

**UNIVERSIDAD DE VALPARAISO
FACULTAD DE ARQUITECTURA
ESCUELA DE GRADUADOS**



**ESTUDIO EXPERIMENTAL DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
DOMÉSTICAS MEDIANTE SISTEMA DE FLUJO SUBSUPERFICIAL**

**TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE
MAGÍSTER EN DESARROLLO REGIONAL
Y MEDIO AMBIENTE**

**ALUMNO:
NELSON VALDÉS MOYA**

**PROFESOR GUÍA:
LORNA GUERRERO SALDES, Ph.D.**

**VALPARAÍSO – CHILE
2005**

RESUMEN

La cantidad de agua total del planeta se ha mantenido constante durante millones de años, sin embargo, la cantidad de agua limpia ha disminuido debido a la contaminación generada por el hombre. El agua puede purificarse naturalmente a través de su ciclo hidrológico, pero este proceso es lento y no es suficiente, por lo que es imprescindible ayudar a la naturaleza a purificar el agua; recurso que no tiene sustituto.

Las soluciones a los problemas mundiales de agua están ligadas a nuevas tecnologías y deben incluir cuestiones políticas, sociales, económicas, ambientales, culturales y espirituales. La gestión del agua debe basarse en medidas bien fundadas ecológicamente, económicamente viables, técnicamente factibles y especialmente que gocen de aceptación de la sociedad para que las normas de uso racional (reingeniería), ahorro (reducción), reutilización, y reciclado formen parte de su comportamiento habitual, fortaleciendo con ello las “4R” de la sustentabilidad.

En Chile, un aspecto a considerar es que, si bien los recursos hidrológicos son abundantes, éstos carecen de distribución homogénea a lo largo del territorio. Sólo el 0,66% se distribuye al norte del Río Aconcagua ($64,32 \text{ m}^3/\text{s}$) cuya superficie corresponde al 41% del territorio continental.

Ante la importancia social, económica, territorial y ambiental del recurso hídrico, se ha estimado necesario realizar un estudio experimental con el fin de abrir nuevas alternativas para el tratamiento de las aguas residuales domésticas en el país, y que permita potenciar la reutilización y/o reciclado de la misma. Frente a ello se plantea el uso del Sistema de Flujo Subsuperficial (SFS) que se diseña con el objeto de proporcionar tratamiento secundario. Este sistema consiste en celdas o zanjias excavadas con cierta pendiente, impermeabilizadas y posteriormente rellenas con material granular (medio filtrante), donde el nivel del flujo se mantiene siempre por debajo de la superficie. Posteriormente se transplantan o se siembran plantas emergentes.

El presente estudio, basado en un humedal experimental a escala de laboratorio de 1,4m de largo por 1,0m de ancho, utilizó como medio filtrante grava limpia tamaño máximo $1 \frac{1}{2}$ " proveniente del Río Aconcagua y caña común (*arundo donax*) como planta emergente de origen local.

Los resultados de la experiencia son optimistas. El humedal reduce parte importante de los contaminantes considerados en el estudio, con porcentajes de remoción similares a otras experiencias realizadas en Norteamérica sobre humedales de SFS.

El mayor porcentaje de remoción se logra para los SST (sólidos suspendidos totales) con un 86,8 %, luego la DBO_5 con 84,2 %, le sigue el NTK (nitrógeno total Kjeldahl) con un 31,4 % y posteriormente el fósforo con un 23,1 %. El sistema por sí solo, no genera reducción de coliformes fecales (por lo menos para el periodo analizado). Con una dosis de cloro doméstico (3 gotas/litro, de solución de cloro con 4% de hipoclorito de sodio p/v), se logró reducir los coliformes de >1600 a <2 (NMP/100ml). Cabe destacar que en complemento con la purificación del agua, el uso de caña común puede generar una actividad económica al ser cosechada, obteniéndose con ello un beneficio adicional para la comunidad.

Experimentalmente, usando grava y caña común en el SFS, se reduce la carga contaminante del afluente, logrando que el vertido del efluente cumpla con la exigencia de la normativa vigente.

RESUMEN	Página
INDICE DE TABLAS	ii
INDICE DE FIGURAS	vii
	x

CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN 1

1.1 Generalidades	1
1.2 Objetivos	13
1.2.1 Objetivo general	13
1.2.2 Objetivos específicos	14
1.3 Hipótesis de trabajo	14
1.4 Metodología propuesta	15
1.5 Limitaciones del estudio	17

**CAPITULO II ANTECEDENTES SOBRE CONTAMINACIÓN,
DEPURACIÓN, Y SISTEMAS DE TRATAMIENTO NATURAL
DEL AGUA**

2.1 Contaminación del Agua	18
2.1.1 Introducción	18
2.1.2 Origen de la contaminación del agua	18
2.1.3 Alteraciones físicas, químicas y biológicas del agua	21
2.1.4 Sustancias contaminantes del agua	25
2.1.5 Cuadro de enfermedades por patógenos contaminantes del agua	27

2.2 Depuración del Agua	28
2.2.1 Introducción	28
2.2.2 Tipos de sistemas de tratamiento	28
2.2.3 Procesos de tratamiento	28
2.2.4 Niveles de tratamiento	31
2.2.5 Líneas de tratamiento	32
2.2.6 Tratamientos especiales [eliminación de N y P]	33

2.3 Sistemas de Tratamiento Natural del Agua	33
2.3.1 Introducción	33
2.3.2 Historia de los sistemas de tratamiento natural	34
2.3.3 Sistemas de tratamiento natural	34
2.3.4 Tratamiento para pequeñas comunidades	40

