

**“EVALUACIÓN AMBIENTAL DEL SISTEMA TOHÁ EN LA REMOCIÓN DE *Salmonella* EN AGUAS SERVIDAS DOMÉSTICAS”**

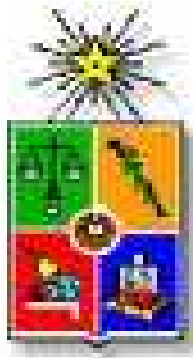
**Tesis para optar al Grado de Magister en Gestión y Planificación Ambiental**

**Jessica Eileen Arango Laws**

Director de Tesis: Profesor María Angélica Soto Trincado

---

Santiago, Chile  
2003



UNIVERSIDAD DE CHILE  
VICERRECTORIA DE ASUNTOS ACADÉMICOS  
DEPARTAMENTO DE POSTGRADO Y POSTÍTULO  
Programa Interfacultades

**EVALUACIÓN AMBIENTAL DEL SISTEMA TOHÁ EN LA REMOCIÓN DE  
*Salmonella* EN AGUAS SERVIDAS DOMÉSTICAS”**

**Jessica Eileen Arango Laws**

**Director de Tesis:**

Prof. María Angélica Soto T.

.....

**Comisión de Evaluación de Tesis:**

**Presidenta:**

Prof. Adriana Carrasco

.....

**Profesores Informantes:**

Prof. Gladys Vidal .....

Prof. Davor Cotoras .....

---

Santiago, Chile  
2003

## AGRADECIMIENTO

Le doy Gracias a Dios por la oportunidad de continuar mis estudios de perfeccionamiento profesional en Santiago de Chile.

A mis familiares y amigos por su apoyo incondicional a lo largo de mis estudios y carrera profesional.

A Temy por su confianza y apoyo para seguir adelante con mis sueños.

A Cecilia y Cristina por su apoyo fraternal y consejos durante mi estadía en Chile.

Un gran agradecimiento a la Agencia de Cooperación Chilena (AGCI), a Sonia González y Paulina Soto, que con su patrocinio y apoyo hizo posible la realización de mis estudios y mi estadía en Chile, y un cordial agradecimiento al Departamento de Postgrados y Postítulos de la Universidad de Chile por su patrocinio con la beca/PG/ 15/02 para la realización de esta tesis.

Agradezco a todas las personas que ayudaron de una manera u otra a la realización de este trabajo: Prof. María Angélica Soto, Sergio Contreras, Verónica Palma del Laboratorio de Biofísica de la Universidad de Chile, a Mauricio Torres de la Fundación para la Transferencia Tecnológica F.C.F.M., Universidad de Chile, Lic. Olga Ureta de Csmex Chile; Lic. Juan Garcés y el Sr Eduardo Medina de Aguas Andinas S.A, Chile; Sandra del Departamento de Ecología de la Universidad de Chile; Alexia Pereira del Programa de Magister en Gestión y Planificación Ambiental; el Arquitecto Manuel Bermúdez y Lic. Carlos Antelo, Ciudad Panamá,

También le agradezco a los miembros del Comité de tesis, a la Prof. Adriana Carrasco, Prof. María Angélica Soto, Prof. Gladys Vidal y al Prof. Davor Cotoras, por sus aportes en la redacción y presentación de la tesis.

A todos, les doy mi más sincero agradecimiento y bendiciones en el logro de sus metas personales y sueños.

## TABLA DE CONTENIDO

	Página
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> .....	3
1.1. Objetivos.....	4
1.1.1. Generales.....	4
1.1.2. Específicos.....	4
1.2. Hipótesis.....	4
<b>MARCO TEÓRICO</b> .....	5
2.1. Gestión del agua.....	5
2.1.1. Uso del Agua.....	6
2.1.1.1. Beneficios ambientales del tratamiento de agua domésticas.....	6
2.1.1.2. Efectos de la contaminación en los cursos de agua.....	7
2.2. Saneamiento y salud.....	7
2.2.1. Calidad de agua.....	8
2.2.2. Organismos patógenos.....	9
2.2.3. Organismos indicadores.....	10
2.2.4. Eficiencia de remoción de organismos patógenos.....	11
2.3. Normativa y criterio de calidad de agua para diferentes usos.....	12
2.4. Tratamiento para la descontaminación de aguas servidas .....	13
2.4.1. Procesos básicos de tratamiento biológico .....	14
2.4.1.1. Lodos activados.....	14
2.4.1.2. Lechos bacterianos.....	16
2.4.1.3. Biodiscos y biocilindros.....	16
2.4.1.4. Biofiltros.....	17
2.4.2. Desinfección.....	18

2.4.2.1. Cloración.....	19
2.4.2.2. Ozono.....	19
2.4.2.3. Radiación UV.....	21
<b>3. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA TOHÁ.....</b>	<b>23</b>
3.1. Lombrifiltro.....	23
3.2. Aplicaciones.....	27
<b>4. MATERIALES Y METODOLOGÍA.....</b>	<b>29</b>
4.1. Determinación de eficiencia del Sistema Tohá.....	30
4.2. Análisis de costo-eficiencia.....	33
4.2.1. Planta de Tratamiento de El Melón.....	33
4.2.1.1. Área de estudio.....	33
4.2.1.2. Planta de tratamiento El Melón.....	33
4.2.2. Planta de tratamiento San José de Maipo.....	34
4.2.2.1. Área de estudio.....	34
4.2.2.2. Planta de tratamiento San José de Maipo.....	34
4.3. Análisis de sustentabilidad.....	35
4.4. Análisis de ventajas y desventajas ambientales y económicas del Sistema Tohá.....	36
<b>5. RESULTADOS .....</b>	<b>37</b>
5.2. Evaluación ambiental.....	43
5.2.1. Análisis de costo efectividad.....	43
5.2.2. Análisis de sustentabilidad.....	45
5.2.3. Beneficios ambientales del tratamiento de aguas servidas por el Sistema Tohá.....	48
5.2.3.1. Beneficios sociales.....	49
5.2.3.2. Beneficios económicos.....	49
<b>6. CONCLUSIONES.....</b>	<b>51</b>

<b>7. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>52</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>53</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>57</b>

## INDICE DE TABLAS

	<b>Página</b>
Tabla 1. Comparación de las características entre lodos activados, lechos bacterianos y biodiscos.....	17
Tabla 2. Porcentaje de reducción de microorganismos patógenos con relación a los procesos de tratamiento.....	19
Tabla 3. Resultados del tratamiento de determinación de <i>Salmonella</i> a través del Sistema Tohá de muestras del Zanjón de la Aguada.....	38
Tabla 4. Resultados de test de signos para la remoción de <i>Salmonella</i> por el Sistema Tohá.....	41
Tabla 5. Resultado total del análisis de aguas servidas del Zanjón de la Aguada tomados el 2, 11, 26 de septiembre de 20022).....	42
Tabla 6. Porcentaje de eficiencia del Sistema Tohá para los parámetros de calidad de agua del Zanjón de la Aguada.....	43
Tabla 7. Costos totales de inversión, de las plantas de	

tratamiento de El Melón y San José de Maipo.....	44
Tabla 8. Parámetros de Plantas de tratamiento de San José de Maipo y El Melón.....	46

## INDICE DE ANEXOS

	Página
<b>Anexo I.....</b>	<b>57</b>
A.I.1 Efecto del mejoramiento de la calidad de las aguas según la Teoría de Freeman 1982.....	58
Tabla I.1. Características epidemiológicas básicas de los agentes patógenos excretados, clasificados según su forma de transmisión en el medio ambiente.....	60
Tabla I.2. Eliminación prevista de microorganismos excretados en varios sistemas de empleo de aguas residuales.....	64
Tabla I.3. Normas Chilenas requisitos microbiológicos de calidad de agua.....	65
Tabla I.4. Directrices OMS recomendadas sobre la calidad microbiológica de las aguas residuales empleadas en agricultu- ra.....	66

Tabla I.5. Dosis de UV en mWs/cm <sup>2</sup> necesaria para inactivar una población microbiana.....	67
Tabla I.6. Sistema Tohá en Chile para el tratamiento de aguas servidas y residuos industriales líquidos.....	68
Tabla I.7. Valores de inactivación de microorganismos patógenos por radiación ultra violeta.....	69
	Página
Tabla I.8. Dosis infecciosa para el hombre de patógenos bacterianos entéricos.....	69
ANEXO II.....	70
A.II.I. Resultado de test de signos.....	71
Tabla II.1. Costos de inversión, operación y mantenimiento de plantas de tratamiento San José de Maipo y El Melón.....	73
Tabla II.2. Características del humus y lodos de desecho.....	74

## INDICE DE FIGURAS

	<b>Página</b>
<b>Figura 1. Esquema del Sistema Tohá.....</b>	<b>24</b>
Figura 2. Tiempos de decaimiento bacteriológico por radiación Ultra Violeta.....	25
Figura 3. Eficiencia del Biofiltro: valores máximos y mínimos de los parámetros de DBO, sólidos suspendidos totales, sólidos suspendidos volátiles, nitrógeno total y fósforo total.....	26
Figura I.1. Producción de beneficios ambientales para el mejoramiento de la calidad del agua.....	59
Figura III.1. Planta de tratamiento de San José de Maipo.....	76
Figura III.2. Ejemplo de Instalación de Sistema Tohá.....	76

Figura III.3. Metodología para la determinación de <i>Salmonella</i> (APHA, 1992).....	77
Figura III.4. Frascos de selenito cistina y “Rappaport Vassiliadis” para prueba de <i>Salmonella</i> .....	78
Figura III.5. Placas de <i>Salmonella</i> en agar Rambach, XLD y BPL.....	79

## RESUMEN

La gestión ambiental del recurso agua en Chile ha tomado importancia en la última década con la creación, reglamentación e implementación de normas de calidad ambiental y el plan de descontaminación de las aguas del Gran Santiago. El sistema Tohá, es un sistema de tratamiento de aguas servidas basado en la tecnología del lombrifiltro, que por sus características ecológicas tiene alta eficiencia en la remoción de materia orgánica y organismos patógenos. Para determinar la eficiencia del Sistema en la remoción de *Salmonella*, se tomaron 10 muestras de aguas residuales del Zanjón de la Aguada en los meses de julio a octubre y se sometieron a pruebas microbiológicas de enriquecimiento, aislamientos, bioquímicas y serológicas, establecidas según los métodos estándares para el análisis de agua y aguas residuales. Los resultados arrojaron un 80% de eficiencia en la remoción de *Salmonella* y una remoción de coliformes totales y fecales de 6 escalas logarítmicas de ( $10^7$  a  $10^0$ ). En las pruebas de calidad de agua, el Sistema resultó ser efectivo en un 95% en la remoción de DBO<sub>5</sub>, un 80% en sólidos suspendidos totales (SST), y un 70% en nitrógeno y fósforo, lo que cumple con la Norma Chilena CHN 1.333, para el uso de aguas residuales tratadas en riego de cultivos agrícolas.

Para determinar la sustentabilidad del Sistema Tohá se compararon dos plantas de tratamientos, tomando en cuenta los criterios de igual número de población (14,000 habitantes) y cumplimiento de las normas de calidad de agua. La planta de El Melón, establecida en la comuna de Nogales, con tecnología de lombrifiltrado y un sistema de abatimiento de rayos ultravioletas, y la otra planta construida por Aguas Andinas de San José de Maipo, basada en la tecnología de zanjas de oxidación y cloración. Se encontró que ambas plantas cumplen con los requisitos de calidad de agua establecidos por las normas chilenas y la Organización Mundial de la Salud, para descarga a los cuerpos de agua y uso de agua para riego. La planta de El Melón resultó ser más costo-eficiente en costos de implementación, mantenimiento, operación, gasto de energía, utilización de insumos y manejo de desechos; que la planta de San José de Maipo, considerando que la primera no incluye la compra del terreno.

El Sistema Tohá a nivel de escala de tratamiento de aguas residuales ha demostrado ser eficaz y operativo en plantas de tratamiento de pequeña y mediana escala.

## SUMMARY

The Tohá System is a wastewater treatment system based on the technology of the lombrifiltration, with high efficiency in the removal of organic matter and pathogenic organisms. To determine the efficiency of the system in *Salmonella's* removal, 10 samples of wastewater were taken from the "Zanjón de la Aguada" between July to October 2002. These samples were submitted to microbiological tests of enrichment, isolation, biochemistry and serotype tests, according to the standard methods for water and wastewater analysis. The results threw 80 % of efficiency in the removal of *Salmonella* and the removal of total and fecal coliforms was in 6 logarithmic units from  $10^7$  to  $10^0$ . In the water quality test, the system turned out to be effective in 95 % in the removal of  $\text{DBO}_5$ , 80 % in total suspended solid (TSS), and 70 % in nitrogen and phosphorus, fulfilling the Chilean Norm CHN 1.333, for the use of treated wastewater in agriculture irrigation. To determine the sustainability of the Tohá System, two treatment plants were compared, using the criteria of equal number of population (14,000 inhabitants) and fulfillment of the water quality norms. In "El Melón" plant, the lombrifiltration + ultraviolet radiation is employed. The other plant, built by Aguas Andinas in San José

de Maipo, is based on oxidation ponds and chlorine addition. The efficiency of “ El Melón”, in budget of implementation, maintenance, operation, expense of energy, utilization of inputs and managing is higher than San José de Maipo plant, considering that the first one does not include land cost. Tohá System has proved to be a practical and operative method for small a medium size plants.



## INTRODUCCIÓN

El incremento de la población mundial y el creciente desarrollo urbano-industrial y tecnológico ha traído como consecuencia el aumento de la contaminación ambiental, principalmente de los recursos hídricos existentes en el planeta, siendo las principales fuentes de contaminación las aguas residuales tanto urbanas como industriales. Esto hace necesario medidas de gestión ambiental como la investigación e implementación de mecanismos para mejorar la calidad de las mismas. Entre estas medidas de gestión, podemos mencionar la utilización de tecnologías que combinan aspectos químicos, físicos y biológicos, en la implementación de plantas de tratamiento, como las lagunas de estabilización, biofiltros, entre otros.

Uno de los principales problemas de la contaminación de los recursos hídricos, es su incidencia en la salud de las personas que tienen contacto con las aguas contaminadas o con los alimentos contaminados por las mismas. La reutilización de las aguas servidas en diferentes actividades como el riego de cultivos agrícolas, tiene implicancias en la salud de las personas que ingieren estos productos, lo que hace necesario buscar alternativas eficientes en la remoción de microorganismos patógenos que son la causa principal de las afecciones gastrointestinales.

El Sistema Tohá es un sistema de tratamiento de aguas servidas domésticas e industriales, desarrollado por el Dr. José Tohá Castellá y su grupo de investigación, con el propósito de buscar una alternativa ecológica de descontaminación de aguas residuales. Los resultados obtenidos con este método mostraron la alta eficiencia del nuevo sistema en la remoción de materia orgánica y microorganismos patógenos (Soto and Tohá, 1998).

Este trabajo tiene como propósito evaluar la eficiencia del Sistema Tohá en el mejoramiento de la calidad de las aguas servidas domésticas tratadas que pueden ser usadas en riego, a través de la remoción de organismos patógenos de importancia en salud pública, y determinar su sustentabilidad ambiental como alternativa para el tratamiento de aguas servidas. Se eligió la *Salmonella*, ya que la eliminación de *E. coli* está am-

pliamente estudiada y no garantiza la eliminación de la *Salmonella* (Soto and Tohá, 1998).

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La creciente demanda de los recursos hídricos ha disminuído en las últimas décadas su disponibilidad y deteriorado su calidad, lo que causa un gran impacto en la disminución del acceso a agua segura en la mayoría de las áreas rurales y peri urbanas de los países en desarrollo.

La presión que reciben las fuentes de agua es creciente, debido al aumento de actividades como agricultura, ganadería, industria, comercio, utilización de agua para regadíos de parques, áreas urbanas, baños sanitarios, etc.

Estas actividades producen contaminación por aguas servidas, lo que trae como consecuencia el incremento de enfermedades, principalmente gastrointestinales; y la ausencia del preciado recurso para las actividades de subsistencia como la agricultura y ganadería.

Las fuentes de aguas son la base que sustenta estas actividades además de ser el sumidero de los productos originados por ellas, a una tasa que supera la capacidad de resiliencia de las aguas superficiales y subterráneas, lo que atenta cada vez más contra la disponibilidad y calidad para uso consuntivo y no consuntivo de sus usuarios (Goodstein, 1999; EPA, 2002).

Debido a la preocupación por la situación ambiental del recurso, se han desarrollado medidas de gestión ambiental, y tecnologías que buscan mejorar la calidad de aguas residuales, haciéndola disponible para la mayoría de las actividades humanas dependiendo del uso inmediato, ya sea directo como el agua potable, o indirecto para el regadío de cultivos agrícolas, industrial, y acuicultura, entre otros.

Entre las tecnologías utilizadas para el tratamiento de aguas residuales se encuentran los biofiltros. Esta tecnología entrega una calidad de agua dependiendo de las normas primarias y secundarias, y su alcance depende del uso del agua que se desea tratar.

El Sistema Tohá es una alternativa ecológica para el tratamiento de aguas servidas, que busca optimizar de manera sustentable la aplicación de esta tecnología para el mejoramiento y reutilización de las aguas servidas tratadas en la agricultura, el riego y para uso industrial; además que contribuye a la recuperación del recurso y a disminuir los impactos en la salud y el ambiente.

## **1.1. OBJETIVOS**

### **1.1.1. Objetivo General**

Evaluar la eficiencia del Sistema Tohá en la remoción de *Salmonella* y determinar su sustentabilidad ambiental como alternativa para el tratamiento de aguas servidas.

### **1.1.2. Objetivos Específicos**

Los objetivos específicos de este trabajo son:

- Determinar la eficiencia del Sistema Tohá en la remoción de *Salmonella*.
- Realizar un análisis de costo-eficiencia
- Realizar un análisis de sustentabilidad
- Analizar las ventajas y desventajas ambientales y sociales de la utilización del Sistema Tohá como alternativa ecológica en el tratamiento de agua servida.

## **1.2. HIPÓTESIS**

Las hipótesis formuladas para este proyecto son:

- ◆ “Las aguas servidas domésticas tratadas por el Sistema Tohá cumplen con la normativa Nacional y directrices de la Organización Mundial de Salud (OMS) de calidad microbiológica del agua para el riego de cultivos agrícolas.”
  
