2003). Hoy en día esta práctica se encuentra regulada y es legal en 36 de los 50 estados de este país (*U.S. Department of Housing and Urban Development*), variando los límites exigidos y los tipos de reusos permitidos.

### **-China:**

El gobierno de China, en respuesta a la crisis de agua, ha tomado varias medidas, entre ellas, la regulación de la reutilización de aguas grises a gran escala, en edificios institucionales y residenciales. Los estándares de agua reciclada deben ser cumplidos por las fábricas de Beijing o en su defecto ser reubicadas. Según estudios el reciclaje de las aguas residuales, en Beijing, se ha incrementado desde 45.3% a principios de los 80 a 91.4% en 1996.

## **-Latinoamérica:**

En sudamérica, probablemente, el país más avanzado en el tema de la reutilización de las aguas grises es Colombia. El gobierno de este país promueve esta actividad, ejemplo de ello es su legislación. El Artículo 9, del decreto 314 de 2006, establece la necesidad de fortalecer la investigación y desarrollo de nuevas tecnologías, específicamente asociadas con aspectos como ecoeficiencia y reutilización de aguas grises. A su vez, universidades de Colombia realizan labores de investigación del tema.

Otros países de Latinoamérica están preocupados de la reutilización de aguas, y promueven el tratamiento y reuso de éstas, sin hacer diferenciaciones en los tipos de aguas, así por ejemplo:

-La Ley General del Medio Ambiente (2005), de Perú, indica en el artículo 120, punto 2: "El Estado promueve el tratamiento de las aguas residuales con fines de su reutilización, considerando como premisa la obtención de la calidad necesaria para su reuso, sin afectar la salud humana, el ambiente o las actividades en las que se reutilizarán."

-La Ley General del Ambiente de Honduras, en parte del Artículo 30, especifica: "Los usuarios del agua, sea cual fuere el fin a que se destine, están obligados a utilizarla en forma racional, previniendo su derroche y procurando cuando sea posible, su reutilización".

-La Ley general del Equilibrio Ecológico y la Protección del Ambiente, de México, en su artículo 92, indica que las autoridades competentes promoverán el ahorro y uso eficiente del agua, el tratamiento de aguas residuales y su reuso.

A continuación se presentan requerimientos de calidad, sugeridos por la EPA, para riego y otros usos:



**Tabla 4.1: Requerimientos de Calidad para Agua de Riego y Otros Usos. (Adaptado de EPA 1992; obtenido de Zabrocki, 2003)**

USO	CALIDAD
Todo Tipo de Uso: -Todo tipo de riego -Lavado vehículos -Lavadora -Inodoros -Protección contra fuego -Aire acondicionado	pH: 6-9 Máx. DBO: 10mg/l Máx. Turbiedad: 2UNT C. Fecales: No detectable/100ml Mín. Cl <sub>2</sub> Residual: 1mg/l
Riego de áreas de acceso restringido	pH: 6-9 Máx. DBO: 30mg/l Máx.SST: 30 mg/l C. Fecales: No detectable/100ml Mín. Cl <sub>2</sub> Residual: 1mg/l
Riego agrícola de cultivos no procesados comercialmente	pH: 6-9 Máx. DBO: 10mg/l Máx. Turbiedad: 2UNT C. Fecales: No detectable/100ml Mín. Cl <sub>2</sub> Residual: 1mg/l
Riego superficial o aspersión de cualquier cultivo, incluyendo de consumo crudo	
Riego agrícola de cultivos procesados comercialmente	pH: 6-9 Máx. DBO: 30mg/l Máx.SST: 30 mg/l C. Fecales: <200/100ml Mín. Cl <sub>2</sub> Residual: 1mg/l
Riego superficial de huertos y viñedos	
Riego agrícola de cultivos no comestibles	pH: 6-9 Máx. DBO: 30mg/l Máx.SST: 30 mg/l C. Fecales: <200/100ml Mín. Cl <sub>2</sub> Residual: 1mg/l
Pasto para animales lecheros, forraje, fibra y cultivos de semilla	

En las tablas 4.2 y 4.3 se presentan diversos criterios de calidad, para reuso de agua en inodoros.

**Tabla 4.2: Criterios de Calidad Microbiológicos. Aguas para Inodoros**

ORIGEN		CF/100ml	CT/100ml	E.Coli/100ml	Enterovirus	E. Fecal/100ml	Helmintos/l	Protozoos/50l	Salmonella/l	Virus/50l
Ministerio de Construcción de Japón (M0C)		10	-	-	-	-	-	-	-	-
U. E.(76/160/EEC) *		2000 -100(G)	10000 - 500(G)	-	0	100 (G)	-	-	0	-
U.S. EPA (G)		0 (90%), 14 Máx.	-	1	-	-	-	-	-	-
E.E.U.U.	Arizona	(N.D) 23 Máx.	-	-	-	-	-	-	-	-
	California	-	(2.2) 23 Máx. en 30d	-	-	-	-	-	-	-
	Florida	0(75%) 25 Máx.	-	-	-	-	-	-	-	-
	Hawai	(2.2) 23 Máx. en 30d	-	-	-	-	-	-	-	-
	Massachussets	100	-	-	-	-	-	-	-	-
	Texas	(20) 75 Máx.	-	-	-	-	-	-	-	-
Washington	-	(2.2) 23 Máx. en 30d	-	-	-	-	-	-	-	-
Canadá		(2.2) 14 Máx.	-	-	-	-	-	-	-	-
Alemania		100 (G)	500 (G)	-	-	-	-	-	-	-
Australia	NWS	1	<10 (90%)	-	-	-	-	-	-	-
	SA	-	<10	-	-	-	-	-	-	-
	VIC	-	<10	<10	-	-	<1	<1	-	<1
	ACT	-	<10	-	-	-	-	-	-	-

\* Agua para baño recreacional  
 () Valor Promedio  
 G Valor Guía  
 N.D No Detectable  
 (%) Porcentaje de casos con valores menores

**Tabla 4.3: Criterios de Calidad Físico-Químicos. Aguas para Inodoros**

ORIGEN		A y G (mg/l)	Cloro Res. (mg/l)	DBO (mg/l)	DQO (mg/l)	Nitrato (mg/l)	N. Total (mg/l)	PH	SST(mg/l)	Turbiedad (UNT)
Ministerio de Construcción de Japón (M0C)		-	Ninguno	20	30	-	-	5.8-8.6	-	-
U. E.(76/160/EEC) *		-	-	-	-	-	-	6-9	-	-
U.S. EPA (G)		-	-	10	-	-	-	6-9	-	2
E.E.U.U.	Arizona	-	-	-	-	-	-	-	-	(2) 5 Máx.
	California	-	-	-	-	-	-	-	-	(2) 5 Máx.
	Florida	-	1	20	-	-	-	-	5	-
	Hawai	-	-	-	-	-	-	-	-	2
	Massachussets	<15	-	<30	-	<10	<10	-	<10	<5
	Texas	-	-	5	-	-	-	-	-	3
Washington	-	-	30	-	-	-	-	30	(2) 5 Máx.	
Canadá		-	-	10	-	-	-	-	10	5
Alemania		-	-	20 (G)	-	-	-	6-9	30	2
Australia	NWS	-	>0.5-<2	<10 (90%)	-	-	-	-	<10 (90%)	-
	SA	-	-	<10	-	-	-	-	<10	-
	VIC	-	1	<10	-	-	-	6-9	<10	<2
	ACT	-	-	<20	-	-	-	-	<30	-

\* Agua para baño recreacional  
 () Valor Promedio  
 G Valor Guía  
 N.D No Detectable  
 (%) Porcentaje de casos con valores menores

## 4.2 Experiencia Nacional

### 4.2.1 Contexto

En Chile la norma encargada de velar por la conservación del medio ambiente es la Ley de Bases del Medio Ambiente (19300), publicada en 1994, la cual, de acuerdo a su artículo 1, tiene como principales fines el conservar el patrimonio ambiental y preservar la naturaleza del país. A diferencia de normativas de Perú y Honduras, mencionadas más adelante, no hace mención a promover reutilización de aguas servidas tratadas. Esto se puede entender en el marco de que pocos años antes surgiera brote de cólera y anteriormente tifus y hepatitis, transmitidas en gran parte por el consumo crudo de cultivos regados con aguas servidas.

La norma existente que regula la calidad del agua de riego es la NCh 1333, de 1978, la cual impone límites para elementos químicos, físicos y bacteriológicos.

El Código Sanitario, en su artículo 75, prohíbe el uso de aguas de alcantarillado, desagües, acequias u otras declaradas contaminadas por la autoridad sanitaria, para crianza de moluscos, y cultivos que pueden ser consumidos sin cocer y crecen a ras del suelo. Sin embargo, aclara que se podrán usar para riego agrícola, con la autorización del Servicio Nacional de Salud, quien determinará el grado de tratamiento necesario según cultivo.

El Decreto con Fuerza de Ley N°1 de 1989, especifica materias que requieren de autorización sanitaria, entre ellas:

-“22. El Funcionamiento de obras destinadas a la provisión o purificación de agua potable de una población o a la evacuación, tratamiento o disposición final de desagües, aguas servidas de cualquier naturaleza y residuos industriales o mineros”.

-“23. Uso de aguas servidas en riego agrícola, de acuerdo al grado de tratamiento de depuración o desinfección aprobado por la autoridad sanitaria”.

Conforme a estos antecedentes, en Chile no está prohibido el reuso de aguas residuales tratadas en riego, por lo cual, en el país, la reutilización de aguas grises debe ser autorizada por el Servicio de Salud correspondiente y en caso de reutilización en riego, tiene que cumplir, además, los parámetros impuestos en la norma NCh1333.

El año 2000, el Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo Internacional (IDRC), de Canadá, y la OPS/OMS, suscribieron un convenio para que el CEPIS ejecutase el “Proyecto de Investigación de Sistemas Integrados de Tratamiento y Uso de Aguas Residuales en América

Latina”. El estudio en Santiago, fue realizado por la ingeniera María Pía Mena P., el año 2001. Esta publicación entregó, entre otras cosas, la cifra de 350000 habitantes viviendo en zonas agrícolas regadas con aguas servidas crudas, las cuales cubrían cultivos como trigo, maíz y papas, viñas y árboles frutales como paltas y nogales, entre otros, cuyos productos tenían su principal destino en el mercado local.

Un estudio realizado por GTZ-ECOSAN (Alemania), WASTE (Holanda), Fundación Chile y GTZ-IP (Chile), en Isla de Pascua, determinó que el agua usada para regar áreas verdes es un 36% aguas grises. Del total de viviendas el 37% vierte las aguas grises de la lavadora en el jardín, siendo la principal razón la capacidad de las fosas sépticas. El 82% de las personas consultadas en ese estudio dijeron desear conocer como tratar las aguas grises, para usarlas en riego de jardines.

De acuerdo a mi experiencia personal en el norte de Chile, particularmente en la búsqueda del lugar donde aplicar este trabajo, encontré gran interés en el tema en personas con quienes conversé, entre ellas en autoridades de las COREMAS (I y III región) y de CONAF (III), los segundos debido al problema de escasez en parques nacionales y los primeros en búsqueda de mayor información del tema de eficiencia en uso de agua, ya que han realizado (I región) proyectos simples de reuso, pero carecen investigaciones que los avalen o permitan un mejor desarrollo de éstos.

#### **4.2.2 Proyectos Realizados en Chile (CONAMA)**

A través del Fondo de Protección Ambiental o por medio del auspicio de empresas mineras, se han desarrollado proyectos de reuso de aguas grises en establecimientos escolares. En estos establecimientos se efectúa reutilización de aguas de lavamanos para riego. A continuación se mencionan los proyectos realizados:

##### **Proyectos Realizados a través de Concursos del Fondo de Protección Ambiental:**

- Colegio Pablo Neruda. Región Metropolitana. 2004.
- Jardín Infantil Sol Naciente. I Región. 2003.
- Liceo Politécnico de Arica. I Región. 2002.

##### **Proyectos de Iniciativa de CONAMA, I Región. Con auspicio de mineras:**

- Liceo Jovina Naranjo Fernández (Liceo A-5 Arica).
- Escuela José Miguel Carrera (D-10 Arica).

A continuación se da una breve descripción de estos proyectos (CONAMA. 2006):

Cada establecimiento tiene aproximadamente 800 alumnos matriculados.

Los sistemas están constituidos de la siguiente forma:

- Filtro de Malla: Retiene elementos de mayor tamaño.
- Filtro de Arena (Opcional): Retiene sólidos suspendidos.
- Estanque de Acumulación.
- Bomba.
- Sistema de Riego por goteo y aspersión.

En la tabla 4.4 se detallan los costos del proyecto:

**Tabla 4.4: Costos de Proyecto Piloto. CONAMA**

ITEM	VALOR NETO (\$)	19%IVA (\$)	TOTAL (\$)
Materiales para Sistema de Recuperación de Aguas	854667	162386	1017053
Materiales para Reforestación	290000	55100	345100
Instalación de Sistema de Recuperación de Aguas	150		150
Coordinación Técnica	420		420
<b>TOTAL</b>		<b>1.932.153</b>	
10% Previsión para Gastos no Previstos		<b>193.215</b>	
<b>COSTO TOTAL DE LA INVERSION</b>		<b>2.125.368</b>	

Los resultados obtenidos de la implementación de estos sistemas son:

- Reducción en 35% de cuentas de agua.
- Creación de mayor conciencia en uso de agua en alumnos.
- Reforestación: 66 árboles, en el caso de referencia.

A fines de Mayo de 2007 otro proyecto de reutilización de aguas grises para riego de áreas verdes fue aprobado, correspondiente al Colegio Río Loa, de Calama. El proyecto está avalado por el Programa de Seguridad Ciudadana y el Programa de Forestación Escolar, producto de los Convenios de Cooperación entre la Gobernación Provincial del Loa, CONAF y Codelco Norte. El monto total del proyecto es de \$5.000.000, con un aporte fiscal de \$4.000.000 (www.codelco.com).

**CAPÍTULO 5**  
**TRATAMIENTOS DE AGUAS GRISES**

## **5. TRATAMIENTOS DE AGUAS GRISES**

### **5.1. Tipos de Tratamiento**

Existe una gran variedad de sistemas de tratamiento para recuperar aguas grises. Estos sistemas ocupan procesos que pueden ser de tipo primario, secundario o terciario. Los tratamientos pueden ser químicos, como coagulación y floculación; físicos, como filtración y decantación; biológicos como lodos activados, filtros biológicos aireados y humedales; y de desinfección, como cloración., ozonificación y radiación UV.

Los tratamientos usados corresponden a los mismos que se aplican para agua potable o aguas servidas. La diferencia está en la composición del agua, qué determina el nivel y tipo de tratamiento a ocupar, así por ejemplo, en caso de considerar agua de cocina se debe incluir tratamiento secundario, para producir la degradación de la materia orgánica, o en caso de aguas grises de lavadora, podría ser necesario usar un tratamiento terciario, a fin de disminuir la alta concentración de fósforo. Algunos tratamientos se describen a continuación:

#### **Sistemas de Tratamientos Primarios**

##### **-Lagunas de Sedimentación:**

Es un tratamiento muy simple y de construcción económica, en ellas se genera sedimentación de sólidos y degradación anaeróbica de material orgánico (Imhof, 2005), en general poseen buena capacidad de sedimentación y estabilización.

Requieren de menor operación y mantención que los estanques sedimentadores, necesitando, generalmente, remoción de lodos sólo 1 o 2 veces por año (*New South Wales Department of Health* (NSW). 2000)

Su principal inconveniente es que requieren de gran disponibilidad de terreno, debido a que se diseñan para un alto tiempo de retención. Agregando a esto que para asegurar su operación continua, se requieren por lo menos dos unidades en paralelo.

El sedimento extraído y el líquido efluente, requieren tratamiento adicional.

### **Tanque Séptico:**

Son muy usados en aguas servidas domésticas, para remover los sólidos de mayor tamaño. Están compuestos por 2 o 3 cámaras, en las cuales el lodo sedimenta y es estabilizado por digestión anaeróbica. El material disuelto y suspendido deja el tanque sin tratamiento. Cada cierto tiempo el lodo debe ser removido mediante bombeo. En estos tanques la DQO es removida en un 25-50%. (Imhof, 2005)

### **Estanques Sedimentadores:**

En ellos se produce decantación de partículas por gravedad. Remueven además una pequeña parte de los microorganismos, por fijación de éstos a las partículas. Para aumentar la remoción de sólidos, se puede agregar coagulantes e inducir a agitación, a fin de formar flocs, permitiendo remover partículas de menor tamaño, mejorando también la remoción de microorganismos.

### **Sistemas de Tratamientos Secundarios**

#### **Humedales y Biofiltros:**

Son sistemas de infiltración que requieren de previa sedimentación. En estas unidades el agua se distribuye en un sistema sub-superficial. Permiten filtrar, reducir materia orgánica disuelta y disminuir patógenos.

Es necesario que el lugar donde se ocupe este sistema no tenga un nivel freático muy superficial, deben ser bien drenados, pero no extremadamente permeables como son los de grava o arena gruesa. Para una adecuada remoción de patógenos y materia orgánica, se requiere de al menos tres metros de suelo no saturado debajo del sistema. Es necesario además que se encuentren lejos de pozos de extracción y asegurar un mínimo tiempo de permanencia.

#### **Membranas:**

Este proceso usa una membrana semipermeable, a través de la cual pasa el agua por diferencia de presión, con lo que se eliminan sólidos. Los sistemas de membranas incluyen microfiltración, ultrafiltración y nanofiltración y osmosis inversa, los cuales retienen diferentes rangos de partículas, siendo la última la de mayor retención eliminando prácticamente todos los sólidos disueltos del agua. Uno de los problemas asociados es que las membranas son susceptibles a bloqueos.



## **Lodos Activados:**

Es un proceso biológico aeróbico, que funciona en base a microorganismos los cuales se encuentran en una concentración predeterminada dentro de un estanque, mezclados con la materia orgánica, debido a la agitación de aire los organismos flocculan formando los llamados “lodos activados”. El conjunto de aguas servidas y lodos activados es llamado el “licor de mezclado”, el que luego es llevado a un sedimentador secundario donde los lodos activados decantan, permitiendo un efluente clarificado. Parte de los lodos es retornado al estanque para mantener el equilibrio de microorganismos.

## **5.2 Experiencias Internacionales**

Países desarrollados en los últimos años han efectuado diversos sistemas de tratamiento y reutilización de aguas grises. A continuación se presentan algunos proyectos realizados en distintos países.

### **5.2.1 Jordania. Tratamientos tipo “Barrel-System” (IDRC y CBSE)**

Jordania se encuentra dentro de los 10 países con más escasez de agua en el mundo. El Ministerio de Agua e Irrigación de Jordania calcula que la disponibilidad media se encuentra bajo los 200[m<sup>3</sup>/h/año], cifra altamente restrictiva considerando que la OMS estima que bajo 1000[m<sup>3</sup>/h/año] la escasez de agua puede impedir el desarrollo económico y perjudicar la salud humana.

No obstante la falta de agua, la Secretaría de Estadísticas de Jordania, estima que en Amman 1 de cada 6 hogares practica la agricultura urbana, en la mayoría de los casos con agua potable.

Los involucrados en el desarrollo del proyecto son los siguientes:

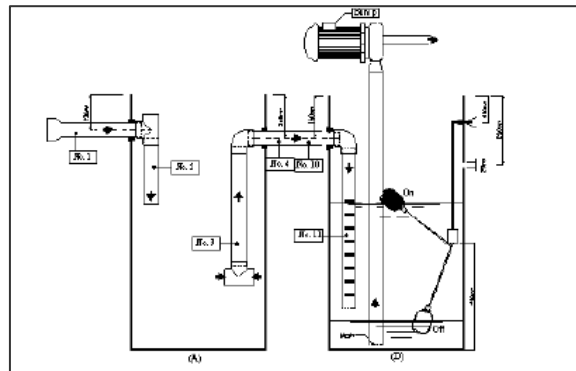
- Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo (IDRC), Ottawa, Canadá.
- Red Inter Islámica sobre Desarrollo y Manejo de Recursos Hídricos (INWRDAM) en Amman, Jordania.
- ONGs

El Proyecto Piloto se realizó en Tafila, al sur de Amman, consistió en la implementación de unidades de tratamiento de bajo costo en 24 hogares. Se llevaron a cabo dos tipos de sistemas, los que se detallan a continuación:

### -Sistema de 2 Barriles:

Consiste en dos barriles plásticos de 160 litros cada uno. El agua residual, a excepción de la proveniente de inodoros, es desviada hasta el primer barril, en el cual se produce sedimentación de sólidos y flotación de aceites, grasas y jabón. Una tubería de PVC de 50[mm], lleva el agua clarificada desde la parte media del primer barril hasta el segundo, cuando éste está lleno un flotador permite que una pequeña bomba se active, entregando el agua a una red de irrigación por goteo, cuando el flotador desciende hasta determinado nivel se deja de bombear. Este sistema es adecuado para pequeñas familias. En la figura 5.1 se muestra un esquema del sistema señalado.