CAPITULO III	TRATAMIENTO NATURAL DEL AGUA MEDIANTE SISTENA DE FLUJO SUBSUPERFICIAL (SFS)	42
3.1	Introducción	42
3.2	Componentes del Humedal	43
3.2.1	El agua	43
3.2.2	Sustrato	44
3.2.3	Vegetación	44
3.2.4	Microorganismos	51
3.2.5	Animales	51
3.2.6	Paisaje y estética	51
3.3	Consideraciones Ambientales y de Salud Pública	52
3.3.1	Protección a la salud y el medio ambiente	52
3.3.2	Riesgos a la salud y el medio ambiente	52
3.4	Consideraciones de Construcción	52
3.4.1	Impermeabilización	53
3.4.2	Selección del medio granular	53
3.4.3	Establecimiento de la vegetación	54
3.4.4	Estructura de entrada y salida	54
3.5	Consideraciones de operación y mantenimiento y control	55
3.5.1	Operación y mantenimiento	55
3.5.2	Control	56
3.6	Rendimientos Esperados	58
3.6.1	Remoción de sólidos suspendidos	59
3.6.2	Remoción de demanda bioquímica de oxígeno (DBO)	60
3.6.3	Remoción de nitrógeno (N)	61
3.6.4	Remoción de fósforo (P)	64
3.6.5	Remoción de metales	65
3.6.6	Remoción de coliformes fecales	65
3.7	Consideraciones para el Diseño de Humedal Artificial de Flujo Subsuperficial	65
3.7.1	Consideración general de diseño	65
3.7.2	Diseño hidráulico	67
3.7.3	Aspectos térmicos	71
3.7.4	Modelo de diseño para remoción de DBO	74
3.7.5	Modelo de diseño para remoción de sólidos suspendidos totales (SST)	77
3.7.6	Modelo de diseño para remoción de nitrógeno (N)	78
3.7.7	Modelo de diseño para remoción de fósforo (P)	83

CAPITULO IV DISEÑO Y CARACTERÍSTICAS DE HUMEDAL USADO EN EXPERIENCIA DE LABORATORIO	85
4.1 Antecedentes para el Diseño de Humedal Experimental	85
4.1.1 Aguas	85
4.1.2 Áridos para sustrato granular	86
4.1.3 Plantas vegetales	86
4.1.4 Antecedentes complementarios para diseño	88
4.2 Diseño Humedal Experimental	89
4.2.1 Introducción	89
4.2.2 Determinación de la superficie para la remoción de DBO	89
4.2.3 Determinación de remoción de SST	93
4.2.4 Determinación de la superficie para la remoción de nitrógeno	94
4.2.5 Determinación de la superficie para la remoción de fósforo	96
4.2.6 Forma del humedal	97
4.3 Características del Humedal Experimental	99
4.3.1 Generalidades	99
4.3.2 Características del humedal experimental	99
CAPITULO V PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	102
5.1 Presentación	102
5.2 Análisis de Resultados	103
5.2.1 Análisis de contaminantes	103
5.2.2 Análisis de caudales	111
5.2.3 Análisis de temperaturas	118
5.2.4 Análisis de precipitaciones	120
5.3 Estimación de costos de operación y mantenimiento del humedal	121
5.4 Análisis comparativo entre humedal experimental y experiencia en Sydney	123
CAPITULO VI CONCLUSIONES Y COMENTARIOS FINALES	125
6.1 Conclusiones	125
6.1.1 Conclusiones sobre contaminantes	125
6.1.2 Conclusiones sobre caudales	125
6.1.3 Conclusiones sobre temperaturas	125
6.1.4 Conclusiones sobre precipitaciones	125
6.1.5 Conclusiones sobre operación y mantenimiento	126
6.1.6 Conclusiones generales	126
6.2 Comentarios Finales	126

BIBLIOGRAFÍA	128
ANEXOS:	
ANEXO 1 BOLETINES DE ANÁLISIS DE AGUA Facultad de Farmacia. Universidad de Valparaíso	131
ANEXO 2 DS N° 90 DE 2000 DEL MINISTERIO SECRETARÍA GENERAL DE LA PRESIDENCIA. (DO 07.03.2001) Compendio: Norma de emisión para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos líquidos a aguas marinas y continentales superficiales	140
ANEXO 3 REGISTRO DE PRECIPITACIONES PARA VALPARAISO Periodo 1978 - 2002 Dirección Meteorológica de Chile	142
ANEXO 4 REGISTRO DE CAUDALES, TEMPERATURAS Y PRECIPITACIONES EN HUMEDAL EXPERIMENTAL	148
ANEXO 5 BOLETIN DE ANÁLISIS DE EFLUENTE DE HUMEDAL APLICANDO CLORO DOMÉSTICO Facultad de Farmacia. Universidad de Valparaíso	162
ANEXO 6 BOLETINES DE ANÁLISIS DE LA CAÑA COMÚN (ARUNDO DONAX) Facultad de Farmacia. Universidad de Valparaíso	164
ANEXO 7 ESTUDIO TÉCNICO DE HUMEDAL DE FLUJO SUBSUPERFICIAL PARA LA LOCALIDAD DE QUINTAY	168
ANEXO 8 ALBÚM FOTOGRAFICO DE HUMEDAL EXPERIMENTAL	174

	INDICE DE TABLAS	Pág.
Tabla 1.1	Distribución del agua en el planeta (Miller, 1992)	3
Tabla 1.2	Tiempo medio que permanece una molécula de agua en los distintos tramos de su ciclo (Montes y Antúnez, 1999)	4
Tabla 1.3	Cuencas hidrográficas V Región Chile (IGM, 2004)	6
Tabla 1.4	Tipo y sistema mas utilizados en Chile para el tratamiento de aguas residuales (SISS, 2002)	8
Tabla 1.5	Sistemas de tratamiento usados por la comunidad Europea en función de la población (Collao, 1991)	9
Tabla 1.6	Cobertura de agua potable y alcantarillado y sistema de tratamiento usado por Esval SA. V Región (SISS, 2003)	10
Tabla 1.7	Cobertura de agua potable, alcantarillado y tratamiento de aguas servidas, V región (SISS, 2003)	11
Tabla 1.8	Estudio comparativo de los diferentes sistemas de tratamiento (Seoáñez, 1999)	13
Tabla 2.1	Actividad industrial y sustancias contaminante asociada (Echarri,1998)	19
Tabla 2.2	Equivalencia de población contaminante expresados en DBO (Echarri, 1998)	21
Tabla 2.3	Alteraciones físicas del agua (Echarri,1998)	22
Tabla 2.4	Alteraciones químicas del agua (Echarri,1998)	23
Tabla 2.5	Alteraciones biológicas del agua (Echarri,1998)	24
Tabla 2.6	Sustancias contaminantes del agua (Echarri,1998)	25
Tabla 2.7	Enfermedades por patógenos contaminantes de las aguas (Echarri,1998)	27
Tabla 2.8	Descripción de niveles de tratamiento para aguas residuales (Echarri,1998)	31
Tabla 3.1	Propiedades físicas del agua (Reed et al, 1995)	70
Tabla 3.2	Características típicas de los medios granulares para humedales SFS (Reed et al, 1995)	71