- ◆ “El tratamiento de aguas servidas domésticas a través del Sistema Tohá es más eficiente económica y ambientalmente que una planta de tratamiento convencional (zanjas de oxidación)”

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Gestión del Agua

La gestión del recurso agua es un tema sobre el que se ha hecho énfasis en los últimos años. La tendencia actual a nivel mundial, a raíz del incremento de la demanda del recurso y el deterioro de la calidad y disponibilidad del mismo, ha sido la fuerza impulsora para la investigación y el desarrollo tecnológico de alternativas para el tratamiento y recuperación de las fuentes de aguas residuales.

En Chile, la disponibilidad y calidad del agua está comprometida a lo largo del país, ya sea por su disponibilidad o no en las áreas necesitadas, o de su calidad adecuada para el uso y consumo humano.

Por ejemplo, en la región Norte del país la mayoría de las fuentes de agua están contaminadas o han disminuido su capacidad de sostener la vida, por la contaminación directa o indirecta de las actividades de la minería, el efecto de la desertificación, la generación de aguas servidas y la disposición de basura en los lechos de los ríos por los asentamientos humanos.

En otras regiones del país el problema de contaminación hídrica se atribuye a las malas prácticas agrícolas y ganaderas, a la falta de alcantarillados y mala disposición de la basura y a las actividades industriales, plantas termoeléctricas, refinerías, etc.; las cuales tienen efecto en la salud de las personas, destruyen los ecosistemas, causan pérdida del recurso, y tienen efectos indirectos en la economía del país (Chile Sustentable, 2002).

El problema de contaminación de las fuentes de aguas por aguas servidas, llevó finalmente al Gobierno y a la empresa Aguas Andinas a la realización del Plan de Saneamiento Hídrico del Gran Santiago. Su objetivo es tratar al año 2010, el 100% de las aguas servidas generadas por los habitantes de Santiago y las comunidades periféricas, devolviéndolas libres de contaminación a los cauces y permitiendo el riego de 13,000 hectáreas destinadas a cultivos agrícolas. (Aguas Andinas, 2002).

### **2.1.1. Uso del agua**

Dentro de los usos del agua se puede distinguir el uso consuntivo y el uso no consuntivo. El uso consuntivo impide que el agua esté disponible para uso posterior, al menos que se devuelva en forma de lluvia. El uso no consuntivo del agua la deja disponible (después de un tratamiento si es necesario), para nuevo uso sin pasar por un ciclo hidrológico (Viessman and Hammer, 1993).

La agricultura, en virtud de la evaporación y de la absorción e infiltración del agua que se utiliza en los cultivos, es responsable de que casi el 90% de agua no esté disponible para uso ulterior en el mundo. El agua para uso doméstico constituye alrededor del 10 % de la cantidad total.

Los contaminantes de las aguas urbanas equivalen a menos del 0,5% de su masa, de modo que la purificación para nuevo uso es técnicamente factible. El 70 % de toda el agua extraída del sistema hídrico se devuelve a la porción de aguas superficiales del ciclo hidrológico donde, a menos que se trastorne demasiado en los sistemas naturales, rejuvenece en parte por la acción de procesos naturales. (Glynn y Heinke, 1999).

#### **2.1.1.1. Beneficios ambientales del tratamiento de aguas residuales domésticas**

Según Freeman (1982), los beneficios ambientales se pueden clasificar en: aquellos que son percibidos por las personas y aquellos que no son percibidos directamente por ellas. Cada categoría mencionada por Freeman, puede describir como se perciben estos beneficios dentro de un sistema de mercado, por ejemplo la gran disponibilidad y bajos precios de bienes para el consumidor; o a través del incremento de la disponibilidad de los bienes y servicios que no son normalmente comprados en el mercado; por ejemplo: una mejor salud, mejorando las condiciones del ambiente como la visibilidad, alta calidad del agua para la recreación, etc. La primera categoría es llamada “ el efecto mercado”, y la segunda el “efecto de no mercado”.

Según Freeman (1982), existen tres etapas en la producción de beneficios para el mejoramiento del ambiente, los cuales se producen a través de políticas de control de la contaminación.

La primera etapa es casi completamente no económica en naturaleza, porque involucra una variedad de procesos físicos, químicos y biológicos. La tercera etapa es totalmente económica porque involucra teoría de demanda y producción y la teoría de valor económico. La segunda etapa involucra las interfaces entre la etapa no económica y la producción de los beneficios (Anexo I, A.I.1 y Figura I.1).

#### **2.1.1.2. Efectos de la contaminación en los cursos de agua**

Los efectos de la contaminación en las aguas se pueden resumir en:

- Degradación de los recursos hídricos
- Disminución de la calidad de agua para abastecimiento de la población, o para riego o uso en la industria con limitaciones cualitativas.
- Afecta el proceso de auto purificación de los cauces de los ríos y a los ecosistemas.
- Afecta la salud, la economía y las actividades de recreación
- Exige control riguroso y tratamiento de las aguas para su adecuado uso dependiendo del grado de contaminación.

#### **2.2. Saneamiento y Salud**

Dentro de los aspectos de la gestión de los recursos hídricos, se deben considerar los riesgos asociados al contacto o consumo de agua. Estos pueden ser colectivos o individuales, inmediatos o a largo plazo.

Durante todo el ciclo del agua, las descargas aisladas o la contaminación generalizada, por el uso de agentes industriales, agrícolas, urbanos, pueden reducir la calidad de las aguas y alterarla de manera que sea no apta para su uso.

Los riesgos a corto plazo son el resultado de la contaminación con agentes químicos o microbiológicos que pueden suscitar trastornos en un período de varias horas o semanas. Los riesgos a largo plazo están relacionados con la contaminación química y su efecto puede durar meses, años e incluso decenios.

En los países de América Latina y el Caribe, uno de los problemas sanitarios más críticos es la descarga incontrolada de aguas servidas sin tratamiento, las cuales conta-

minan los recursos hídricos superficiales y subterráneos. En algunos países las aguas servidas que son tratadas, generalmente no reciben el tratamiento adecuado. En muchos casos la inadecuada disposición de excretas y alcantarillados contamina el agua potable, y el consumo de productos regados con esta agua contaminada, da origen a numerosas enfermedades diarreicas y gastrointestinales. Su número las coloca dentro de las tres principales causas de muerte en América Latina, siendo las más comunes: amebiasis, cólera, hepatitis, shigelosis, tifoidea, fiebre paratífica, e infecciones por rotavirus (OMS, 1999).

A pesar de que Chile presenta uno de los mejores indicadores de agua y saneamiento según el Informe Global de Evaluación de Agua del 2000 (OMS,2000), los problemas de manejo del recurso agua y su impacto en la salud son evidentes. Por ejemplo, en el caso de contaminación del río las Cruces, en Pudahuel (Matus y Cavieres, 2000).

### **2.2.1. Calidad de agua**

El agua tiene características físicas, químicas y microbiológicas, que se ven afectadas por sustancias disueltas o suspendidas en ella, por lo que es necesario tratarla para que sea adecuada para su uso.

El agua que contiene ciertas sustancias químicas puede ser perjudicial para ciertos usos industriales o idónea para otros. El agua también es reservorio de microorganismos patógenos causantes de enfermedades y en tal situación no es apta para el consumo humano.

Los requisitos de calidad de agua se establecen dependiendo de los usos que se le den a la misma. Esta calidad se ajusta según los estándares físicos, químicos, y biológicos que fija el usuario.

El agua se evalúa en cuanto a calidad en términos de sus propiedades físicas, químicas y microbiológicas. El manual *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA *et al.*,1992), constituye un compendio de métodos analíticos que se

siguen en Estados Unidos y Canadá para evaluar la calidad de las aguas (Glynn y Heinke, 1999).

Según Brown y Saldivia (2000), la calidad del agua en Chile en el año 1998, tuvo un cumplimiento de un 99,4% de las normas referidas a calidad bacteriológica, un 99,9% en lo relacionado con las normas de desinfección, un 96,5% para los parámetros físicos y un 98,8% para los parámetros químicos, los cuales todos se encuentran normados.

### **2.2.2. Organismos patógenos**

Un organismo patógeno, es un agente que causa infección en un huésped vivo. Entre los organismos patógenos que tienen la virulencia suficiente para infectar humanos en condiciones apropiadas, se cuentan ciertas especies de bacterias, virus, algas y hongos, así como protozoarios y organismos helmínticos.

Los organismos patógenos son incapaces de crecer en el agua, pero pueden sobrevivir en ella por varios días. Los patógenos capaces de formar esporas o quistes tienen la capacidad de existir fuera de un huésped durante un tiempo mucho más largo. Por ejemplo, las esporas de *Clostridium tetani*, el patógeno, que causa la infección del tétano, sobreviven durante años en la naturaleza (Glynn y Heinken, 1999).

La supervivencia de los organismos patógenos sometidos a los tratamientos modernos de aguas residuales, es un problema mayor de salud, que está asociado con la utilización de estas aguas en la industria y el riego de cultivos (Feachmen, 1983).

Una gran variedad de bacterias entéricas patógenas puede estar presente en el agua potable y aguas residuales. Con la creciente demanda de los recursos hídricos, se puede esperar un crecimiento en la contaminación de aguas superficiales y subterráneas por organismos patógenos, teniendo incidencia éstos en el brote de epidemias de origen hídrico. Entre estas bacterias entéricas, se puede mencionar la *Salmonella*, *Shigela*, *Campylobacter*, *Echerichia coli*, *Vibro colera*, *Leptospira* y *Yersenia* (Kabler, 1959) (Anexo I, Tabla I.1).

Existen factores que condicionan la transmisión de patógenos por la vía hídrica. Para ello, además de considerar la naturaleza biológica en que se agrupan los agentes infecciosos (virus, bacterias, amebiasis), hay que tener en cuenta la concentración de estos organismos que está siendo transportada por el agua, la forma en que su número puede cambiar durante la transmisión, sus posibles cambios en los ciclos de vida (latencia, persistencia y multiplicación), la dosis requerida por el huésped, y la respuesta del huésped al agente infeccioso (Bitton 1999, Feachmen 1983; McJunkin 1988; Pepper *et al.*, 1996).

### **2.2.3. Organismos indicadores**

Para la detección de los patógenos, se ha determinado la utilización de indicadores, o el concepto de microorganismo indicador, que no necesariamente relaciona la concentración de cada uno de los posibles patógenos en el agua, sino que evalúa su grado de contaminación por contaminación fecal de humanos y animales (Castillo, 2001).

Entre las limitaciones de los organismos utilizados como indicadores podemos mencionar: especificidad, la resistencia a los tratamientos y desinfección, presencia en el agua junto a los patógenos, supervivencia en el agua, y multiplicación en el ambiente (Cabelli *et al.*, 1982, Cabelli, 1983).

Las principales características de un buen organismo indicador son: (1) su ausencia implica la existencia de patógenos entéricos; (2) la densidad de los organismos indicadores está relacionada con la probabilidad de la presencia de patógenos; y (3) en el medio los organismos indicadores sobreviven un poco más que los patógenos. (Glynn y Heinke, 1999).

Así, los indicadores bacterianos son utilizados para determinar la presencia de material fecal y su uso es asegurar la efectividad del tratamiento y calidad final del agua potable. Para asegurar la calidad y los aspectos sanitarios del tratamiento de aguas residuales, reuso de efluentes, etc., se utilizan patógenos como indicadores.

De esta manera, se recomienda efectuar evaluaciones de las fuentes de aguas servidas, efluentes, etc., de otros organismos patógenos como *E.coli*, coliformes fecales o termo resistentes para verificar la reducción de bacterias patógenas; medición de fagos (colifagos u otros) como indicadores alternativos a la detección de virus y protozoos, y determinación de huevos de helmintos como mecanismo para asegurar la ausencia de parásitos (Bitton, 1999). La mayoría de las bacterias patógenas son removidas o inactivadas por prácticas estándares para el tratamiento de aguas servidas (Cabelli, 1983).

La Organización Mundial de la Salud ha identificado las actividades económicas de la agricultura como uno de los futuros desafíos para la salud pública. Recientes brotes de cyclospora y hepatitis A, pueden ser causados por el reuso de aguas contaminadas para riego lo que hace necesario el uso de nuevos indicadores para contaminación fecal además de los coliformes (Elmund *et al.*, 1999).

#### **2.2.4. Eficiencia en remoción de organismos patógenos**

Estudios realizados por el Centro de Estudios Peruanos de Ingeniería Sanitaria (CE-PIS) demuestran la eficiencia de remoción de patógenos a través de diferentes sistemas de tratamiento de aguas residuales. Los biofiltros ocupan una eficiencia de 0-2 para bacterias y helmintos; y de 0-1 para virus y quistes, en una escala logarítmica de 0-4. (Saéñz, 2002). (Ver Anexo I, Tabla I.2)

Los virus y las bacterias entéricas presentes en los lodos y aguas servidas utilizados para el riego y fertilización de cultivos pueden sobrevivir en condiciones extremas, inclusive en los procesos de cosecha y mercadeo del producto. El uso de agua servida tratada, puede ser seguro para el riego de cultivo, si reciben hasta un tratamiento terciario (Mahboob *et al.*, 1990).

Se han realizado estudios que demuestran una reducción del 50% de las bacterias entéricas en el agua a 20°C en rangos de tiempo desde 2,4 horas para la *Salmonella* hasta 26,8 horas para las *Shigella*. Además, se ha reconocido la habilidad de estos organismos a sobrevivir a condiciones de stress, lo que tiene implicancias en la salud

pública porque aumenta su grado de infección dependiendo de la dosis de los individuos expuestos a aguas contaminadas (Elmund *et al.*, 1999; Foster y Spector 1995; Gynn y Palmer 1992; ; Lester *et al.*, 2002; McFeters *et al.*, 1978; Watier *et al.*, 1993). Las bacterias entéricas como la *Salmonella*, *Shigella* y *Vibrio sp.* aparecen en aguas y aguas residuales en números muy bajos para medir la eficiencia de recuperación y crecimiento en el laboratorio (Cherry *et al.*, 1972; WHO, 1993).

### **2.3. Normativa y criterios de calidad de agua para diferentes usos**

La protección de la salud pública, la calidad de las aguas naturales y el control de las descargas de contaminantes al ambiente, es tema de consideración en la mayoría de los países para el desarrollo de normativas y regulaciones. Estas normativas consideran los niveles máximos aceptables de diversos parámetros físicos, químicos, biológicos, y radiológicos entre otros.

En Chile la autoridad encargada de la elaboración de normas es el Instituto Nacional de Normalización (INN). Las normas son preparadas por un comité de expertos, son sometidas a consulta pública y son posteriormente oficializadas por el Consejo del INN.

En el caso de las normas de calidad microbiológica de las aguas, estas regulaciones están incluidas dentro de las normativas respectivas, según sea su uso. Las normas de calidad bacteriológica de las aguas en Chile son las de agua potable, uso en riego de cultivos de consumo crudo, para recreación con contacto y para el cultivo de mariscos y peces. Estas normas, con excepción de algunos parámetros, no contemplan aspectos epidemiológicos ni análisis de riesgos.

Las normas Chilenas que tienen que ver con la calidad microbiológica del agua y el riesgo directo para la salud que tiene relación con los objetivos de este estudio, son la NCH1.333 de 1978, modificada en 1987, en la que se establece la normativa para el riego de cultivos de consumo crudo y el Decreto N°0 sobre las descargas de agua residuales en los cuerpos de aguas marinas y superficiales.

Las normas chilenas para los diferentes requisitos biológicos de calidad de agua se detallan en el Anexo I en la Tabla I.3.

Las directrices de calidad de agua de la Organización Mundial de la Salud OMS establecen los parámetros microbiológicos para el agua dependiendo del uso, ya sea potable, para el riego de cultivos agrícolas o para la acuicultura. En estas directrices se basa la elaboración de normas de calidad de agua de la mayoría de los países de América Latina.

Estas directrices recomiendan, para el tratamiento de aguas residuales que se usan en riego de cultivos que se consumen cocidos y para acuicultura, que se realicen tratamientos primario y secundario, además de su desinfección. Se determinó que los cultivos que no se destinaban directamente a consumo humano podían regarse con efluentes del tratamiento primario de aguas servidas (OMS, 1997) (Anexo I, Tabla I.1. y Tabla I.4).

#### **2.4. Tratamiento para la descontaminación de las aguas servidas**

Según la Organización Mundial de la Salud, uno de los grandes desafíos en los países de América Latina en el siglo XXI, será la búsqueda de soluciones al deterioro de los recursos hídricos, ocasionado por la falta de tratamiento y disposición de las aguas servidas.

Existe en la actualidad un amplio rango de métodos biológicos para la detección y monitoreo de contaminantes en las aguas servidas. Las alternativas de tratamientos biológicos consisten básicamente en aclimatar una flora bacteriana (biomasa), que utiliza materia orgánica como alimento (sustrato), convirtiéndola en gases ( $\text{CO}_2$ ) que escapan a la atmósfera y en tejido celular de las bacterias, que pueden ser removidos por sedimentación.

También, existe tratamiento final para la desinfección de efluentes de aguas residuales y agua potable con microorganismos patógenos como es la utilización de radiación ultravioleta (UV), la cual representa costos más elevados que la desinfección por cloro.

En la actualidad, la utilización de radiación ultravioleta se ha tornado competitiva a determinadas órdenes de magnitud en términos de población equivalente (Huaman y Lazcano, 1999). El cloro produce formación de trihalometanos compuestos cancerígenos y mutágenos, así como la formación de productos cancerígenos en la mezcla del cloro con ácidos húmicos y fúlvicos (Hernández, 2001).

Se han realizado experimentos para demostrar la eficiencia del Sistema Tohá en abatimiento microbiano sin la adición de químicos, en la inactivación de coliformes fecales, y se compararon tres sistemas: cultivos de algas, ozono, y radiación ultravioleta (UV); y este último resultó más eficiente en la remoción de bacterias coliformes con una tasa de abatimiento de dos unidades logarítmicas, sin embargo, no se han realizado estudios sobre la eficiencia de este sistema en la inactivación de otros organismos patógenos de importancia de salud pública como las *Salmonella* (Valencia, 2001).