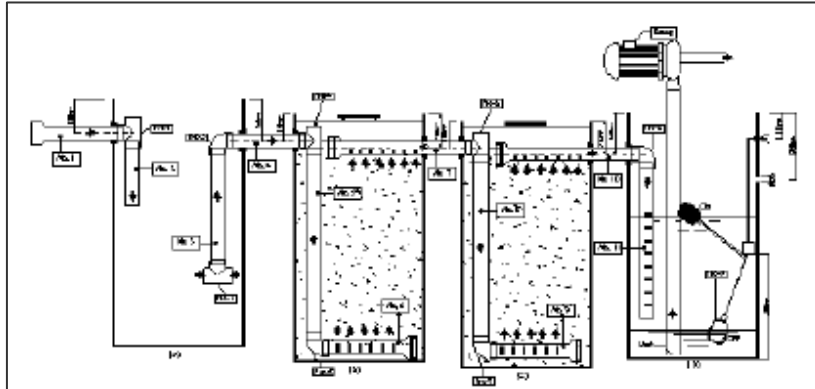
**Figura 5.1: Tratamiento de Aguas Grises. Sistema de 2 Barriles**



### -Sistema de 4 Barriles:

Consiste en un mejoramiento del primer sistema, al cual se incluye tratamiento anaeróbico. Este tratamiento adicional está formado por dos barriles de 220 litros de capacidad, llenos de grava media (2-3[cm]). El agua del primer barril es descargada por medio de una tubería en el fondo del segundo, al igual que de éste en el tercero. Desde la base de los barriles, el agua es obligada a subir por medio de la grava, en cuya superficie se logran establecer bacterias anaeróbicas, las cuales permiten reducir la materia orgánica de las aguas. Finalmente desde la superficie del tercer barril, por medio de una tubería, el agua tratada es descargada en el cuarto barril, desde el cual es bombeada de igual forma que en el sistema de 2 barriles. Este sistema es adecuado para una familia media, permitiendo regar aproximadamente 20 a 30 árboles. La figura 5.2 muestra un esquema del sistema de 4 barriles.

**Figura 5.2: Tratamiento de Aguas Grises. Sistema de 4 Barriles**



El costo total de Inversión del sistema de 4 barriles es de US\$400 y tiene un costo de electricidad mínimo.

De acuerdo a los datos obtenidos, del control efectuado por el gobierno durante un año a los sistemas implementados, en todos los casos medidos se alcanzó el requerimiento de calidad para riego restringido dado por la OMS.

Entre los beneficios entregados por el sistema de 4 barriles destacan (Murad Bino, INWRDAM, 2004):

- Se alcanzan requerimientos de calidad para riego restringido dados por la OMS.
- Ahorro de agua de un 40%.
- Aumento de producción de alimentos.
- Ingreso adicional US\$(50-385)/año.
- Disminución de tasa de vaciado de fosas sépticas.
- Recuperación de la inversión en el corto plazo.

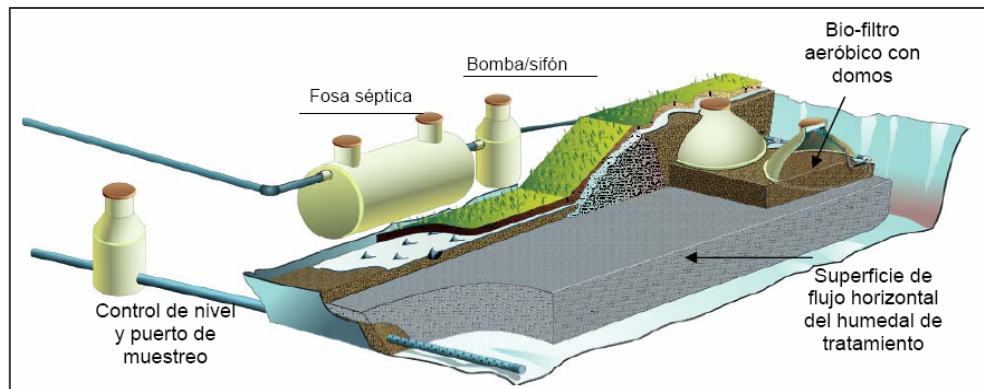
“..el gobierno de Jordania está considerando una revisión de los reglamentos nacionales de la construcción, para asegurar que en el futuro toda edificación residencial pueda instalar sistemas de reutilización de aguas grises.” (IDRC)

Actualmente se están poniendo en práctica proyectos de reutilización de aguas grises en países vecinos como el Líbano y Siria, además de varios otros que han mostrado interés por las tecnologías implementadas en Jordania.

### 5.2.2 Noruega. Tratamiento Combinado de Bio-filtros y Humedales (Jenssen, P. y Vrale, L.; obtenido de GTZ 2003).

Sistema ideal para climas fríos, desarrollado por Universidad Agrícola de Noruega.

**Figura 5.3: Humedal con Bio-Filtro Aeróbico Integrado**



Fuente: Segundo Simposio Internacional sobre saneamiento ecológico, 2003. GTZ.

El sistema consiste en un pretratamiento de las aguas grises en una fosa séptica, luego se bombea hasta una caída vertical para llegar a un bio-filtro, seguido de un filtro poroso sub-superficial de flujo horizontal. En la sección del humedal usualmente se plantan carrizos. Evaluaciones muestran que la zona de las raíces tiene un efecto positivo en la eliminación de nitrógeno, pero no tienen efecto significativo en la eliminación de fósforo y DBO (Zhu 1998, Maehlum y Stålnacke, 1999; Obtenido de GTZ 2003).

El bio-filtro está cubierto por un compartimiento, que facilita el rocío sobre la superficie de éste. Tiene una profundidad estándar de 60[cm], con una granulación del orden de 2–10[mm]. El bio-filtro airea las aguas residuales y reduce DBO y bacterias. Se han obtenido reducciones de más de 70% en DBO y de  $10^2$  a  $10^5$  en las bacterias indicadoras. Los biofiltros necesitan poca superficie por persona, como ejemplo, si se tiene una producción aproximada de aguas grises de 100[l/día] por persona, un bio-filtro de 1[m<sup>2</sup>] de superficie puede tratar las aguas grises de aproximadamente 10 personas.

Del estudio efectuado por Rasmussen en 1996 se concluyó que la eliminación de DBO era independiente de la profundidad de los filtros entre 20 y 60[cm], pero la eliminación de bacterias es menor en filtros de menos profundidad.

El humedal de tratamiento de flujo sub-superficial horizontal requiere, en un clima frío como el noruego, por lo menos 1[m] de profundidad (Gaut y Mæhlum 2001), esto debido que la parte más superficial puede congelarse.

El humedal tiene mucha mayor capacidad de absorción de fósforo que el bio-filtro ya que tiene mayor volumen. A medida que pasa el tiempo, el fósforo se va acumulando en el humedal, se puede esperar alta eliminación durante 10 a 15 años, según el material ocupado. Es necesario tener en cuenta que en Noruega los detergentes ocupados están libres de fosfato, por lo que la eliminación de fósforo con humedales en países donde esto no ocurra, como en Chile, el tiempo de alta eliminación sería mucho menor.

El tamaño del sistema de tratamiento resultante es de 2-3[m<sup>2</sup>/persona]. Para sistemas de tratamiento de flujos combinados de aguas grises y negras la superficie recomendada está normalmente en el rango de 7 a 9[m<sup>2</sup>/persona].

A modo de ejemplo se presentan a continuación los resultados obtenidos, en la planta de tratamiento de “Kaja”, que trata las aguas grises de dormitorios de estudiantes de la Universidad Agrícola de Noruega.

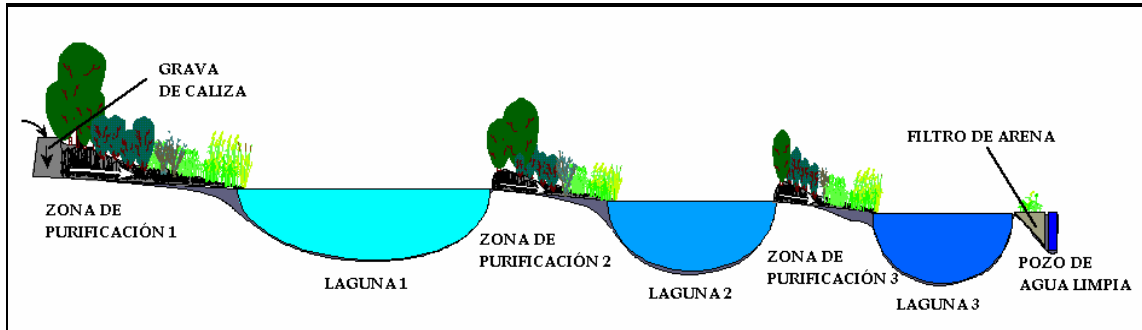
**Tabla 5.1: Resultados Obtenidos con Tratamiento Combinado (Jensen, P. y Vrale, L.; obtenido de GTZ 2003)**

Parámetro	Concentración Promedio en cada Unidad			Eliminación en Bio-filtro(%)	Eliminación en Humedal(%)	Eliminación en Bio-filtro y Humedal(%)	
	Unidad	Salida Fosa Séptica	Salida Bio-filtro				Salida Humedal
pH		6.72	6.78	7.43	-	-	-
Fósforo Total	mg/l	0.97	0.32	0.07	67.0	78.1	92.8
Ortofosfato	mg/l	0.56	0.10	0.04	82.1	60.0	92.9
DBO7	mg/l	130.70	38.20	6.90	70.8	81.9	94.7
Nitrógeno Total	mg/l	8.20	5.00	2.50	39.0	50.0	69.5
Amonio	mg/l	3.20	2.40	2.30	25.0	4.2	28.1
Nitrato	mg/l	<0.03	<0.03	<0.03	-	-	-
Coliformes Térmotolerantes	ufc/100ml	10 <sup>6</sup>	10 <sup>3</sup> -10 <sup>5</sup>	0-10 <sup>3</sup>	-	-	-

Los resultados que se han obtenido con este tipo de sistema son muy buenos, alcanzándose los estándares de calidad europeos para agua de natación. Para esto se requiere el humedal de tratamiento de flujo sub-superficial horizontal, con un tiempo de retención de 6 a 7 días.

### 5.2.3 Suecia. “Wetpark” Parque Húmedo. Kalmar

**Figura 5.4: Esquema de Parque Húmedo (Wetpark)**



Fuente: Adaptado de página web de Folke Günter.

El sistema consiste en zonas de purificación subterránea, lagunas de estabilización y filtros. La trayectoria del agua empieza en un filtro de gravas de caliza, el que permite cierta reducción de material orgánico por bacterias aeróbicas. Luego pasa a una de las zonas de purificación, la cual posee vegetación que reduce nutrientes del agua, para esto se ocupan plantas que sean capaces de fijar el nitrógeno, dado que las aguas grises, generalmente tienen una relación N:P baja lo que puede limitar el consumo de fósforo. Esta zona posee una capa impermeable para evitar pérdidas de agua y contaminación de suelos más profundos y/o aguas subterráneas. Posteriormente a la zona de purificación, el agua llega a una laguna. La secuencia de zona de purificación y laguna se repite tres veces hasta llegar a un filtro de arena, luego del cual, se encuentra el pozo de agua limpia.

Se introducen además en las lagunas algunos peces, los cuales ayudan a controlar insectos y a consumir materias orgánicas.

El tiempo de retención del agua en el parque húmedo es aproximadamente de 1 año. Siendo el volumen del sistema igual al volumen de entrada anual.

**Figura 5.5: Wetpark. Kalmar, Suecia**



Fuente: Adaptado de página web de Folke Günter.

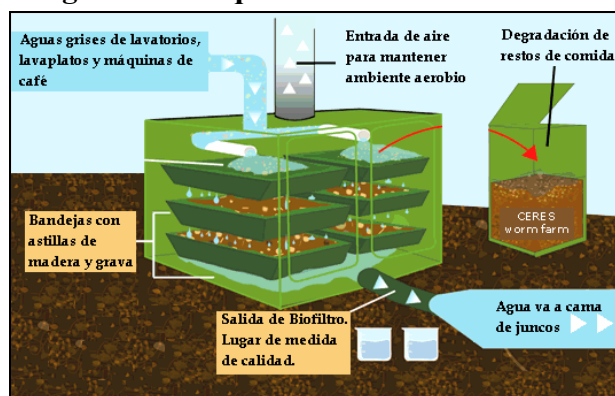
Los porcentajes de reducción registrados en el “wetpark” de la Universidad técnica de Kalmar, son los que se presentan en la tabla 5.2:

**Tabla 5.2: Eficiencia de Remoción de Wetpark, Kalmar. Suecia**

Parámetros	Unidades	Inicial	Final	Reducción (%)
<b>N</b>	mg/l	3.72	1.62	56.5
<b>P</b>	mg/l	3.73	0.02	99.5
<b>DBO</b>	mg/l	47	1	97.9
<b>Estreptococo Fecal</b>	Unid/100ml	$3.6 * 10^4$	43	99.9
<b>Coliformes Fecales</b>	Unid/100ml	$9.4 * 10^4$	172	99.8

#### 5.2.4 Australia. Biofiltro Aeróbico CERES

**Figura 5.6: Esquema de Biofiltro CERES**



Fuente: CERES:[[www.ceres.org.au](http://www.ceres.org.au)]

Este sistema de reutilización de aguas grises se encuentra en el parque CERES, en la Provincia de Victoria, Australia. El parque tiene como principal finalidad iniciar y apoyar actividades a favor de la sustentabilidad ambiental.

El comienzo del sistema consiste en un biofiltro que trata las aguas de la cafetería del parque, recibiendo las provenientes de lavatorios, lavaplatos y máquinas de café; ricas en materia orgánica, grasas y aceites. El biofiltro reemplaza la necesidad de una trampa de grasa.

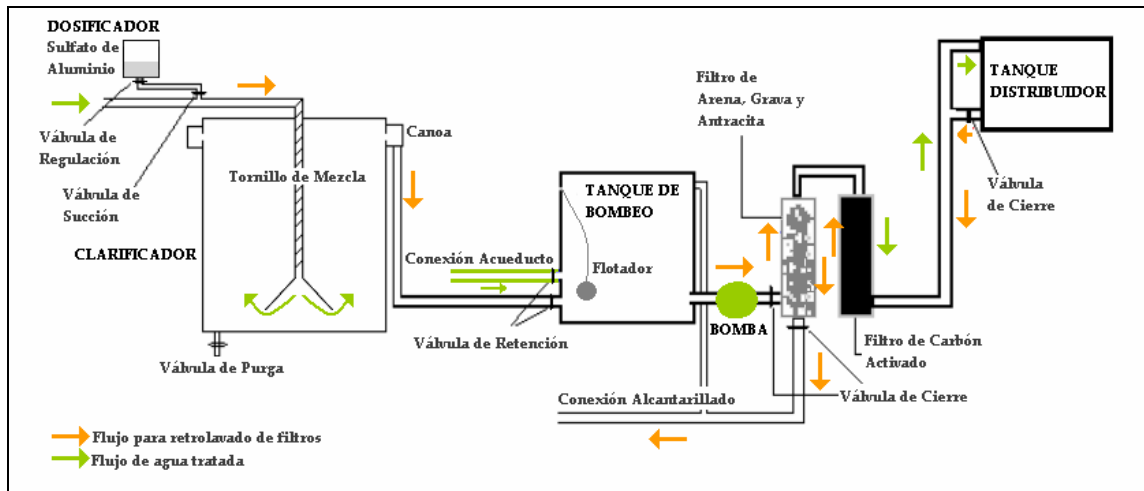
El sistema consiste en una serie de bandejas, alineadas verticalmente, cada bandeja contiene astillas y grava, medio en el cual viven microorganismos que degradan la materia orgánica.

El agua que sale de los biofiltros, tiene un 95% menos de materia orgánica, que el agua que entra, y el contenido de grasa y aceites es muy inferior al inicial.

Luego de salir del biofiltro el agua va a una “cama de totora” (reedbed), la cual consiste en un terreno sembrado de totora (o juncos), aislado para evitar la pérdida del agua en el suelo. Esta etapa permite disminuir el nivel de nitrógeno, fósforo y materia orgánica del agua. Luego pasa a un depósito, del cual es bombeada a los jardines por una bomba solar.

### 5.2.5 Colombia. Sistema de Tratamiento de Aguas Grises

Figura 5.7: Tratamiento en Colombia



Este trabajo fue preparado por ingenieros de la Universidad de Medellín, para el Seminario Nacional de Hidráulica e Hidrología, realizado el 29, 30 y 31 de octubre de 2004, en la Universidad del Quindío, en la ciudad de Armenia, Colombia.

El sistema de tratamiento fue diseñado para tratar aguas grises, provenientes de duchas, lavatorios, lavaderos y lavadoras, con la finalidad de reutilizarlas en las viviendas de origen.

El sistema comienza con la recolección de las aguas servidas, mediante un sistema paralelo de tuberías, a fin de poder separar las aguas negras y de cocina, de las grises. El tratamiento incluye procesos de coagulación, sedimentación y filtración. La tubería receptora de las aguas grises desagua en el estanque clarificador, en el cual se agrega el sulfato de aluminio por medio de un sistema dosificador, donde se realiza la mezcla con un tornillo mecánico. Luego el agua más superficial es descargada a un estanque de bombeo, donde se almacena para ser bombeada a los filtros, cuando el nivel en el estanque llega a determinado punto, un interruptor de nivel transmite la señal a la bomba. El agua es impulsada a pasar por un filtro de grava, arena y antracita y luego por uno de carbón activado. Finalmente el agua llega a un estanque distribuidor, que la entrega por gravedad a los estanques de inodoros, al lavadero, a la lavadora, al lavado de vehículos y el riego de jardines.



Durante esta investigación se construyó y operó este sistema a nivel de laboratorio y se diseñó además para un edificio modelo. Se realizó un muestreo del cual se obtuvieron los siguientes resultados:

**Tabla 5.3: Remoción de Sólidos y DQO**

<b>Parámetro</b>	<b>Remoción</b>
ST	34%
SST	96%
SSD	23%
DQO	79%

-El efluente del sistema satisface los límites exigidos por la ley colombiana para la reutilización de aguas residuales domésticas, permitiendo su reutilización en la cisterna del inodoro, el lavadero, la lavadora, el riego de jardines y el lavado de pisos.

-Se ahorra un 49% de agua consumida en las viviendas.

-El sistema permite recuperar los gastos de instalación y de operación y mantenimiento. El plazo depende del tipo de vivienda y del costo del agua potable.

**CAPÍTULO 6**  
**DISEÑO DE SISTEMA DE TRATAMIENTO.**  
**PROYECTO PLAZA SOL DEL LOA**

## 6. DISEÑO DE SISTEMA DE TRATAMIENTO. PROYECTO PLAZA SOL DEL LOA

El proyecto Plaza Sol del Loa, pertenece a la empresa Latin Gaming Chile S.A, y está encargado a la Constructora Magna Chile Ltda.; se encuentra ubicado en el sector centro de Calama, en la ex finca San Juan, específicamente en calle Chorrillos con Balmaceda.

El proyecto contempla la construcción de: un casino de juegos, un hotel, un apart hotel, dos edificios de oficinas y locales comerciales.

Debido a la escasez de agua en la zona, se postuló realizar una planta de recuperación de aguas, para regadío de áreas verdes proyectadas. El diseño de la Planta fue encargado en Octubre de 2006 y realizado como parte de este Trabajo de Título. En Mayo de 2007, la construcción de la planta fue descartada debido al alto costo de construcción de la red adicional de alcantarillado de aguas grises, estimado por la empresa Magna Chile.

Entre las razones por las cuales se eligió este proyecto para incluirlo en el presente trabajo se cuentan su potencial construcción y la posibilidad de adaptar el sistema de tratamiento resultante a otros casos, como proyectos habitacionales, hoteleros, etc.

### 6.1 Antecedentes Generales

El sistema de tratamiento diseñado para el proyecto, se ubicada en el primer subterráneo del proyecto, específicamente, en el sector bajo las áreas verdes frente al hall del apart hotel (figura 6.1). La ubicación es cercana a la descarga al colector municipal y contigua a las cámaras receptoras de aguas grises.

**Figura 6.1: Ubicación Sistema de Tratamiento Aguas Grises**



Nota: El área de la figura 6.1 (cuadro azul) corresponde a 10[m]x 5[m], la altura del espacio requerido es de 3[m]. Dimensiones estimadas en base a 1500[m<sup>2</sup>] de áreas verdes.

El sistema de tratamiento de aguas grises incluye las aguas provenientes de los lavatorios y de las duchas del hotel y apart hotel, ubicados sobre la cota de terreno. El sistema busca acumular agua

suficiente para regar diariamente las áreas verdes contempladas en el proyecto, cuando la cantidad de pasajeros sea mayor al mínimo considerado el cual, de acuerdo a antecedentes entregados por Magna Chile, sería cercano al 50% del alojamiento total.

Se descartó la recuperación de aguas provenientes de desagües de cocina y lavandería, debido a sus altas cargas orgánicas y de detergentes respectivamente.