	Pág.
Tabla 3.3 Conductividad térmica de algunos materiales (Reed et al, 1995)	73
Tabla 3.4 Comparación del rendimiento de los humedales de Santee, California, EEUU, con y sin vegetación (Reed et al, 1995)	77
Tabla 3.5 Oxígeno disponible por vegetación emergente de un humedal (Reed et al, 1995)	80
Tabla 4.1 Caracterización del agua residual a utilizar en el sistema de flujo subsuperficial (Boletín de análisis, Universidad de Valparaíso, 2005)	86
Tabla 4.2 Límites máximos para vertido de contaminante, (DS N° 90 de 2000 Ministerio Secretaría de la Presidencia)	86
Tabla 4.3 Características del sustrato granular usado en humedal	87
Tabla 4.4a Características de las plantas vegetales usadas en Europa y Norteamérica (Reed et al, 1995)	88
Tabla 4.4b Características de la planta vegetal usada en experiencia de laboratorio. Valparaíso, Chile	88
Tabla 4.5 Antecedentes complementarios para diseño de humedal SFS	88
Tabla 4.6a Resumen parámetros de diseño por DBO considerando precipitaciones	92
Tabla 4.6b Resumen parámetros de diseño por DBO sin considerar precipitaciones	93
Tabla 4.7 Remoción de nitrógeno por nitrificación	94
Tabla 4.8 Superficie, retención hidráulica y remoción de nitrógeno por nitrificación	95
Tabla 4.9 Nitrato en el humedal por nitrificación	95
Tabla 4.10 Superficie, retención hidráulica y remoción de nitrógeno por desnitrificación	96
Tabla 4.11 Resumen parámetros de diseño por nitrógeno	96
Tabla 4.12 Remoción de fósforo con superficie de humedal determinada por DBO	96
Tabla 4.13 Superficie, tiempo de retención y remoción esperada para cada contaminante en humedal Tipo G-C C	97
Tabla 4.14 Relación de L:W en función de la pendiente “m”	98

	Pág.
Tabla 4.15 Resumen parámetros de diseño humedal	99
Tabla 5.1 Mediciones de contaminantes, humedal SFS grava- caña común (Boletines de análisis, U de Valpo, 2005)	103
Tabla 5.2 Porcentaje de remoción promedio de sustancias contaminantes analizadas	104
Tabla 5.3 Remoción de coliformes fecales aplicando cloro doméstico al efluente obtenido del humedal	105
Tabla 5.4 Remoción de contaminantes usando adicionalmente filtro de grava – arena antes del vertido	110
Tabla 5.5 Caudal medio mensual, humedal SFS grava-caña común	111
Tabla 5.6 Estimación de pérdida de caudal en celda humedal	112
Tabla 5.7 Promedio mensual de temperaturas en las distintas estaciones de medición, humedal SFS grava-caña común	118
Tabla 5.8 Precipitación mensual acumulada, humedal SFS grava-caña común	120
Tabla 5.9 Comparación de inversión y costos de operación entre sistema de tratamiento por Biodisco, Lodos activados y humedal SFS.	121
Tabla 5.10 Comparación de porcentaje de remoción de contaminantes entre experiencias realizadas en Sydney, Australia y Valparaíso, Chile.	123

	INDICE DE FIGURAS	Pág.
Figura 1.1	Distribución y disponibilidad de agua dulce (Leeden, 1990)	2
Figura 1.2	Ciclo del agua (Echarri, 1998)	3
Figura 1.3	Grafico evolución cobertura nacional de tratamiento de aguas servidas (SISS, 2003)	7
Figura 1.4	Diagrama de metodología propuesta	16
Figura 2.1	Esquema de tratamiento primario y secundario en una estación depuradora de agua residual, convencional (Echarri, 1998)	32
Figura 2.2	Tratamientos de baja carga (Metcalf & Eddy, 1996)	36
Figura 2.3	Sistemas de infiltración rápida (Metcalf & Eddy, 1996)	36
Figura 2.4	Esquema sistema de riego superficial (Metcalf & Eddy, 1996)	37
Figura 2.5	Plantas acuáticas comunes (Metcalf & Eddy, 1996)	38
Figura 2.6	Sección sistema de flujo subsuperficial (SFS) (Metcalf & Eddy, 1996)	39
Figura 2.7	Sistema mediante plantas acuáticas (Metcalf & Eddy, 1996)	39
Figura 3.1	Sección longitudinal de un sistema de flujo subsuperficial (SFS)	43
Figura 3.2	Esquema típico de planta emergente (Lara, 2000)	45
Figura 3.3	Fotografía de un humedal con plantas espadañas (typha) (Lara, 2000)	46
Figura 3.4	Fotografía de plantas espadañas (typha) (Lara, 2000)	47
Figura 3.5	Fotografía de plantas espadañas (typha) (Lara, 2000)	47
Figura 3.6	Fotografía de plantas juncos (scirpus) (Lara, 2000)	48
Figura 3.7	Fotografía de plantas juncos (scirpus) (Lara, 2000)	48
Figura 3.8	Fotografía de plantas juncos (scirpus) (Lara, 2000)	49
Figura 3.9	Fotografía de plantas carrizos (phragmites) (Lara, 2000)	49
Figura 3.10	Fotografía de plantas carrizos (phragmites) (Lara, 2000)	50