#### **2.4.1. Procesos básicos de tratamiento biológico**

Existen diferentes métodos de tratamiento biológico. Los más conocidos son los lechos bacterianos y los lodos activados. En ambos tipos de tratamiento, se emplean cultivos biológicos para conseguir una descomposición aeróbica y oxidación de la materia orgánica, pasando a compuestos más estables. Se obtiene así un mayor rendimiento que el alcanzado por una sedimentación primaria, y por una depuración de tipo químico.

Existe una diferencia operacional entre ambos procesos para llevar a cabo la descomposición de la materia orgánica. En ambos casos, el éxito radica en mantener las condiciones aeróbicas, que son necesarias para el ciclo vital de los organismos, y en controlar la cantidad de materia orgánica que descompongan.

Los biofiltros también constituyen un tratamiento biológico.

##### **2.4.1.1. Lodos activados**

Los lodos activados mantienen la biomasa en agitación en el estanque de aireación desde donde pasa a la unidad de sedimentación. La biomasa sedimentada es devuelta parcialmente al tratamiento biológico, para mantener una población de microorga-

nismos adecuada, y una parte se purga del sistema como lodo en exceso. Este sistema tiene variantes del proceso como por ejemplo: mezcla completa, aireación extendida (prolongada), aireación de alta carga, sistema de oxígeno puro, reactor discontinuo secuencial y zanjas de oxidación. Esta última constituye una versión ampliamente utilizada en el tratamiento de aguas residuales.

Los parámetros de diseño de un sistema de lodos activados son: la edad del lodo y la relación de alimento/microorganismos (a/m), y el tiempo de retención hidráulico.

Para el caso de procesos de aireación extendida la razón de a/m fluctúa entre 0,05 y 0,15 (kg DBO/kg SSVLM/día).

Principales ventajas del sistema de tratamiento de lodos activados:

- ◆ Flexibilidad de operación a través del control de la biomasa del proceso
- ◆ Eficiencia en la remoción de la carga orgánica más alta que en otros procesos convencionales, alcanzando valores superiores a 90%.
- ◆ Minimización de olores y ausencia de insectos.

Principales desventajas del sistema de tratamiento de lodos activados:

- ◆ Necesidad de control permanente, tanto operativo como de análisis de laboratorio.
- ◆ Altos costos de operación asociados fundamentalmente a los requerimientos de aireación, que se proveen en forma mecanizada.
- ◆ Bajo abatimiento bacteriológico, por lo que se necesita efectuar desinfección final del efluente.

Ventajas adicionales de la alternativa de zanjas de oxidación.

- ◆ Se puede incorporar desnitrificación al proceso
- ◆ Es posible regular la energía consumida frente a variaciones de la carga orgánica
- ◆ Prescinde de sedimentación primaria, por lo que los lodos generados son altamente mineralizados y no requieren tratamiento posterior.

#### **2.4.1.2. Lechos bacterianos**

Los lechos bacterianos son un sistema de depuración biológica de aguas servidas en el que la oxidación se produce al hacer circular, a través de un medio poroso o material de soporte, aire y agua residual. La circulación del aire se realiza de forma natural o forzada.

Las ventajas de los lechos bacterianos pueden resumirse en:

- ◆ No necesitan muros impermeables que encarezcan la construcción
- ◆ Posibilidad de aireación adecuada por medios diversos, que permitan adaptar, en las mejores condiciones posibles, los fenómenos de depuración por vía aeróbica a las características del efluente a tratar.
- ◆ Continuidad, estableciendo los dispositivos adecuados para el vertido sobre el lecho, y los dispositivos de evacuación de aguas de salida.

Los problemas que presentan los lechos bacterianos son: la puesta en marcha, la pérdida brusca de la película biológica, el encharcamiento de la superficie del lecho, los olores, la presencia de moscas, la formación de espumas en canaletas de recogida, y bajas temperaturas que inhiban la acción bacteriana (Hernández, 2001).

#### **2.4.1.3. Biodiscos y biocilindros**

Los biodiscos y biocilindros son biofiltros que se integran dentro de los procesos biológicos, realizando una misión similar a la de los lechos estáticos. El proceso reduce la materia orgánica, como elementos de desnitrificación y nitrificación. Estos se sumergen parcialmente (40%) en las aguas residuales a tratar, contenidas en depósitos por los que fluye el agua y girando a baja velocidad. La película biológica se desarrolla sobre su superficie.

Los biodiscos y biocilindros se diferencian de los lechos bacterianos en que el soporte es normalmente fijo (Hernández, 2001).

Algunas dificultades en los procesos de biocilindros y biodiscos son: la pérdida de biomasa, desarrollo de biomasa blanca, disminución de la eficiencia depuradora por

variaciones de temperatura, caudal, carga orgánica, pH y acumulación de sólidos en los discos.

A continuación, se presentan las características principales de estos biocilindros y biodiscos, con relación a los procesos convencionales:

**Tabla 1. Comparación de características entre lodos activados, lechos bacterianos y biodiscos.**

	Lodos activados	Biomasa fija	
		Lechos bacterianos	Biodiscos y biocilindros
Forma de establecer el contacto	Choques en el reactor	Percolación a través del lecho	Remojado
Aireación	Insuflación de aire o aireación mecánica	Efecto de chimenea o ventilación artificial	Rotación de tambores y exposición de los elementos de soportes al aire
Biomasa	"Flocs" en suspensión	Película fija al soporte	Films fijos a los elementos del soporte
Necesidades energéticas	Agitación y aireación	Bombeo y aireación, en caso de aireación forzada	Rotación de los tambores

**Fuente: Hernández 2001.**

#### 2.4.1.4. Biofiltros

Los tratamientos biológicos, se hacen en estanques generalmente circulares rellenos con medio de soporte de roca o plástico, a través del cual fluye verticalmente el afluyente, el que es recogido junto a la biomasa en exceso que se desprende del medio, por medio de un fondo falso, desde donde pasa a sedimentación secundaria. El criterio de diseño de estas unidades es la carga orgánica (kg DBO) aplicada diariamente por metro cúbico de medio de soporte y la carga hidráulica aplicada (m<sup>3</sup>/día), por metro cuadrado de superficie horizontal del biofiltro. Estos sistemas presentan ventajas como la estabilidad ante variaciones de carga y concentración, afluyente, bajos costos de ope-

ración y mantenimiento comparados con otros procesos del tipo convencional, además producen un lodo estable concentrado (en general bien floculado y fácil de decantar) y son de fácil puesta en marcha luego de una detención (Reed *et al.*, 1987).

#### **2.4.2. Desinfección**

La desinfección es un proceso de destrucción o inactivación de los microorganismos patógenos. Cuando se habla de esterilización implica la destrucción o inactivación total de todos los microorganismos (bacterias, virus, algas, nemátodos, protozoos, etc.). También es una práctica que se utiliza en los procesos finales de aguas servidas del tipo convencional.

Los sistemas de desinfección más utilizados en las aguas residuales pueden concretarse en cloración, ozonización, radiación ultravioleta y membranas.

Los efectos de la inactivación dependen del tipo de microorganismos, de la dosis y tipo de desinfectante empleado y el tiempo de contacto.

Las características de los desinfectantes incluyen ser: tóxicos para los microorganismos y no tóxicos para el hombre y otros organismos superiores, solubles, homogéneos en la solución y estables, inertes con otras materias; y tener una disponibilidad permanente, sin efecto sobre la calidad de las aguas.

Para la utilización de la desinfección de las aguas servidas, hay que tomar en cuenta los efectos de eliminación de microorganismos en las distintas etapas del proceso de depuración.

La concentración de los patógenos en los efluentes de aguas servidas es generalmente alta y muy variada. Además, no todos los tipos de patógenos presentan igual sensibilidad a los desinfectantes, lo que hace necesario el diseño de un modelo que actúe principalmente sobre los organismos más persistentes (McJunkin, 1988).

En la Tabla 2 se observa el porcentaje de reducción de microorganismos patógenos con relación a los procesos de tratamiento:

<b>Procesos</b>	<b>N<sup>o</sup> colonia (%)</b>	<b>Coliformes (%)</b>	<b>Salmonella (%)</b>	<b><i>Bacillus tubercul.</i> (%)</b>	<b><i>Vibrio Ch. y Shigella</i> (%)</b>	<b>Virus (%)</b>
<b>Lodos activa-dos</b>	90-98	90-98	90-98	88	91-99	90
<b>Lechos bacte-rianos</b>	70-95	70-95	84-99	66		
<b>Digestión anaerobia</b>	S/d		25-93	90-96		
<b>Cloración</b>	98-99	98-99	98-99	98-99	98-99	98-99
<b>Sedimentación</b>						40-50%

Fuente: Hernández, 2001

#### **2.4.2.1. Cloración**

El cloro, a partir de su utilización para el tratamiento de las aguas en 1899, ha sido acreditado como el más eficaz de los desinfectantes utilizados en el tratamiento de agua para el consumo humano.

El cloro en la forma de ácido hipocloroso es un desinfectante poderoso contra bacterias y virus. Tiene efectos residuales por lo que actúa sobre el contaminante en tratamiento posterior. Los quistes de giardia son cien veces más resistentes al cloro que las bacterias y virus.

El cloro tiene el problema de formar trihalometano con características mutagénicas, así como la formación de compuestos cancerígenos en la mezcla del cloro con ácidos húmicos y fúlvicos (EPA, 1986).

#### **2.4.2.2. Ozono**

El ozono es una forma alotrópica del oxígeno elemental que posee tres átomos de oxígeno (O<sub>3</sub>). Es un gas de olor característico, de color azul, muy inestable, detectable y fácilmente reconocible por su olor picante con concentraciones entre 0,08 y 0,1 mg/L.

La aplicación más antigua de ozono para el tratamiento de aguas urbanas fue a finales del siglo XIX en Alemania, Francia y Holanda, y después de comprobarse sus facultades de desinfección e inactivación de virus y bacterias, se extendió al resto de Europa.

La aplicación del ozono en el tratamiento de aguas residuales es muy variado, se usa en:

- ◆ Desinfección bacteriana
- ◆ Inactivación viral
- ◆ Oxidación de hierro y manganeso
- ◆ Reducción de metales pesados
- ◆ Nitrificación
- ◆ Eliminación de color, sabor y olor
- ◆ Eliminación de turbiedad
- ◆ Eliminación de algas
- ◆ Oxidación de compuestos orgánicos(fenoles, detergentes, pesticidas)
- ◆ Microfloculación de detergentes
- ◆ Oxidación de compuestos inorgánicos (cianuros, sulfuros y nitritos)
- ◆ Pretratamiento de procesos biológicos, reducción de trihalometanos y otros compuestos organoclorados.

El ozono tiene la ventaja que es un desinfectante rápido y activo contra bacterias y virus, porque destruye la proteína celular principalmente por inactivación de los sistemas enzimáticos críticos, enzimas esenciales para la vida microbiológica.

Su desventaja es que los efectos no permanecen después del tratamiento, o sea que no tiene efecto residual como el cloro. Es un tratamiento caro, pero parece demostrar la eliminación de mutagénicos en las aguas. Se cree que puede formar ozonoides indeseables en las aguas (Hernández, 2001).

### **2.4.2.3. Radiación ultra violeta**

La radiación ultravioleta (UV) es una alternativa de desinfección al uso de cloro y ozono en muchas aplicaciones de agua potable y aguas residuales.

Los primeros intentos experimentales para la desinfección del agua fueron en Marsella, Francia en 1910.

El bajo costo de la desinfección del agua con cloro, combinado con los problemas operativos y de fiabilidad, retardaron la aplicación de la radiación UV hasta el decenio de 1950. La utilización de la radiación UV se popularizó con el descubrimiento de subproductos del cloro.

El método de radiación UV presenta la ventaja que si es utilizado en condiciones adecuadas, no da origen a compuestos químicos en las aguas y no modifica su calidad. Sin embargo, el método también presenta desventajas ya que no tiene efecto residual desinfectante en las aguas, y los costos de implementación y mantenimiento suelen ser un poco altos. Además, la desinfección de las aguas depende de la turbidez y el color de las mismas.

La radiación UV, elimina los compuestos de materia orgánica presentes en las aguas servidas mediante oxidación fotoquímica húmeda mediante una dosificación en el reactor UV.

La reducción de los componentes orgánicos depende de los siguientes parámetros:

- Intensidad de radiación
- Tiempo de radiación
- Transmisión de UV en el agua residual

Los microorganismos son inactivados por luz UV como resultado del daño fotoquímico a sus ácidos nucleicos afectados por una longitud de onda con picos de 200 a 260 nm, esto depende de la resistencia intrínseca de los organismos, la dosis aplicada y la DQO (Sonntang y Schuchmann, 1992).

Las dosis de inactivación de bacterias patógenas son normalmente similares a las dosis requeridas para la desinfección de grupos de indicadores fecales, tales como coliformes fecales ( Anexo I, Tabla I.5).

Según estudios realizados por la EPA, (1986); se ha determinado que los niveles observados en la formación de formaldehídos por la desinfección por radiación UV, es insignificante. Oppenheimer(1996) comparó la formación de subproductos en la desinfección de agua reciclada usando una dosis UV de  $300\text{mWs/cm}^2$  , observándose ausencia de trihalometanos en la desinfección con UV, y no incremento de mutágenos en el agua. (Hernández, 2001).

### 3. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA TOHÁ

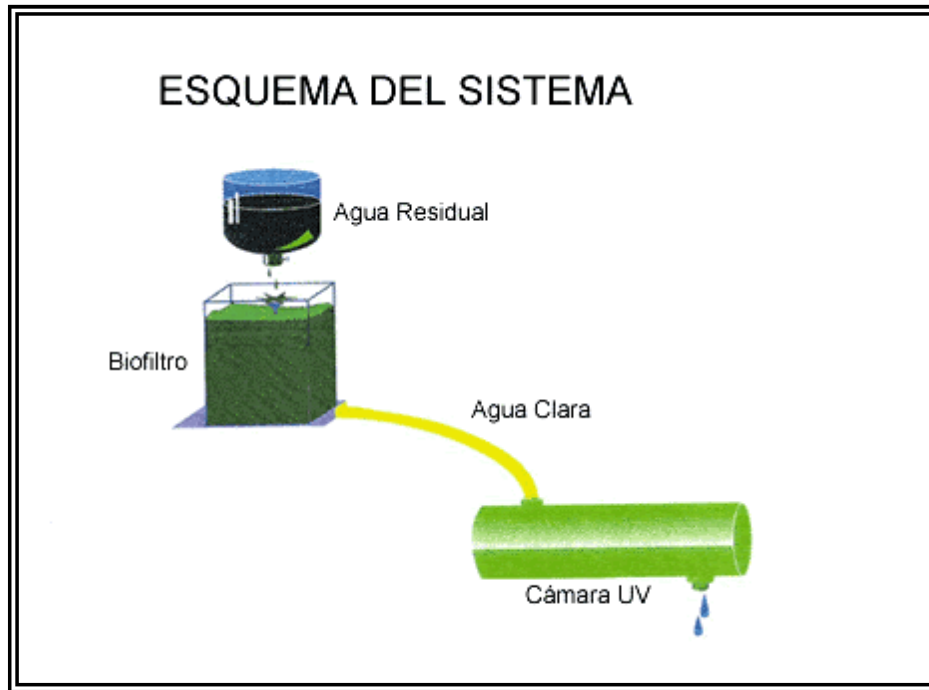
El Sistema Tohá es un lombrifiltro que ha sido estudiado ampliamente en la estación de Cexas Melipilla, y en el laboratorio de Biofísica de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemática de la Universidad de Chile.

#### 3.1. Lombrifiltro

El lombrifiltro es un biofiltro que contiene lombrices, a través del cual se hace pasar el agua servida. Este biofiltro comprende cuatro capas de diversos materiales. La capa superior consiste en material orgánico con un gran número de micro-organismos y lombrices (*Eisenia phoetida*) principalmente, las cuales absorben y digieren la materia orgánica dejando el agua sin su principal contaminante. A continuación, hay una capa de aserrín para una segunda filtración, luego, la tercera capa está formada por piedras de tamaño pequeño y la última por piedras de mayor tamaño. Estas dos últimas capas proveen soporte y aireación al sistema, asegurando su permeabilidad. El agua pasa a través del biofiltro sólo por gravedad y emerge clara y sin materia orgánica (Ver Figura 1).

Para el correcto funcionamiento del lombrifiltro éste debe estar en un estado de saturación, en donde se dispersan homogéneamente las aguas residuales para que las lombrices puedan llegar a esa zona (Lay- Son, 2002).

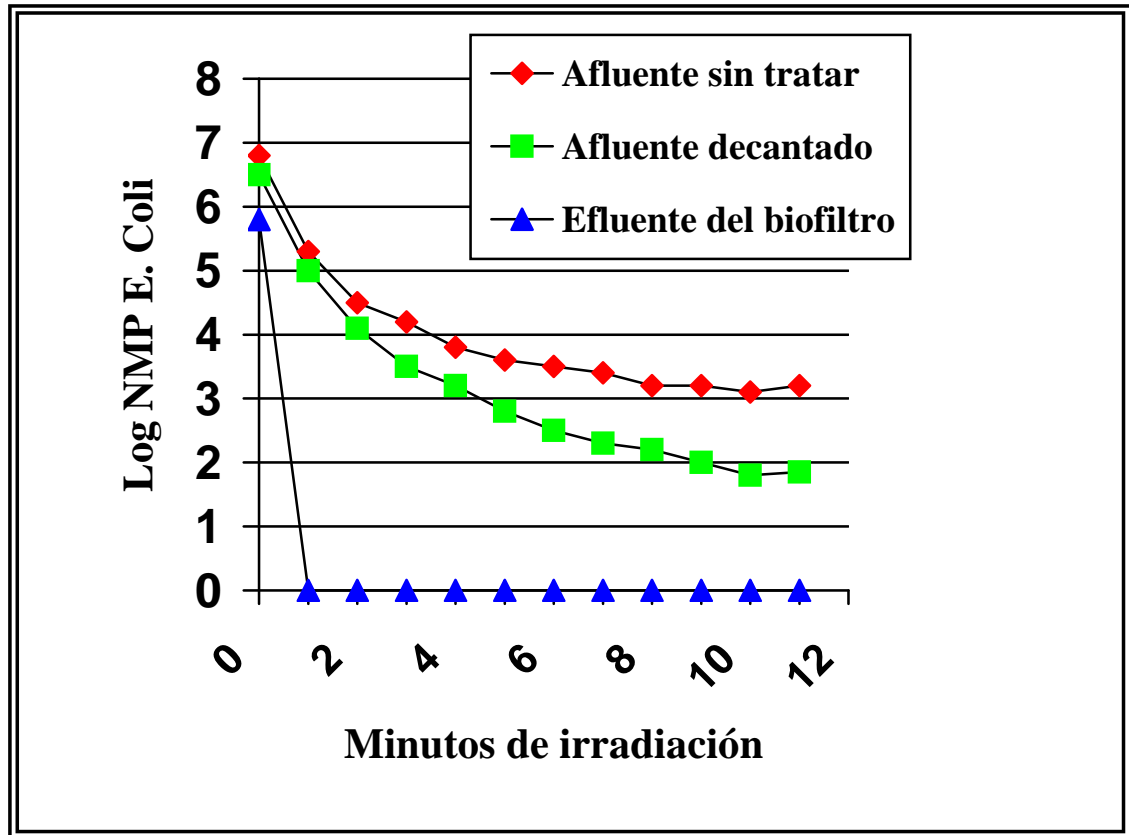
En el sistema de lombrifiltro se efectúan los siguientes procesos: filtración, adsorción, descomposición, reacciones aeróbicas y anaeróbicas específicas.