Se descartó la recuperación de aguas provenientes de lavamanos de oficinas, debido al bajo aporte en agua en relación a la inversión en el sistema paralelo de conducción.

Se descartó la recuperación de aguas provenientes de lavamanos de casino y bowling, debido al bajo aporte en agua recuperada.

De acuerdo a los cálculos realizados (Anexo C) para la estimación de áreas verdes el agua recuperada desde el hotel y apart hotel alcanzaría para regar aproximadamente un 75% más de áreas verdes por sobre las inicialmente proyectadas (860[m<sup>2</sup>]), pudiendo regarse 1500[m<sup>2</sup>].

## **6.2 Experiencias en Laboratorio**

### **6.2.1 Pruebas de Jarra. Aguas Grises de Santiago**

Las experiencias iniciales de pruebas de jarra se realizaron con aguas grises provenientes de Santiago, dada la dificultad de obtención y envío de aguas grises desde Calama. Esto en base al supuesto de que las aguas grises se comportarían de forma similar al agregar el coagulante, dado el uso de similares productos de limpieza. No obstante podría influir la diferencia del agua potable. Más adelante se comprueba que efectivamente se comportan de manera similar frente al sulfato de aluminio.

Se realizaron pruebas de jarra, para poder determinar la dosis de coagulante necesaria.

#### **Prueba 1 (Lunes 20 de Noviembre):**

La primera experiencia se realizó de forma manual. A continuación se detalla el procedimiento usado:

-Se ocuparon 12 litros de aguas grises (sólo ducha), procedente de Santiago, en botellas de 2 litros.

-Se midió turbiedad y pH inicial.

-Se agregó sulfato de aluminio (coagulante) a las botellas en concentraciones diferentes, de 5 a 30[mg/L],

-Se agitaron las botellas en el “shaker” durante 1 minuto (Figura 6.3).

**Figuras 6.2 y 6.3: Muestra de Agua Inicial y Agitación Rápida en Shaker**



-Se agitaron las botellas manualmente de forma lenta durante 30 minutos (Figura 6.4).

**Figuras 6.4 y 6.5: Agitación Lenta y Resultado de Decantación**



-Se dejó sedimentar por 1hr.

-Se leyeron las turbiedades finales y el pH.

Los resultados obtenidos son los siguientes:

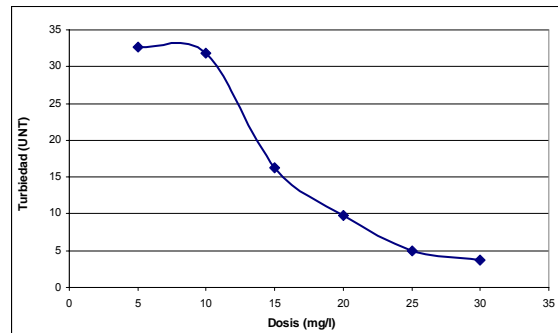
-Turbiedad inicial: 35,9[UNT]

-pH: 7,7

El pH se encuentra dentro del rango de buen desempeño del sulfato de aluminio (6.5-8.5).

En el gráfico 6.1 se muestra la turbiedad final para las distintas dosis de coagulante:

**Gráfico 6.1: Determinación de Dosis Óptima de Coagulante**



Del gráfico 6.1 se puede suponer la existencia de un mínimo, en aproximadamente 30[mg/L]. A fin de verificar esto o obtener la dosis correcta se realizó una segunda prueba esta vez con un equipo de jarras prestado por la Universidad.

**Prueba 2 (Jueves 23 de Noviembre):**

Se realizó otra experiencia con un equipo de jarras de la Universidad. El procedimiento ocupado se detalla a continuación:

-Se ocuparon 10 litros de aguas (sólo ducha), procedente de Santiago.

-Se midió turbiedad y pH inicial.

-Se agregó sulfato de aluminio (coagulante) a las jarras, en concentraciones diferentes, de 5 a 30[mg/L].

-Se agitó cada jarra a velocidad de 100rpm durante 1 minuto y luego a velocidad de 60rpm durante 30 minutos.

**Figura 6.6: Prueba de Jarra**



-Se dejó decantar por 30 minutos.

-Se leyeron las turbiedades finales de cada jarra.

Los resultados obtenidos son los siguientes:

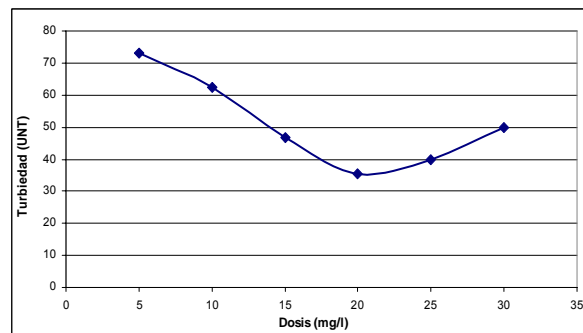
-Turbiedad inicial: 109[UNT]

-pH: 7,56

El pH se encuentra dentro del rango de buen desempeño del sulfato de aluminio (6.5-8.5).

En el gráfico 6.2 se muestra la turbiedad final para las distintas dosis de coagulante:

**Gráfico 6.2: Determinación de Dosis Óptima de Coagulante**



Se obtuvo que la dosis óptima es cercana a los 20[mg/L].

### 6.2.2 Simulación de Sistema de Tratamiento (Martes 28 de Noviembre)

A fin de tener una aproximación de cuan efectivo podría ser el tratamiento propuesto, se efectuó una experiencia en laboratorio, simulando las etapas de coagulación-floculación y filtrado, esta vez con aguas grises de ducha procedente de Calama.

#### Procedimiento:

-Se midió turbiedad y pH de agua:

La turbiedad obtenida fue de 319[UNT], mucho más alta que la del agua ocupada en ambas pruebas de jarras. Lamentablemente no se contaba con el agua suficiente para realizar una nueva prueba de jarras.

El pH medido fue de 8,27, encontrándose dentro del rango de buen desempeño del sulfato de aluminio (6.5-8.5). El pH elevado se puede explicar dada la alta concentración de jabón y shampoo.

**-Floculación-Coagulación:**

Los 10 litros de agua se vertieron en un balde, al cual se le colocó en el fondo una fuente cóncava, con el fin de concentrar los sólidos que decantaran en el centro. Para retirar el material decantado se agregó un desagüe, constituido por una manguera y un cierre (ver figura 6.8).

Se agregó sulfato de aluminio hasta alcanzar una concentración de 20[mg/L]. Se agitó 1 minuto a 200 rpm y 30 minutos a 70 rpm. Luego de este tiempo se observaron flocs de pequeño tamaño, mucho menor al obtenido en las pruebas de jarra, para igual concentración de coagulante.

**-Decantación:**

Se dejó sedimentar durante 30 minutos.

**-Purga:**

Se dejó evacuar medio litro por el desagüe. Se observó que el material sedimentado, en el agua extraída, era muy fino.

**-Filtración:**

Se ocupó otro balde para recibir el agua filtrada, el cual se cubrió con un paño de tejido fino y mediante una manguera se traspasó el agua por diferencia de niveles (ver figura 6.7).

**Figuras 6.7 y 6.8: Simulación de Sistema de Tratamiento**





A simple vista el agua filtrada aparentaba tener muchos sólidos suspendidos finos. Se devolvió el agua al balde inicial, incluida la del desagüe, se revolvió y agregó 5[mg/L] adicionales, se realizaron los mismos pasos descritos anteriormente, teniendo mejores resultados en flocs y en el aspecto del agua obtenida. La turbiedad final medida fue de 135[UNT].

El agua no fue llevada a analizar, debido al mal resultado. La explicación a esto es la diferencia de esta agua con la de prueba de jarras, en la turbiedad inicial y posiblemente también la mayor cantidad de sales debido al distinto origen del agua potable ocupada.

La razón de efectuar las pruebas de jarra con agua de Santiago, fue la dificultad de envío del agua desde Calama.

La gran turbiedad inicial del agua tratada, se debió, en parte, a mala comunicación, ya que las personas que debieron ducharse a fin de obtener las aguas grises, aumentaron la cantidad de jabón y shampoo usada habitualmente e incluso algunas colocaron los tapones una vez que se encontraban dentro de la ducha, dejando evacuar el agua anterior.

Posteriormente se recibió, nuevamente, agua de Calama, con turbiedad igual a 510[UNT]. El agua presentó la característica de flocular y sedimentar sin tratamiento alguno, registrándose al día siguiente una turbiedad de 7,83[UNT].

Debido a los resultados presentados anteriormente, se efectuó una caracterización de la turbiedad y pH de aguas grises de ducha, obteniendo el promedio de 30 muestras. Se consultó también los tipos de productos usados (shampoo, jabón y bálsamo) en cada muestra y se observó el comportamiento de las aguas. De lo que se obtuvo que sólo 2 muestras sedimentaron en la magnitud presentada por las últimas aguas recibidas de Calama, no pudiendo asociar esto ni a mayor turbiedad ni a un tipo de producto en particular.

Se realizó una nueva prueba de jarras y otra simulación con aguas grises de Calama. Esta vez se enfatizó a las personas colocar los tapones antes de abrir la llave y ducharse de forma cotidiana y se solicitó que el agua correspondiera a la mayor cantidad de personas posibles. Por mayor seguridad se pidió agua potable, así en caso que la turbiedad fuera mayor al promedio obtenido de la caracterización, poder bajarla mediante la adición de parte de ésta.

En los puntos siguientes se entregan los detalles y resultados del cálculo de turbiedad media, de las pruebas de jarra y de la simulación.

### **6.2.3 Determinación de Turbiedad Promedio de Aguas Grises**

Se recolectaron muestras de aguas grises provenientes de duchas, de 15 hombres y 15 mujeres, con el fin de determinar un valor medio de turbiedad. Para aprovechar más las muestras se obtuvieron también valores de pH y se observaron las características que presentaba cada una.

Las turbiedades fueron medidas con un turbidímetro, entre 0 a 5 hrs luego de tomadas las muestras. No fue posible efectuar las mediciones, inmediatamente capturadas las muestras, debido al intervalo de tiempo transcurrido entre la toma y la entrega de éstas, por parte de los participantes.

Los pH y sus temperaturas correspondientes fueron medidos, en su mayoría, entre 2 a 7 horas luego de tomadas las muestras. Esto se realizó en el laboratorio de microbiología de la Universidad. Para no interrumpir las actividades del laboratorio se prefirió juntar una cierta cantidad de muestras antes de llevarlas.

A continuación se presenta la tabla de turbiedades y pH registrados. Se puede observar que el valor de turbiedad medio encontrado es cercano al promedio obtenido en referencias internacionales (tabla 2.2) y el pH concuerda con varios estudios los cuales entregan valores ligeramente alcalinos, que es esperable debido a la presencia de jabón y shampoo.

**Tabla 6.1: Medidas de Turbiedad y pH**

<b>Muestra</b>	<b>Turb. (UNT)</b>	<b>pH</b>	<b>T (°C)</b>
1	45.40	7.30	25.7
2	46.60	7.85	24.5
3	132.00	7.28	24.3
4	34.70	6.99	24.6
5	29.40	7.33	24.1
6	95.20	6.88	24.1
7	120.00	7.41	24.9
8	114.00	7.67	23.9
9	13.23	7.75	24.2
10	104.00	7.62	24.3
11	12.64	7.74	24.1
12	288.00	7.62	24.2
13	15.33	7.38	24.9
14	60.50	7.17	24.1
15	226.00	6.65	25.4
16	59.60	7.66	24.9
17	26.50	7.82	25.7
18	27.40	7.74	25.2
19	23.80	7.65	24.5
20	12.82	7.65	24.9
21	217.00	7.66	24.9
22	137.00	7.57	25.2
23	22.40	7.50	26.0
24	70.10	7.46	30.0
25	225.00	7.74	24.1
26	95.70	7.90	24.7
27	82.10	6.92	23.4
28	176.00	6.82	23.3
29	244.00	6.84	23.3
30	137.00	6.93	23.4
<b>Promedio</b>	<b>96.45</b>	<b>7.50</b>	<b>24.9</b>

Nota: Los valores de pH y T° remarcados fueron excluidos del promedio por haber sido medidos luego de más de 24 hrs de tomada la muestra y registrar valores notoriamente más bajos que el resto del registro. Con lo que se podría concluir que el pH de las muestras disminuye con el tiempo.

#### **6.2.4 Pruebas de Jarra. Aguas Grises de Calama**

Se recibió nuevamente agua de Calama, almacenada en dos bidones. Las características del agua de cada bidón se presenta a continuación:

Agua Bidón 1:

Cantidad Aproximada: 10 litros.

Turbiedad: 193[UNT]

pH: 7.16

T°:23.7°C

Agua Bidón 2:

Cantidad Aproximada: 15 litros.

Turbiedad: 57.7[UNT]

pH: 7.22

T°:23.3°

Se realizó una mezcla de las dos aguas a fin de lograr una turbiedad cercana al promedio obtenido anteriormente. De la mezcla se obtuvo un agua con las características siguientes:

Agua Mezcla:

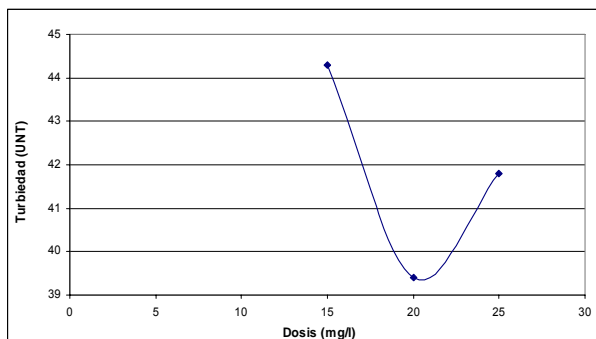
Turbiedad: 97.35

pH: 7.34

T°=23.6°C

Se efectuó la prueba de jarras, con sólo tres medidas diferentes de coagulante, con el fin de ahorrar agua para la posterior simulación del sistema de tratamiento. En el gráfico 6.3 se muestra la determinación de la dosis de coagulante.

**Gráfico 6.3: Determinación de Dosis Óptima de Coagulante**



Del gráfico 6.3 se concluye que la dosis óptima es poco mayor a 20[mg/L]. Por simplicidad se trabajará con 20[mg/L].

### **6.2.5 Simulación de Sistema de Tratamiento (Martes 19 de Diciembre)**

Se efectuó una segunda experiencia en laboratorio simulando las etapas de coagulación-floculación y filtrado, a fin de determinar la efectividad del sistema propuesto. Para la simulación se ocuparon aguas grises de ducha procedente de Calama.

#### **Procedimiento:**

-Se midió turbiedad y pH de agua:

Turbiedad: 97.35[UNT]

PH: 7.34

-Floculación-Coagulación:

Se vertieron 10 litros de agua en un balde, al cual se le colocó en el fondo una fuente cóncava con el fin de concentrar los sólidos que decantarán en el centro. Para retirar el material decantado se agregó un desagüe, constituido por una manguera y un cierre de silicona.

Se agregó sulfato de aluminio hasta alcanzar una concentración de 20[mg/L]. Se revolvió 1 minuto a 200 rpm y 30 minutos a 70 rpm. Luego de este tiempo se observó la aparición de flocs de tamaño mayor al de la simulación realizada anteriormente.

-Decantación:

Se dejó sedimentar durante 30 minutos.

-Purga:

Se dejó evacuar medio litro por el desagüe. En el agua evacuada se observó bastante concentración de sólidos suspendidos.

-Filtración:

Se confeccionó un filtro artesanal de napa de poliéster y papel filtro de graduación 5[ $\mu\text{m}$ ], el cual se instaló sobre un matraz kitasato conectado a una bomba de vacío.

**Figura 6.9: Filtro en Matraz y Bomba de Vacío**



A continuación se presentan los resultados del análisis del agua tratada, entregados por el laboratorio AQUA.

### **6.2.6 Resultados de Laboratorio**

Del análisis de aguas tratadas con la simulación del sistema de tratamiento se obtuvo:

**pH:**

Inmediatamente después de realizado el tratamiento se midió el pH, el cual entregó un valor de 7.04. Con lo que se tiene que éste disminuyó, producto del proceso de coagulación-floculación, siendo su valor original de 7.34.

Se llevó el agua a analizar al laboratorio AQUA. Los resultados del análisis se presentan a continuación:

**Tabla 6.2: Resultados Análisis de Laboratorio AQUA**

PARAMETROS	VALOR	UNIDADES
Conductividad a 25°C	1886	µS/cm
Turbiedad	3,6	UNT
DBO5 Total	5	mg/l
DQO	15	mg/l
Sólidos Suspendidos a 105°C	7	mg/l
Sólidos Disueltos a 105°C	1416	mg/l
Surfactante Anionicos	0,06	mg/l
Aluminio	0,47	mg/l
Calcio	82,85	mg/l
Magnesio	24,99	mg/l
Sodio	159	mg/l
Nitrógeno Total Kjeldahl	2,76	mg/l
Fósforo Total	<0.50	mg/l
Potasio	33,11	mg/l
Coliformes Fecales	1,7x10 <sup>3</sup>	NMP/100ml

**Dureza:**

La dureza, expresada en carbonato de calcio CaCO<sub>3</sub>, está dada por la siguiente expresión:

$$\text{CaCO}_3 = 2.497 * \text{Ca}[\text{mg/L}] + 4.118 * \text{Mg}[\text{mg/L}]$$

$$\text{CaCO}_3 = 309.8[\text{mg/L}]$$

**Sodio Porcentual:**

El sodio porcentual está dado por la siguiente expresión:

$$\text{Na}\% = \frac{\text{Na}}{(\text{Na} + \text{Ca} + \text{Mg} + \text{K})} * 100$$

En la tabla 6.3 se presenta el resultado del cálculo de sodio porcentual:

**Tabla 6.3: Determinación de Sodio Porcentual**

Na	6,92	mqe/l
Ca	4,13	mqe/l
Mg	2,06	mqe/l
K	0,85	mqe/l
Na%	49,57	

El sodio porcentual en el agua tratada es superior a 35%, valor establecido como máximo en la norma NCh 1333. Luego de obtener este resultado se realizó el análisis de sodio en agua potable,

el valor medido fue de 171[mg/L], valor mayor a los 159[mg/L] del agua tratada. Esto podría indicar que el agua potable tampoco cumple el valor de sodio porcentual impuesto por la norma de riego. Para corroborar esto son necesarios análisis de agua potable: de calcio, magnesio y potasio.

**Razón de adsorción de Sodio (RAS):**

El sodio puede producir problemas en la infiltración de suelos, tapando y sellando poros evitando de esta manera que el agua circule y se infiltre fácilmente. El efecto contrario lo producen el calcio y el magnesio. Por esta razón, para evaluar el efecto del sodio en el suelo, se utiliza una relación que incluye Na, Ca y Mg:

$$RAS = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca + Mg}{2}}}$$

El valor obtenido del cálculo de la razón de adsorción de sodio se presenta en la tabla 6.4:

**Tabla 6.4: Determinación de RAS**

Na	6,92	mqe/l
Ca	4,13	mqe/l
Mg	2,06	mqe/l
RAS	3,93	

Se realizó un segundo análisis de agua potable, en el cual se volvió a medir sodio y se analizó además calcio, magnesio y potasio, para determinar si el tratamiento influye en el valor de sodio porcentual y en el RAS. En la siguiente tabla se entregan los valores medidos por el laboratorio AQUA.

**Tabla 6.5: Resultados de Análisis de Laboratorio**

PARAMETROS	VALOR	UNIDADES
Calcio	85,95	mg/l
Magnesio	29,18	mg/l
Sodio	124,00	mg/l
Potasio	13,12	mg/l

La dureza expresada en carbonato de calcio, CaCO<sub>3</sub>, está dada por:

$$CaCO_3 = 2.497 * Ca[mg/L] + 4.118 * Mg[mg/L]$$

$$CaCO_3 = 334.8[mg/L]$$



Se observa que los valores de calcio y magnesio son levemente mayores a los medidos luego del tratamiento, esto se puede deber a que se eliminé una pequeña parte de la dureza, aunque la poca diferencia podría explicarse sólo por variaciones en la composición del agua potable.

Con el valor del sodio, 124[mg/L], menor al de las aguas grises tratadas, se comprueba que el tratamiento no remueve sodio. No se puede concluir que aumente, ya que el primer análisis, determinó que del sodio del agua potable era mayor al de la tratada. Se requeriría un mayor número de análisis para poder determinar si existe diferencia entre el sodio de las aguas grises tratadas y el agua potable.

El potasio es notablemente menor en el agua potable que en las aguas grises tratadas, lo que se puede deber a la presencia de potasio en jabones. Esto es beneficioso para el agua de riego.