		Pág.
Figura 3.11	Fotografía de plantas carrizos (phragmites) (Lara, 2000)	50
Figura 3.12	Dispositivo para el control de nivel de agua en el humedal	54
Figura 3.13	Esquema proceso de depuración de los humedales artificiales (Metcalf & Eddy, 1995)	58
Figura 3.14	Grafica de rendimientos de remoción típicas. Experiencia en SFS, Sydney, Australia, (Lara, 2000)	59
Figura 3.15	Relación entre SS de entrada y salida en un SFS (Reed <i>et al</i> , 1995)	60
Figura 3.16	Relación entre DBO de entrada y salida en un SFS (Reed <i>et al</i> , 1995)	61
Figura 3.17	Relación entre Amoniacó de entrada y salida en un SFS (Reed <i>et al</i> , 1995)	63
Figura 3.18	Relación entre Nitrato de entrada y salida en un SFS (Reed <i>et al</i> , 1995)	64
Figura 3.19	Relación entre Fósforo de entrada y salida en un SFS (Reed <i>et al</i> , 1995)	64
Figura 4.1	Esquema estructura medio filtrante para humedal de diseño	90
Figura 4.2	Esquema estructura medio filtrante humedal experimental	93
Figura 4.3	Grafica de la remoción esperada de contaminantes	98
Figura 4.4	Esquema del sistema de tratamiento experimental utilizado	99
Figura 4.5	Esquema humedal experimental de SFS, con sustrato de grava y plantas de caña común	100
Figura 4.6	Esquema de distribución de plantas en humedal experimental	100
Figura 4.7	Fotografía plantas usada en experiencia de laboratorio, caña común (arundo donax)	101
Figura 5.1	Grafico remoción promedio de contaminantes, humedal grava-caña común	104
Figura 5.2	Grafico remoción DBO, humedal grava-caña común	106
Figura 5.3	Grafico remoción SST, humedal grava-caña común	106

		Pág.
Figura 5.4	Grafico remoción Nitrógeno, humedal grava-caña común	107
Figura 5.5	Grafico remoción Fósforo, humedal grava-caña común	107
Figura 5.6	Grafico remoción Coliformes, humedal grava-caña común	108
Figura 5.7	Grafico remoción de coliformes fecales aplicando cloro doméstico a efluente del humedal grava-caña común	109
Figura 5.8	Grafico remoción de pH, humedal grava-caña común	109
Figura 5.9	Filtro grava-arena	110
Figura 5.10	Remoción de contaminantes usando filtro de grava-arena antes del vertido a cuerpo receptor	111
Figura 5.11	Grafico caudal medio mensual humedal grava-caña común	113
Figura 5.12	Caudal afluente mes de febrero, humedal grava-caña común	114
Figura 5.13	Caudal efluente mes de febrero, humedal grava- caña común	114
Figura 5.14	Caudal afluente mes de marzo, humedal grava- caña común	115
Figura 5.15	Caudal efluente mes de marzo, humedal grava- caña común	115
Figura 5.16	Caudal afluente mes de abril, humedal grava- caña común	116
Figura 5.17	Caudal efluente mes de abril, humedal grava- caña común	116
Figura 5.18	Caudal afluente mes de mayo, humedal grava- caña común	117
Figura 5.19	Caudal efluente mes de mayo, humedal grava- caña común	117
Figura 5.20	Grafico temperaturas media mensual para las distintas estaciones de medición, humedal grava-caña común	119
Figura 5.21	Grafico precipitaciones mensual acumuladas, humedal grava- caña común	120

CAPITULO I INTRODUCCIÓN

1.1 GENERALIDADES

La cantidad de agua total del planeta se ha mantenido constante durante millones de años, sin embargo, la cantidad de agua limpia ha disminuido notablemente debido a la contaminación generada por el hombre. Si bien, el agua puede purificarse naturalmente a través de su ciclo hidrológico, este proceso es lento y no es suficiente para lograr depurarla dadas las grandes concentraciones de contaminante que son vertidas en ella, por lo tanto, es imprescindible ayudar a la naturaleza a purificar el agua; fuente de vida.

En el contexto global, la mayoría de los países en los últimos años, han enfrentado una grave crisis económica que ha generado un gran deterioro de la calidad de vida de la población, tanto a nivel rural como en centros urbanos. Producto de esta crisis, se redujo la capacidad de inversión del sector público en el mantenimiento, operación y ampliación de los sistemas de agua potable, en los sistemas de saneamiento tanto de aguas residuales como de residuos sólidos, en el riego, en la preservación y conservación del medio ambiente, en los programas de desarrollo, entre otros tantos. Esta reducción de la capacidad de inversión, principalmente en los países subdesarrollados, se debe a que gran parte de sus rentas las destinan al pago de su deuda externa y a sus deficiencias en la producción interna.

Se suma a la situación anterior, un creciente deterioro medio ambiental debido a la explotación inadecuada de las fuentes naturales, a la dilapidación y contaminación de los ecosistemas y de los recursos naturales productores de agua, a las formas irracionales de consumo y a la generación insospechada de desperdicios.

Los proyectos de drenaje de áreas húmedas para el desarrollo de grandes obras urbanísticas o para el desarrollo de la agricultura y ganadería empresarial, así como la utilización de estas áreas para depósitos de residuos, representan una serie amenaza para la biodiversidad, el equilibrio de los sistemas hídricos superficiales, la capacidad de recarga de los acuíferos y hasta la disponibilidad de agua para los ecosistemas y las poblaciones humanas. Por tanto, el desarrollo requiere de una visión ambiental que se sienta comprometida con las oportunidades de acceso al crecimiento y a la mejora de la calidad de vida humana en todos sus aspectos, pero también, comprometida con el conocimiento y administración de los aspectos ecológicos y socialmente sustentables de la biodiversidad que el planeta contiene. Sin dudas que para alcanzar esta visión ambiental, se requiere, necesariamente, de la participación activa de diversos actores, agentes sociales, económicos, políticos, especialistas, etc, que enfrenten el desafío del desarrollo con esta nueva visión, desde la concepción hasta la implementación, situación compleja y difícil, pero también, urgente e inaplazable.