**Figura 1. Esquema del Sistema Tohá**

El Sistema Tohá consta de dos etapas: en la primera, el agua residual escurre por gravedad a través de un lombrifiltro, donde se absorbe y procesa la materia orgánica.

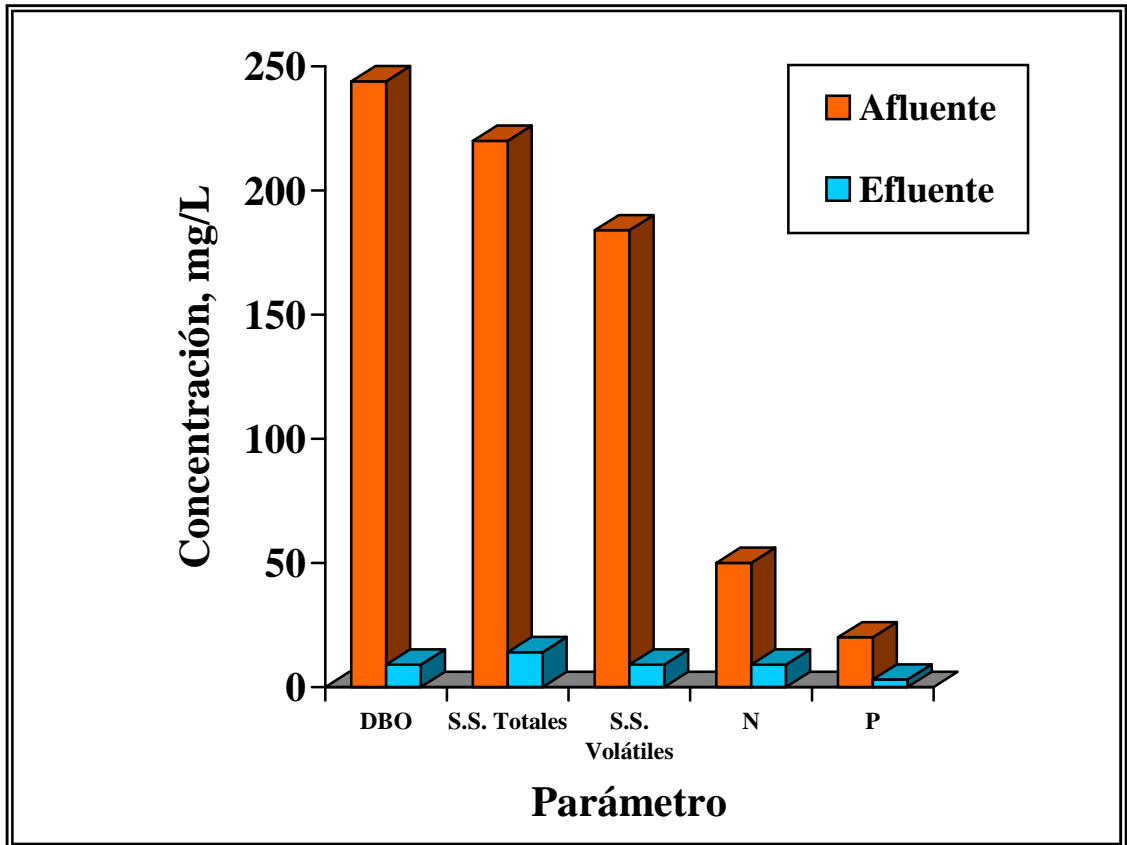
En la segunda etapa del tratamiento, el efluente es derivado a una cámara de irradiación ultravioleta en donde se logra la eliminación de las bacterias patógenas en menos de un minuto (Ver Figura 2).



Fuente: Soto y Tohá, 1998

**Figura 2. Tiempo de decaimiento bacteriano por radiación ultra violeta**

En este sistema; al aplicar una tasa continua de  $1 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{día}$  de aguas servidas crudas, se obtienen reducciones del orden de 99% de DBO, 89% en nitrógeno y 70% en fósforo; de 2 a 3 escalas logarítmicas de coliformes fecales ( $10^7$ - $10^2$  NMP/100 mL) y reducciones superiores al 95% para sólidos suspendidos totales (SST), al 96% para sólidos suspendidos volátiles, cumpliendo con la normativa de 1000 coliformes /100 mL (Soto y Tohá, 1998; Valencia, 2001) (Ver Figura 3).



Fuente: Soto y Tohá, 1998

**Figura 3. Eficiencia del biofiltro: valores máximos y mínimos de los parámetros de DBO, sólidos suspendidos totales, sólidos suspendidos volátiles, nitrógeno total y fósforo total.**

Este tipo de tratamiento biológico tiene ciertas ventajas, que se consideran como una solución potencial para el tratamiento de aguas residuales domésticas e industriales a pequeña y mediana escala.

- ◆ El Sistema Tohá presenta las siguientes ventajas:
- ◆ Requiere de espacios reducidos
- ◆ Es un procedimiento rápido, que elimina materiales desagradables como los olores
- ◆ Es fácil de mantener
- ◆ Es económico

- ◆ Eficiente
- ◆ Ecológico

Entre los aspectos innovadores que diferencian al sistema, de los tratamientos tradicionales de aguas servidas están:

- ◆ Es un tratamiento global del agua servida, y no hay tratamientos primarios, secundarios y terciarios.
- ◆ No hay formación de lodos, toda la materia orgánica es consumida
- ◆ El tratamiento se hace en un soporte sólido, lo cual implica menor espacio.
- ◆ El biofiltro no se satura, debido a la acción de micro y macroorganismos.

El Sistema Tohá nos permite obtener un humus de lombrices que presenta una buena calidad en términos de fertilizante y enmienda orgánica.

### **3.2. Aplicaciones.**

Los grados de aplicación potencial del Sistema Tohá son muy amplios, debido a su facilidad de ser dimensionado a cualquier escala mediante módulos. Se puede aplicar en el tratamiento de aguas servidas de:

- ◆ Residencias privadas
- ◆ Escuelas;
- ◆ Comunidades rurales;
- ◆ Balnearios, condominios, campamentos;
- ◆ Municipalidades, poblaciones, aeropuertos.

También se puede aplicar en el tratamiento de riles provenientes de:

- ◆ Mataderos
- ◆ Empresas frutícolas
- ◆ Empresa vinícola
- ◆ En general toda empresa del área agro-alimenticia

Algunos ejemplos de instalaciones existentes pueden verse en el Anexo I, Tabla I.6.

#### 4. MATERIALES Y METODOLOGÍA

En la metodología a utilizar para determinar la eficiencia del Sistema Tohá, se realizó pruebas a las muestras antes del tratamiento y después de pasar por el biofiltro y por el biofiltro más la radiación ultra violeta. Se utilizó a la *Salmonella* como indicador para determinar la eficiencia del Sistema Tohá en la remoción de este organismo patógeno, a través del análisis de la calidad sanitaria de las aguas servidas tratadas con el mismo.

Para ello, se utilizó la metodología cualitativa para la determinación de *Salmonella*, establecida por el Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater Analysis (APHA, 1992).

Esta metodología consiste en cuatro etapas. La primera etapa consta de pruebas de preenriquecimiento y enriquecimiento para homogenizar la muestra; la segunda etapa es la de aislamiento de colonias típicas de *Salmonella*, en cuatro diferentes medios de agar; la tercera etapa está dada por las pruebas bioquímicas, las cuales consisten en tres pruebas presuntivas y tres pruebas confirmativas para la detección de *Salmonella*. Las muestras que den positivas son sometidas a la prueba serológica en la cual se determina la presencia o ausencia de *Salmonella* en la muestra a través de antígenos (Anexo III, Figura III.3).

Una vez obtenidos los datos sobre la presencia/ausencia de *Salmonella*, se realizó un análisis estadísticos de test de signos, para determinar la eficiencia del sistema. Los datos se presentaron en gráficas y tablas.

También se realizó un muestreo para determinar los parámetros de calidad de agua como sólidos suspendidos totales, DBO, coliformes fecales, nitrógeno y fósforo de las muestras del Zanjón de la Aguada. Para ello realizamos un muestreo semanal en el mes de septiembre.

#### **4.1. Determinación de la eficiencia del Sistema Tohá en la remoción de *Salmonella* en la muestra de aguas servidas antes y después del tratamiento.**

Se recolectan 10 muestras de aguas servidas del Zanjón de la Aguada, en envases de un galón para ser analizadas en el laboratorio del Departamento de Biofísica, en la Facultad de Ciencias Físicas y Matemática de la Universidad de Chile.

Para la realización de las pruebas antes y después del tratamiento, se usa cepas control de *Salmonella* y se hace una réplica por muestra. Se realizó 10 pruebas para cada muestra de las aguas crudas, de las aguas tratadas con el biofiltro, y con el biofiltro y los rayos ultra violeta.

Para la muestras sometidas a la radiación ultravioleta, se pasó un flujo de 10 L/min de agua residual tratada por el biofiltro, a través de la cámara de irradiación UV con una exposición de tiempo de 2,5 minutos a una intensidad de 30 Wtt/m<sup>2</sup>.

Las muestras para las pruebas antes del tratamiento se preparan en alícuotas de 300 mililitros para ser filtradas a través de un filtro de membrana de 0,45μ con una bomba "manifold". Para el tratamiento con el Sistema Tohá se filtran 15 L de la muestra de aguas servidas en el sistema y se procede como el paso anterior. Una vez filtrada el agua, se coloca la membrana en una jarra batidora estéril y se agregan 100 mL de agua peptonada al 1% estéril, se homogeniza a alta velocidad por un minuto. Se inoculan 50 mL del homogenizado en 50 mL de caldo selenito cistina doble concentración y se incuba de 16-18 horas a 35± 0,5 °C, y 50 mL de homogenizado en 50 mL de caldo "Rappaport Vassiliadis", incubar a 42±1 °C por 16 a 18 horas. Para el aislamiento de las colonias se estrían cada uno de los cultivos de los medios de enriquecimiento en la superficie de las placas de agar bilis verde brillante lactosa rojo fenol (BPL), agar xilosa lactosa desoxicolato (XLD), agar Rambach. Incubar a 35±0,5 °C de 24 a 48 horas.

La selección de las colonias típicas se hace de acuerdo a las características de cada medio de aislamiento (Agar BPL, XLD y Rambach). Se seleccionan de 3 a 5 colonias por cada medio y se repican en tubos tendidos de agar nutritivo, incubando a 35± 0,5 °C por 18 a 24 horas.

El criterio de selección de las colonias en cada medio de aislamiento es el siguiente:

- ◆ Agar BPL: colonias transparentes con zona rojo brillante o blancas rosáceas.
- ◆ Agar XLD: colonias transparentes con centro negro. Algunas salmonellas dan colonias naranjas.
- ◆ Agar Rambach: colonias rojo brillante. *Salmonella typhi* da colonias transparentes.

Las colonias que no presenten estas características en cada medio de aislamiento no serán consideradas como colonias típicas.

Para las pruebas bioquímicas presuntivas, se utiliza el agar triple azúcar de hierro (TAH), agar urea, medio lisina descarboxilasa. Para las pruebas bioquímicas confirmativas se utiliza la detección de  $\beta$ -D galactosidasa (ONPG), medio Voges- Proskauer (MR-VD) y caldo triptona (Indol).

Los criterios para considerar la presencia de *Salmonella* en las pruebas bioquímicas presuntivas y confirmativas son los siguientes:

- ◆ Pruebas presuntivas:
  - ◆ TAH: superficie ácida (A) fondo alcalino (K),  $H_2S$  +/- (producción o no de gas)
  - ◆ Agar urea: no produce ureasa, no hay viraje de color del medio
  - ◆ Lisina descarboxilasa: produce descarboxilación de lisina, el medio vira a púrpura.
- ◆ Pruebas confirmativas
  - ◆ Caldo MR-VD: Reacción Voges Proskauer negativa
  - ◆ Caldo triptona (indol): no produce indol, el medio no cambia
  - ◆ Detección  $\beta$ -D galactosidasa (ONPG): no detecta  $\beta$ -D galactosidasa, el medio permanece incoloro.

Las colonias que cumplan con estos criterios en las pruebas bioquímicas serán aisladas en agar nutritivo e incubadas 16 a 18 horas a  $35 \pm 0,5C^\circ$ , para después hacer las

pruebas serológicas y confirmar la presencia de *Salmonella*. En cada prueba se utiliza una cepa control de *Salmonella* y en la prueba de ONPG se utiliza una cepa control de *Echerichia coli* que da positiva en la reacción.

Para las pruebas serológicas se deben eliminar las cepas aglutinantes. Se coloca una gota de solución salina en el porta objeto, se homogeniza la colonia típica de tal forma de obtener una suspensión homogénea y turbia, y observar la formación de unidades aglutinantes. El criterio para la aplicación de las pruebas serológicas es no considerar las colonias auto aglutinantes, y éstas no se deben someter a la prueba.

La detección de los antígenos somáticos (O) polivalente y (Vi), se realiza con las cepas no aglutinantes preparando una suspensión bacteriana en solución salina. Se colocan dos gotas en un portaobjeto de la suspensión bacteriana y se somete una al antígeno (O) polivalente y la otra al antígeno (Vi).

Los criterios para la confirmación de presencia de *Salmonella* son:

- La aglutinación positiva en el antisuero (O) polivalente y negativa en (Vi), la cepa es de *Salmonella*.
- La aglutinación positiva en el antisuero (O) polivalente y positiva en (Vi), la cepa probablemente es de *Salmonella*.
- Si aglutina con ambos antisueros, el cultivo no corresponde a *Salmonella* y se descarta.

Los resultados se expresan en ausencia/presencia. Se debe usar una cepa control durante todo el proceso.

## **4.2. Análisis de costo efectividad**

Para el análisis económico de la utilización del Sistema Tohá como alternativa ecológica, se tomará la planta de tratamiento de aguas servidas diseñada con este sistema para la localidad de El Melón, Comuna de Nogales, V Región y se comparará con la planta de tratamiento de aguas servidas de San José de Maipo, ubicada en el Cajón del Maipo que utiliza la tecnología de zanja de oxidación.

A continuación se detallan las características de cada planta:

### **4.2.1. Planta de tratamiento El Melón (Sistema Tohá)**

#### **4.2.1.1. Área de estudio**

La comunidad de El Melón que se encuentra ubicada en la comuna de Nogales en la V Región de Valparaíso en la latitud 32° 41' Sur y 71°12' de longitud Oeste, aproximadamente a 85 km al nor-orienté de Valparaíso y 120 km de Santiago. Cuenta con una población de 21,687 habitantes (INE, 2002).

#### **4.2.1.2. Planta de tratamiento El Melón**

La planta de tratamiento de la comunidad de El Melón, fue instalada con el fin de ampliar y mejorar la planta de tratamiento actual, basada en lagunas de estabilización, para suplir la demanda de saneamiento básico, debido al crecimiento de la población y el aumento de la cobertura de la red de alcantarillado. Esta planta fue construida con una proyección de 25 años para atender una demanda de 14,000 habitantes con un caudal de 2,658 m<sup>3</sup>/ día.

Esta planta de tratamiento, basada en la tecnología de lombrifiltro (Sistema Tohá) está construida en módulos en un área de 0,8 hectáreas y con proyecciones de expansión de acuerdo al crecimiento de la demanda y capacidad de la planta.

#### **4.2.2. Planta de tratamiento de San José de Maipo (zanja de oxidación)**

##### **4.2.2.1 Área de estudio**

San José de Maipo se encuentra ubicada en el Cajón del Maipo en la Cordillera de los Andes a 47 km de Santiago entre los 33° y 38' latitud sur y 70° 21' longitud oeste (IGM 1994).

La planta de tratamiento de San José de Maipo se encuentra en la localidad de San José de Maipo, Comuna de San José de Maipo, Provincia de Cordillera, Región Metropolitana (IGM, 1988) y con una población de 13,188 habitantes (INE, 2002).

##### **4.2.2.2. Planta de tratamiento San José de Maipo**

Esta planta fue construida con el propósito de mejorar la calidad de los efluentes que descargaban directamente en el río Maipo; ya que las aguas servidas de la población se vertían sin tratamiento en las aguas del río, en cuya parte baja se encuentra la planta potabilizadora del Cajón del Maipo que abastece a la Región Metropolitana y en consecuencia tenía impacto en la eficiencia y costos de tratamiento, en la salud de la población y en la vida acuática.

Esta planta se basa en un sistema aeróbico de zanjas de oxidación (variedad de lodos activados), que considera un tratamiento preliminar que incluye rejillas gruesas mecanizadas, rejillas finas de accionamiento mecánico con dispositivo de transporte y empaque de los sólidos retenidos y un desarenador manual.

El tratamiento secundario se proyecta en un sistema de aireación de zanja de oxidación más un sedimentador, cuyo efluente clarificado se desinfecta por medio de cloración. Además, se contempla la deshidratación de lodos por medio de filtro prensa de banda, previo a su acopio y disposición final. La desinfección del efluente se hace por cloración antes de descargar al río.