**Tabla 6.6: Determinación de Sodio Porcentual**

Na	5,39	mqe/l
Ca	4,29	mqe/l
Mg	2,40	mqe/l
K	0,34	mqe/l
Na%	43,43	

**Tabla 6.7: Determinación de RAS**

Na	5,39	mqe/l
Ca	4,29	mqe/l
Mg	2,40	mqe/l
K	0,34	mqe/l
RAS	2,95	

En las tablas anteriores se observa una disminución del sodio porcentual y del RAS respecto a las aguas grises tratadas. No obstante, considerando el valor de sodio de 171[mg/L], medido también en el agua potable de Calama, estos parámetros suben a 4.07 y 51.43% respectivamente, levemente superiores a los del agua tratada, y si se considera 159[mg/L], los parámetros quedan prácticamente iguales. Se necesitarían más análisis para una conclusión final, no obstante si es que existe una influencia a subir estos parámetros en relación al agua potable ésta aparentemente es muy pequeña.

### 6.3 Dimensionamiento

A fin de contar siempre con aguas grises tratadas, para riego de jardines, vale decir no tener la necesidad de recurrir a agua potable para suplir déficit, se determinará la cantidad de agua posible de recolectar en el caso de menor cantidad de habitaciones o departamentos ocupados en el hotel y apart hotel respectivamente. Para este efecto se considerará que la mínima demanda del hotel y apart hotel es del 50% de la capacidad total, esto en base a los antecedentes entregados por Magna Chile. Con este valor se determinará la cantidad de aguas grises que con seguridad es posible recolectar. En caso de que ésta sea suficiente para abarcar las áreas verdes proyectadas, se trabajará con dicho valor.

Para el cálculo se considerará una dotación por persona de 200[l/día] (RIDAA). Tomando en cuenta los porcentajes obtenidos anteriormente para los usos dados al agua potable, se ocupará un porcentaje de agua de ducha igual al 27% de la dotación y de lavamanos sólo un 3% y no un 7%, teniendo en cuenta que las personas permanecen menos tiempo dentro de las habitaciones, que de una vivienda. La suma de ambos porcentajes da un 30% de la dotación.

Sumando el agua disponible en el hotel y apart hotel, se tiene un total de más de 15120[l/día]. Es necesario descontar el agua que se puede perder durante el tratamiento, por ejemplo en purga de materiales sedimentados. De todas formas considerando 10[l/día/m<sup>2</sup>], se tiene que es posible regar una superficie cercana a 1500[m<sup>2</sup>] al día (Anexo C). La cantidad de áreas verdes proyectada originalmente en el proyecto era de 860[m<sup>2</sup>].

El sistema será dimensionado para recuperar la totalidad de las aguas grises de un día de mínimo alojamiento (50%). Con esta cantidad es posible regar aproximadamente 1500[m<sup>2</sup>].

En días de más alojamiento el sistema recuperará mayor cantidad de agua. En estos días se aumentará el volumen de riego.

## 6.4 Sistema de Tratamiento

El sistema constará de dos líneas de tratamiento, las cuales podrán ser utilizadas de manera conjunta o independiente, en caso de ser necesario aislar una línea para mantenimiento u otro fin.

### 6.4.1 Tubería de Distribución

Existirá una tubería de llegada, la cual recibirá las aguas provenientes de dos cámaras de inspección. Cumplirá la función de distribuir el agua a las dos líneas y de rebalse del sistema.

Esta tubería se unirá a los sedimentadores por medio de dos tuberías, cada una dotada de una válvula de corta, a fin de poder aislar una de las líneas en caso de ser necesario.

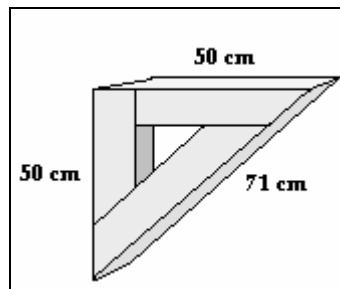
#### Materiales y Equipos:

##### Tubería:

Unidades:	1
Material:	PVC
Clase:	6
Diámetro Exterior:	400[mm]
Diámetro Interior:	388[mm]
Largo:	20[m]
Codos 90°:	2 unidades, PVC, 400[mm]
Tapa Cementar:	2 unidades, PVC, 400[mm]
Referencia:	Vinilit, Catálogo Presión
Soportes:	Escuadras de acero y abrazaderas c/1.5[m]

Las escuadras de acero serán construidas de perfiles de sección 100x100x5[mm]. A continuación se presenta un detalle del soporte:

**Figura 6.10: Soporte de Acero**



### **Tubería de Desagüe**

Unidades:	1
Material:	PVC
Clase:	10
Diámetro Exterior:	140[mm]
Largo Aprox.:	10[m]
Codos 90°:	3, PVC
Referencia:	Vinilit, Catálogo Presión

### **Tuberías de Filtros y Entrada a Clarificadores**

Unidades:	2
Material:	PVC
Clase:	10
Diámetro Exterior:	1”
Largo:	2.5[m]
Referencia:	Vinilit, Catálogo Presión

### **Válvulas de Entrada**

Unidades:	2
Diámetro:	1”
Tipo:	Bola
Uniones:	Americanas
Material:	PVC (Cuerpo)

## **6.4.2 Rejas Finas o Pre-filtros**

A fin de eliminar sólidos como pelos, plásticos, papeles, etc., se ocuparán filtros malla, al inicio del sistema de tratamiento, en las tuberías que van desde la tubería de distribución a los clarificadores.

### **Materiales y Equipos:**

#### **Filtros tipo Malla**

Unidades:	2
Marca:	Hayward
Material:	PVC
Tamaño Entrada:	1”
Perforaciones:	4[mm]
Largo:	1”

Tipo de Unión: Americana  
Referencia: Soltex

### 6.4.3 Sistema Dosificador de Coagulante

Sobre la tubería de entrada de cada estanque clarificador se agregará coagulante, sulfato de aluminio, a fin de fomentar la sedimentación en el estanque. Para esto se ocupará una bomba dosificadora, en cada línea, la cual responderá a la señal emitida por el rotámetro.

#### **Materiales y Equipos:**

##### **Rotámetros**

Unidades: 2  
Tipo: Rotámetro  
Marca: Siemens  
Modelo: Sitrans F VA 250  
Salida: 4-20[ma]

##### **Depósitos**

Unidades: 2  
Material: Polietileno Alta Densidad  
Diámetro: 338[mm]  
Volumen: 0.12[m<sup>3</sup>]  
Referencia: Haddad

##### **Bombas**

Unidades: 3  
Nº de Bombas Activas: 2  
Nº de Bombas Reserva: 1  
Control: Manual, y por señal de 4-20[ma]  
Potencia: 17W  
Alimentación Eléctrica: 220-230[V], 50[Hz]  
Marca: Prominent  
Modelo: Gamma

#### 6.4.4 Estanques Clarificadores

Los 2 estanques clarificadores recibirán el agua mezclada con sulfato de aluminio, en ellos se producirán los procesos de coagulación, floculación y decantación. Para facilitar la mezcla del coagulante se ocuparán codos antes de la entrada y baffles dentro de los estanques.

Un vertedero rectangular, permitirá obtener el agua clarificada, minimizando las turbulencias producidas por la descarga.

Se tendrá una válvula de descarga, en la parte inferior de cada sedimentador, que permitirá eliminar una pequeña parte de agua del estanque, a fin de descartar el material sedimentado. En la parte superior existirá un rebalse. El agua descargada y de rebalse será conducida por tuberías hasta el desagüe, proyectado por la empresa Hidrosur Ltda.

#### **Materiales y Equipos:**

##### **Estanques**

Unidades:	2
Material:	Fibra de Vidrio
Diámetro Cilindro:	2.2[m]
Alto Cilindro Superior:	0.97[m]
Alto Cono Inferior:	0.63[m]
Alto Base (estanque a piso):	30[cm]
Altura Total:	1.90[m]
Volumen Total:	5.1[m <sup>3</sup> ]

##### **Válvula de Desagüe**

Unidades:	2
Diámetro:	2"
Tipo:	Bola
Uniones:	Americanas
Material:	PVC (Cuerpo)

### **Tubería de Desagüe**

Unidades:	2
Material:	PVC
Clase:	10
Diámetro Exterior:	2"
Largo Aprox.:	10[m]
Codos 90°:	4, PVC
Referencia:	Vinilit, Catálogo Presión

### **6.4.5 Sistema de Bombeo**

Cada sedimentador descargará su agua a un estanque, desde donde se bombeará a los filtros. Cada línea de tratamiento tendrá su propia bomba centrífuga, existiendo además una bomba de reserva adicional. Para regular el bombeo se tendrán interruptores de nivel, enviando señales de partida y de detención a la bomba correspondiente. En la parte inferior de cada estanque una válvula conectada a una tubería, permitirá evacuar el agua del estanque al desagüe, en caso de ser necesario.

### **Materiales y Equipos:**

#### **Estanque**

Unidades:	2
Material:	Fibra de Vidrio
Diámetro:	0.9[m]
Altura:	1.9[m]
Volumen:	1.2[m <sup>3</sup> ]
Soportes:	Acero

#### **Válvula de Desagüe**

Unidades:	2
Diámetro:	2"
Tipo:	Bola
Uniones:	Americanas
Material:	PVC (Cuerpo)

### **Tubería de Desagüe**

Unidades:	2
Material:	PVC
Clase:	10
Diámetro Exterior:	2"
Largo Aprox.:	15[m]
Codos 90°:	4, PVC
Referencia:	Vinilit, Catálogo Presión

### **Interruptores de Nivel**

Unidades:	4
Tipo:	Interruptor Nivel
Modelo:	MAC 3
Material:	PVC
Largo:	5[m]
Referencia:	Koslan

### **Bombas**

Unidades:	3
Nº Activas:	2
Nº Reserva:	1
Tipo:	Centrífuga
Marca:	Pedrollo
Modelo:	CPm100
Potencia:	0.33[HP]=0.24[KW]
Caudal Operación:	0.7-0.8[l/s]
Referencia:	Koslan

### **Válvula de Retención**

Unidades:	2
Diámetro:	3/4"
Uniones:	Americanas
Material:	PVC (Cuerpo)



**Impulsión**

Unidades:	2
Material:	PVC
Clase:	10
Diámetro:	¾"
Largo:	5[m]
Referencia:	Vinilit, Catálogo Presión

**Tablero**

Tipo:	IP 55
Ancho:	200[mm]
Profundidad:	160[mm]
Altura Exterior:	300[mm]
Marca:	Legrand

**6.4.6 Filtros**

Se ocuparán filtros tipo cartucho, de dos graduaciones diferentes, para filtrar el agua de los estanques de bombeo. Se tendrán unidades independientes, para recibir el agua de los dos estanques.

**Materiales y Equipos:****Filtros****Unidad filtrante 1**

Unidades:	2
Tipo:	Cartucho
Marca:	Aqua
Línea:	RLA
Largo:	24.8[cm]
Nivel Filtración:	80[µm]
Referencia:	Koslan

### **Unidad filtrante 2**

Unidades:	2
Tipo:	Cartucho
Marca:	Aqua
Línea:	PL AQUA PRO
Largo:	24.8[cm]
Nivel Filtración:	3[ $\mu$ m]
Referencia:	Koslan

### **Carcasas**

Unidades:	4
Marca:	Aqua
Línea:	FP2/4 SIRIO, transparente
Largo:	24.8[cm]
Tamaño Entrada:	1”
Referencia:	Koslan

### **6.4.7 Almacenamiento y Desinfección**

Existirán dos estanques de almacenamiento, cada uno recibirá el agua efluente a los filtros, mezclada con hipoclorito de sodio. Para esto se ocuparán dos bombas dosificadoras, las cuales responderán a las señales de los interruptores de nivel de los estanques de bombeo.

Los estanques permitirán cumplir el tiempo de contacto necesario entre el agua y cloro. En la parte inferior de cada estanque existirá una válvula conectada a una tubería, la que permitirá evacuar el agua del estanque al desagüe, en caso de ser necesario.

### **Materiales y Equipos:**

#### **Depósito**

Unidades:	2
Material:	Polietileno Alta Densidad
Diámetro:	338mm
Volumen:	0.12m <sup>3</sup>
Referencia:	Haddad

**Bombas**

Unidades:	3
Nº de Bombas Activas:	2
Nº de Bombas Reserva:	1
Control:	Manual
Potencia:	17[W]
Alimentación Eléctrica:	220-230[V], 50[Hz]
Marca:	Prominent
Modelo:	Gamma

**Materiales y Equipos:****Estanque**

Unidades:	2
Material:	Polietileno Alta Densidad
Diámetro:	2[m]
Altura:	2.5[m]
Volumen:	8[m <sup>3</sup> ]

**Válvula de Desagüe**

Unidades:	2
Diámetro:	2"
Tipo:	Bola
Uniones:	Americanas
Material:	PVC (Cuerpo)

**Tubería de Desagüe**

Unidades:	2
Material:	PVC
Clase:	10
Diámetro Exterior:	2"
Largo Aprox.:	20[m]
Codos 90°:	4, PVC
Referencia:	Vinilit, Catálogo Presión

## 6.4.8 Otros

### **Canaleta de Desagüe**

En el piso de la planta existirá una canaleta de desagüe, la cual permitirá evacuar eventuales filtraciones de agua de unidades de la planta. Esta descargará en el desagüe, proyectado por Hidrosur Ltda., llevará las aguas hasta la cámara de la sala hermética, ubicada en el segundo subterráneo. Las dimensiones de la sección de la canaleta serán 200x120[mm] (146[mm] exterior) (Referencia: Vinilit).

### **Locker**

Existirá un locker, en la sala de tratamiento, con la finalidad de almacenar ropa e instrumentos de operarios.

Modelo: B2-02

Dimensiones:

H=1.66[m]

L=0.45[m]

A=0.29[m]

Marca: Malettek

### **Bodega**

Una pequeña bodega, en la sala de tratamiento, se utilizará para almacenar sulfato de aluminio.

Material: Zinc-Alum

Dimensiones:

H=1.2[m]

L=1[m]

A=0.8[m]

Marca: Ferrobone

### **Iluminación:**

Se tendrán dos luminarias fluorescentes, cada una con dos tubos de 36W. (Modelo: ISO204AE, Marca: ISOLUX).

**CAPÍTULO 7**  
**CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 7.1 Conclusiones

De acuerdo a estudios internacionales entre un 60 a 70% del agua ocupada en el interior de una vivienda corresponde a aguas grises. Se puede afirmar también que son mucho menos contaminadas que la globalidad de las aguas servidas, por no incluir el agua de inodoros, lo que hace que sea más fácil recuperarlas, pudiendo destinarse a diversos usos, entre ellos diversos tipos de riego, estanques de inodoros, refrigeración, lavado de autos, lavadoras, etc.

En base a la investigación realizada se puede aseverar que la práctica de reutilizar aguas grises va en incremento en el mundo. Muchas veces éstas son reocupadas sin ningún tratamiento, lo que no es recomendado, ya que si bien son aguas menos contaminadas, también poseen patógenos, que pueden ser dañinos para el hombre y animales, y dependiendo del origen de éstas, su composición también puede ser perjudicial para plantas, pudiendo ser el caso de aguas de lavaplatos y lavadoras, que suelen tener altas cargas de contaminantes.

Las aguas de la cocina, son el principal aporte de nutrientes de las aguas grises. No obstante, previo a su uso, éstas requieren de tratamiento biológico para degradar la materia orgánica, especialmente si será almacenada por un tiempo. De acuerdo a estudios citados en este trabajo, las plantas y cultivos tienen un mayor crecimiento al ser regadas con aguas grises que con agua cruda. Si bien, los nutrientes disponibles en las aguas disminuyen con los tratamientos, éstos no se eliminan totalmente, siendo las aguas recuperadas un aporte para plantas.

En relación al análisis realizado a aguas grises chilenas, se obtuvo que:

-Los valores de  $DBO_5$ , DQO, SST,  $N_K$  y P, son similares a los promedios internacionales, lo que se explica dado que estos parámetros dependen mucho de los usos del agua y no de las características del agua potable.

-Los coliformes fecales obtenidos,  $1.5 \cdot 10^3$  y  $1.3 \cdot 10^4$  [ufc/100ml], si bien se encuentran dentro de los rangos internacionales, son bastante bajos, en relación al promedio de los estudios citados,  $3 \cdot 10^6$  [ufc/100ml] (tabla 2.2). Una explicación a esto es el posible uso de trituradores de comida en algunos de los lugares de estudio, o un mayor desfase entre la toma de las muestras y el análisis éstas, lo que influiría ya que, el número de coliformes fecales y totales aumenta fuertemente las primeras 48 horas luego del muestreo.

-Considerando el  $N_K$  cercano al nitrógeno total, como es el caso de los registros internacionales, se tiene que la relación N:P es igual a 2.4 y 1.3, para el agua de Calama y Vallenar

respectivamente, valores bastante bajos para riego, si se considera, de acuerdo a literatura estudiada, un valor óptimo cercano a 10, por lo que, en caso de regar con esta agua, existiría riesgo de baja reducción de fósforo y posiblemente de acumulación en el suelo. Una opción a esto, si el tratamiento no permite reducir el fósforo, es fertilizar con nitrógeno.

-La DBO<sub>5</sub> presentada por el agua de Vallenar es un poco alta (384[mg/L]), en relación al promedio internacional (158.2[mg/L]), esto se puede explicar ya que el agua tomada del lavaplatos, sólo correspondía a lavado de utensilios usados en preparar almuerzo, siendo más cargada de restos de alimentos que las aguas de desayuno y once. Se tiene en cambio, que el valor de DBO<sub>5</sub> presentado por las aguas grises de Calama (194[mg/L]), es cercano al promedio, en este caso se tomó agua del lavado posterior a la hora de once. Ambos valores de DBO<sub>5</sub> se encuentran bajo 550[mg/L], máximo registrado en estudios internacionales.

Respecto al tratamiento diseñado, para el proyecto Plaza Sol del Loa, éste es adaptable a casos de distintas escalas, por ejemplo, podría ser aplicado a nivel de vivienda o de grupos de éstas, modificando las dimensiones e instrumentos según los requerimientos de cada caso.

Es importante recalcar que la elección de usar sólo las aguas de ducha y lavamanos se debió al menor nivel de tratamiento que éstas requieren, y a que la cantidad de áreas verdes que éstas permitían regar era mucho mayor que las originalmente proyectadas, no justificándose incluir aguas más contaminadas, como las de lavandería o cocina.

En relación a la calidad de las aguas tratadas, de acuerdo a la experiencia realizada en laboratorio, se puede concluir:

-El pH, inmediatamente después de realizar el tratamiento, entregó un valor de 7.04. Este valor podría disminuir en la etapa de cloración, la cual no fue incluida en la simulación.

-Del análisis de calidad se tiene que la turbiedad es de 3.6[UNT], valor que se encuentra en el entorno de los límites para agua potable, de 2[UNT] como media mensual y sin sobrepasar de 4[UNT] en más de una muestra particular del mes (NCh 409).

-La DBO total, de 5[mg/L], es menor a lo recomendado por EPA para todo tipo de riego.

-Los sólidos suspendidos, con un valor de 7[mg/L], son menores que los exigidos en las normativas internacionales, citadas para agua de inodoros, a excepción de la norma de California (Tabla 4.3).

-Los sólidos disueltos son altos, 1416[mg/L], y de acuerdo a la norma NCh 1333, pueden traer efectos adversos y necesitar de manejo cuidadoso. De acuerdo a la tabla 3.2, referida a restricciones según conductividad y sólidos disueltos de la FAO, se tiene que la limitación va de leve a moderada.

-Los surfactantes registraron un bajo valor, 0.06[mg/L], por lo que no generarían problemas para la estructura del suelo.

-Se analizó el aluminio, debido al uso de sulfato de aluminio, con el fin de comprobar no sobrepasar la norma. El valor obtenido fue de 0.47[mg/L], más de 10 veces menor al permitido por la norma NCh 1333.

-Si bien la dureza obtenida es alta,  $\text{CaCO}_3 = 309.8$ [mg/L], es menor al promedio de la Segunda Región que es sobre 340[mg/L] (Neira M. 2006) y que los 334.8[mg/L] registrados en el análisis de la muestra de agua potable de Calama. Es posible que en el proceso de sedimentación precipitara parte de la dureza.

-El sodio porcentual obtenido fue más alto que la norma NCh 1333. No obstante, según las pruebas realizadas al agua potable, no se tiene la seguridad de que el sodio porcentual en ella sea menor que en las aguas grises tratadas, si fuese así, se debería a la reducción de la dureza. Esto es necesario comprobarlo en terreno, en caso de encontrar el sodio porcentual más alto a la norma se podría incluir yeso al tratamiento. De mantenerse el valor, se podría apelar a que se exigiría cumplir con estándares que no cumple el agua potable, con la cual se riegan árboles y áreas verdes de la ciudad.

-El RAS obtenido fue de 3.93, el cual al tener una conductividad de 1,886[dS/m], no generaría restricciones de uso, de acuerdo a tabla 3.4 (FAO).

-El nitrógeno kjeldahl medido fue de 2.76[mg/L], que es bastante bajo en relación al promedio internacional, 10.7[mg/L] (tabla 2.2), esto se explica ya que el origen de las aguas no incluye lavaplatos.

-El fósforo total es menor a 0.5, por lo que no ocasionaría problemas de acumulación.