El agua, elemento vital para los ecosistemas y las sociedades humanas, se ha tornado un recurso cada vez más escaso por su disponibilidad cuantitativa y cualitativa para los diferentes usos sociales, que además, a diferencia de otros muchos recursos, no tiene sustituto. El agua total del planeta se estima en $1.36 \times 10^{18} \text{ m}^3$ (Van der Leeden *et al.*, 1990), volumen de agua que sería suficiente para satisfacer con creces las demandas actuales y futuras, pero al ser en su mayor

parte salada (término medio 33 – 39 g/l de sales; en algunos mares interiores la salinidad puede llegar a ser más alta, como es el caso del Mar Muerto con un 25% más de salinidad que océanos) (www.mgar.net), resulta inapropiada para que el ser humano y otros organismos terrestres puedan utilizarla directamente. Del total de agua en el planeta, el 2.8% corresponde a agua dulce y se tiene acceso sólo al 0.6% de ella (alrededor del 0,004% del total) (Figura N° 1.1).

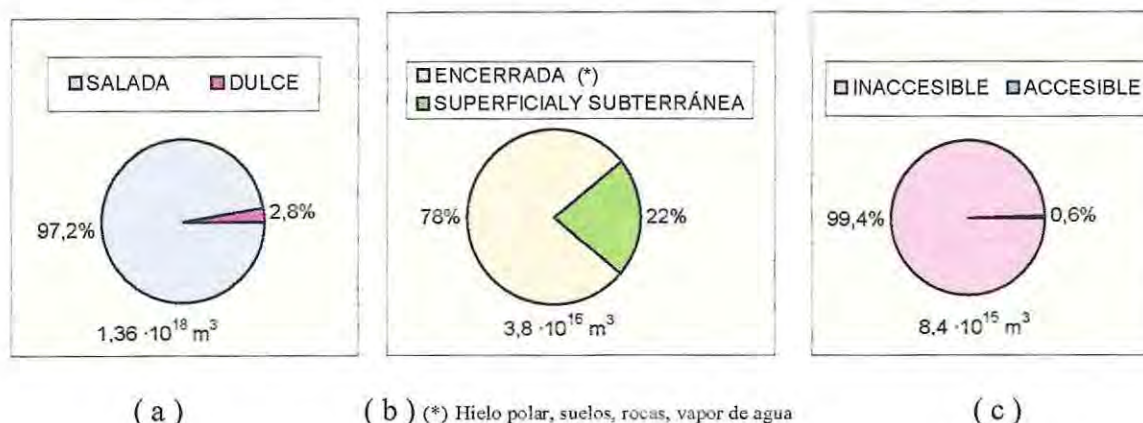


Figura N° 1.1

Distribución y disponibilidad de agua dulce

a) Distribución agua total b) Distribución agua dulce c) Disponibilidad de agua dulce

(Van der Leeden *et al.*, 1990; Citado por Henry & Heinke.)

Su distribución en la tierra es altamente asimétrica y su disponibilidad para los seres humanos y los organismos terrestre es también muy desigual en función de su accesibilidad y su concentración iónica (se ha registrado en los últimos años una población de más de 1000 millones de personas que no tienen acceso al agua potable, casi el 17% de la población mundial) (Cyberclases.net, 2004). Esta irregular y heterogénea distribución del agua, especialmente en los continentes, es debida a la gran variabilidad geográfica del balance entre precipitaciones y evapotranspiración que en último término condiciona su abundancia (Tabla N°1.1). La evapotranspiración diaria de agua en mares, lagos, ríos, suelos y plantas alcanza $1,23 \times 10^{12} \text{ m}^3$, equivalente al 0,00009% del total de agua del planeta (Miller, 1992, citado por Henry & Heinke).

Hoy en día, se ha tomado más conciencia de entender en forma integral al agua, es decir, hay una comprensión de ella a partir de distintas perspectivas:

- como elemento vital para la supervivencia de la biodiversidad y de las sociedades;
- como recurso vital para el desarrollo de diversas actividades económicas;
- como recurso natural, que por su carácter limitado adquiere valor económico;
- como recurso ambiental que es patrimonio común que la sociedad debe usar, preservar y conservar.

La vida surgió ligada al agua y desde entonces no ha podido independizarse de ella. Todos los seres vivos están formados en un alto porcentaje de su peso por agua, entre un 60 a 95% (Novo M. *et al.*, 1999). En una frase, los seres vivos dependen del agua pero el agua no depende de los seres vivos, por lo que su ausencia permanente significa muerte, falta de vida (Montes y Antúnez, 1999).

Tabla N° 1.1
Distribución del agua en el planeta (Echarri, 1998)

Agua líquida oceánica	$1,32 \cdot 10^{18} \text{ m}^3$
Agua sólida oceánica	$2,60 \cdot 10^{16} \text{ m}^3$
Epicontinentales (*)	$2,25 \cdot 10^{14} \text{ m}^3$
En la atmósfera	$1,2 \cdot 10^{13} \text{ m}^3$
Agua subterránea (**)	$2-8 \cdot 10^{15} \text{ m}^3$

(*) Las aguas epicontinentales incluyen el mar Muerto, Caspio y Aral además de lagos, ríos.

(**) Es una de las muchas estimaciones que se dan para el agua subterránea; su cantidad real es muy difícil de calcular.

El agua, elemento importante que permiten la vida en la tierra, en la medida que se mueve a través de su ciclo hidrológico, mares, lagos, ríos, tierra y aire (ver Figura N° 1.2), queda ligada a los diversos ecosistemas del planeta que contribuyen a la salud, bienestar, seguridad alimentaria y desarrollo económico de los seres humanos, pero, paradójicamente, es debido a este mismo ciclo que las aguas están potencialmente expuestas a recibir la contaminación por las descargas de aguas residuales (las enfermedades derivadas de la contaminación del agua afecta a más de 900 millones de personas anualmente y alrededor de 2 millones mueren por esta causa) (Cyberclases.net, 2004). El acceso al agua de buena calidad debe ser garantizado en forma equitativa a todos los seres vivos, además, se debe garantizar el saneamiento básico de ella como derecho humano para mejorar la calidad de vida.