Esta planta atiende una población de 14,000 habitantes instaladas en un área de 1 ha y caudal a tratar de 3,528 m<sup>3</sup>/ día.

La importancia de esta planta de tratamiento es que está dentro de los esfuerzos globales dentro del Programa de Tratamiento de Aguas Servidas del Gran Santiago, para la descontaminación de los ríos de la Región Metropolitana proyectados para el año 2010.

La metodología a utilizar para realizar el análisis de costo- efectividad es la siguiente: se comparó el Sistema Tohá con una planta de tratamiento convencional (zanja de oxidación).

Este análisis se realizó considerando como criterios para ambas plantas: los costos de inversión inicial y proyecciones de ampliación, el tamaño de la planta, los costos de operación y mantenimiento de la planta, la capacidad de caudal tratado para igual número de población y el cumplimiento de la normativa chilena vigente (Decreto 90 y NCH 1.333). Se comparó la planta de tratamiento de El Melón con un caudal de 2,659 m<sup>3</sup>/día capacidad para 14,000 habitantes y la planta de tratamiento San José de Maipo, de la empresa Aguas Andinas que trata un caudal medio de 3,528 m<sup>3</sup>/día para 14,000 habitantes.

#### **4.3. Análisis de sustentabilidad**

Se realizó una evaluación ambiental de los procesos de tratamiento de aguas de cada planta, se realizó un análisis de sustentabilidad de los impactos ambientales de cada tecnología. Los criterios para evaluar las plantas son: la tecnología de cada planta (lombrifiltro vs zanjas de oxidación); el uso de energía, la generación, manejo y disposición de productos secundarios (lodos), el área de instalación (capacidad de la planta) e insumos químicos requeridos.

Los datos se presentan en tablas para comparar la información de la planta de El Melón y la de San José de Maipo.

#### **4.4. Análisis de las ventajas y desventajas ambientales y económicas de la utilización del Sistema Tohá como alternativa ecológica en el tratamiento de agua servida**

Se presentan los beneficios potenciales a largo plazo del tratamiento de aguas residuales en los aspectos ambientales, sociales y económicos. Los criterios son los siguientes: los efectos en la reducción de la contaminación en los cuerpos de agua y el reuso de las aguas tratadas en agricultura y suelos, la reducción de enfermedades gastrointestinales, impactos en uso de agua para recreación y en el ecosistema acuático.

## 5. RESULTADOS

Para la determinación de la eficiencia del Sistema Tohá en la remoción de *Salmonella* en las muestras de aguas servidas del Zanjón de la Aguada, se obtuvieron los resultados expresados en ausencia/presencia de *Salmonella* para cada una de las muestras (agua cruda, tratada con el biofiltro y biofiltro + la cámara de radiación ultra violeta). Los resultados se muestran en la Tabla 3.

**Tabla 3. Resultado del tratamiento para la determinación de *Salmonella* a través del Sistema Tohá de muestras del Zanjón de la Aguada**

Número muestra	Fecha	Agua cruda	Agua + biofiltro	Agua + bioAiltro + uv	Prueba <sup>#</sup> bioquímica presuntiva de <i>Salmonella</i>	Prueba <sup>#</sup> bioquímica confirmativa	Prueba serológicas	Ausencia/presencia
M1	16-7-02	X			4	2	+	P
M2	16-7-02	X			8	5	+	P
M3	22-7-02	X			3	1	+	P
M4	29-7-02	X			5	3	+	P
M5	29-7-02	X			8	7	+	P
M6	05-8-02	X			6	2	+	P
M7	19-8-02	X			6	5	+	P
M8	26-8	X			5	2	+	P
M9	02-9-02	X			5	2	+	P
M10	01-10-02	X			5	3	+	P
<b>TOTAL</b>					<b>55</b>	<b>32</b>		
MB1	18-7-02		X		3	3	-	A
MB2	23-7-02		X		6	3	+	P
MB3	30-7-02		X		6	5	+	P
MB4	06-08-02		X		7	2	-	A
MB5	20-8-02		X		3	3	+	P
MB6	27-8-02		X		3	2	+	P
MB7	03-09-02		X		6	1	+	P
MB8	01-10-02		X		3	0	-	A
MB9	07-10-02		X		6	3	+	P
MB10	14-10-02		X		4	2	+	P
<b>TOTAL</b>					<b>47</b>	<b>24</b>		
MV1	31-7			X	2	2	+	P
MV2	06-08-02			X	3	4	-	A
MV3	20-8-02			X	0	1	-	A
MV4	27-8-02			X	0	0	-	A
MV5	03-09-02			X	0	3	-	A
MV6	09-10-02			X	0	1	-	A
MV7	07-10-02			X	2	0	-	A
MV8	14-10-02			X	4	2	+	P
MV9	22-10-02			X	4	2	-	A
MV10	22-10-02			X	3	1	-	A
<b>TOTAL</b>					<b>18</b>	<b>16</b>		

<sup>#</sup> Se refiere a la cantidad de tubos positivos para la *Salmonella* (18 tubos por muestra)

Haciendo un análisis de los resultados obtenidos, se determina a través de este método cualitativo, la presencia de *Salmonella* en las muestras de aguas servidas del Zanjón de la Aguada. En las muestras tratadas con el biofiltro se determinó ausencia de *Salmonella* en las muestras MB1, MB4 y MB8. En las muestras tratadas con el biofiltro y la radiación ultravioleta (tratamiento completo), se encontró la presencia de *Salmonella* para las muestras MV1 y MV8, siendo resultados de ausencia para el resto de las muestras.

Lo anterior se podría atribuir a factores ambientales como la temperatura, el pH del agua, la época de muestreos (invierno), transmitancia del agua residual tratada con el biofiltro y al tiempo de exposición a la radiación ultravioleta. Otros factores que también se podrían considerar, son: la profundidad del sistema de abatimiento, la intensidad de exposición y la capacidad de penetración de la radiación ultravioleta.

Existe una amplia revisión de literatura sobre *Salmonella* y salmonelosis, que destaca la gran distribución ambiental de esta bacteria y sus diferentes serotipos, lo que hace fácil su aislamiento a partir de muestras ambientales de cualquier tipo, especialmente de aguas residuales, suelos o lodos de ríos y lagos contaminados. También se estima que la presencia de *Salmonella sp* en aguas servidas domésticas, su sobrevivencia y la de coliformes es bastante parecida a los otros ambientes citados, con un registro entre 20 y 200 días, dependiendo de la carga inicial del contaminante, el serotipo de bacteria, la temperatura, el pH, la presencia/ausencia de luz solar, la conductividad eléctrica, la concentración de materia orgánica y otros nutrientes, etc. (Feachmen *et al*, 1983).

La eficiencia de la tasa de inactivación del sistema de abatimiento microbiano UV depende de factores como la profundidad de penetración de la radiación ultravioleta, la turbidez del agua, el tiempo de exposición, especie microbiana, población, longitud de onda de la luz UV. Las bacterias son menos resistentes a la longitud de onda 254 nm que los virus (Hernández, 2001) (Anexo I, Tabla I.7).

El tiempo de exposición de las muestras por el sistema de abatimiento con UV fue de 2,35 minutos. Según Hernández (2001), el tiempo de irradiación necesario para inactivar el 99% de microorganismos es de 2 a 3 minutos con una intensidad de 38 mWs/cm<sup>2</sup>. La intensidad de irradiación para inactivar el 90% de *Salmonella typhi* es de 2,1 mWs/cm<sup>2</sup>, por lo que el Sistema Tohá es eficiente en la inactivación de *Salmonella* a través de la desinfección con radiación ultravioleta.

Para el tratamiento estadístico de los resultados se aplicó una prueba no paramétrica de test de signos, ya que los datos son cualitativos y se quiere determinar la presencia de *Salmonella* después del tratamiento. El test de signos se utiliza para tamaños de muestras pequeñas ( $n < 15$ ), consiste en formar pares con la primera y segunda medición para tratamientos antes y después, o se forma pares con la medición del primer y segundo tratamiento para el mismo número de sujetos en cada muestra. Luego se asigna un signo (+) si hubo aumento de la primera a la segunda medición y un signo (-) si hubo disminución y cero si no hubo cambio.

Se tomaron los datos como resultado de la medición antes y después del tratamiento por el biofiltro y el biofiltro + UV. Para la realización de pares se consideraron las siguientes hipótesis:

X= medición antes de pasar por el biofiltro.

Y= medición después de tratar por el biofiltro.

P= probabilidad de que exista cambio significativo ( $P < 0,05$ ).

H<sub>0</sub> : (i) Probabilidad de presencia de *Salmonella* es de 100%

$$[(P(X < Y) = P(X > Y))]$$

(ii) No existe diferencia significativa entre los tratamientos

$$[P(+) = P(-)]$$

H<sub>1</sub> : (i) Probabilidad de reducción de presencia de *Salmonella*

$$[P(+) > P(-)]$$

(ii) Probabilidad de presencia de *Salmonella* es de 0% [  $P(+) < P(-)$  ]

(iii) Existe diferencia significativa entre los tratamientos [  $P(+) \neq P(-)$  ]

Los supuestos que debe cumplir la muestra son:

1. La muestra es aleatoria a su selección
2. Hay independencia al interior de la muestra
3. La escala de medición es al menos ordinal

Los resultados de las pruebas estadísticas para las muestras del biofiltro y biofiltro + radiación ultravioleta (UV) se muestran en la Tabla 4:

<b>Tratamiento</b>	<b>Test de Signos</b>
<b>Biofiltro</b>	$P < 0,034$
<b>Biofiltro + UV</b>	$P < 0,016$

\*  $P < 0,05$  para que sea significativa

Estos datos calculados en el Anexo II nos indican que existe diferencia significativa en el tratamiento antes y después de pasar por el lombrifiltro, lo que demuestra la capacidad del Sistema Tohá de remover o inactivar organismos patógenos como la *Salmonella* y los coliformes fecales. Hay que considerar que las pruebas que se efectuaron fueron cualitativas, y sólo demuestran presencia/ausencia de *Salmonella*.

En el caso del tratamiento completo (biofiltro + UV), en el 80% de los casos se encontró ausencia de *Salmonella*. Para lograr un 100% de inactivación de *Salmonella*, habría que irradiar por un mayor tiempo. También sería necesario la cuantificación. El resultado obtenido del tratamiento se puede atribuir a factores de temperatura, concentración de microorganismos en la muestra, profundidad y tiempo de irradiación en la cámara de radiación ultravioleta.

Según los requerimientos bacteriológicos exigidos por la OMS y la norma Chilena NCH 1.333 de agua de uso para riego, las aguas tratadas con el Sistema Tohá cumplen con ambas normas para el criterio de coliformes totales y fecales, y puede ser utilizado en el tratamiento de aguas residuales domésticas para posterior reuso en riego o procesos industriales (Ver Anexo 1 Tabla I.4 y Tabla I.8).

Para la *Salmonella* se hace necesario realizar pruebas cuantitativas para determinar el cumplimiento de las directrices de la OMS.

Para determinar la eficiencia en la remoción de otros parámetros de calidad de agua, se hicieron tres análisis los días 2, 11 y 26 de septiembre, de las aguas servidas del Zanjón de la Aguada y de las aguas tratadas con el Sistema Tohá.

En la Tabla 5 se presentan los datos promedio de la información de calidad de agua del Zanjón de la Aguada tomados los días 2,11 y 26 de septiembre de 2002:

**Tala 5. Resultado total de análisis de aguas servidas del Zanjón de la Aguada tomados el 2,11 y 26 de septiembre del 2002**

Parámetros	Crudo	Tratada <sup>#</sup>
DQO, mg/l	689	126
DBO <sub>5</sub> mg/l	347	14,70
ST, g/l	1,390	1,514
STV, g/l	0,612	0,647
STF, g/l	0,763	0,739
SST, g/l	0,30	0,011
SSV, g/l	0,107	0,006
SSF, g/l	0,215	0,005
N Kjeldhal, mg N/l	22,96	6,88
N amoniacal, mg N/l	33,60	13,20
Nitrito mg N/l	0,017	0,101
Nitrato mg/ N/l	0,353	11,05
Fósforos, mg P/l	8,39	7,95
pH	6,86	4,67
% de Transmitancia(550 nm)	26,25	93,70
Coliformes fecales NMP/100 mL	1,1 x 10 <sup>7</sup>	1,1 x 10 <sup>0</sup> <sup>#</sup>

<sup>#</sup>biofiltro + UV

A partir de estos datos calculamos el porcentaje de eficiencia del Sistema Tohá informado en la Tabla 6:

<b>Párametro</b>	<b>Eficiencia del Sistema Tohá (%)</b>
DQO	82
DBO <sub>5</sub>	95,77
SST	96,3
SSV	94,39
SSF	97,67
N Kjeldhal	70,03
Fósforos	4,10

Los datos demuestran la eficiencia del Sistema en la remoción de un 96% de la DBO<sub>5</sub>, y SST, y una reducción de seis unidades logarítmicas de 10<sup>7</sup> a 10<sup>0</sup> de coliformes totales y fecales, y para nitrógeno y fósforo el porcentaje de eficiencia es de 70%, lo cual cumple con la normativa chilena vigente de calidad de agua para el uso en riego NCH 1.333 y el Decreto 90 para descarga de riles a aguas costeras, superficiales y continentales (Anexo I Tabla I.3).

## **5. 2. Evaluación ambiental**

### **5.2.1. Análisis costo efectividad**

El análisis costo-efectividad es una herramienta económica para evaluar la factibilidad de un proyecto en términos económicos y es la primera parte de un análisis de costo-beneficio. Este análisis se puede utilizar junto con el principio equimarginal, al comparar tecnologías para reducción de emisiones (Field, 1995).

Los criterios en que se basa este estudio para el análisis costo-efectividad de cada una de las plantas son:

- ◆ Cumplimiento de las normas chilenas vigentes con respecto a las emisiones y calidad de agua para uso en la agricultura (NCH 1.333 y Decreto 90), y con respecto a los parámetros de demanda bioquímica de oxígeno(DBO5), sólidos suspendidos totales (SST), y coliformes totales y fecales.

- ◆ Igualar la capacidad de tratamiento de ambas plantas (14,000 habitantes).
- ◆ Considerar los costos de la inversión total de cada planta (costos de instalación, operación y mantenimiento).

En la Tabla 7; se describen los costos totales en millones de pesos para ambas plantas. Los datos desglosados de cada ítem se presentan en el Anexo II, Tabla II.1.

	Planta de Tratamiento	
	El Melón	San José de Maipo
<b>Habitantes</b>	14,000	14,000
<b>Consumo de agua potable L/hab/día</b>	204	278
<b>Caudal m<sup>3</sup>/día</b>	2,558	3,528
<b>Costo de inversión total M\$</b>	272,787*	2,303,911
<b>Costos de operación M\$/año</b>	12,919	52,610
<b>Costos de mantenimiento M\$/año</b>	2,255	14,182

\*no incluye el terreno  
Fuente: Gachon, 1997. Causse, 1998.

Según la Tabla 7 los costos de inversión, operación y mantenimiento son mayores para la planta de San José de Maipo, que la planta de El Melón, y existe una diferencia de aproximadamente M\$ 2,082,742 en la inversión total, entre las dos plantas, tomando en cuenta que la planta de El Melón no considera los costos de compra de terreno en la inversión inicial. Ambos costos de inversión contemplan expansiones a lo largo del tiempo, según la demanda proyectada y los costos de operación y mantenimiento son anuales.

### **5.2.2. Análisis de sustentabilidad**

Según Goodstein (1999), la ecología económica, desde el punto de vista de la sustentabilidad, promueve que cualquier reducción del capital natural debe ser compensado creando un capital que sea capaz de generar un flujo comparable de servicios ambientales. Para el bienestar de las generaciones futuras, los gobiernos deben comprometerse a promover programas que equilibren el crecimiento y patrón de consumo de la población que deterioran la disponibilidad del capital natural. A pesar que los ecologistas ven límites en la solución tecnológica, los gobiernos deben promover políticas y tecnologías limpias como estrategias a corto plazo.

La gestión de los recursos hídricos busca entre sus objetivos lograr el manejo sustentable del recurso, disminuyendo la presión sobre el medio ambiente, a través de la utilización de alternativas tecnológicas como el tratamiento de aguas residuales para el reuso y reciclaje del agua.

El Sistema Tohá se diferencia de los sistemas tradicionales de tratamiento de aguas residuales, principalmente por sus características de ser un tratamiento ecológico, ya que no utiliza químicos durante el tratamiento de las aguas y sus productos secundarios son vapor de agua, CO<sub>2</sub> y humus, por lo que no contamina el ambiente. Este sistema es una alternativa a los sistemas convencionales de lodos activados.

Para el análisis de sustentabilidad nos basaremos en los criterios de eficiencia energética de cada sistema, analizando los componentes de operación como gasto de energía, producción de desechos, cantidad y tipo de insumos consumidos, para ver sus efectos en el medio ambiente y sustentabilidad en el tiempo.

En la Tabla 8, se describen los diferentes factores considerados en el análisis comparativo para determinar la sustentabilidad ambiental de ambas plantas de tratamiento de aguas servidas.

**Tabla 8. Parámetros de las plantas de tratamiento El Melón y San José de Maipo**

	Plantas de tratamiento	
	El Melón <sup>ab</sup>	San José de Maipo <sup>c</sup>
Area instalada hectáreas	0,8	1
Habitantes	14,000	14,000
Consumo de agua potable L/hab/día	204	278
Aguas servidas QmL/s	30,7	39,92
Caudal medio Qm L/s	29,75	39,92
Caudal Máximo Qmax L/s	83,3	114,33
Personal para operación	3	3
Carga orgánica kg/día	558	548
DBO <sub>5</sub> mg/l	22,0	25,0
Coliformes NMP/100	10 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup>
Producción SST mg/L	26	20
Producción de lodos ton/año <sup>#</sup>	##	311,27
Polímero kg /m <sup>3</sup>		45,71
Consumo de energía kw/h/año	177,729	1,331,500
Desinfección UV <sup>###</sup>	57,464	
Consumo de energía		
Desinfección Cloro kg/día		190

<sup>#</sup> Lodos secos 50% de humedad

<sup>##</sup> Produce humus

<sup>###</sup> 4 lámparas

Fuente :

- Garchon Jerez F. 1997. Declaración de Impacto Ambiental de la ampliación de la planta de tratamiento de aguas servidas El Melón.
- Fundación para la Transferencia tecnológica. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile. 2002. Cálculos de costos incrementales de la planta de tratamiento de El Melón.
- Causse ingeniería, Ingenieros Civiles Asociados. 1998. Evaluación Económica. Planta de Aguas Servidas, localidad San José de Maipo, Tomo I-IV y Tomo VI-VII.