-El potasio registrado fue de 33.11[mg/L], esto es notoriamente mayor que en el agua potable (13.12[mg/L]), lo que se puede deber a la presencia en productos de limpieza personal, presentes en aguas grises. Esto es beneficioso en el agua de riego.



-Los coliformes fecales obtenidos fueron de  $1.7 \cdot 10^3/100\text{ml}$ , mayor a los  $1000/100\text{ml}$  exigidos por la norma NCh 1333. La cloración permitirá, idealmente, reducir a valores muy bajos o no detectables, como sugiere la EPA.

El análisis de costos (Anexo E) entregó que este sistema es factible de realizar, dependiendo de la distribución de las líneas de alcantarillado del recinto donde sea aplicado y del costo del agua potable.

En el caso del proyecto Plaza Sol del Loa el costo neto estimado de materiales e instrumentos es de aproximadamente \$11 000 000 y el costo neto de operación de aproximadamente \$57000 al mes, que se traduce en un costo de  $\$127/\text{m}^3$ , muy inferior al valor del agua potable (con alcantarillado) en Calama que es de \$1032 y \$2118, sin y con sobreconsumo respectivamente. No obstante, de acuerdo a cálculos de la empresa Magna, el valor de la red de tubería adicional para aguas grises, sería de \$52 000 000. Considerando los costos mencionados, en los cuales no se incluyó el costo de construcción de la sala, la empresa estimó que en situación sin sobreconsumo se recuperaría la inversión en 13 años, cantidad mayor a los 8 años fijados como plazo máximo de recuperación de la inversión por la empresa. En este caso el alto costo de alcantarillado se debe a la distribución disgregada del hotel y apart hotel proyectados. No obstante, proyectos de distribución más concentrada pueden ser económicamente convenientes.

Se puede concluir también que, en el caso de viviendas, es más conveniente aplicarlo a un conjunto de éstas, ya que costos fijos de algunos equipos, como bombas y medidor de caudal, se reparten lo que hace que la inversión inicial por familia sea menor.

Es posible que empresas, como por ejemplo mineras, por su alta demanda de agua y baja disponibilidad, se muestren interesadas en invertir en este tipo de proyectos para la comunidad, compensando de esta forma el exceso de demanda, que en ocasiones afecta a comunidades aguas abajo de la empresa. En este caso el valor que la empresa está dispuesta a pagar por  $[\text{m}^3]$ , puede ser mucho mayor que el correspondiente al agua potable en la zona, con lo que se hace más fácil que los proyectos resulten económicamente factibles.

## 7.2 Recomendaciones

En relación a la elección de un tratamiento para aguas grises, se debe procurar que sea adecuado al tipo de agua y al uso a que éstas sean destinadas.

El tratamiento diseñado en este Trabajo de Título corresponde a aguas grises claras (duchas y lavamanos). Para proyectos futuros, en que se incluyan aguas de cocina, vale decir, con mayor cantidad de materia orgánica, se debe agregar tratamiento biológico, ya sea por medio de humedales, lodos activados u otro tipo. Uno de los tratamientos que se recomiendan por su simplicidad, economía y buen resultado son los lechos de contacto, como el tratamiento “Barrel System” de Jordania. En el caso de incluirse agua de lavadoras es conveniente remover espumas.

Si el agua recuperada es ocupada en usos como inodoros, urinarios y lavadoras, es necesario incluir desinfección al tratamiento.

En el caso de reuso en riego es necesario considerar:

-El tipo de riego empleado, ya que es un factor importante para saber qué nivel de tratamiento utilizar, así por ejemplo, la aspersión es el tipo que requiere mejor calidad de agua, ya que deja gotas suspendidas en el aire, las que pueden ser inhaladas, entrar en contacto con ojos, boca o piel, y también caer sobre hojas, que según el tipo de planta, puede llevar a reacciones indeseables. El caso contrario es el riego sub-superficial, el cual requiere de menor tratamiento dado su aislamiento bajo una capa de suelo. Sin embargo, factores como el sodio y la salinidad deben ser igualmente considerados. No obstante, la norma NCh 1333 no hace diferencia de tipos de riego, por lo cual queda a criterio del ingeniero y de la autoridad correspondiente exigir un mayor grado de calidad en casos como la aspersión.

-En caso de regar áreas de libre acceso, se debe realizar en horarios de bajo público, a excepción del caso de riego sub-superficial.

-Debe haber una distancia mínima entre el punto de aplicación de las aguas grises y la napa subterránea (Arizona, exige 1.5[m]).

-No regar con aguas grises sin tratar, y evitar hacerlo con tratadas, plantas comestibles de consumo crudo, a excepción de las que su fruto se encuentre separado de la tierra.

-Usar productos de limpieza que sean ambientalmente benignos, por ejemplo, detergentes bajos en sales y fosfatos, y jabones en base a potasio.

Otras recomendaciones a fin de evitar consecuencias desfavorables son:

-En caso de reocupar las aguas grises de lavadoras, es importante que no se reutilicen las de ropa contaminada como: pañales, ropas con sangre, vómito o residuos químicos. De igual modo, si los lavamanos o lavaplatos están conectados al tratamiento de aguas grises, no se deben verter sustancias que sean particularmente dañinas para la calidad de las aguas, como pinturas, aguarrás, grandes cantidades de aceite, etc. En estos casos, es preferible evacuar las aguas al sistema tradicional.

-Se recomienda también evitar contacto humano con aguas grises no tratadas y minimizarlo con las tratadas y suelo regado. Procurar que no queden gotas suspendidas en el aire, como sucede en limpieza de patios, riego de caminos, aspersion, etc.

-Es preferible no acumular aguas grises, a excepción de regulación, a menos que sea tratada y desinfectada. Los estanques acumuladores de aguas grises deben ser tapados, para evitar mosquitos u otros vectores, en especial cuando se incluyen aguas de lavaplatos.

-Se debe mantener una opción de conexión a alcantarillado y prevenir cruce de tuberías de aguas grises con agua potable.

En otros países las aguas grises tratadas son ocupadas en usos que implican un importante contacto directo, como son lavado de autos o uso en lavadoras, no obstante, no se recomienda dado que, incluso con desinfección (cloración), existe la posibilidad que microorganismos resistentes sobrevivan. Los usos principalmente recomendados son: riego, inodoros y urinarios, con un adecuado tratamiento previo.

Los usuarios de sistemas de tratamiento y reutilización de aguas grises deben tener presente el potencial riesgo para la salud y medio ambiente que puede causar el mal diseño, implementación o manejo de los sistemas.

Finalmente se recomienda el desarrollo de normativa, en especial para usos como inodoros y urinarios, ya que existe un gran potencial de recuperación de agua en éstos. A continuación en base a las normativas estudiadas, se entrega una norma propuesta para estos usos:

**Tabla 7.1: Normativa Propuesta: Criterios de Calidad para Agua de Inodoros y Urinarios.**

<b>PARÁMETRO</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>MÍNIMO</b>	<b>MÁXIMO</b>
<b>C.F</b>	ufc/100ml	-	10
<b>E. Coli</b>	ufc/100ml	-	1
<b>Helmintos</b>	huevos/L	-	1
<b>Cloro</b>	mg/L	1	2
<b>DBO</b>	mg/L	-	10
<b>pH</b>	-	6	9
<b>SST</b>	mg/L	-	10
<b>Turbiedad</b>	UNT	-	5

Si bien el riego se encuentra incluido en la normativa chilena, se propone también, en futuras modificaciones, diferenciar exigencias según tipos de riego y finalidad.

La reutilización de aguas grises y otros temas relacionados con el desarrollo sustentable, como aprovechamiento de orina y excretas, están a la espera de mayor investigación y desarrollo en el país. Por ello, se recomiendan como temas para futuros Trabajos de Título.

**CAPÍTULO 8**  
**BIBLIOGRAFIA Y REFERENCIAS**

## 8. BIBLIOGRAFIA Y REFERENCIAS

1. **ANDERSSON, M.** 2004 .Grey Water use in Denmark-Experiences and rules. En:<[http://www.rainwaterconference.org/fachinfos/pdf\\_grau/Denmark.pdf](http://www.rainwaterconference.org/fachinfos/pdf_grau/Denmark.pdf)> [Consulta: 5 de Agosto de 2006]
2. **AUSTRALIAN CAPITAL TERRITORY (ACT).** 2004. Greywater Use. Guidelines for residential properties in Canberra. En:<<http://www.health.act.gov.au/c/health?a=sendfile&ft=p&fid=1180494837&sid=>> [Consulta: 6 de Noviembre de 2006]
3. **AUSTRALIAN WATER ASSOCIATION (AWWA).** Glossary of water-related terms. En:<<http://www.awa.asn.au/AM/Template.cfm?Section=Glossary&Template=/CM/ContentDisplay.cfm&ContentID=5185>> [Consulta: 24 de Noviembre de 2006]
4. **BARRENECHEA, A. y DE VARGAS, L. CEPIS.** 2004. Desinfección. En:<<http://www.bvsde.paho.org/bvsatr/fulltext/tratamiento/manualI/tomolI/diez.pdf>> [Consulta: 18 de Febrero de 2007]
5. **BINO, M.** 2004. Greywater Reuse for Sustainable Water Demand Management. En:<[http://www.wdm2004.org/new\\_web/technical\\_session/files/murad\\_bino.pdf](http://www.wdm2004.org/new_web/technical_session/files/murad_bino.pdf)> [Consulta: 8 de Mayo de 2006]
6. **BROWN, E. y SALDIVIA, J.** 2000. Informe Nacional sobre la Gestión de Agua en Chile. CONAMA. En:<[http://www.conama.cl/rm/568/articles-30399\\_NOR\\_01\\_04\\_15.pdf](http://www.conama.cl/rm/568/articles-30399_NOR_01_04_15.pdf)> [Consulta: 31 de Julio de 2006]
7. **BUNDESMINISTERIUM FÜR BILDUNG UND FORSCHUNG.** 2001. International Survey on Alternative Water Systems. En:<<http://hikwww1.fzk.de/ptwte/w/aws-engl.pdf>> [Consulta: 3 de Julio de 2006]
8. **CAMP DRESSER & MCKEE INC (CDM).** 1992. Guidelines for Water Reuse.
9. **CENTER FOR THE STUDY OF THE BUILT ENVIRONMENT (CSBE).** 2003. A Report on Graywater Reuse in other Countries and its Applicability to Jordan. En:<<http://csbe.org/graywater/report/contents.htm>> [Consulta: 1 de Mayo de 2006]
10. **CENTRO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIONES PARA EL DESARROLLO (IDRC),** Ottawa, Canadá. Estudio de Caso: Jordania. En:<[http://www.idrc.ca/es/ev-95757-201-1-DO\\_TOPIC.html](http://www.idrc.ca/es/ev-95757-201-1-DO_TOPIC.html)> [Consulta: 22 de Agosto de 2006]

11. **CEPIS.** Capítulo 6: Aspectos Biológicos de la calidad del Agua. En: <<http://www.cepis.ops-oms.org/bvsatr/fulltext/operacion/cap6.pdf>> [Consulta: 7 de Abril de 2007]
12. **COLORADO WATER RESOURCES RESEARCH INSTITUTE (CWRRI).** 1975. Individual Home Wastewater Characterization and Tratment. En:<<http://cwrri.colostate.edu/pubs/series/completionreport/cr66.pdf>> [Consulta: 21 de Junio de 2006]
13. **DE MIGUEL, C.** 1998. Los Recursos Hídricos en el Desarrollo Sustentable Chileno. Programa de Desarrollo Sustentable. En:<<http://www.conama.cl/portal/1255/article-26344.html>> [Consulta: 11 de Agosto de 2006]
14. **DOMINGUEZ, F.** 1999. Hidráulica. Sexta Edición. Editorial Universitaria, Chile.
15. **ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA).** Terms of Environment: Glossary, Abbreviations and Acronyms. En:<<http://www.epa.gov/OCEPAterms/>> [Consulta: 24 de Noviembre de 2006]
16. **FACHVEREINIGUNG BETRIEBS- UND REGENWASSERNUTZUNG E.V. (FBR).** 2005. Greywater Recycling. Alemania. En:<[http://www.fbr.de/publikation/engl\\_%20H%20201.pdf](http://www.fbr.de/publikation/engl_%20H%20201.pdf)> [Consulta: 3 de Julio de 2006]
17. **FIORE S. ET AL.** 2005. Avaliação Qualitativa e Quantitativa do Reúso de Águas Cinzas em Edificações. n:<<http://www.antac.org.br/AmbienteConstruido/pdf/revista/artigos/Doc123148.pdf#search=%22%22REUTILIZA%C3%87%C3%83O%20DA%20%C3%81GUA%20CINZA%22%22>> [Consulta: 9 de Octubre de 2006]
18. **FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO).** Glosario de la Gestión Integrada de los Nutrientes. En:<[http://www.fao.org/ag/agl/agll/ipns/index\\_es.jsp](http://www.fao.org/ag/agl/agll/ipns/index_es.jsp)> [Consulta: 26 de Noviembre de 2006]
19. **FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO).** Guidelines for Interpretations of Water Quality for Irrigation. En:<<http://www.fao.org/DOCREP/003/T0234E/T0234E01.htm#ch1.4>> [Consulta: 20 de Diciembre de 2006]
20. **FRIEDLER, E. Y GALIL N.** 2003. Department of Civil & Environmental Engineering, Technion-Israel Institut of Technology. II International Conference of Efficient Use and Management of Water in Urban Area. En:<[http://paginas.fe.up.pt/~mjneves/publicacoes\\_files/data/es/ponencias/por\\_autor/pdf/10114.pdf](http://paginas.fe.up.pt/~mjneves/publicacoes_files/data/es/ponencias/por_autor/pdf/10114.pdf)> [Consulta: 3 de Julio de 2006]

- 21. GREYWATER.COM.** Greywater Pollution . En:<[www.greywater.com](http://www.greywater.com)> [Consulta: 8 de Junio de 2006]
- 22. GOVERNMENT OF WESTERN AUSTRALIA.** Department of Environment and Department of Health. 2005. Code of Practice for the Reuse of Greywater in Western Australia. En:<[http://www.health.wa.gov.au/envirohealth/water/docs/Code\\_of\\_Practice\\_for\\_the\\_Reuse\\_of\\_Greywater\\_in\\_WA.pdf](http://www.health.wa.gov.au/envirohealth/water/docs/Code_of_Practice_for_the_Reuse_of_Greywater_in_WA.pdf)> [Consulta: 6 de Noviembre de 2006]
- 23. GÜNTHER, F.** 1995 .Waste Water Treatment by Source Separation. En:<<http://www.holon.se/folke/projects/vatpark/Kth/guntha.shtml>> [Consulta: 3 de Julio de 2006]
- 24. IMHOF , B. Y MÜHLEMANN, J.** 2005. Greywater Treatment on Household Level in Developing Countries. En:<[http://www.nccr-north-south.unibe.ch/publications/Infosystem/On-line%20Dokumente/Upload/Imhoff\\_Muhleman\\_Morel\\_2004\(1\).pdf](http://www.nccr-north-south.unibe.ch/publications/Infosystem/On-line%20Dokumente/Upload/Imhoff_Muhleman_Morel_2004(1).pdf)> [Consulta: 29 de Agosto de 2006]
- 25. JAMRAH, A. ET AL.** 2004 .Evaluating Greywater Reuse Potential for Sustainable. Water Resources Management in the Sultanate of Oman. En:<[http://www.wdm2004.org/new\\_web/technical\\_session/files/ahmad\\_jamrah.pdf](http://www.wdm2004.org/new_web/technical_session/files/ahmad_jamrah.pdf)> [Consulta: 8 de Mayo de 2006]
- 26. JENSSEN, P. Y VRALE, L.** 2003. Tratamiento de Aguas Grises Combinando Bio-filtros y Humedales de Tratamiento en Clima Frío. En:<<http://www2.gtz.de/ecosan/download/ecosan-symposium-Luebeck-sesion-i-esp.pdf>> [Consulta: 6 de Mayo de 2006]
- 27. LAZAROVA, V. ET AL.** 2003. Using recycled water for non-potable, urban uses: a review with particular reference to toilet flushing. Technical and Research Center, Francia. En:<<http://www.iwaponline.com/ws/00304/0069/003040069.pdf>> [Consulta: 4 de Septiembre de 2006]
- 28. MEJIA, J. ET AL.** 2004. Reutilización de aguas domésticas. Colombia. En:<<http://fluidos.eia.edu.co/Grupo/GABiS/ponencias/XVI%20SNHH%20-%20Reutilizaci%C3%B3n%20de%20aguas%20dom%C3%A9sticas.doc>> [Consulta: 13 de Noviembre de 2006]
- 29. MENA, M.P.** 2001. Sistemas Integrados de Tratamiento y Uso de Aguas Residuales en América Latina: Realidad y Potencial. IDRC – OPS/HEP/CEPIS. En:<[http://www.conama.cl/rm/568/articles-30399\\_NOR\\_01\\_04\\_2.pdf](http://www.conama.cl/rm/568/articles-30399_NOR_01_04_2.pdf)> [Consulta: 8 de Agosto de 2006]



- 30. METCALF & EDDY.** 1996. Ingeniería de Aguas Residuales. Tratamiento, Vertido y Reutilización. Tomo I. Tercera Edición. McGraw-Hill, México.
- 31. MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS (MOP).** 2004. Reglamento de Instalaciones Domiciliarias de Agua Potable y de Alcantarillado (RIDDA). En:<<http://www.siss.cl/RepositorioSiss/Archivos/websiss/documentos/RIDAA2004-modificadoWeb.pdf>> [Consulta: 8 de Febrero de 2007]
- 32. NATURAL RESOURCE MANAGEMENT MINISTERIAL COUNCIL.** 2006. Australian Guidelines for Water Recycling: Managing Health and Environmental. En:<[http://www.ephc.gov.au/pdf/water/WaterRecyclingGuidelines-02\\_Nov06\\_.pdf](http://www.ephc.gov.au/pdf/water/WaterRecyclingGuidelines-02_Nov06_.pdf)> [Consulta: 28 de Abril de 2007]
- 33. NEIRA, M. 2006.** Dureza en Aguas de Consumo Humano y Uso Industrial, Impactos y Medidas de Mitigación. Estudio de Caso: Chile. Trabajo de Título de Ingeniero Civil. Santiago, Universidad de Chile.Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas.
- 34. NEW SOUTH WALES DEPARTMENT OF HEALTH (NSW).** 2000. Greywater Reuse in Sewered Single Domestic Premises. Australia. En:<[http://www.health.nsw.gov.au/public-health/ehb/general/wastewater/greywater\\_policy.pdf](http://www.health.nsw.gov.au/public-health/ehb/general/wastewater/greywater_policy.pdf)> [Consulta: 8 de Mayo de 2006]
- 35. NORTH CAROLINA DEPARTMENT OF ENVIRONMENT AND NATURAL RESOURCES.** Division of Pollution Prevention and Environmental Assistance. Graywater and Graywater Disposal Systems. En:<<http://www.p2pays.org/ref/21/20766.pdf>> [Consulta: 31 de Agosto de 2006]
- 36. NOVATEC CONSULTANTS INC. 2004.** Greywater Reuse Study Report. Capital Regional District.En:<[http://www.crd.bc.ca/reports/water\\_/2004\\_/crdgreywaterreusestu/CRDGreywaterReuseStudyFinalReport.pdf](http://www.crd.bc.ca/reports/water_/2004_/crdgreywaterreusestu/CRDGreywaterReuseStudyFinalReport.pdf)> [Consulta: 13 de Octubre de 2006]
- 37. OTTOSSON, J.** 2003. Hygiene Aspects of Greywater and Greywater Reuse. Swedish Institute for Infectious Disease Control (SMI), Estocolmo. En:<[http://www.diva-portal.org/diva/getDocument?urn\\_nbn\\_se\\_kth\\_diva-1551-2\\_\\_fulltext.pdf%20->](http://www.diva-portal.org/diva/getDocument?urn_nbn_se_kth_diva-1551-2__fulltext.pdf%20->)> [Consulta: 9 de Octubre de 2006]
- 38. PARRONALES Y MINERÍA** Agotan Agua en Copiapó. El Mercurio. 29 de Julio de 2006.