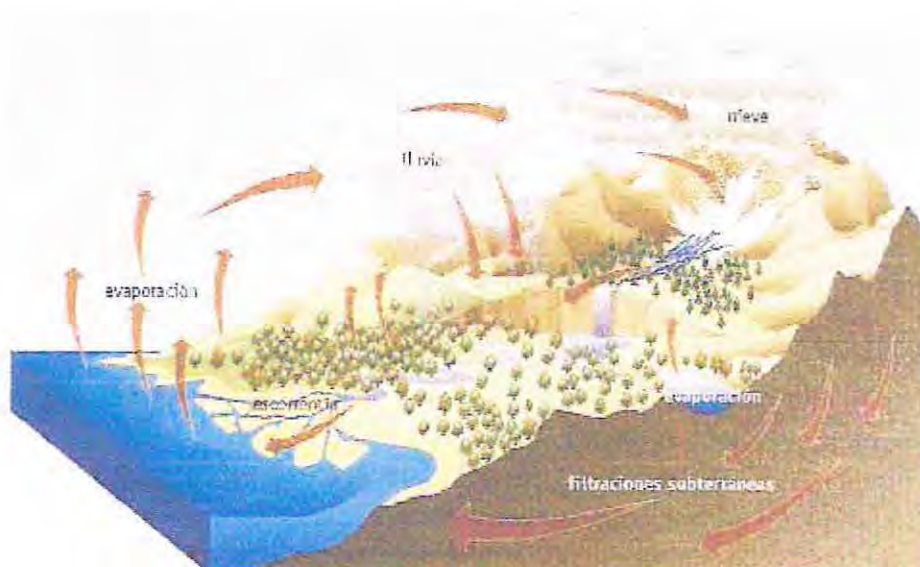


Figura N° 1.2
Ciclo del agua (Echarri, 1998)

La escasez, el uso indebido y la contaminación de los recursos hídricos, representan cada vez mayores amenazas para un desarrollo ecológico y socialmente sustentable, con fuertes repercusiones en el mantenimiento de los ecosistemas y en las condiciones climáticas por interrupción del ciclo hidrológico. El recurso hídrico aun cuando es renovable, es limitado. El tiempo de renovación de este recurso nos enseña su dinamismo pero también nos indica su fragilidad frente a su explotación y uso; así tenemos que el agua pasa su menor tiempo en la atmósfera, 9 días y el mayor periodo de renovación está en los casquetes polares con un tiempo de 10.000 años (Tabla N° 1.2) (Montes y Antúnez, 1999).

Las crecientes demandas de agua limpia y segura por parte de la población, la industria y la agricultura (Francia por ejemplo duplica su consumo cada 10 años, (Izembart y Le Boudec, 2003) nos ha hecho tomar conciencia de que las prácticas del pasado, que suponían una provisión infinita de agua a bajo costo, ya no pueden continuar.

Los deficientes tratamientos para su devolución al medio natural, están aumentando la contaminación del recurso y poniendo en peligro las reservas hídricas. Cuencas hidrológicas, ríos, lagos, manantiales y reservas subterráneas son deterioradas. El futuro uso provechoso del recurso hídrico dependerá de la administración que hagamos de él, para lo cual es necesario incorporar para su adecuado manejo, el empleo de nuevos métodos sociales, técnicos, económicos y políticos. La oportunidad de contribuir a la prosperidad y el bienestar de millones de personas mediante una administración eficiente y eficaz del agua, es un reto impostergable para quienes participan en el desarrollo de recursos hidráulicos.

Tabla N° 1.2
Tiempo medio que permanece una molécula de agua
en los distintos tramos de su ciclo (Montes y Antúnez, 1999.)

en la atmósfera	9-10 días
en los ríos	10-20 días
en lagos	1-100 años
en acuíferos subterráneos	300 años
en océanos	3.000 – 4.000 años
en casquetes polares	10.000 años

Los modelos convencionales de explotación y saneamiento de los recursos hídricos han fallado, puesto que existen millones de personas del tercer mundo que no disponen de ningún sistema que mejore sus condiciones de vida, aun más, algunas localidades urbanas se tornan tan contaminadas que el índice de mortalidad es más elevado que en el campo. La transmisión hídrica de enfermedades ha llegado a ser epidémicas. Esta situación debe comprometernos a realizar grandes esfuerzos para sanear la problemática existente.

La conservación y el manejo del agua requieren de otro modelo de desarrollo basado en la justicia social y en la sustentabilidad ecológica, con participación y cooperación popular en todos los niveles: local, regional, nacional e internacional. Las soluciones a los problemas mundiales de agua están ligados a nuevas tecnologías y deben incluir cuestiones políticas, sociales, económicas, ambientales, culturales y espirituales. La gestión del agua debe basarse, por tanto, en

medidas bien fundadas ecológicamente, económicamente viables, factibles técnicamente y especialmente que gocen de aceptación de la sociedad para que las normas de ahorro, reutilización, reciclado y uso racional del recurso formen parte de su comportamiento habitual.

Los principios existentes en las declaraciones, cartas y acuerdos de las Organizaciones No Gubernamentales (ONG), como la Carta de Montreal sobre Agua Potable y Saneamiento de junio de 1990, en el sentido de promover una administración ecológica y socialmente sustentable del agua dulce, deben ser endosados. Esta transición debe realizarse para asegurar que las reservas de agua limpia, potable y adecuada estén disponibles para toda la biodiversidad del planeta y sean un derecho de todos los seres vivos.

En el contexto nacional, aun cuando los recursos hidrológicos en Chile son abundantes, estos carecen de una distribución homogénea a lo largo del territorio. Están conformados por hoyas hidrográficas de origen andino que se extienden de cordillera a mar, con distribución paralela de norte a sur. Si bien, hay hoyas que nacen en la cordillera de la costa, éstas no revisten importancia frente a las anteriores.

La estimación de caudal para los 127 ríos de las cuencas hidrográficas más importantes de Chile que se registran es de 9724,25 m³/s (IGM, 2004), de los cuales el 0,66% se distribuye al norte del Río Aconcagua (64,32 m³/s) cuya superficie corresponde al 41% del territorio continental nacional, mientras que al sur de éste, el caudal alcanza el 98,94% de total (9620,93 m³/s), en una superficie equivalente al 59% del total continental (756.094,3 Km²). Estas cifras confirman la irregularidad en la distribución natural del recurso. Por otra parte, estudios realizados por Wollman (1970, en O. Parra *et al.* 1988) indican que el uso del agua de Llanquihue al norte corresponde a una demanda del 99,7% del recurso, en cambio hacia el sur, la demanda por el recurso sólo alcanza el 0,3% del total nacional.