Según los resultados de la Tabla 8, la planta de El Melón presenta datos menores que la planta de San José de Maipo en los ítems de cantidad y uso de insumos y los gastos de energía incurridos para el desempeño de las plantas, cumpliendo con los criterios establecidos en la normativa ambiental para la descarga de aguas servidas en los cuerpos de agua continentales y superficiales, y la utilización de agua para riego agrícola.

En la comparación sobre requerimientos para la operación de la planta, ambas utilizan el mismo número de operarios, en turnos rotativos para la operación y control de la planta, lo que iguala la eficiencia y automatización de los procesos.

En la utilización de insumos, la planta de El Melón requiere entre sus insumos para el tratamiento de aguas servidas, la tecnología de radiación ultra violeta (UV), lo que incrementaría en un 30% el total de los gastos de energía y, además, la utilización de aserrín para mantener la eficiencia de los biofiltros. La planta de San José de Maipo utiliza entre sus insumos para la operación de la planta: polímeros para el tratamiento de lodos, cal, floculantes, cloro para la desinfección final del efluente y agua potable en algunas partes del proceso la cual es recirculada al sistema de tratamiento.

Al comparar los gastos de energía e insumos, la planta de El Melón utiliza menos insumos que la planta de San José de Maipo; pues a pesar de que utiliza radiación ultravioleta para la desinfección, sus gastos de energías no superan a la de San José. Los insumos en que incurre la planta de El Melón son en reposición de virutas y lombrices para el biofiltro y el cambio cada cierto tiempo de las lámparas UV, lo que está ligado a la eficiencia y rendimiento del mismo. En la planta de San José de Maipo la utilización de insumos es básicamente en el proceso de desinfección con cloro aproximadamente 190 kg/día, y para el tratamiento de los lodos utilizando polímeros 45,71 kg/día para tratar una producción de lodos de 311,27 ton/año.

En relación con la generación de productos secundarios del tratamiento la Planta de San José de Maipo tiene una generación de lodos de 311,27 ton/año, los que requieren tratamiento y disposición final para su manejo. La planta El Melón produce humus, producto orgánico con ventajas ecológicas y con diferencias significativas con los lodos producidos por el tratamiento de lodos activados. Dentro de la operación y mantenimiento de la planta no hay datos sobre la cantidad de humus producida por la misma, inclusive según datos obtenidos del funcionamiento de plantas similares, no existen antecedentes de manejo y disposición de humus en un período de operación de tres años.

En el Anexo II, en la Tabla II.2; se pueden comparar algunas características generales del humus y de lodos de desecho.

Con relación al consumo de energía, la planta de El Melón, consume 177,729 kW/h/año, más los 57,464 kW/h/año por la desinfección con UV haciendo un total de 235,193 kW/h/año, en comparación con la planta de San José de Maipo que consume 1,331,500 kW/h/año. Estos datos nos demuestran la sustentabilidad del Sistema Tohá, con respecto a la eficiencia energética durante los procesos ( Ver Tabla 8).

### **5.2.3. Beneficios ambientales del tratamiento de aguas servidas por el Sistema Tohá.**

La utilización del Sistema Tohá para el tratamiento de aguas servidas tiene impactos positivos en la calidad de las aguas que se vierten a los cuerpos de agua, ya que este tratamiento disminuye la carga orgánica y la presencia de organismos patógenos. Esto se debe a que el Sistema Tohá se encuentra diseñado para el cumplimiento de la norma de utilización de agua apta para riego (Norma Chilena 1.333), lo que significa una colimetría fecal menor a 1000 NPM/100 mL.

Lo anterior es importante porque disminuye el impacto a los ecosistemas acuáticos, sobre todo en aquellos que son sensibles.

El Sistema Tohá, es un sistema ecológico ya que no utiliza químicos durante su proceso, y no genera residuos que necesiten posterior tratamiento; en su lugar produce humus que puede ser utilizado como fertilizante, lo que provee una fuente adicional de nutrientes para uso agrícola.

Además, este sistema de tratamiento, a diferencias de las plantas de tratamiento convencionales, no genera ruidos ni produce olores porque los procesos son dinámicos y los tiempos de retención mínimos (no mayor a 6 horas). Además su construcción contempla un área de amortiguamiento.

El Sistema Tohá también tiene el beneficio ambiental de poder ser utilizado para el riego de lugares desérticos y disminuir los impactos en las napas freáticas.

### **5.2.3.1. Beneficios sociales**

La calidad de agua producto de las descargas de aguas residuales en los cuerpos receptores, puede ser medida a través de indicadores físicos, químicos y biológicos. El deterioro de su calidad puede afectar el uso de estos cuerpos de agua.

La utilización del Sistema Tohá como alternativa para el tratamiento de aguas servidas, trae beneficios sociales en el mejoramiento de la calidad de las aguas que son utilizadas para diferentes usos, entre los cuales podemos mencionar el agua extraída para uso industrial, abastecimiento municipal de agua y riego, o el uso de los cursos de agua para la producción pesquera y recreación.

Se definen beneficios ambientales en la disminución de los impactos en la calidad del agua, como son: la disminución de la carga orgánica a los cuerpos receptores, la mitigación de los ruidos y olores posibles producidos por las operaciones de plantas de tratamiento convencionales. El Sistema Tohá cumple con estas características por lo que todo esto se traduce para las comunidades donde se encuentra instalado, en beneficios en los temas de salud con la disminución de enfermedades gastrointestinales; la disminución en la proliferación de vectores; el mejoramiento de la calidad de las aguas para diferentes usos como la recreación, pesca, riego de cultivos agrícolas; mejor calidad de agua para sostener los ecosistemas acuáticos, etc.

### **5.2.3.2. Beneficios económicos**

Los beneficios económicos de la utilización del Sistema Tohá para el tratamiento de aguas servidas, se pueden medir a través de los beneficios asociados al mejoramiento de la calidad del agua. La estimación de los beneficios de la calidad del agua, se realiza determinando el valor monetario que le da la gente a los impactos como el mejoramiento de la calidad de las aguas para recreación, incremento en la producción pesquera y la disponibilidad de ciertos tipos de peces, por ejemplo.

Basándose en este análisis, hay una buena teoría desarrollada para el valor económico sobre la disposición a pagar por el beneficio recibido y la disponibilidad a pagar

(Goodstein, 1999; Kneese, 1962). Esta teoría provee el número aproximado de estimación de valores en diferentes circunstancias.

Algunos beneficios económicos que se pueden derivar de la utilización del Sistema Tohá para el tratamiento de aguas servidas son: la disminución de los costos del tratamiento de agua servidas, el aumento de la producción agrícola que utiliza agua tratada en el riego y exportación de productos que cumplen con la normas sanitarias sin incurrir en riesgo de la salud; y la introducción de la reutilización de los recursos hídricos para su mejor aprovechamiento de manera sustentable en el tiempo.

## 6. CONCLUSIONES

- El análisis cualitativo de remoción de *Salmonella*, demostró que la utilización de la tecnología de lombrifiltro llamado “Sistema Tohá”, resulta ser un sistema eficiente. Aplicando una adecuada dosis de UV, se puede lograr una remoción total de organismos patógenos como *Salmonella*, de importancia de salud pública.
- El Sistema Tohá se considera un sistema ecológico para el tratamiento de aguas servidas domésticas que pueden ser reusadas en agricultura y en la industria, por sus bajos costos de implementación, operación y mantenimiento, comparado con otros sistemas de tratamiento convencionales como las zanjas de oxidación.
- La utilización del Sistema Tohá para el tratamiento de aguas servidas domésticas resultó ser efectivo en un 95% en la remoción de DBO<sub>5</sub> y reducción de 6 unidades logarítmicas en coliformes fecales y totales, un 80% de eficiencia en sólidos suspendidos totales (SST) y un 70% en nitrógeno y fósforo, por lo que cumple con los parámetros de calidad de agua establecidos en la Norma Chilena CHN 1.333, para uso en riego de cultivos agrícolas.
- El Sistema Tohá removió la *Salmonella* en un 80% de las muestras.
- Estos resultados son cualitativos lo que sólo indica presencia/ausencia de *Salmonella* en cierto porcentaje por lo que es necesario un análisis cuantitativo para verificar el cumplimiento de las directrices de la OMS.
- Al comparar las plantas de tratamiento de El Melón que utiliza el Sistema Tohá y la de San José de Maipo que utiliza la zanja de oxidación, se puede concluir que ambas tecnologías cumplen con los requisitos de calidad de aguas establecidos por la normativa chilena y la Organización Mundial de la Salud, para la descarga a los cuerpos de agua y uso de agua para riego de cultivos agrícolas. Al comparar los costos de implementación, operación y mantenimiento de ambas plantas, la de El Melón resulta ser más económica en términos de inversión y costos de operación

y mantenimiento con un total de M\$ 287,961, con relación a la de San José de Maipo con un total de M\$ 2,370,703, considerando que la primera no incluye los costos de compra del terreno.

- La utilización del Sistema Tohá, con tecnología de lombrifiltro y desinfección con radiación ultravioleta, resultó ser más sustentable que las zanjas de oxidación y desinfección con cloración tanto en términos económicos y ambientales por la disminución de la utilización de insumos y producción de desechos al ambiente.
- El Sistema Tohá al nivel de escala de tratamiento de aguas residuales ha demostrado ser eficaz y operativo en plantas de tratamiento de pequeñas y mediana escala.

## **7. RECOMENDACIONES**

- El resultado de este estudio demuestra la sustentabilidad de la tecnología de lombrifiltración con radiación ultravioleta para el tratamiento de aguas residuales por lo que se recomienda la utilización de este sistema para el tratamiento de aguas domésticas. La empresa Aguas Andinas S.A. ha hecho pruebas experimentales con este sistema y está considerando la posibilidad de usar el Sistema Tohá para pequeñas poblaciones urbanas en localidades de la Región Metropolitana.
- Se recomienda la realización de pruebas cuantitativas para determinar la eficiencia del sistema en la remoción de *Salmonella* y de otros organismos patógenos como helmintos y giardias de importancia de salud pública, sobre todo si las aguas tratadas son reusadas en riego de cultivos agrícolas.

## BIBLIOGRAFÍA

- AGUAS ANDINAS. 2002. [ en línea ]. <<http://aguasandinas.cl/21hombreynat.html>> [Consulta: en línea el 4 de septiembre de 2002].
- AMBAR-CONSULTORA E INGENIERÍA AMBIENTAL. 1999. Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto de la Planta de Tratamiento de Aguas Servidas de San José de Maipo. Empresa de Grupo Arze, Reciné y Asociados. Santiago, Chile.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION/ AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION/ WATER(AWWA-APHA). 1992. Standard methods for the examination of water and wastewater. 18<sup>th</sup>. Ed., Environment Fed., Washington D.C, USA.
- BITTON G. 1999. Wastewater microbiology. 2<sup>nd</sup> Ed. J.Wiley-Liss. N.Y.
- BROWN F., E. y SALDIVIA M., J. 2000. Informe nacional sobre la gestión del agua en Chile.
- CABELLI V.J., A.P. DUFOUR, L.J. MCCABE, and M.A. LEVIN.1982. Swimming-associated gastroenteritis and water quality. American Journal of Epidemiology Vol. 115, 606-616p.
- CABELLI V.J. 1983. Microbiological water quality for bathing: Epidemiological Studies. JWPCF 10<sup>TH</sup> Edition (55):1306-1314.
- CASTILLO G. 2001. Diplomado en Medio Ambiente: Calidad microbiológica del agua. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Escuela de Postgrado.
- CAUSSE INGENIERÍA, INGENIEROS CIVILES ASOCIADOS, LTDA. 1998. Planta de tratamiento de aguas servidas de San José de Maipo: Evaluación Económica. EMOS, S.A. Proyecto Tomo VI-VI.
- CAUSSE INGENIERÍA, INGENIEROS CIVILES ASOCIADOS, LTDA. 1998. Planta de tratamiento de aguas servidas de San José de Maipo: Evaluación Económica. EMOS, S.A. Proyecto Tomo I-VI.
- CHERRY, W.B.; HANKS, J.B; THOMASSON, B.M; MURLIN A.M; BIDDLE, J.W; CROOM, J.W. 1972. Salmonella as an index of pollution of surface waters. Applied Microbiology (24): 334.
- CHILE SUSTENTABLE. 2002. Disponibilidad y uso sustentable del agua en Chile. [ en línea ]. <<http://www.ciedperu.org/agualtiplano/revista/art4.htm>> [Consulta: en línea el 19 de julio de octubre de 2002].

- ELMUND, K.; M. J. ALLEN; and E. RICE. 1999. Comparison of *Escherichia coli*, total coliform and fecal coliform populations as indicators of wastewater treatment efficiency. *Water Environment Research, Alexandria*, (71) 3: 332p.
- EPA. 1986. Summary Report: Sequencing batch reactor. U.S. Environmental Protection Agency. Cincinnati, Ohio: Technology transfer Report EPA. 625-876.
- EPA. 2002. Water recycling: Region 9 water programs. U.S. Environmental Protection Agency. [www.epa.gov/region9/water/recycling/index.htm](http://www.epa.gov/region9/water/recycling/index.htm). [Consulta el 10 de agosto de 2002].
- FIELD, B. 1995. *Economía ambiental: Una introducción*. McGraw-Hill Interamericana, S.A. 587p.
- FEACHMEN R.G. 1983. *Sanitation and disease: Health aspects of excreta and wastewater management*. John Wiley Chichester.
- FREEMAN, A, MYRICK. 1982. *Air and water pollution control a benefit-cost assessment*. New York: Wiley. 186 p.
- FOSTER, J.W; and SPECTOR, M. 1995. How *Salmonella* survive against the odds. *Annual Review Microbiology*, (49):145-174 .
- FUNDACIÓN PARA LA TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA. FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS, UNIVERSIDAD DE CHILE. 2002. Cálculos de costos incrementales de la planta de tratamiento de El Melón.
- GACHON J., F. 1997. Declaración de Impacto Ambiental de la Ampliación de la Planta de tratamiento de aguas servidas El Melón.
- GLYNN, H.J.; y HEINKE, G.W. 1999. *Ingeniería Ambiental*. Edición 2<sup>da</sup> . Prentice Hall Hispanoamericana; S.A. pág. 778.
- GYNN, JR. y PALMER, S.R. 1992. Incubation period, severity of disease, and infection dose: evidence from *Salmonella* outbreak. *American Journal of Epidemiology*, 11 (136): 1369-1371.
- GOODSTEIN, E.S. 1999. *Economics and The Environment*. Second Edition, Prentice-Hall Inc. 479p.
- HERNÁNDEZ M., AURELIO. 2001. *Depuración y desinfección de aguas residuales*. Madrid, Colegio de Ingeniería de Caminos, canales y puertos. 1151p.
- HUAMAN C.M.; y LAZCANO CARREÑO, C.1999. Trabajo de Investigación: desinfección de efluentes de agua de desecho y potable con el sistema Trojan UV 300 PTP. SEDAPAL-LA ATARJEJA-LIMA PERU. Laboratorio de Biología y Desinfección.(información electrónica).

- INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN (INN). 1987. Norma Chilena 1.333. Requisitos de Calidad de agua para Diferentes Usos. 30p.
- INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN (INN). 1995. Decreto Supremo N°90. 30p.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA (INE). 2002. [ en línea ]. S. <<http://www.ine.cl>> [Consulta: en línea el 11 de octubre de 2002].
- KABLER P. 1959. Removal of pathogenic microorganisms by sewage treatment processes. *Sewage and Wastes* (31):1373.
- KNEESE, A.L. 1962. *Water Pollution: economic aspects and research needs*. Washington, Resources for the Future. 107p.
- LA CIENCIAS ECOLÓGICAS. 2001. Cadenas, redes y pirámides. (en línea) <[http://www.members.es.tripod.de/ecoweb/cienc\\_cadenas.html](http://www.members.es.tripod.de/ecoweb/cienc_cadenas.html)> [Consulta: en línea el 30 de noviembre de 2001].
- LAY-SON, MEILING. 2002. *La Lombrifiltration comme technologie d'épuration des eaux usées*. Doctorado en Ciencias del agua en el medio ambiente continental. Universidad de Montpellier II.
- LESTER, W. SINTON, CAROLLYN H. HALL PHILLIPS A. LYNCH, y ROBERT J. DAVIES-COLLEY. 2002. Sunlight inactivation of fecal indicator bacteria and bacteriophages from waste stabilization pond effluent in Fresh and saline waters. *Applied And Environmental Microbiology*, 3(68):1122-1131.
- MAHBOOB, A.; QUERESHI and QUERESHI, A.A. 1990. Efficiency of removal of coliforms, faecal coliforms and coliphages in the tubli sewage treatment plant, bahrain. *Water Research*, 12(24):1459-1461.
- MATUS L., N. Y. y. CAVIERES S. 2000. Descarga de residuos líquidos industriales a cursos de aguas superficiales y su impacto en el medio ambiente y la salud: Estudio de Caso del Estero las Cruces, Comuna de Pudahuel, Santiago Chile. XXVII Congreso Internacional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. 10p.
- MCFETERS, G.A; SHILLINGER, J.E.; y STUART, D.G. 1978. Alternative indicators of water contamination and some physiologic characteristics of heterotrophics bacteria in water. In *Evaluation of the Microbiology Standards for Drinking Water*. EPA.570/7800C, U.S. EPA, Washington D.C, 37p.
- MCJUNKIN F.E. 1988. *Agua y salud humana*. OPS/OMS. Edición Limusa México.
- OPPENHEIMER. 1996. En: HERNANDEZ M., AURELIO. 2001. *Depuración y desinfección de aguas residuales*. Madrid, Colegio de Ingeniería de Caminos, canales y puertos. 1151p.