- 39. MATUS, N. ET AL. PROGRAMA CHILE SUSTENTABLE.** 2004. Recursos Hídricos en Chile: Desafíos para la Sustentabilidad. 1ª ed. LOM ediciones. En:<<http://www.dga.cl/otros/publicacioneslinea/caracterizacionrecursos.htm>> [Consulta: 11 de Agosto de 2006]
- 40. SALUKAZANA, L. ET AL.** 2005. Plant growth and microbial safety of plants irrigated with greywater. En:<[http://conference2005.ecosan.org/papers/salukazana\\_et\\_al.pdf](http://conference2005.ecosan.org/papers/salukazana_et_al.pdf)> [Consulta: 21 de Junio de 2006]
- 41. SANCHA, A.M.** 2002. Apuntes Curso CI51I: Calidad de Aguas. Ingeniería Civil. Universidad de Chile.
- 42. SHAFRAN A., ET AL.** Effects of Surfactants Originating from Reuse of Greywater on Capillary Rise in the Soil. University of the Negev, Israel. En:<<http://www.gtz.de/ecosan/download/greywater-effects-010604.pdf>> [Consulta: 24 de Noviembre de 2006]
- 43. SUZUKI, Y. ET AL.** Large-Area and On-Site Water Reuse in Japan. Ministerio de Tierra, Infraestructura y Transporte (MLIT). Japón. En:<<http://www.pwri.go.jp/eng/kokusai/conference/suzuki-yutaka020327.pdf>> [Consulta: 3 de Julio de 2006]
- 44. TRUJILLO, C.** 2006. Manual para la Utilización de Aguas Grises de Lavamanos en Establecimientos Educativos. CONAMA.
- 45. UNIVERSIDAD DE CHILE. DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL. DIVISIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS Y MEDIO AMBIENTE.** 2005. Criterios de Calidad de Aguas o Efluentes Tratados para Uso en Riego. SAG. En:<[http://www2.sag.gob.cl/biblioteca\\_digital/documentos/medio\\_ambiente/criterios\\_calidad\\_suelos\\_aguas\\_agricolas/pdf\\_aguas/informe\\_final.pdf](http://www2.sag.gob.cl/biblioteca_digital/documentos/medio_ambiente/criterios_calidad_suelos_aguas_agricolas/pdf_aguas/informe_final.pdf)> [Consulta: 13 de Abril de 2007]
- 46. UNIVERSIDAD DE CHILE. INSTITUTO DE ASUNTOS PÚBLICOS.** 2002. Informe País. Estado del Medio Ambiente en Chile. 1ª ed. Chile. LOM ediciones.
- 47. UNIVERSIDAD DE CHILE. INSTITUTO DE ASUNTOS PÚBLICOS.** 2005. Informe País. Estado del Medio Ambiente en Chile 2005. 2ª ed. LOM ediciones. Chile. En:<<http://www.inap.uchile.cl/politicaspUBLICAS/informepais2006.pdf>> [Consulta: 1 de Diciembre de 2006]
- 48. UNIVERSIDAD DE TALCA. FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS. ESCUELA DE AGRONOMÍA.** 2004. Diseño de un Sistema de Riego Localizado en Frutillas. En:<<http://dspace.otalca.cl/retrieve/2957/SCastroV.pdf>> [Consulta: 21 de Febrero de 2007]

- 49. VENEMAN, P. Y STEWART, B.** 2002. Greywater Characterization and Treatment Efficiency. University of Massachusetts. En:<<http://www.co.boulder.co.us/health/environ/water/pdfs/Graywater%20Characterization%20study.pdf>> [Consulta: 25 de Octubre de 2006]
- 50. WATER QUALITY ASSOCIATION (WQA).** Glossary of Terms. En:<<http://www.wqa.org/glossary.cfm>> [Consulta: 26 de Noviembre de 2006]
- 51. WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO).** 2006. Safe Use of Wastewater, Excreta and Greywater. Volumen IV: Excreta and Greywater use in Agriculture. En:<[http://whqlibdoc.who.int/publications/2006/9241546859\\_eng.pdf](http://whqlibdoc.who.int/publications/2006/9241546859_eng.pdf)> [Consulta: 15 de Diciembre de 2006]
- 52. ZABROCKI, L.** 2003. Caracterizacao da Agua Cinza para Promocao da Sustentabilidade dos Recursos Hidricos. Universidad Federal do Parana. En:<<http://dspace.c3sl.ufpr.br/dspace/bitstream/1884/2172/1/disserta%3F%3Fofinal.pdf>> [Consulta: 9 de Octubre de 2006]

## **ANEXOS**

**ANEXO A**  
**COMPOSICIÓN PORCENTUAL DE**  
**AGUAS SERVIDAS Y GRISES SEGÚN USO**

## ANEXO A: COMPOSICIÓN PORCENTUAL DE AGUAS SERVIDAS Y GRISES SEGÚN USO

**Tabla A.1: Composición Porcentual de Aguas Servidas y Grises según Uso. Metcalf & Eddy**

Uso	%A.S.	%A.G.
Duchas y Tinas	30.1	45.5
Lava vajillas	3.1	4.7
Lava manos	11.7	17.7
Lavadoras	21.2	32.1
Total	66.1	100
Inodoros	33.9	

**Tabla A.2: Composición Porcentual de Aguas Servidas y Grises según Uso. Colorado Water Resources Research Institute (CWRRI)**

Uso	%A.S.	%A.G.
Duchas y Tinas	20.2	30.0
Lava vajillas	15.7	23.3
Lava manos	4.5	6.7
Lavadoras	27.0	40.0
Total	67.4	100
Inodoros	32.6	

**Tabla A.3: Composición Porcentual de Aguas Servidas y Grises según Uso. Universidade Federal do Paraná**

Uso	%A.S.	%A.G.
Duchas y Tinas	33.0	48.5
Lava vajillas	7.0	10.3
Lava manos	5.0	7.4
Lavadoras	23.0	33.8
Total	68.0	100
Inodoros	32.0	

**Tabla A.4: Composición Porcentual de Aguas Servidas y Grises según Uso. Lindstrom**

Uso	%A.S.	%A.G.
Duchas y Tinas	30.0	50.0
Lava vajillas	10.0	16.7
Lava manos	-	-
Lavadoras	15.0	25.0
Otros	5.0	8.3
Total	60.0	100
Inodoros	40.0	

**Tabla A.5: Composición Porcentual de Aguas Servidas y Grises según Uso. American Water Works Association (AWWA)**

<b>Uso</b>	<b>%A.S.</b>	<b>%A.G.</b>
<b>Duchas y Tinas</b>	19.6	26.5
<b>Lava vajillas</b>	16.8	22.7
<b>Lava manos</b>	-	-
<b>Lavadoras</b>	22.7	30.7
<b>Perdidas y Otros</b>	14.8	20.0
<b>Total</b>	73.9	100
<b>Inodoros</b>	26.1	

**Tabla A.6: Composición Porcentual de Aguas Servidas y Grises según Uso. North Carolina Division of Pollution Prevention and Environmental Assistance (DPPEA)**

<b>Uso</b>	<b>%A.S.</b>	<b>%A.G.</b>
<b>Duchas y Tinas</b>	25.0	41.7
<b>Lava vajillas</b>	8.0	13.3
<b>Lava manos</b>	-	-
<b>Lavadoras</b>	20.0	33.3
<b>Otros</b>	7.0	11.7
<b>Total</b>	60.0	100
<b>Inodoros</b>	40.0	

**ANEXO B**  
**PARÁMETROS DE CARACTERIZACIÓN**



## **ANEXO B: PARÁMETROS DE CARACTERIZACIÓN**

### **B.1 Parámetros Físicos y Químicos**

Los principales parámetros físicos y químicos que pueden variar entre el agua potable y las aguas grises son:

#### **-Aceites y Grasas:**

Compuestos por materia grasa animal y vegetal y por hidrocarburos derivados del petróleo. La presencia de aceites y grasas en el medio acuático puede provocar numerosos problemas; uno de ellos es la interferencia en los procesos de coagulación, floculación y filtración (Sancha, 2002).

El principal aporte de aceites y grasas, a las aguas grises, se produce a través del lavaplatos de la cocina, producto del lavado de utensilios con restos de comidas, del vertido de aceite para cocinar, etc.

#### **-Alcalinidad:**

Capacidad cuantitativa del agua para neutralizar ácidos (*Water Quality Association* (WQA)). Es importante en el papel amortiguador del agua y tiene un rol importante en la remoción de turbiedad en procesos de coagulación-floculación. En este proceso se produce un consumo de alcalinidad y un descenso del pH (Sancha, 2002).

Los jabones y los productos basados en jabón son alcalinos, los detergentes se pueden formular con cualquier nivel de alcalinidad según las necesidades de limpieza para las que son formulados. Puesto que la alcalinidad facilita la remoción de grasas y aceites, todos los detergentes de lavaplatos automáticos son alcalinos, al igual que la mayoría de los limpiadores. En cambio, la mayoría de los detergentes para lavar platos a mano están cerca de la neutralidad, siendo eficientes debido a la acción de la mano con la esponja (WQA).

#### **-Conductividad Específica:**

Capacidad de una solución acuosa de transportar corriente eléctrica. Depende de la presencia, concentración, movilidad y valencia de iones en la solución y de la temperatura del agua. La conductividad aumenta con la temperatura aproximadamente 1,9%/°C (WQA.). La conductividad es usada como parámetro de medida de salinidad de las aguas.

### **-Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO):**

Cantidad de oxígeno requerido para oxidar, degradar o estabilizar materia orgánica biológicamente (Sancha, 2002). Usualmente es referida a la ejercida en 5 días (DBO<sub>5</sub>), la cual representa el 70 a 80% de la DBO total. Es medida en[mg/L] (WQA).

La principal fuente de materia orgánica en aguas grises es la cocina a través del lavaplatos.

### **-Demanda Química de Oxígeno (DQO):**

Cantidad de oxígeno equivalente a materia orgánica e inorgánica susceptible a ser oxidada químicamente (Sancha, 2002).

### **-Dureza:**

Propiedad que depende de los niveles de sales de calcio(Ca) y magnesio(Mg), también pueden influir las sales de hierro(Fe), manganeso(Mn) y aluminio(Al). Se expresa, generalmente, como su equivalencia en carbonato de calcio, CaCO<sub>3</sub>.

Agua Blandas: Son de baja mineralización, su alcalinidad no supera los 60[mg/L] en Ca<sup>++</sup>. Requieren un ajuste de pH para la coagulación-floculación. Son aguas agresivas de pH ácido (5-6).

Aguas Duras: Fuertemente mineralizadas principalmente con iones Ca y Mg. Son aguas incrustantes (Sancha, 2002).

### **-Fósforo Total:**

Elemento no metálico esencial para la vida, en exceso en un cuerpo de agua puede causar excesivo crecimiento de plantas, lo que puede generar una carencia de oxígeno y muerte de plantas (WQA.).

Si existe una gran cantidad de fósforo, en el agua de riego, éste se va acumulando en el área irrigada, ya que no es degradable por sí solo y no tiene una fase significativa gaseosa. Al acumularse impide la normal circulación y se produce contaminación (Folke G., 1995).

Los detergentes son el principal aporte de fósforo de las aguas grises.

### **-Nitrógeno Kjeldahl:**

Corresponde al nitrógeno orgánico y nitrógeno amoniacal. En aguas grises puede aproximarse al total dada la baja existencia de nitrito y nitrato.

### **-pH:**

Medida del grado de la acidez o de la alcalinidad de una solución, su rango va de 0 a 14. El valor 7 representa neutralidad. Los valores bajo 7 indican acidez y los sobre 7 alcalinidad (WQA.). Las aguas naturales, generalmente tienen un pH entre 6.5 y 8.5 (*Environmental Protection Agency* (EPA)). El pH influye en los procesos de desinfección y coagulación (*Camp Dresser & Mckee Inc.* (CDM), 1992).

### **-Sodio**

Elemento metálico encontrado abundantemente en compuestos en la naturaleza. Los compuestos de sodio son muy solubles (WQA). Puede aumentar al pasar de agua potable a aguas grises, debido a su presencia en gran parte de detergentes y jabones.

El sodio es tóxico para plantas, en mayor o menor grado según la especie. Altera la estructura y permeabilidad del suelo, cuando existe un gran porcentaje en relación al calcio y magnesio.

### **-Sólidos Disueltos:**

Fracción de los sólidos totales que pasan a través de un filtro de 2[ $\mu\text{m}$ ] (Sancha, 2002). Corresponde a material orgánico e inorgánico desintegrado en el agua (EPA).

### **-Sólidos Suspendidos:**

Fracción de sólidos totales retenida por un filtro de 2[ $\mu\text{m}$ ] (EPA), corresponden a arcillas coloidales o partículas orgánicas, que no sedimentan fácilmente en un líquido, aumentando la turbiedad (CDM, 1992).

Contaminantes orgánicos, metales pesados, etc. son absorbidos en partículas. El material suspendido puede ocultar microorganismos de los desinfectantes. Excesivas cantidades de sólidos suspendidos causan que se tapen los sistemas de irrigación (CDM, 1992).

### **-Surfactantes:**

Son moléculas orgánicas compuestas por una cabeza hidrofílica y una cola hidrofóbica. Se encuentran presentes en detergentes y jabones. En soluciones acuosas disminuyen la tensión superficial, con lo que se reduce el ascenso capilar y el escurrimiento de la solución entre los poros del suelo (Shafran A).

### **-Turbiedad:**

Propiedad óptica de cada solución. Depende del tamaño, forma e índice de refracción de las partículas. Es causada por materia suspendida y coloidal como arenas, arcilla, materias orgánicas e inorgánicas, etc. (Sancha, 2002).

## **B.2 Parámetros Microbiológicos**

### **-Bacterias:**

Son los microorganismos en mayor abundancia en las aguas residuales, son de organización simple, unicelulares, la mayoría son beneficiosas. Existe otro grupo que son patógenas, las cuales son causantes de las infecciones intestinales y gastroenteritis, también de enfermedades como cólera, se contraen al ingerir agua o alimentos contaminados y por la inhalación de aerosoles.

### **-Protozoos:**

Son organismos unicelulares comúnmente encontrados en aguas residuales. Se pueden transmitir al hombre por ingestión de agua y alimentos contaminados con quistes. Algunos son parásitos que pueden producir enfermedades al hombre como la giardiasis. Estos microorganismos no son totalmente eliminados por los métodos de desinfección usuales, algunos como la giardia y *Cryptosporidium*, son muy resistentes a la cloración. Se caracterizan por presentar mayor sobrevivencia que las bacterias patógenas y bajas dosis infectivas.

### **-Helmintos:**

Parásitos con forma de gusano comúnmente encontrados en aguas residuales, se presentan como nematodos, de aspecto redondo, como el *ascaris lumbricoides*, y platelmintos, de forma acintada, como la *taenia solium*. Se pueden transmitir al hombre por ingestión de agua y alimentos contaminados con huevos.

### **-Virus:**

Son parásitos que pueden estar en concentraciones muy variables en las aguas residuales. Se caracterizan por una baja dosis infectiva. Partículas coloidales pueden protegerlos, tornándose más resistentes a la desinfección. Pueden causar resfríos comunes y enfermedades graves como viruela y poliomielitis.

**-Indicadores Microbiológicos:**

**-Coliformes Fecales:**

Son bacterias encontradas en el tracto intestinal de mamíferos, en la materia fecal. Su presencia en agua o lodo indica contaminación fecal, y posible presencia de patógenos (EPA).

**-Escherichia Coli:**

Bacteria coliforme fecal encontrada en gran número en tracto gastro-intestinal y en las excretas de animales de sangre caliente. Su presencia en agua indica una reciente contaminación fecal. La mayoría son benignas pero algunas patógenas causan severas gastroenteritis (*Australian Water Association* (AWWA)).

**ANEXO C**  
**DETERMINACIÓN DE M<sup>2</sup> DE ÁREAS VERDES**

## ANEXO C: DETERMINACIÓN DE M<sup>2</sup> DE ÁREAS VERDES

### C.1 Cálculo del Volumen Mínimo de Aguas Grises Diario

Pasajeros mínimos: 50% de Capacidad de Alojamiento (Fuente: Magna Chile)

$$AG. = (C_D + C_L) * \text{Dotación} * N^{\circ} \text{ Pasajeros}$$

A.G.: Aguas grises correspondientes a lavamanos y duchas.

C<sub>D</sub>: Porcentaje correspondiente a agua de ducha. Se consideró un valor de 27% (Anexo A).

C<sub>L</sub>: Porcentaje correspondiente a agua de lavamanos. El valor 7%(Anexo A), corresponde al porcentaje de demanda residencial, se considerará un valor de 3% en hotel y apart hotel, considerando casos en que pasajeros sólo se encuentren en la noche en la habitación.

**Tabla C.1: Determinación de N° Personas Hotel (50%)**

Habitaciones	148
Pas. 1/2 en Pieza	2
Máx. Pas.	296
Pas.(50%)	148

**Tabla C.2: Determinación de Cantidad Mínima Diaria de Aguas Grises Recolectadas en Hotel**

Dotación	200	l/p/d
Q <sub>H(50%)</sub>	29600	l/d
A.G.	8880	l/d

**Tabla C.3: Determinación de N° Personas Apart Hotel(50%)**

Departamentos.	52
Pas. 1/2 en Dpto	4
Máx. Pas.	208
Pas.(50%)	104

**Tabla C.4: Determinación de Cantidad Mínima Diaria de Aguas Grises Recolectadas en Apart Hotel**

Dotación	200	l/p/d
Q <sub>A.H(50%)</sub>	20800	l/d
A.G.	6240	l/d

$Q_{H(50\%)}$ : Caudal medio de agua residual del día con 50% de alojamiento en hotel.

$Q_{A.H(50\%)}$ : Caudal medio de agua residual del día con 50% de alojamiento en apart hotel.

$$A.G._{Totales} = A.G._H + A.G._{A.H}$$

$$A.G._{Totales} = 8880 + 6240 = 15120 [l/día]$$

## C.2 Cálculo de la Necesidad de Agua por m<sup>2</sup> de Áreas Verdes

Necesidad de Riego por Cultivo:

$$Nr = \frac{ETc}{Ef} * 100 \quad (\text{F. Pizarro 1996, fuente U. Talca})$$

Donde:

Nr: Necesidad de riego [mm/día]

Ef: Eficiencia de sistema de riego (%)

ETc: Evapotranspiración del cultivo para período de máxima demanda [mm/día]

$$ETc = ETp * Kc \quad (\text{F. Pizarro 1996, fuente U. Talca})$$

Donde:

ETp: Evapotranspiración potencial para período de máxima demanda [mm/día]

Kc: Coeficiente de Cultivo.

Para un clima caluroso y seco, con temperaturas máximas en un rango de 30 a 38°C y humedad relativa menor a 50%, se tiene una ETp aproximada de 7[mm/d]. El coeficiente Kc para el césped es 1 y para árboles y arbustos es menor a 1 ([www.elriego.com](http://www.elriego.com)), se tiene entonces que la necesidad máxima de riego en un clima similar a Calama es de:

$$ETc = ETp = 7 [mm / día]$$

$$Ef = 85\%$$

$$Nr = 8.2 [mm / día]$$

Se considerarán 10[mm/día], lo que equivale a 10[l/m<sup>2</sup>/día]

$$\text{Superficie Aproximada de Riego Posible} = A.G./Nr = 1500 [m^2]$$



**ANEXO D**  
**DISEÑO DE SISTEMA DE TRATAMIENTO**

## ANEXO D: DISEÑO DE SISTEMA DE TRATAMIENTO

### D.1 Determinación del Caudal de Diseño

Se consideró como caudal de diseño el máximo instantáneo del día con 252 (50%) pasajeros en hotel y apart hotel.

$$Q_{(50\%)} = 15120[\text{l/día}] = 0.175[\text{l/s}]$$

$$Q_{\text{Máx}(50\%)} = C * Q_{(50\%)}$$

Con C: Coeficiente que relaciona caudal máximo y medio.

El valor del caudal máximo instantáneo de aguas servidas, en una población de 252 habitantes, es de 4.4[l/s] aproximadamente, de acuerdo al gráfico de gastos máximos instantáneos, específicamente a la recta de transición entre la curva Boston Society y la curva obtenida con el coeficiente de Harmon.

Considerando:

$$A.G. = 0.3 * A.S.$$

A.G.: Aguas grises correspondientes a duchas y lavamanos.

, y que la dotación de cálculo de los gráficos ha sido realizada con 250[l/hab/día], en vez de 200[l/hab/día]. Se tiene un coeficiente C:

$$C = 4.4 / 0.175 * 0.3 * 200 / 250 = 6, \text{ con lo que se obtiene el caudal de diseño:}$$

$$Q_d = 0.175 * 6 = 1.05[\text{l/s}]$$

### D.2 Máximo Rebalse en Tubería de Distribución

El desagüe de la tubería de distribución, corresponde a una tubería introducida perpendicularmente a ésta, con su extremo superior en la cota 2.2m, respecto al nivel de piso terminado. El comportamiento del desagüe corresponde al de un vertedero rectangular. El caudal de vertedero rectangular responde a la siguiente expresión:

$$Q = m * L * H * \sqrt{2gH} \quad (\text{D.1}) \quad (\text{F.J. Domínguez})$$

Donde:

$m = 0.407$ , es el coeficiente de gasto.

$H = 10[\text{cm}]$ , corresponde a carga sobre vertedero, justo antes que tubería de distribución entre en presión.

$L = 0.63[\text{m}]$ , largo del perímetro interior de tubería de desagüe de diámetro interior  $0.2[\text{m}]$ .