En Chile, el uso del agua ha ido cambiando, en 1970 el agua se repartía en 98.5% para la agricultura, 1% en usos municipales y 0,5% en minería e industria (Wollman, 1970 en O. Parra *et al.* 1988). En el 2003, documento emitido por ESVAL, la distribución es 66% agricultura, 9% uso doméstico y 25% la industria (ESVAL, 2003). Los porcentajes de la demanda de agua en países desarrollados se distribuyen en 70% para la agricultura, 10% en uso municipal o doméstico y 20% en procesos industriales (Montes y Antúnez, 1999). Estos usos, basados en la captación o extracción del recurso de un cauce natural y su posterior descarga al mismo cauce o a otro, con la respectiva pérdida y/o transformación de la calidad del agua, han puesto en alerta su uso frente a los continuos aumentos en los niveles de contaminación.

En el plano regional, la V Región de Valparaíso, tiene como principal cuenca hidrográfica la conformada por el Río Aconcagua, situada aproximadamente en 32° 45' latitud sur, con una superficie de 7.163 Km² (que equivale al 44,3 % de la superficie continental regional), se ubica en el lugar número 27 de las hoyas más extensas del país, siendo la de mayor tamaño la cuenca hidrográfica del Río Loa con una superficie de 33.570 Km² (IGM, 2004).

Con varias subcuencas, la cuenca del Aconcagua con un recorrido de 177 Kilómetros, se ve sometida a la influencia de distintos ambientes y factores geográficos de modo que, la dinámica del sistema hidrográfico es variable desde su inicio hasta la desembocadura. El caudal medio del

Río Aconcagua es de 39 m³/s, (IGM, 2004) y su uso es principalmente destinado para la agricultura. En menor escala se utiliza para el consumo municipal, pero esta fuente se ve fuertemente agravada en época de sequía.

Considerando una dotación de 250 l/hab/d, para abastecer la población continental de la V Región (1.536.071 hab. CENSO 2002) sería necesario disponer de un caudal de 4,46 m³/s. El caudal disponible de la Región es de 40,73 m³/s (Tabla N° 1.3), lo que significa que para el uso de la población se debe ocupar el 10,95 % de su capacidad, porcentaje mayor al indicado anteriormente por Wollman (1%) y ESVAL (9%) e incluso levemente superior con respecto a países desarrollados (10%). Si se suma a lo anterior la irregularidad natural de distribución del recurso hídrico, sin dudas que esta mayor demanda de agua por parte de la población, sin considerar el crecimiento permanente de ella, generará una reducción y/o racionalización importante en otras actividades, especialmente en la agricultura, lo que puede producir considerables dificultades de abastecimiento, situación que amerita ser estudiada con el fin de dar solución a los posibles problemas de escasez del recurso. Es en este aspecto donde se justifica en parte el presente trabajo, al proponer un sistema natural de tratamiento de las aguas residuales domésticas mediante flujo subsuperficial (SFS) para su reutilización y/o reciclaje, con lo que se aliviaría la demanda necesaria del recurso de las fuentes naturales a la vez que se disminuye la carga contaminante en los vertidos de los efluentes a los cuerpos receptores de agua. Por otro lado, al obtener por éste sistema un menor costo de operación y mantenimiento, debido a una reducción importante de uso de energías con respecto a los sistemas convencionales que hoy en día, por este motivo, presentan grandes dificultades para su adquisición, hacen del SFS una alternativa viable, sobre todo para aquellas localidades de bajos recursos económicos o más pobres.

Tabla N° 1.3
Cuencas hidrográficas V Región (IGM, 2004)

RIOS	SUPERFICIE (Km ²)	LONGITUD (Km)	CAUDAL (m ³ /s)
PETORCA	2.669	112	0,63
LA LIGUA	1.900	106	1,10
ACONCAGUA	7.163	177	39,00
Sub cuencas:			
- Juncal	109	35	-
- Blanco	360	36	8,73
- Colorado	814	58	8,50
- Putaendo	1.192	82	7,83

Por otra parte, estudios realizados en EEUU, indican que el 77% de las plantas de tratamiento existentes dan servicio a comunidades con población menor o igual a 10.000 habitantes, pero solo representan el 8% del total necesario. Las pequeñas comunidades con población inferior o igual a 1.000 habitantes representan el 32% de las plantas de tratamiento, pero solo un 0,7% del total de la capacidad de tratamiento (Metcalf y Eddy, 1996). Por su situación geográfica y desarrollo, las pequeñas comunidades presentan una serie de problemas que dificultan la provisión de sistemas de abastecimiento de agua potable como también de sistemas convencionales de tratamiento de aguas residuales en su construcción y explotación, debido a los elevados costos por habitante, las

limitaciones de financiamiento, presupuestos reducidos para la operación y mantenimiento, sumado a las mismas exigencias normativas de vertido impuestas para las grandes comunidades, situación que va en desmedro de la calidad de vida de dicha población.

La situación en Chile no es tan diferente como se puede observar en la Figura N° 1.3, donde se muestra la cobertura histórica que ha tenido el sistema de tratamiento de las aguas residuales, que si bien a partir del año 2000 ha tenido un gran avance, a la fecha aún existe un déficit de tratamiento cercano al 60%. Por este motivo y asumiendo que los pequeños centros poblados del país no disponen de un sistema de tratamiento debido principalmente a los costos que ello demanda, una segunda justificación del trabajo es dar la posibilidad a esas localidades, mediante una nueva alternativa tecnológica, de contar con un sistema de tratamiento a menor costo de operación y mantenimiento, que les permita una oportunidad de desarrollo y mejorar su calidad de vida.