- ORGANIZACION MUNDIAL DE LA SALUD (OMS). 1997. Directrices sanitarias sobre el uso de aguas residuales en agricultura y acuicultura. [ en línea ]. Guía técnica, CEPIS-OPS.  
<<http://www.cepis.org.pe/eswww/fulltext/aguresi/direc/direct.html>> [Consulta: en línea el 31 de octubre de 2002].
- ORGANIZACION MUNDIAL DE LA SALUD. 1999. Agua y Salud. Organización Panamericana de la Salud, Oficina Regional para Europa. 19p.
- ORGANIZACION MUNDIAL DE LA SALUD. 2000. Informe Global de Evaluación de Agua. Organización Panamericana de la Salud.
- PEPPER I.L., GERBA P.G. and BRUSSEAU M.L. 1996. Pollution Science. Academic Press.
- REED S.C., E.J. MIDDLEBROOKS, y R.W. CRITES, 1987. Natural Systems for Waste Management and Treatment, McGraw-Hill, N.Y.  
<<http://www.waterrecycling.com/biblio.html>> [Consulta: en línea el 6 de marzo de 2002].
- SAÉNZ, R. 2002. Introducción y uso de aguas residuales en Agricultura y Acuicultura. Textos Completos. CEPIS-OPS/OMS.
- SOTO, M.A.; and J.TOHÁ. 1998. Ecological Wastewater Treatment. In: Congreso Internacional: WT98-Advanced Wastewater treatment. Recycling and Reuse Milano , Italia 14:16, Sept. pp. 1091-1094.
- SONNTANG y SCHUCHMANN. 1992. En: Hernández M., Aurelio. 2001. Depuración y desinfección de aguas residuales. Madrid, Colegio de Ingeniería de Caminos, canales y puertos. 1151p.
- VALENCIA Z., P. 2001. Tesis. Estudio de tratamiento de aguas servidas en base a sistemas combinados de lombrifiltro y abatimiento microbial. Memoria de Ingeniero, Santiago, Universidad de Chile, Facultad de Ingeniería, 82p.
- VIESSMAN, W. JR. and HAMMER, M.J. 1993. Water Supply and Pollution Control, 5ª. Ed. New York; Harper Collins
- WATIER, L., S. RICHARDSON y B. HUBER. 1993. Salmonella enteritis infection in France and United States: Characterization by a deterministic Model. American Journal of Public Health, 12 (83):1694-1700.
- WHITE, S. 1997. In: Lay S, Meiling. 2002. La Lombrifiltration comme technologie d'épuration des eaux usées. Doctorado en Ciencias del agua en el medio ambiente continental. Universidad de Montpellier II.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). 1993. Guidelines for Drinking-Water Quality. (1): 95.

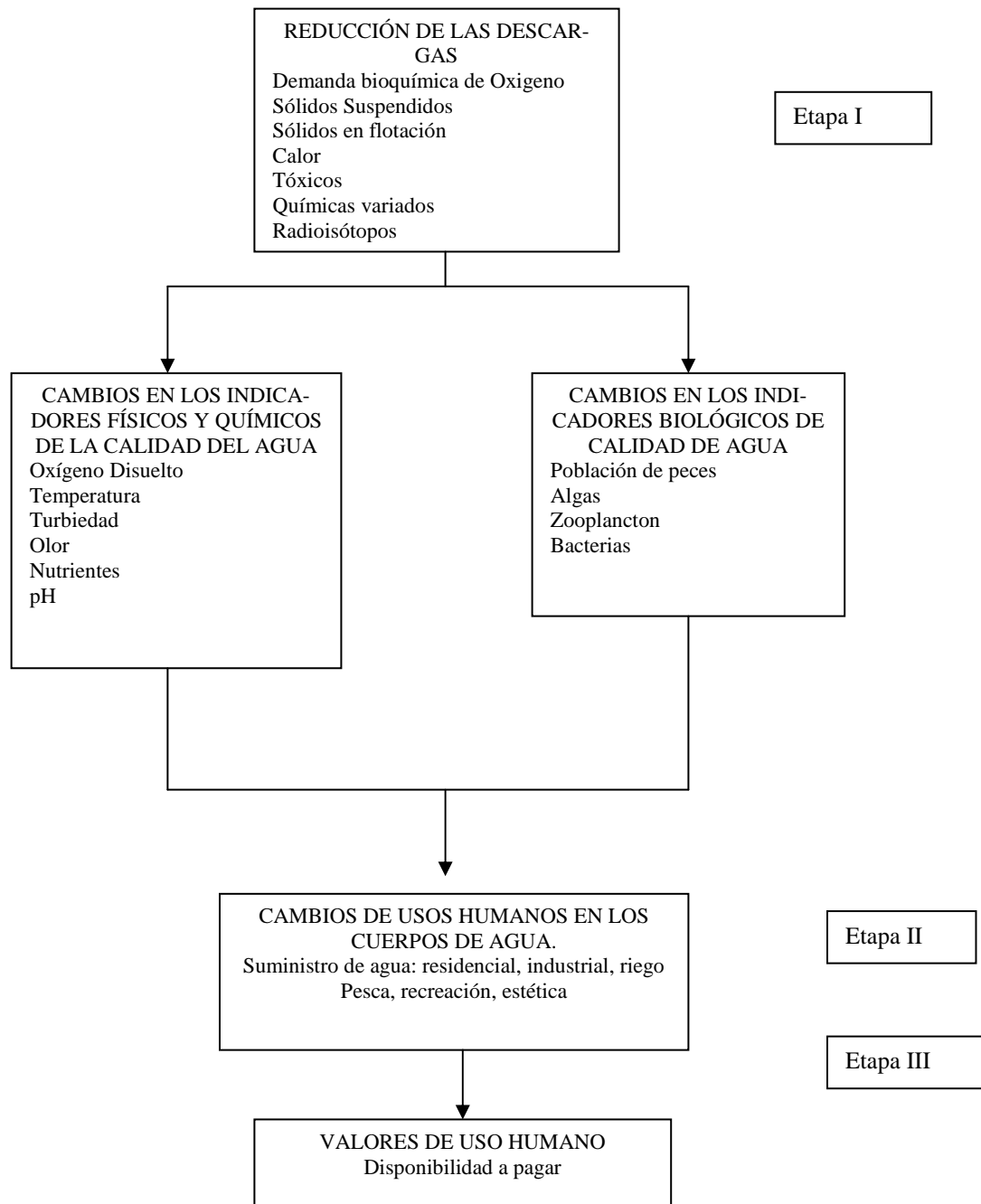
# **ANEXO I**

### **A.I.1. Efectos del mejoramiento de la calidad de las aguas según la teoría de Freeman 1982**

Las dos principales categorías de efectos, son aquellos que operan a través de los mecanismos biológicos (salud, y como vemos a otros organismos); y aquellos que no percibimos.

Efectos en los Seres Vivos ( Envuelve mecanismos biológicos).

1. Salud Humana (no mercado):
    - a) mortandad
    - b) morbilidad
  2. Productividad Económica de los Sistemas Ecológicos (mercado):
    - a. agricultura pesca comercial
    - b. forestal
    3. Otros efectos de sistemas ecológicos afectando directamente las actividades humanas ( no mercado):
      - a. pesca deportiva
      - b. caza
      - c. observación de la fauna
      - d. recreación acuática
      - e. jardinería y paisajismo
      - f. paisaje comercial, institucional, y público ( en los cuales, el efecto de mercado se refieren al grado que los precios de mercado o cargas fiscales se reducen).
    4. Efectos de sistemas ecológicos que no afectan directamente los humanos (no mercado).
      - a. diversidad de especies
      - b. estabilidad de los ecosistemas.
- Efectos en los Sistemas no Vivientes.
1. Productores (mercado):
    - a. daño a materiales, por ejemplo corrosión
    - b. suelo
    - c. reducción de la calidad de producción
  2. Domésticos (no mercado):
    - a. daño a materiales
    - b. suelo
  3. Cambios en el clima y el tiempo ( no mercado):
    - a. visibilidad
    - b. tranquilidad.



Fuente: Freeman, A. 1982. Air and Water Pollution control a benefit-cost assesment.

**Figura I.1. Producción de beneficios ambientales por el mejoramiento de la calidad del agua.**

**Tabla I.1. Características epidemiológicas básicas de los agentes patógenos excretados, clasificados según su forma de transmisión en el medio ambiente.**

Agente Patógeno	Carga excretada <sup>a</sup>	Latencia <sup>b</sup>	Persistencia <sup>c</sup>	Multiplicación Fuera del huésped humano	Dosis infectiva media (DI <sub>50</sub> ) <sup>d</sup>	Inmunidad importante (?)	Reservorio no humano Importante (?)	Huéped intermedio
<b>Categoría I</b>								
Enterovirus <sup>a</sup>	10 <sup>7</sup> (?)	0	3 meses	No	B	Sí	No	Ninguno
Virus de la hepatitis A	10 <sup>6</sup> (?)	0	(?)	No	B(?)	Si	No	Ninguno
Rotavirus	10 <sup>6</sup> (?)	0	(?)	No	B(?)	Si	No(?)	Ninguno
<i>Balantidium coli</i>	(?)	0	(?)	No	B(?)	No (?)	Si	Ninguno
<i>Entamoeba histolytica</i>	10 <sup>5</sup>	0	25 días	No	B	No(?)	No	Ninguno
<i>Giardia lamblia</i>	10 <sup>5</sup>	0	25 días	No	B	No (?)	Si	Ninguno
<i>Enterovirus vermicularis</i>	De ordinario no se encuentra en las heces	0	27 días	No	B	No	No	Ninguno
<i>Hymenolapis nana</i>	(?)	0	1 mes	No	B	Si(?)	No(?)	Ninguno
<b>Categoría II</b>								
<i>Campylobacter letus spp jejuni</i>	10 <sup>7</sup>	0	7 día	Si <sup>i</sup>	A(?)		Si	Ninguno
<i>Echerichia coli</i> patógena <sup>8</sup>	10 <sup>8</sup>	0	2 meses	Si <sup>i</sup>	A	Si	No	Ninguno
Salmonella								Ninguno
S. tify	10 <sup>6</sup>	0	2 meses	Si <sup>i</sup>	A	Sí	No	Ninguno
Otras salmonela	10 <sup>8</sup>	0	3 meses	Si <sup>i</sup>	A	No	Si	Ninguno
Shigella spp	10 <sup>7</sup>	0	1 mes	Si <sup>i</sup>	M	No	No	Ninguno
<i>Vibrio cholerae</i>	10 <sup>7</sup>	0	1 mes(?)	Si	A	Si (?)	No	Ninguno
<i>Yersenia enterocolitica</i>	10 <sup>5</sup>	0	3 meses	Si	A (?)	No		

Continúa..

Continuación Tabla I.1. Características epidemiológicas básicas de los agentes patógenos excretados, clasificados según forma de transmisión en el ambiente								
Agente Patógeno	Carga Excretada <sup>a</sup>	Laten- cia <sup>b</sup>	Persistencia <sup>c</sup>	Multiplicación Fuera del Huésped huma- no	Dosis infectiva media (DI <sub>50</sub> ) <sup>d</sup>	Imunidad importante (?)	Reservorio No humano Importante (?)	Huéped intermedio
<b>Categoría III</b>								
<i>Ascaris lumbricoides</i>	10 <sup>4</sup>	10 días	1 año	No	B	No	No	Ninguno
<i>Anquistosomas</i> "	10 <sup>2</sup>	7 día	3 meses	No	B	No	No	Ninguno
<i>Strongyloides stercoralis</i>	10	3 días	3 semanas mucho más si están en una etapa que pueden sobrevivir solo en el medio 9 meses	Si	B	Si	No	Ninguno
<b>Categoría IV</b>								
Trichuris	10 <sup>3</sup>	20 días	9 meses	No	B	No	No	Ninguno
<i>Taenia saginata</i> y <i>Taenia Solium</i>	10 <sup>4</sup>	2 meses	9 meses	No	B	No	No	La vaca(T. Saginata) el cerdo (t.solium)
<b>Categoría V</b>								
<i>Clonorchis sinensis</i>	10 <sup>2</sup>	6 meses	Vida del pez	Si <sup>e</sup>	B	No	Si	Caracol y peces
<i>Diphyllobothrium latum</i>	10 <sup>4</sup>	2 meses	Vida del pez	No	B	No	Si	Copépodos y peces
<i>Fasciola hepatica</i>	(?)	2 meses	4 meses	Si <sup>k</sup>	B	No	Si	Caracol y plantas acuáti- cas
<i>Fasciolopsis buski</i>	10 <sup>3</sup>	2 meses	(?)	Si <sup>k</sup>	B	No	Si	Caracol y plantas acuáti- cas
<i>Gastrodiscoides hominis</i>	(?)	2 me- ses(?)	(?)	Si <sup>h</sup>	B	No	Si	Caracol y plantas acuát.
<i>Heterohtyes hete- rophyes</i>	(?)	6 semanas	Vida del pez	Si <sup>h</sup>	B	No	Si	Caracol y peces
<i>Metagonimus yokogawai</i>	(?)	6 semanas (?)	Vida del pez	Si <sup>h</sup>	B	No	Si	Caracol y peces Continúa...

**Continuación Tabla I.1. Características epidemiológicas básicas de los agentes patógenos excretados, clasificados según forma de transmisión en el ambiente**

Agente Patógeno	Carga excretada <sup>a</sup>	Latencia <sup>b</sup>	Persistencia <sup>c</sup>	Multiplicación Fuera del huésped humano	Dosis infectiva media (DI <sub>50</sub> ) <sup>d</sup>	Inmunidad importante (?)	Reservorio no humano Importante (?)	Huéped intermedio
<i>Paragonimus westermani</i>	(?)	4 meses	Vida del cangrejo	no Si <sup>h</sup>	B	No	Si	Caracol, cangrojo o langostino
<i>Schistosoma haematobium</i>	4/mililitro de orina	5 semanas	2 días	Si <sup>k</sup>	B	Si	No	Caracol
<i>S. japonicum</i>	40	7 semanas	2 días	Si <sup>k</sup>	B	Si	Si	Caracol
<i>S. mansoni</i>	40	4 semanas	2 días	Si <sup>e</sup>	B		No	Caracol
<i>Leptospira spp.</i>	Orina (?)	0	7 días	No	B	Si(?)	Si	Ninguno

Fuente: Feachem, F.G. et al. Sanitation and disease: health aspects of excreta and wastewater management, Chichester, John Wiley, 1983. Reproducido con autorización del Banco Mundial-

<sup>a</sup> B a bajo de ( $<10^4$ ) M mediano ( $=10^4$ ), A= ( $>10^5$ ), (?)= dudoso

<sup>b</sup> Promedio típico de microorganismos por gramo de materia fecal (excepto *Schistosoma haematobium* y *Leptospira* que se encuentran en la orina)

<sup>c</sup> Tiempo mínimo crítico desde la excreción hasta la infectividad

<sup>d</sup> Tiempo máximo estimado para la etapa inactiva de 20°C a 30°C

<sup>e</sup> Incluye poliovirus, echovirus y ooxaekievirus

<sup>f</sup> La contaminación ocurre sobre todo en los alimentos

<sup>g</sup> Incluye E. coli enterotoxigena, enteroinvasiva y enteropatógena.

<sup>h</sup> Ancylostomyx duodenale y Necator

<sup>i</sup> La latencia es el tiempo mínimo desde la excreción por el hombre hasta su posible infección. En este caso, la persistencia se refiere al tiempo máximo de supervivencia de la etapa

a infectiva final. El ciclo de vida incluye un huésped intermedio.

<sup>j</sup> La latencia y la persistencia son las de las especies Taenia. El ciclo de vida incluye dos huéspedes intermedios.

<sup>k</sup> La multiplicación ocurre en el caracol huésped intermedio

**Tabla. I.2. Eliminación prevista de microorganismos excretados en varios sistemas de empleo de aguas residuales.**

Proceso de tratamiento	Eliminación (unidades logarítmicas <sub>10</sub> ) de			
	Bacterias	Helmintos	Virus	Quistes
<b>Sedimentación primaria</b>				
Sencilla	0-1	0-2	0-1	0-1
Con ayuda bioquímica <sup>b</sup>	1-2	1-3 <sup>h</sup>	0-1	0-1
Lodo activado <sup>c</sup>	0-2	0-2	0-1	0-1
Biofiltración <sup>d</sup>	0-2	0-2	0-1	0-1
Laguna ventilada <sup>d</sup>	1-2	1- <sup>h</sup>	1-2	0-1
Zanja de oxidación <sup>c</sup>	1-2	0-2	1-2	0-1
Desinfección <sup>e</sup>	2-6 <sup>h</sup>	0-1	0-4	0-3
Estanque de estabilización de desecho <sup>f</sup>	1-6 <sup>h</sup>	1-3 <sup>h</sup>	1-4	1-4
Depósitos de fluentes <sup>g</sup>	1-6 <sup>h</sup>	1-3 <sup>h</sup>	1-4	1-4

a. Fuente: Referencia 2 OMS  
 b. Se necesitan investigaciones más detalladas para confirmar resultados  
 c. Incluida la sedimentación secundaria  
 d. Incluidos los estanques de sedimentación  
 e. Cloración u ozonización  
 f. Los resultados dependen del número de estanques en serie y de otros factores ambientales  
 g. Los resultados dependen del tiempo de retención, que varía con la demanda  
 h. Con un buen diseño y con manejo apropiado es posible cumplir con las directrices recomendadas

**Tabla I.3. Normas chilenas requisitos microbiológicos de calidad de agua.**

<b>Tipo de agua</b>	<b>Código</b>	<b>Parámetro</b>	<b>Requisito de calidad</b>
Fuente de agua potable	NCH 777 Of 71 INN	Coliformes totales	Buena: $\leq 50 / 100$ mL Regular: 50-5000/100 mL Deficiente: $> 5000 / 100$ mL
Agua Potable en el Sistema de Distribución	NCH 409 Of. 84 INN	Coliformes totales Coliformes fecales	$< 5 / 100$ mL* Ausencia
Agua de Riego de Cultivos consumo crudo	NCH 1.333 Of 78 INN	Coliformes fecales	$\leq 1000 / 100$ mL
Agua de recreación contacto primario	NCH 1.333 Of 78 INN	Coliformes fecales	$\leq 1000 / 100$ mL
Agua potable rural Población concentrada	Sendo Ord. 1428/85	Coliformes totales	Control: 2 muestras cada 2 meses recolectadas el mismo día
Agua de piscinas	Ministerio de Salud 1978	Coliformes totales Coliformes fecales	$< 20 / 100$ mL Ausencia
Agua Cultivo de Marisco	Código Sanitario	Coliformes Fecales	70/100 mL

Fuente: Castillo 2001.