Remplazando en D.1, se obtiene el caudal máximo de rebalse:

$$Q = 35.8[\text{l/s}]$$

Que es superior al caudal producido por el uso de todas las duchas de hotel y apart hotel (200) simultáneamente:

$$Q_{\text{ducha}} = 0.166[\text{l/s}] \quad (\text{RIDAA})$$

$$Q_{\text{duchas}} = 200 * 0.166 = 33.2[\text{l/s}]$$

### **D.3 Caudal Máximo de Entrada a cada Línea de Tratamiento**

De Bernoulli, entre la cota de desagüe de la tubería de distribución y la entrada a cada sedimentador, se obtiene el caudal máximo entrante a cada línea:

$$\Delta H - \frac{V^2}{2g} - \Lambda_s - \Lambda_f - \Delta P = 0 \quad (\text{D.2})$$

$$\Delta H = H_1 - H_2$$

Donde:

$H_1 = 2.2\text{m}$ , altura de desagüe de tubería de distribución, considerado como nivel máximo de agua en dicha tubería.

$H_2 = 1.75\text{m}$ , cota de entrada a sedimentadores.

$\Lambda_f$ : Pérdida friccional.

$\Lambda_s$ : Pérdidas singulares.

$\Delta P$ : Pérdida de carga en filtro.

Las pérdidas friccionales están dadas por:

$$\Lambda_f = J * L$$

$$L = 1.95\text{m}$$

$$J = 10,655 * \left(\frac{Q}{C}\right)^{1,852} / (D^{4,869}) \quad (\text{D.3}) \quad (\text{Hazen-Williams})$$

Con  $D= 302[\text{mm}]$  y  $C= 150$ , para PVC

Las pérdidas singulares están dadas por:

$$\Delta s = K \cdot V^2 / 2g$$

En la tabla D.1 se presentan los coeficientes correspondientes a las singularidades presentes aguas arriba de cada sedimentador:

**Tabla D.1: Coeficientes de Pérdidas Singulares**

Singularidad	Cantidad	Ki
Entrada	1	0.78
Codo	2	1.8
Válvula Bola	1	0.2
Salida	1	1

$$K = \sum K_i = 3.78$$

Se consideró además la pérdida en el filtro, que de acuerdo a instrucciones del fabricante está dada por:

$$\Delta P = F_c * \left(\frac{Q}{C_v}\right)^2$$

Donde:

$\Delta P$ : Pérdida de Presión en el filtro[psi].

$C_v$ : Factor que relaciona el tamaño de entrada del filtro con la pérdida.

$F_c$ : Factor de corrección que depende del tamaño de las perforaciones.

$Q$ : Caudal[gpm].

**Tabla D.2: Pérdida de Carga en Filtro**

<b>Qmáx</b>	0.53	l/s
<b>Qmáx</b>	8.32	gpm
<b>Diámetro</b>	2.54	cm
<b>Perforaciones</b>	3.97	mm
<b>Cv</b>	20.00	
<b>Fc</b>	0.37	
<b>DP</b>	0.17	psi
<b>DP</b>	0.12	mca
<b>DP</b>	0.05	m

Esta pérdida corresponde a la producida por el filtro limpio. Para efectos de no restringir demasiado la entrada de caudal, una vez que el filtro esté parcialmente sucio, se considerará el doble de pérdida en éste, es decir, 0.1m. Remplazando en D.2 se obtiene:

$$V = 1.05[\text{m/s}]$$
$$Q_{\text{máx}} = 0.75[\text{l/s}]$$

Este caudal es mayor al caudal de diseño del clarificador, que es 0.53[l/s]. Para limitar la entrada, a fin de no aumentar la tasa superficial en el sedimentador, ni disminuir el tiempo mínimo de retención, se ocuparán codos en la tubería de entrada, los cuales servirán a la vez para mejorar la mezcla del agua con el sulfato de aluminio.

Se agregan a la tubería 6 codos más, los que con la tubería forman una “S”, ocupándose 0.6[m] más de tubería. Agregando el largo de tubería y la pérdida en los codos adicionales, se tiene:

$$L = 2.55[\text{m}]$$
$$K = \sum K_i = 9.18$$

Remplazando en D.1 se obtiene:

$$V = 0.75[\text{m/s}]$$
$$Q_{\text{máx}} = 0.54[\text{l/s}]$$

El caudal es levemente mayor al de diseño del sedimentador, sin embargo en los cálculos no se ha considerado la pérdida de carga producida por el paso a través del rotámetro. De cualquier forma una vez funcionando la planta se debe medir el caudal entrante cuando esté actuando el rebalse de la tubería de distribución, vale decir en situación de máximo caudal de entrada a la planta.

#### **D.4 Sistema Dosificador de Coagulante**

Se realizaron pruebas de jarra con aguas grises de Calama, que dieron como resultado una dosis óptima de 20[mg/L].

El caudal máximo de entrada a clarificadores es de  $Q=0.53[\text{l/s}]$ , y la dosis de coagulante es de 20[mg/L], por lo que la máxima cantidad de sulfato de aluminio necesaria para 10 días es:

$$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 = 0.53 * 86400 * 10 * 20 / (106) = 9.2[\text{Kg}]$$

10[Kg] serán disueltos en 100 litros de agua, quedando una solución con concentración de 100[g/L]

La capacidad de almacenamiento será de 30 kilos, para tener seguridad de abastecimiento para más de 1 mes.

**-Capacidad Bomba Dosificadora:**

Para obtener 20[mg/L] de concentración, es necesario inyectar 0.2[ml], de la solución de 100[g/L], por cada litro de agua a tratar. El caudal máximo de inyección es:

$$Q = 0.53 * 3600 * 0.2 / 1000 = 0.4 [l/hr]$$

**D.5 Estanques Clarificadores.**

**-Diseño de Estanques:**

Para el diseño de los estanques sedimentadores se ha considerado una tasa superficial máxima de 12[m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/día] y un tiempo de retención mínimo de 2 hrs. El área y el volumen de cada estanque están dados por:

$$A = \frac{Q}{T} \quad \text{y} \quad V = Q * Tr$$

Donde:

A: Área[m<sup>2</sup>].

Q: Caudal[m<sup>3</sup>/día]

T: Tasa superficial[m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/día]

V: Volumen[m<sup>3</sup>]

Tr: Tiempo de retención[días]

En la tabla D.3 se presentan los resultados de los cálculos del volumen de cada sedimentador y las dimensiones de éstos:

**Tabla D.3: Cálculo de Unidades Sedimentadoras**

<b>Caudal de Diseño</b>	3.78	m <sup>3</sup> /h
<b>Tasa Máx.</b>	12.00	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /d
<b>Área c/u</b>	3.78	m <sup>2</sup>
<b>Diámetro c/u</b>	2.19	m
<b>Tpo Retención Mín</b>	2.00	hr
<b>Volumen c/u</b>	3.78	m <sup>3</sup>
<b>Inclinación Cono</b>	30.00	grados
<b>Altura Cono</b>	0.63	m
<b>Volumen Cono</b>	0.80	m <sup>3</sup>
<b>Altura Cilindro</b>	0.79	m
<b>Altura Útil</b>	1.42	m
<b>Altura Extra</b>	0.18	m
<b>Elevación</b>	0.30	m
<b>Altura Total</b>	1.90	m
<b>Volumen Extra</b>	1.36	m <sup>3</sup>
<b>Volumen Total</b>	5.14	m <sup>3</sup>

**-Cálculo de Vertedero de Orificios:**

La placa del vertedero se encontrará perforada con agujeros de 5[mm] de diámetro. Cuando la cota de agua se encuentra en 1.72[m], se debe verter igual o más que el caudal de diseño, es decir, por lo menos 0.53[l/s].

El caudal vertido por el orificio, se ha calculado ha partir de la siguiente ecuación:

$$Q = m \Omega \sqrt{2gh} \quad (D.4) \quad (F.J. Domínguez)$$

Donde:

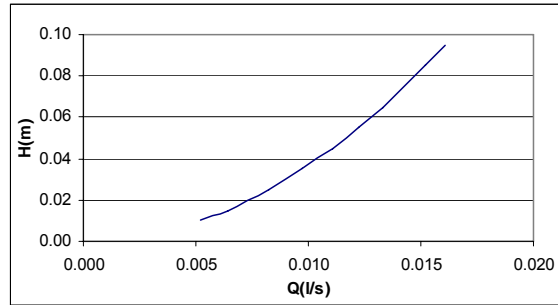
$\Omega$ : Área de orificio.

$m = \mu \sigma$ : coeficiente de gasto, con  $\mu$  y  $\sigma$  coeficientes de contracción y velocidad respectivamente.

$\mu = 0.6$  para  $a/r$  mayor o igual a 1, siendo “a” la carga sobre el extremo superior del orificio y “r” el radio del orificio.

$\sigma = 1$ , cuando  $h/D$  es mayor a 1.5, siendo h la carga sobre el orificio (relativa al centro del orificio) y D el diámetro del orificio.

**Gráfico D.1: Curva de Descarga de Orificios**



Existirán 5 líneas de 10 y 11 orificios. Las cotas de los orificios, relativas al nivel de piso terminado, y las cargas para las cuales se han diseñado son las siguientes:

**Tabla D.4: Cotras, Cargas y Caudal de Orificios**

H(m)	Cota(m)	Q(l/s)	N	N*Q(l/s)
0.015	1.705	0.006	10	0.06
0.035	1.685	0.010	11	0.11
0.055	1.665	0.012	10	0.12
0.075	1.645	0.014	11	0.16
0.095	1.625	0.016	10	0.16
				0.61

El largo del vertedero será de 1.1[m] y el alto será de 20[cm], con base en 1.60[m] desde la cota de piso terminado.

El caudal de salida por el orificio que va al estanque de bombeo, debe ser mayor a 0.53[l/s], caudal máximo de entrada a cada sedimentador. Los resultados se presentan en la tabla D.5:

**Tabla D.5: Orificio de Salida a Estanque de Bombeo**

<b>Diámetro Ext.</b>	0.032	m
<b>Diámetro Int.</b>	0.030	m
<b>Área</b>	0.001	m <sup>2</sup>
<b>Carga Máx.</b>	0.10	m
<b>Velocidad</b>	1.43	m/s
<b>Caudal</b>	0.61	l/s

**-Cálculo de Rebalse de Sedimentador:**

En la cota 1.75[m], se tendrá un vertedero de largo 0.2[m] y alto 0.15[m].



**Tabla D.6: Carga v/s Caudal Vertido**

Carga(m)	Q(l/s)
0.01	0.4
0.02	1.0
0.03	1.8
0.04	2.8
0.05	4.0

El orificio de desagüe tendrá las siguientes características:

**Tabla D.7: Orificio de Desagüe**

Diámetro Ext.	0.063	m
Diámetro Int.	0.060	m
Área	0.003	m <sup>2</sup>

El caudal vertido por el orificio, se ha calculado ha partir de la ecuación D.4:

**Tabla D.8: Carga v/s Caudal Vertido**

H(m)	Q(l/s)
0.05	1.7
0.10	2.4
0.15	2.9
0.20	3.4

## D.6 Sistema de Bombeo a Filtros

### -Características de Impulsión:

**Tabla D.9: Características de Impulsión**

Largo	5	m
Diámetro Ext.	32	mm
Diámetro Int.	30.2	mm

La altura de elevación necesaria, está dada por la siguiente expresión:

$$H=\Delta H+\Lambda_s+\Lambda_f+\Delta P$$

Donde:

$$\Delta H=HEA-HEB$$

HEA: Cota de Agua Estanque de Acumulación.

HEB: Cota de Agua Estanque de Bombeo.

$\Delta H_{\text{mín}}=2.5-1.8= 0.7\text{m}$ , cuando estanque de bombeo se encuentra en su cota máxima de 1.8m

$\Delta H_{\text{máx}}=2.5-0.5=2[\text{m}]$ , cuando estanque de bombeo se encuentra en su cota mínima de 0.5[m].

$\Lambda_s$ : Pérdidas singulares.

$\Delta f$ : Pérdida friccional.

$\Delta P$ : Pérdida de carga en filtro

-Pérdidas en el Sistema:

Pérdidas Singulares:

Las pérdidas singulares están dadas por la expresión siguiente:

$$\Lambda_s = K \cdot V^2 / 2g$$

Con:

$$K = \sum K_i$$

V= Velocidad en tubería.

La tabla D.10 presenta los coeficientes de pérdidas según singularidades:

**Tabla D.10: Coeficientes de Pérdidas Singulares**

Perdidas	Unidades	Und.*K <sub>i</sub>
Codos 90°	3	2.7
Válvula Bola	1	0.2
Válvula Retención	1	2
Entrada	1	0.78
Salida	1	1
		6.68

Pérdidas Friccionales:

La pérdida friccional en una tubería de largo L es igual a J·L, con J dependiente del caudal, del diámetro y del coeficiente de rugosidad C. Una expresión para evaluar J es la correspondiente a Hazen Williams:

$$J = 10,655 \cdot (Q/C)^{1,852} / (D^{4,869})$$

Pérdidas en Filtros:

El fabricante especifica pérdidas en cada filtro tipo cartucho de hasta 8[m], para caudales muy superiores al de diseño de la planta. Se asumirá una pérdida máxima de 8[m] entre ambos filtros.

**-Determinación de Altura de Elevación según Caudal de Bombeo:**

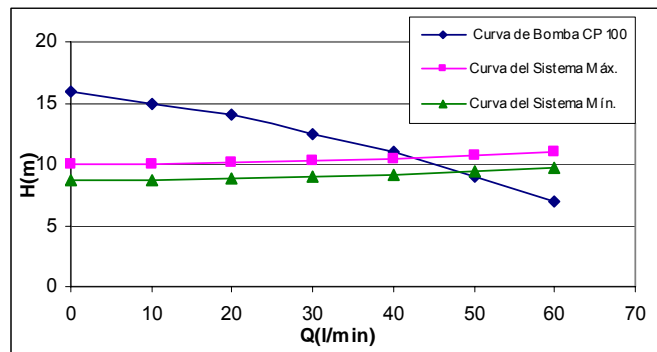
En la tabla D.11 se presentan los valores de pérdidas singulares y friccionales y la altura de elevación necesaria según caudal.

**Tabla D.11: Cálculo de Altura de Elevación**

Q(l/s)	V(m/s)	J	J*L(m)	K*V <sup>2</sup> /2g(m)	Hmáx(m)	Hmín(m)
0.1	0.14	0.00	0.00	0.01	10.0	8.7
0.2	0.28	0.00	0.02	0.03	10.0	8.7
0.3	0.42	0.01	0.04	0.06	10.1	8.8
0.4	0.56	0.01	0.06	0.11	10.2	8.9
0.5	0.70	0.02	0.10	0.17	10.3	9.0
0.6	0.84	0.03	0.14	0.24	10.4	9.1
0.7	0.98	0.04	0.18	0.33	10.5	9.2
0.8	1.12	0.05	0.23	0.43	10.7	9.4
0.9	1.26	0.06	0.29	0.54	10.8	9.5
1.0	1.40	0.07	0.35	0.66	11.0	9.7
1.1	1.54	0.08	0.41	0.80	11.2	9.9
1.2	1.68	0.10	0.49	0.96	11.4	10.1
1.3	1.81	0.11	0.57	1.12	11.7	10.4
1.4	1.95	0.13	0.65	1.30	12.0	10.7
1.5	2.09	0.15	0.74	1.49	12.2	10.9
1.6	2.23	0.17	0.83	1.70	12.5	11.2
1.7	2.37	0.19	0.93	1.92	12.8	11.5
1.8	2.51	0.21	1.03	2.15	13.2	11.9
1.9	2.65	0.23	1.14	2.40	13.5	12.2
2.0	2.79	0.25	1.26	2.66	13.9	12.6

La bomba centrífuga elegida corresponde a una Pedrollo CPm100. En el gráfico D.2 se presentan la curva de la bomba y la del sistema, considerando los casos  $\Delta H_{\text{mín}}$  y  $\Delta H_{\text{máx}}$ .

**Gráfico D.2: Curva de la Bomba v/s Curva del Sistema**



Se obtiene que el caudal mínimo bombeado es 0.7[l/s] y el máximo es de 0.8[l/s], mayores al caudal máximo de entrada a cada estanque de bombeo.

Altura de Aspiración Neta Positiva (NPSH):

En la selección de la bomba es necesario considerar, a fin de evitar problemas de cavitación, la altura neta de succión positiva o NPSH (Net Positive Suction Head), que corresponde a la presión absoluta disponible a la entrada de la bomba, menos la presión de saturación correspondiente a la temperatura del líquido. Es necesario verificar que NPSH disponible sea mayor que el requerido por la bomba elegida:

$$NPSH_D = P_e - P_{sat}$$

$$NPSH_D = h_s - h_{fs} - \sum h_{ms} - \frac{v^2}{2g} + \frac{P_{atm}}{\gamma} - \frac{P_{vapor}}{\gamma}$$

Donde:

$h_s$ : Altura geométrica de aspiración[m]

$h_{fs}$ : Pérdidas de carga friccional[m]

$h_{ms}$ : Pérdidas de carga singulares[m]

$P_{atm}/\gamma$ : Presión atmosférica[m]

$P_{vapor}/\gamma$ : Presión absoluta de vapor[m]

Se debe cumplir que  $NPSH_D > NPSH_R$

Donde:

$NPSH_D$ : Corresponde a NPSH disponible.

$NPSH_R$ : Corresponde a NPSH requerida por la bomba.

La cota de referencia del proyecto se encuentra a 2350[msnm] y la altura a la cual se encontrará el rodete de la bomba es aproximadamente 2345[msnm].

Considerando la mayor temperatura a la cual podría estar el líquido de 30°C, se tiene que la presión absoluta de vapor corresponde a:

$$P_{vapor}/\gamma = 0.44[\text{mca}]$$

Considerando la menor temperatura ambiental de -5°C, se tiene que la presión atmosférica corresponde a:

$$p_0 = 1013,25[\text{hPa}]$$

$$T = T_0 - 0,0065 z[\text{m}]$$

Remplazando  $T=-5^{\circ}\text{C}$  y  $z=2345[\text{m}]$  se obtiene la temperatura a 0[msnm]:

$$T_0=10.2^{\circ}\text{C}$$

Considerando:

$$\text{Ley de Presi3n Hidroest3tica: } -\frac{\partial P}{\partial z} = \rho_a g \quad (\text{D.5})$$

$$\text{Ley de Gases Ideales: } P = \rho_a R_a T \quad (\text{D.6})$$

$$\rho_a = \frac{P}{R_a T} \quad \text{Remplazando en D.5 se tiene:}$$

$$\frac{dP}{dz} = -\frac{Pg}{TR_a} \rightarrow \frac{dP}{P} = \left(-\frac{g}{TR_a}\right) dz \quad (\text{D.7})$$

Se tiene que la temperatura var3a con la altura linealmente:

$$\frac{dT}{dz} = -\gamma \rightarrow T = T_0 - \gamma z \quad (\text{D.8})$$

Se puede escribir entonces (D.9):

$$\rightarrow \frac{dP}{P} = \left(\frac{g}{\gamma R_a}\right) \frac{dT}{T}$$

Integrando:

$$\ln\left(\frac{P_2}{P_1}\right) = \left(\frac{g}{\gamma R_a}\right) \ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right)$$

$$\rightarrow P_2 = P_1 \left(\frac{T_2}{T_1}\right)^{\left(\frac{g}{\gamma R_a}\right)}$$

Considerando (D.8) y tomando  $P_1=P_0$ ,  $T_1=T_0$  y  $P_2=P(z)$ , se tiene:

$$P = P_0 \left(\frac{T_0 - \gamma(z - z_0)}{T_0}\right)^{\left(\frac{g}{\gamma R_a}\right)}$$

La constante específica del aire está dada por:

$$R_a = \frac{R^*}{M}$$

, con  $R^*$ = Constante universal de los gases ideales= 8,3145[J/(mol\*°K)]

y  $M$ = peso molecular para el aire seco =28,9644[g/mol]. Con lo que se obtiene:

$$R_a = \frac{R^*}{M} = 287,06 \text{ J/(kg * °K)}$$

Se tiene además para una atmósfera estándar:

$$p_o = 1013,25[\text{hPa}]$$

Peso específico del agua:

$$\gamma = 1000[\text{Kg/m}^3]$$

Remplazando en  $P$  y dividiendo por el peso específico se obtiene:

$$P_{atm}/\gamma = 7.7[\text{mca}]$$

La carga mínima en estanque de bombeo, relativa al nivel de piso terminado es,  $z_1=0.5[\text{m}]$ . El rodete está en  $0.1[\text{m}]$ , con lo que se tiene  $h_s=0.4[\text{m}]$ .

La velocidad de salida está dada por la expresión:

$$V = 0.6 \cdot \sqrt{2 \cdot 9.8 \cdot h_s}, \text{ con } 0.6 \text{ coeficiente de orificio:}$$

$$V = 1.68[\text{m/s}]$$

Los coeficientes de pérdidas singulares se presentan en la tabla D.12:

**Tabla D.12: Coeficientes de Pérdidas**

Perdidas	Unidades	Und.*Ki
Entrada	1	0.78
Salida	1	1

Con lo que se tiene un  $K = K_{ent} + K_{sal} = 1.78$

$$\Delta s = 1.78 \cdot 1.68^2 / (2 \cdot 9.8) = 0.26[\text{m}]$$

Pérdidas friccionales:

Ocupando la ecuación de Hazen-Williams:

$$J=10.655*(Q/150)^{1.852}/(D^{4.869})=0.098$$

$$L=0.2[m]$$

$$J*L=0.02[m]$$

Se tiene entonces un NPSH disponible de:

$$NPSH_D = 0.4 - 0.02 - 0.26 - 0.144 + 7.7 - 0.44 = 7.3[m]$$

Del catálogo Pedrollo se tiene que NPSH requerido es de aproximadamente 1[m], por lo que:

$$NPSH_d > NPSH_r$$

### **D.7 Sistema Dosificador de Cloro**

Dosis máxima 4[mg/L]. En terreno se debe determinar el cloro necesario para obtener un cloro residual igual a 1[mg/L], de acuerdo a las recomendaciones internacionales más estrictas.

Caudal máximo de bombeo a estanque de almacenamiento:

$$Q=0.8[l/s]$$

$$Cl_2=4*10*0.8*86400= 0.3[Kg/día]$$

Se usará hipoclorito de sodio con concentración de Cl<sub>2</sub> de 2.5%:

$$NaOCl=0.3/0.025= 11[Kg/día]$$

En 10 días:

$$NaOCl=110.6[Kg/10días]$$

La densidad del hipoclorito de sodio es de 1.21[Kg/l], por lo que se tiene:

$$\text{NaOCl} = 110.6 / 1.21 = 91.4 [\text{L}]$$

Se ocupará depósito de 100 litros.

Capacidad de dosificadora de cloro:

$$Q = 91.4 / (24 * 10) = 0.38 [\text{l/hr}]$$



**ANEXO E**  
**COSTOS**

## ANEXO E: COSTOS

**Tabla E.1: Costos de Implementación de Planta de Tratamiento. Proyecto Plaza Sol del Loa**

ÍTEM	DETALLE	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL	EMPRESA
<b>1</b>	<b>TUBERÍA DE DISTRIBUCIÓN</b>					
1.1	Tubería, 400mm, PVC, Clase 6	6m	3	320700	962100	VINILIT
1.1.2	Soporte Tubería, acero c/1.5m, (L:100X100X5)	6m	4	74234	296936	SODIMAC
1.1.3	Abrazaderas, acero, c/1.5m	Unit.	13	996	12948	-
1.1.4	Codo 90°, 400mm, PVC, Clase 6	Unit.	2	344391	688782	VINILIT
1.1.5	Tapa Cementar 400mm, PVC, Clase 2	Unit.	2	16446	32892	VINILIT
1.2	Tubería, 140mm, PVC, Clase 10	6m	2	37787	75574	VINILIT
1.2.1	Codo 90°, 140mm, PVC, Clase 16	Unit.	6	17528	105168	VINILIT
<b>2</b>	<b>TUBERÍA DE ENTRADA A CLARIFICADORES</b>					
2.1	Tubería, 1", PVC, Clase 10	6m	1	1511	1511	VINILIT
<b>3</b>	<b>VÁLVULA DE ENTRADA</b>					
3.1	Válvula Bola, Hi (1"), PVC	Unit.	2	2582	5164	VINILIT
<b>4</b>	<b>PRE-FILTROS</b>					
4.1	Filtro Malla 5/32", Hi (1"), PVC, Hayward	Unit.	2	202360	404720	SOLTEX
<b>5</b>	<b>MEDIDOR DE CAUDAL</b>					
5.1	Rotámetro 3/4", Simens, Sitrans (4-20 mA)	Unit.	2	436256	872513	SOLTEX
<b>6</b>	<b>DOSIFICACIÓN SULFATO ALUMINIO</b>					
6.1	Deposito PEAD 120 litros, Dext=328mm	Unit.	2	17460	34920	HADDAD
6.2	Bomba dosificadora Prominent, Gamma (4-20mA)	Unit.	3	615858	1847574	BERMAT
<b>7</b>	<b>ESTANQUES SEDIMENTADORES</b>					
7.1	Estanque, 5.1m3, FRP	Unit.	2	550000	1100000	ESTANGLASS
7.2	Válvula Bola, Hi( 2"), PVC	Unit.	2	7516	15032	VINILIT
7.3	Tubería Desagüe 2", PVC, Clase 10	6m	4	7660	30640	VINILIT
7.3.1	Codo 90°, 2", PVC, Clase 10	Unit.	8	1260	10080	VINILIT
<b>8</b>	<b>ESTANQUES DE BOMBEO</b>					
8.1	Estanque, 1.2m3, FRP	Unit.	2	190000	380000	ESTANGLASS
8.2	Válvula Bola 2", PVC	Unit.	2	7516	15032	VINILIT
8.3	Tubería Desagüe 2", PVC	6m	7	7660	53620	VINILIT
8.3.1	Codo 90°, 2", PVC, Clase 10	Unit.	8	1260	10080	VINILIT
8.4	Interruptores de Nivel, Mac 3	Unit.	4	11460	45840	KOSLAN
<b>9</b>	<b>BOMBAS</b>					
9.1	Bomba Pedrollo CPM 100, 0.33HP	Unit.	3	80600	241800	KOSLAN
9.2	Válvula de Retención, 3/4", Bronce	Unit.	2	3690	7380	SODIMAC
9.3	Impulsión, 3/4", PVC	6m	2	1511	3022	VINILIT
9.4	Tablero eléctrico Legrand, IP 55	Unit.	1	52872	52872	GOBANTES/DARTEL
9.5	Protector Diferencial Legrand	Unit.	1	14176	14176	GOBANTES
9.6	Interruptor Térmico, 10A, Legrand	Unit.	1	3944	3944	GOBANTES
9.7	Interruptor Térmico, 16A, Legrand	Unit.	1	5816	5816	GOBANTES
<b>10</b>	<b>FILTROS TIPO CARTUCHOS</b>					
10.1	Filtro cartucho 80µm, Aqua, RLA	Unit.	2	5800	11600	KOSLAN
10.2	Filtro cartucho 3µm, Aqua, PL AQUA PRO	Unit.	2	5800	11600	KOSLAN
10.3	Carcasas, Aqua, FP 2/4 Sirio, Transparente	Unit.	4	12340	49360	KOSLAN
<b>11</b>	<b>DOSIFICACIÓN CLORO</b>					
11.1	Deposito PEAD 120 litros, D ext=328mm	Unit.	2	17460	34920	HADDAD
11.2	Bomba dosificadora Prominent, Gamma	Unit.	3	488511	1465533	BERMAT
<b>12</b>	<b>ESTANQUES DE ALMACENAMIENTO</b>					
12.1	Estanque, 8m3, FRP	Unit.	2	890000	1780000	ESTANGLASS
12.2	Tubería Desagüe 2", PVC, Clase 10	6m	7	7660	53620	VINILIT
12.2.1	Codo 90°, 2", PVC, Clase 10	Unit.	8	1260	10080	VINILIT
<b>13</b>	<b>CANAleta DE DESAGUE</b>					
13.1	Reja y Canaleta ancho 200mm, h=120/146 mm	m	10	21468	214680	VINILIT
<b>14</b>	<b>LOCKER</b>					
14.1	Modelo b2-02 (h=1.66m,l=0.45m,a=0.29m)	Unit.	1	37238	37238	MALETEK
<b>15</b>	<b>BODEGA</b>					
15.1	Bodega Zinc-Alum (h=1.2m,l=1m,a=0.8m)	Unit.	1	149240	149240	FERROBONE
<b>16</b>	<b>ILUMINACIÓN</b>					
16.1	Luminaria Fluorescente, 2 Tubos 36W, ISO204AE	Unit.	2	17188	34376	ISOLUX
<b>TOTAL NETO</b>					\$ 11 124 071	
<b>TOTAL CON IVA</b>					\$ 13 237 644	

Los costos operacionales mensuales, se presentan en la tabla E.2:

**Tabla E.2: Costos Operacionales**

ITEM	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL	FUENTE
ELECTRICIDAD BOMBAS	KWh	184	73.82	13565	ELECDA
SULFATO DE ALUMINIO	Kg	9.6	618.8	5940	MICHELSON
COLORO(2.5%)	L	64	289	18496	LIDER
ASISTENTE (Media Jornada)	Unit.	3	10000	30000	-
<b>TOTAL NETO</b>				\$ 57145	
<b>TOTAL CON IVA</b>				\$ 68002	
<b>VALOR M<sup>3</sup> NETO</b>				\$ 127	
<b>VALOR M<sup>3</sup> CON IVA</b>				\$ 151	

El costo neto estimado en materiales y equipos para la planta de tratamiento es de aproximadamente \$11 000 000 y el costo neto de operación de aproximadamente \$57000 al mes, que se traduce en un costo de \$127/m<sup>3</sup>, y 151/m<sup>3</sup>(con IVA), muy inferior al valor del agua potable (con alcantarillado) en Calama que es de \$1032 y \$2118 sin y con sobre consumo respectivamente (Fuente: Aguas Antofagasta).

De acuerdo a cálculos de la empresa Magna, el valor de la red de tubería adicional para aguas grises es de aproximadamente \$52 000 000. Considerando este valor más el costo de materiales y equipos, y el costo operacional, sin considerar el costo de construcción de la sala, la empresa estimó que, en situación sin sobre consumo, se recuperaría la inversión en 13 años aproximadamente, lapso mayor a los 8 años fijados como plazo máximo de recuperación de la inversión. En este caso el alto costo de la red de alcantarillado se debe a la distribución disgregada del hotel y apart hotel proyectados.

La aplicación de la planta a proyectos con distribución menos disgregada que el proyecto considerado, puede ser económicamente conveniente. Este puede ser el caso, por ejemplo, de edificios residenciales o campamentos mineros.

Se realizó una estimación de costos aproximada para el caso de una y diez casas, con cuatro personas por casa. En este caso el coeficiente de relación entre caudal máximo y medio fue aumentado de 6 (caso proyecto Plaza Sol del Loa) a 10, ya que a menor número de casas mayor la diferencia entre el máximo y el promedio diario. Este valor puede estar subvalorado, no obstante se consideró también para cada caso un depósito de regulación.

Por ser proyectos de una envergadura mucho menor, en cada caso se eliminaron algunos ítems. Para el caso de una casa se consideró una sola línea de tratamiento, para el caso de diez casas se consideró una línea a excepción de la etapa de aplicación de coagulante y sedimentación, en que se tienen duplicados el estanque sedimentador y la bomba dosificadora.

Por ser ambos casos proyectos pequeños, no se consideraron bombas inactivas es decir, en caso de falla el sistema queda paralizado temporalmente.

En las tablas E.3 y E.4 se presentan las aproximaciones de costos para estos casos:

**Tabla E.3: Costos Estimativos de Implementación de Planta de Tratamiento.  
Situación 1 Casa**

ÍTEM	DETALLE	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL	EMPRESA
<b>1</b>	<b>DEPOSITO REGULADOR</b>					
1.1	Deposito, 120 litros, PEAD Dext=328mm	Unit.	1	17460	17460	HADDAD
<b>2</b>	<b>TUBERÍA DE ENTRADA A CLARIFICADORES</b>					
2.1	Tubería, 1", PVC, Clase 10	6m	1	1511	1511	**VINILIT
<b>3</b>	<b>VÁLVULA DE ENTRADA</b>					
3.1	Válvula Bola, Hi (1"), PVC	Unit.	1	2582	2582	**VINILIT
<b>4</b>	<b>PRE-FILTROS</b>					
4.1	Filtro Malla 5/32", Hi (1"), PVC, Hayward	Unit.	1	202360	202360	SOLTEX
<b>5</b>	<b>MEDIDOR DE CAUDAL</b>					
5.1	Rotámetro 3/4", Simens, Sitrans (4-20 mA)	Unit.	1	436256	436256	**SOLTEX
<b>6</b>	<b>DOSIFICACIÓN SULFATO ALUMINIO</b>					
6.1	Bidón 10 litros	Unit.	1	1756	1756	SODIMAC
6.2	Bomba dosificadora Prominent, Gamma (4-20mA)	Unit.	1	615858	615858	BERMAT
<b>7</b>	<b>ESTANQUES SEDIMENTADORES</b>					
7.1	Estanque, 113litros, FRP	Unit.	1	24310	24310	*ESTANGLASS
7.2	Válvula Bola, Hi (1"), PVC	Unit.	1	2582	2582	**VINILIT
7.3	Tubería Desagüe 1", PVC, Clase 10	6m	1	1511	1511	**VINILIT
7.3.1	Codo 90°, 1", PVC, Clase 10	Unit.	4	139	556	**VINILIT
<b>8</b>	<b>ESTANQUES DE BOMBEO</b>					
8.1	Deposito, 120 litros, PEAD Dext=328mm	Unit.	1	17460	17460	HADDAD
8.2	Válvula Bola, Hi (1"), PVC	Unit.	1	2582	2582	**VINILIT
8.3	Tubería Desagüe 1", PVC, Clase 10	6m	1	1511	1511	**VINILIT
8.3.1	Codo 90°, 1", PVC, Clase 10	Unit.	4	139	556	**VINILIT
8.4	Interruptores de Nivel, Mac 3	Unit.	2	11460	22920	KOSLAN
<b>9</b>	<b>BOMBAS</b>					
9.1	Bomba Pedrollo CPM 100, 0.33HP	Unit.	1	80600	80600	KOSLAN
9.2	Válvula de Retención, 3/4", Bronce	Unit.	1	3690	3690	SODIMAC
9.3	Impulsión, 3/4", PVC	6m	1	1511	1511	**VINILIT
9.4	Tablero eléctrico Legrand, IP 55	Unit.	1	52872	52872	GOBANTES/DARTEL
9.5	Protector Diferencial Legrand	Unit.	1	14176	14176	GOBANTES
9.6	Interruptor Térmico, 10A, Legrand	Unit.	1	3944	3944	GOBANTES
9.7	Interruptor Térmico, 16A, Legrand	Unit.	1	5816	5816	GOBANTES
<b>10</b>	<b>FILTROS TIPO CARTUCHOS</b>					
10.1	Filtro cartucho 80µm, Aqua, RLA	Unit.	2	5800	11600	KOSLAN
10.2	Filtro cartucho 3µm, Aqua, PL AQUA PRO	Unit.	2	5800	11600	KOSLAN
10.3	Carcasas, Aqua, FP 2/4 Sirio, Transparente	Unit.	4	12340	49360	KOSLAN
<b>11</b>	<b>DOSIFICACIÓN CLORO</b>					
11.1	Bidón 10 litros	Unit.	1	1756	1756	SODIMAC
11.2	Bomba dosificadora Prominent, Gamma	Unit.	1	488511	488511	BERMAT
<b>12</b>	<b>ESTANQUES DE ALMACENAMIENTO</b>					
12.1	Estanque, 1m3, FRP	Unit.	1	126600	126600	FIBRA
12.2	Tubería Desagüe 1", PVC, Clase 10	6m	1	1511	1511	**VINILIT
12.2.1	Codo 90°, 1", PVC, Clase 10	Unit.	4	139	556	**VINILIT
<b>13</b>	<b>CANALETA DE DESAGUE</b>					
13.1	Reja y Canaleta ancho 200mm, h=120/146 mm	m	2	21468	42936	**VINILIT
<b>TOTAL NETO</b>					<b>\$ 2 224 875</b>	
<b>TOTAL CON IVA</b>					<b>\$ 2 647 601</b>	

\* Valor estimado. Proporcional a presupuesto de estanques de tamaño 5.1m3. No representa a empresa.

\*\* Dimensiones no representativas. Consideradas para estimación de costos aproximada.

**Tabla E.4: Costos Estimativos de Implementación de Planta de Tratamiento.  
Situación 10 Casas**

ÍTEM	DETALLE	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL	EMPRESA
<b>1</b>	<b>DEPOSITO REGULADOR</b>					
1.1	Deposito, 1200 litros, PEAD	Unit.	1	77227	77227	SODIMAC
<b>2</b>	<b>TUBERÍA DE ENTRADA A CLARIFICADORES</b>					
2.1	Tubería, 1", PVC, Clase 10	6m	1	1511	1511	**VINILIT
<b>3</b>	<b>VÁLVULA DE ENTRADA</b>					
3.1	Válvula Bola, Hi (1"), PVC	Unit.	1	2582	2582	**VINILIT
<b>4</b>	<b>PRE-FILTROS</b>					
4.1	Filtro Malla 5/32", Hi (1"), PVC, Hayward	Unit.	1	202360	202360	SOLTEX
<b>5</b>	<b>MEDIDOR DE CAUDAL</b>					
5.1	Rotámetro 3/4", Simens, Sitrans (4-20 mA)	Unit.	1	436256	436256	**SOLTEX
<b>6</b>	<b>DOSIFICACIÓN SULFATO ALUMINIO</b>					
6.1	Bidón 20 litros	Unit.	2	2681	5361	SODIMAC
6.2	Bomba dosificadora Prominent, Gamma (4-20mA)	Unit.	2	615858	1231716	BERMAT
<b>7</b>	<b>ESTANQUES SEDIMENTADORES</b>					
7.1	Estanque, 1.1m3, FRP	Unit.	2	113850	227700	*ESTANGLASS
7.2	Válvula Bola, Hi (1"), PVC	Unit.	1	2582	2582	**VINILIT
7.3	Tubería Desagüe 1", PVC, Clase 10	6m	1	1511	1511	**VINILIT
7.3.1	Codo 90°, 1", PVC, Clase 10	Unit.	4	139	556	**VINILIT
<b>8</b>	<b>ESTANQUES DE BOMBEO</b>					
8.1	Deposito, 500 litros, PEAD	Unit.	1	46134	46134	SODIMAC
8.2	Válvula Bola, Hi (1"), PVC	Unit.	1	2582	2582	**VINILIT
8.3	Tubería Desagüe 1", PVC, Clase 10	6m	1	1511	1511	**VINILIT
8.3.1	Codo 90°, 1", PVC, Clase 10	Unit.	4	139	556	**VINILIT
8.4	Interruptores de Nivel, Mac 3	Unit.	2	11460	22920	KOSLAN
<b>9</b>	<b>BOMBAS</b>					
9.1	Bomba Pedrollo CPM 100, 0.33HP	Unit.	2	80600	161200	KOSLAN
9.2	Válvula de Retención, 3/4", Bronce	Unit.	1	3690	3690	SODIMAC
9.3	Impulsión, 3/4", PVC	6m	1	1511	1511	**VINILIT
9.4	Tablero eléctrico Legrand, IP 55	Unit.	1	52872	52872	GOBANTES/DARTEL
9.5	Protector Diferencial Legrand	Unit.	1	14176	14176	GOBANTES
9.6	Interrupor Térmico, 10A, Legrand	Unit.	1	3944	3944	GOBANTES
9.7	Interrupor Térmico, 16A, Legrand	Unit.	1	5816	5816	GOBANTES
<b>10</b>	<b>FILTROS TIPO CARTUCHOS</b>					
10.1	Filtro cartucho 80µm, Aqua, RLA	Unit.	2	5800	11600	KOSLAN
10.2	Filtro cartucho 3µm, Aqua, PL AQUA PRO	Unit.	2	5800	11600	KOSLAN
10.3	Carcasas, Aqua, FP 2/4 Sirio, Transparente	Unit.	4	12340	49360	KOSLAN
<b>11</b>	<b>DOSIFICACIÓN CLORO</b>					
11.1	Bidón 20 litros	Unit.	1	2681	2681	SODIMAC
11.2	Bomba dosificadora Prominent, Gamma	Unit.	1	488511	488511	BERMAT
<b>12</b>	<b>ESTANQUES DE ALMACENAMIENTO</b>					
12.1	Estanque, 3m3, FRP	Unit.	1	245000	245000	FIBRA
12.2	Tubería Desagüe 1", PVC, Clase 10	6m	1	1511	1511	VINILIT
12.2.1	Codo 90°, 1", PVC, Clase 10	Unit.	4	139	556	VINILIT
<b>13</b>	<b>CANALETA DE DESAGUE</b>					
13.1	Reja y Canaleta ancho 200mm, h=120/146 mm	m	4	21468	85872	**VINILIT
<b>14</b>	<b>ILUMINACIÓN</b>					
14.1	Luminaria Fluorescente, 2 Tubos 36W, ISO204AE	Unit.	1	17188	17188	ISOLUX
<b>TOTAL NETO</b>					<b>\$ 3 379 030</b>	
<b>TOTAL CON IVA</b>					<b>\$ 4 021 045</b>	

\* Valor estimado. Proporcional a presupuesto de estanques de tamaño 5.1m3. No representa a empresa.

\*\* Dimensiones no representativas. Consideradas para estimación de costos aproximada.

De la estimación de costos se puede observar que en el caso de viviendas es más conveniente aplicarlo a un conjunto de éstas, ya que el costo de algunos equipos, como por ejemplo, bombas y medidor de caudal, son repartidos lo que hace que la inversión inicial por familia sea menor. No obstante, es necesario corroborar esto en cada caso, incluyendo el costo de alcantarillado adicional. También es necesario tener en cuenta que en ambos casos no ha sido incluido el costo de construcción, no obstante las dimensiones de la sala, requeridas para cada caso, son pequeñas, considerando los tamaños de los estanques en ambas situaciones.

**ANEXO F**  
**PLANOS**