**Tabla I.4. Directrices recomendadas sobre la calidad microbiológica de las aguas empleadas en agricultura.**

<b>Categoría</b>	<b>Condiciones de aprovechamiento</b>	<b>Grupo expuesto</b>	<b>Nemátodos intestinales (media aritmética n° de huevos por litro<sup>bc</sup>)</b>	<b>Coliformes fecales(media geométrica n° por 100 ml<sup>e</sup>)</b>	<b>Tratamiento de aguas residuales necesario para lograr la calidad microbiológica exigida</b>
A	Riego de cultivos que comúnmente se consumen crudos, campos de deporte, parques públicos <sup>d</sup>	Trabajadores consumidores público	≤ 1	≤1000 <sup>d</sup>	Serie de estanques de estabilización que permiten lograr la calidad microbiológica indicada o tratamiento equivalente
B	Riego de Cultivos de cereales industriales y forrajeros praderas y árboles <sup>a</sup>	Trabajadores	≤1	No se recomienda ninguna forma	Retención en estanques de estabilización por 8 a 10 días o eliminación equivalente de helmintos y coliformes fecales
C	Riego localizado de cultivos en la categoría B cuando ni los trabajadores ni el público están expuestos	Ninguno	No es aplicable	No es aplicable	Tratamiento previo según lo exija la tecnología de riego por no menos que sedimentación primaria

a En casos específicos, se deberían tener en cuenta los factores epidemiológicos socioculturales y ambientales de cada lugar y modificar las directrices de acuerdo con ello.

b Especies Ascaris y Trichuris y anquilostomas,

c durante el período de riego

d Conviene establecer una directriz más estricta (≤200 coliformes fecales por 100 ml) para prados públicos, como los de los hoteles donde el público puede entrar en contacto directo.

e En casos de los árboles frutales, el riego debe cesar dos semanas antes de cosechar la fruta y ésta no se debe recoger del suelo.

No es conveniente regar por aspersión.

**Tabla I.5. Dosis UV en mWs/cm<sup>2</sup> necesaria para inactivar una población microbiana.**

Microorganismos	Reducción		Microorganismos	Reducción	
	90%	99%		90%	99%
<b>Bacterias</b>			<b>Bacterias</b>		
<i>Bacillus anthracis</i>	4,5	8,7	<i>Coliformes fecales</i>	3,4	6,8
<i>Bacillus subtilis</i> , <i>esporas</i>	12,0	22,0	<i>Salmonella enteri-</i> <i>tis</i>	4,0	7,6
<i>Bacillus subtilis</i>	7,1	11,0	<i>Salmonella para-</i> <i>typhi</i>	3,2	---
<i>Campylobacter je-</i> <i>juni</i>	1,1	---	<i>Salmonella typhi</i>	2,1	---
<i>Clostridium tetan</i>	12,0	22,0	<i>Salmonella tphi-</i> <i>murium</i>	3	---
<i>Corynebacterium</i> <i>diphtheriae</i>	3.4	6.5	<i>Shigella Dysente-</i> <i>riae</i>	2,2	4,2
<i>Echerichia coli</i>	3,0	6,6	<i>Shigella flexneri</i>	1,7	3,4
<i>Klebsiella terrigena</i>	2,6	---	<i>Shigella sonnei</i>	3,0	5,0
<i>Legionella pneu-</i> <i>mophila</i>	0,9	2,8	<i>Staphylococcus</i> <i>aureus</i>	5,0	6,6
<i>Sarcina lutea</i>	20,0	26,4	<i>Streptococcus</i> <i>pyogenes</i>	2,2	---
<i>Mycobacterium tur-</i> <i>beculosis</i>	6,0	10,0	<i>Vibrio cholerae (V.</i> <i>Comma)</i>	---	6,5
<i>Pseudomonas au-</i> <i>riginosa</i>	5,5	10,5	<i>Yersinia Enteroco-</i> <i>lítica</i>	1,1	---
<b>Virus</b>			<b>Virus</b>		
Ms-2 colifagus	18,6	---	Influenza virus	3,6	6,6
<i>F- Bacteriophage</i> <i>especif.</i>	6,9	---	Polio virus	5-8	14,0
Hepatitis A	7,3	---	Rotavirus	6-15	15-14
<b>Protozoarios</b>			<b>Algas</b>		
<i>Giardia lamblia</i>	82,2	---	Verde azuladas	300,0	600,0
<i>Cryptosporidium</i> <i>parvum</i>	80,0	120,0	<i>Chlorella vulgaris</i>	12,0	22,0
<i>Levadura</i>					
<i>Saccharomyces ce-</i> <i>revisiae</i>	7,3	13,2			

Fuente: Hernández 2001

**Tabla I.6. Sistema Tohá en Chile para tratamiento de aguas servidas y residuos industriales líquidos.**

Institución	N° Usuarios	Fecha de inicio	Localidad
Escuela Curacaví	30	1995	V Región
Municipalidad de Peumo Población la Arboleda	600	Enero 1998	VI Región
Centro de Investigación Ayacara	20	Enero 1999	X Región
Empresa AGROZZI	1200	Enero 1999	VII Región
Escuela el Valle Padre Las Casas	60	Marzo 2000	IX Región
Colegio Claret	2000	Agosto 2000	IX Región
Liceo Ambiental José Tohá Ayacara	100	Marzo 2001	X Región
Planta Huatulame	2800	Mayo 2001	IV Región
Empresa CHILOLAC	Riles lácteos 200 m <sup>3</sup> / día; 900 m <sup>2</sup>	Enero 1999	X Región
Empresa AGROZZI	Riles tomates 7.000 m <sup>3</sup> / día; 1.7 ha	Marzo 1999	VII Región
Empresa Carozzi-Nos	300 m <sup>3</sup> / día; 720 m <sup>2</sup>	Agosto 2001	Región Metropolitana
Matadero FRIGOCOL	576 m <sup>2</sup>	Construida	VI Región
Población San Marcelo en Temuco	50 casas	Febrero 2001	IX Región
Escuela Bautista	300	Agosto 2001	IX Región
Escuela 98	300	Diciembre 2001	IX Región
Hospital Maquewa	50	Diciembre 2001	IX Región
Parque residencial Mirador del Valle en Colina	176 parcelas	Construida	Región Metropolitana
Población El Melón, Nogales	14000	En construcción	V Región
Industrias Tejas Chena	40	Junio 2002	Región Metropolitana
Empresa Costa-Ambrosoli	Riles alimentos 1,800 m <sup>2</sup> , 180 m <sup>3</sup> / día	Mayo 2002	V Región

Fuente: Fundación para la transferencia tecnológica. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas

### Sistemas particulares

Hasta la fecha se han construido alrededor de 25 sistemas para residencias particulares, desde Los Vilos hasta Osorno, todas funcionan perfectamente.

**Tabla I.7. Valores de inactivación de microorganismos patógenos por radiación ultra violeta.**

Microorganismos	Enfermedad	Ultrarads <sup>#</sup>
Salmonella typhosa	Fiebre tifoidea	4,100
Salmonella paratyphi	Fiebres entéricas	6,100
Shigella dysenteriae	Disenterías	4,200
Shigella flexneri	Disenterías	3,400
Vibrio cólera	Cólera	6,500
Leptospira spirillum	Ictericia infecciosa	6,000
Poliovirus	Poliomelitis, Hepatitis infecciosa	6,000 8,000

<sup>#</sup>N.B. Ultrarads es una unidad de radiación ultravioleta con una longitud de onda de 2,537 Ångstrom con una intensidad de 1  $\mu$  W/ cm<sup>2</sup>.s  
Fuente: Hernández, 2001

**Tabla I.8. Dosis infecciosas para el hombre de patógenos bacterianos entéricos**

Patógenos	Entéricos	Sujetos Infectados /total sometidos a prueba							
		10 <sup>1</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>4</sup>	10 <sup>5</sup>	10 <sup>6</sup>	10 <sup>7</sup>	10 <sup>8</sup>
<b>Dosis Organismos vivos</b>									
<i>Shigella dysenteriae</i>									
		1/10	2/4	7/10	5/6				
			1/4		2/6				
<i>Shigella flexneri</i>									
			6/33	33/49	66/87	15/24	7/8	13/1	7/8
					1/4	3/4		9	
<i>Salmonella tify</i>									
				0/14		32/11		16/3	8/9
						6		2	
<i>Vibrio cholerae</i>									
					11/13		45/5		2/2
					0/2		2	0/4	2/4
							0/4		
<b>Enteropatógenos</b>									
<i>E. coli</i>									
					0/5		0/5		4/8

Fuente: Rohlich, 1977.

## **ANEXO II**

### A.II.1. Resultados de test de signos

Para hacer el análisis estadístico de test de signo se utilizaron los resultados de las pruebas confirmativas para la determinación de *Salmonella*.

Para el cálculo de la probabilidad de presencia de *Salmonella* en las aguas tratadas con el biofiltro utilizamos pares de los datos obtenidos del agua cruda y el agua tratada con el biofiltro:

Agua cruda	Agua + biofiltro	Resultado de signos
2	3	+
5	3	-
1	5	+
3	2	-
7	3	-
2	2	0
5	1	-
2	0	-
2	3	+
3	2	-

Estos datos se someten a la siguiente fórmula:

$$T_{\text{calc}} = \sum_{i=1}^n \text{signos (+)}$$

donde n es igual al número de pares sin empate

$$(m/n) = \frac{m!}{n! (m-n)!}$$

m= número de observaciones  
n= números de pares sin empate

$$P < 0,05 \quad \alpha = 0,05$$

$$T_{\text{calc}} = \sum_{i=1}^9 \text{signos (+)} = 3$$

$$P ( T \leq 3 ) = P(T=0) + P(T=1) + P(T=2) + P(T=3)$$

$$= (9/0) (1/2)^0 (1/2)^9 + (9/1) (1/2)^1 (1/2)^8 + (9/2) (1/2)^2 (1/2)^7 +$$

$$\begin{aligned}
 & \binom{9}{3} \left(\frac{1}{2}\right)^3 \left(\frac{1}{2}\right)^6 \\
 & = 0,0019 + 0,01757 + 0,0088 + 0,0058 \\
 & = 0,034
 \end{aligned}$$

Para el cálculo de la probabilidad del biofiltro + uv, se formaron pares con los datos del agua cruda y el tratamiento con el biofiltro + uv.

Agua Cruda	Agua + biofiltro+ uv	Resultado de signos
2	2	0
5	4	-
1	1	0
3	0	-
7	3	-
2	1	-
5	0	-
2	2	0
2	2	0
3	1	-

Estos datos se someten a la siguiente fórmula

$$T_{\text{calc}} = \sum_{i=1}^n \text{signos (+)}$$

donde n es igual al número de pares sin empate

$$\begin{aligned}
 T_{\text{calc}} &= \sum_{i=1}^9 \text{signos (+)} = 0 \\
 n &= 6
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P(T \leq 0) &= P(T=0) \\
 &= \binom{9}{0} \left(\frac{1}{2}\right)^0 \left(\frac{1}{2}\right)^6 \\
 &= 0,016
 \end{aligned}$$

**Tabla II.1. Costos de inversión, operación y mantenimiento El Melón y San José de Maipo**

	Plantas de tratamiento	
	El Melón <sup>a b</sup>	San José de Maipo <sup>c</sup>
<b>Area instalada hectáreas</b>	0,8	1
<b>Costos de inversión M \$</b>	272,787 <sup>#</sup>	2,303,911
<b>Costos de personal M\$</b>	9,975	23,434
<b>Operación energía M\$</b>	933	19,383
<b>Administración M\$</b>	<sup>##</sup>	3,969
<b>Secado y disp. lodos M\$</b>	<sup>###</sup>	1,815
<b>Desinfección M\$</b>	2,011	4,009
<b>Costos de mantenimiento M\$</b>	2,255	14,182

Fuente: Consultores 1998; Declaración de Impacto Ambiental, Planta El Melón

<sup>#</sup> No incluye terreno

<sup>##</sup> Datos no disponibles

<sup>###</sup> Produce humus

No hay registros sobre producción en otras plantas con 3 años de operación

Fuente :

- Garchon Jerez F. 1997. Declaración de Impacto Ambiental de la ampliación de la planta de tratamiento de aguas servidas El Melón.
- Fundación para la Transferencia tecnológica. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile. 2002. Cálculos de costos incrementales de la planta de tratamiento de El Melón.
- Causse ingeniería, Ingenieros Civiles Asociados. 1998. Evaluación Económica. Planta de Aguas Servidas, localidad San José de Maipo, Tomo I-IV y Tomo VI-VII.

**Tabla II.2. Características del humus y lodos de desecho**

Características	Lodos	Humus
Composición	Material con compuestos orgánicos complejos (C, H, O y N) que deben ser reducidos antes de ser utilizados como abono de suelos	Compuesto simple rico en carbono orgánico que contiene microorganismos, que permiten la recuperación de sustancias nutritivas para los suelos
Textura	Compacto (seco)	Permeable granular
Capacidad de retención, sales minerales (iones, cationes)	Baja	Alta
Presencia de ácidos	Ácido sulfhídrico (H <sub>2</sub> S) que fermenta anaeròbicamente	No hay
Olores	Hay por descomposición del ácido sulfhídrico	No hay
Grado de acidez (pH)	5 (ácido)	6,5-7,5 (neutro)

Fuente:

- Lombricultura y desechos orgánicos: una fuente inagotable de recursos. 1996. Mónica Santalices, Universidad Católica sede regional Talcahuano (Pág. 59-64).
- Aspectos económicos y comercialización de la lombricultura. Primera Jornada Nacional de Lombricultura, USACH. Escuela Tecnológica, Anales, Pág. 51-54., 1983
- Los gusanos de tierra. Revista Mundo Científico Año 4, Vol. 40 Pág. 955-963

-

## **ANEXO III**



Figura III.1 Planta de San José de Maipo.



Figura III. 2. Sistema Tohá

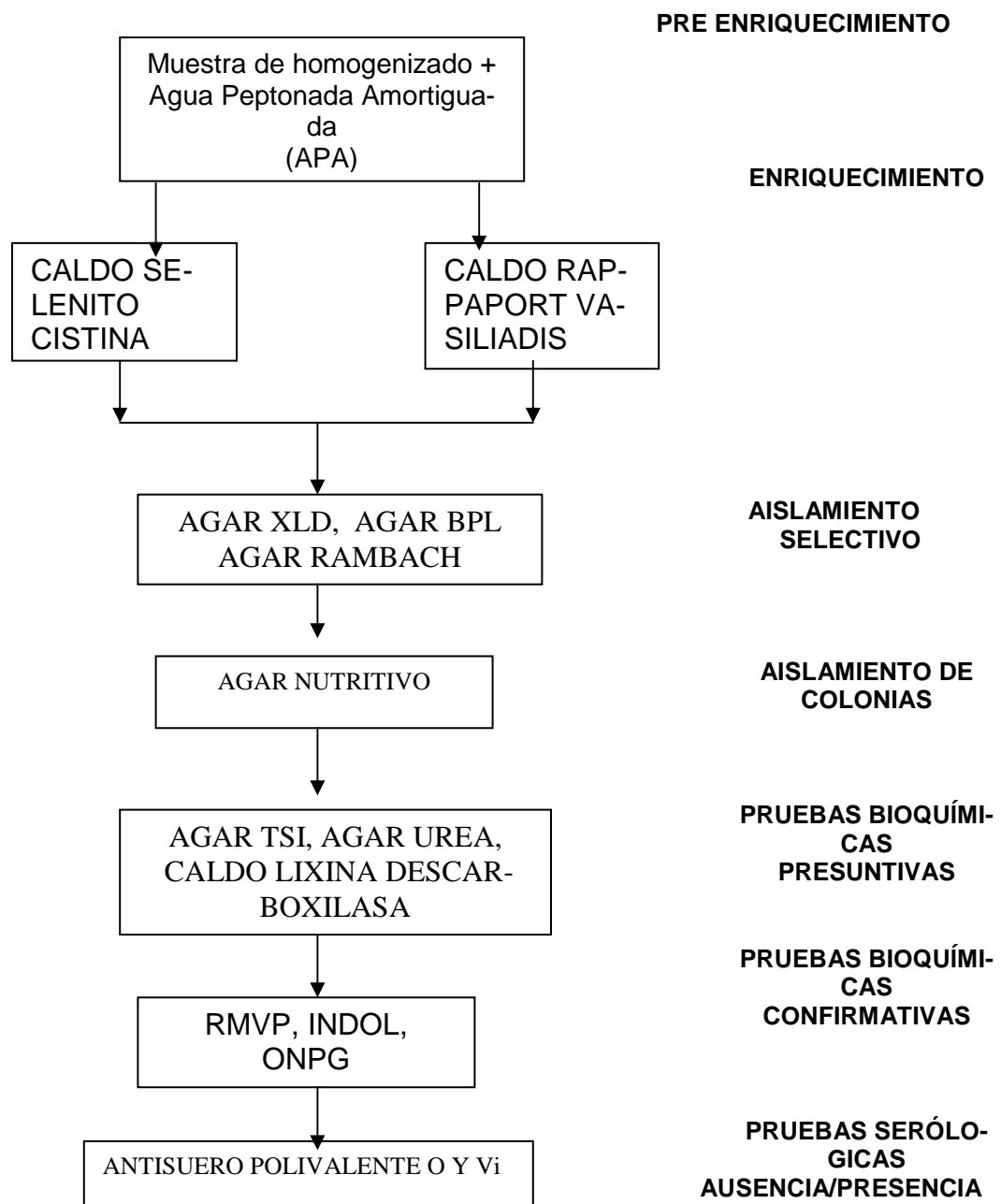


Figura III.3. Metodología para la determinación de *Salmonella* (APHA,1992)



Figura III.4. Frascos de selenito cistina y Rapaport Vassiliades para la prueba de *Salmonella*



Figura III.5. Placas de *Salmonella* en Agar RAMBACH, XLD y BPL.