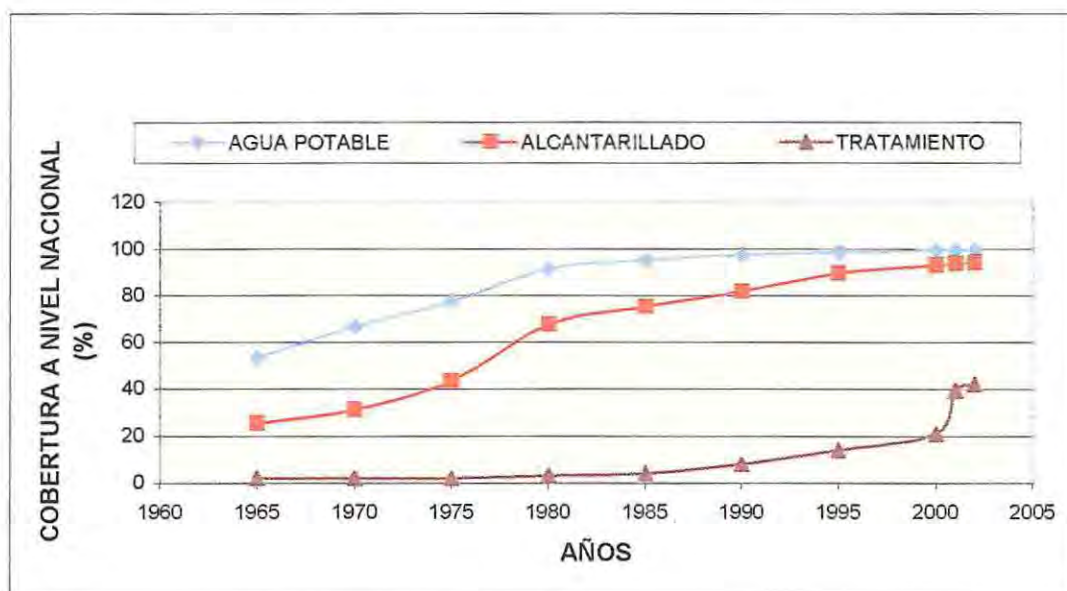


Figura N° 1.3
Evolución histórica de la cobertura de tratamiento
de aguas servidas a nivel nacional
 (Superintendencia de Servicios Sanitarios SISS, 2002)

Abordar la problemática de los recursos hídricos disponibles bajo una perspectiva cuantitativa y cualitativa no es tema menor. Ante la importancia social, económica, territorial y ambiental del recurso hídrico, se ha estimado necesario realizar este estudio con el objetivo de abrir nuevas alternativas de tratamiento de aguas residuales en el país, con costos sustancialmente menores a los sistemas tradicionales lo que permitiría a las pequeñas localidades, y por cierto las más desprotegidas, tener la posibilidad de contar con un sistema de tratamiento de sus aguas residuales con proyección a su reutilización y/o reciclado, generando oportunidades de desarrollo, a la vez, que se mejora su calidad de vida.

Los niveles de tratamiento más usados en Chile según la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS, creada por ley N° 18.902 con el objetivo de cumplir funciones de regulación y control estatal del sector), corresponde en su mayoría a tratamientos secundarios o biológicos (porque utilizan microorganismos para reducir la materia orgánica biodegradable existente en el agua) y los tipos de tratamiento existente a lo largo de nuestro territorio, clasificados por este mismo organismo como **convencionales, no convencionales y emisario submarinos**, son los indicados en la Tabla N° 1.4

Tabla N° 1.4
Tipo y sistema más utilizados en Chile
para el tratamiento de aguas residuales (SISS, 2002)

TIPO	CANTIDAD		SISTEMA
	UNIDADES	PORCENTAJE	
CONVENCIONAL (involucran mecanización)	48	43,6 (%)	EN BASE A LODOS ACTIVADOS Ó LAGUNAS AIREADAS
NO CONVENCIONAL (no involucran mecanización)	45	40,9 (%)	EN BASE A LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN
EMISARIO SUBMARINO	17	15,5 (%)	EMISARIO SUBMARINO
TOTAL	110	100 (%)	

Los gobiernos están cada día más preocupados por el rápido crecimiento poblacional, que trae consigo graves problemas de hábitat en el mundo entero (el crecimiento poblacional mundial se estima en 77 millones anualmente). Estudios estadísticos indican que las ciudades en los últimos años se han duplicado y en algún caso triplicado en viviendas para dar cupo a la población. Paralelo a este crecimiento surge una mayor demanda por el recurso hídrico, agotándose las fuentes y dificultando su distribución por una parte, pero también, se genera una mayor contaminación del mismo al ser usado y no purificado antes de verter al medio ambiente. Se suma a lo anterior la ocupación de terrenos cuya superficie invadió ecosistemas naturales modificando el ciclo natural del agua lo que ha producido daño y agotamiento de los recursos hídricos.

Motivado en la búsqueda de nuevos desafíos para minimizar la problemática creciente generada por los vertidos de aguas contaminadas al medio natural sin una depuración adecuada, el presente trabajo está orientado a estudiar un sistema de tratamiento para las aguas residuales doméstica, que permita reducir los costos de operación y mantenimiento y a la vez, potenciar la reutilización y/o reciclado de la misma. Orientando su aplicabilidad a pequeñas comunidades (menor a 3000 habitantes), que por lo general son las que presentan los mayores déficit de abastecimiento y de tratamiento de agua, se pretende encontrar una alternativa que entregue una solución lo más integral posible, de modo que permita recuperar el recurso hídrico, mejorar el medio ambiente y sea una oportunidad para mejorar la calidad de vida de la población. De este modo se espera dar respuesta a las cuestiones hidrológicas que pueden abordarse a escala local, en el ámbito de análisis e implementación en tanto no se contra oponga a las disposiciones que sobre esta materia operan en el marco territorial de su respectiva demarcación.

Frente a lo anterior se plantea, entre muchos tipos de tratamiento de aguas residuales, un Sistema de Flujo Subsuperficial (SFS) para el tratamiento de aguas residuales domésticas, con el objetivo de reducir la carga de contaminante del vertido y convertirlo en inocuo para el medio ambiente, con todos los beneficios adicionales que ello significa.

El sistema de flujo subsuperficial (SFS), consiste en celdas o zanjas excavadas con una cierta pendiente, impermeabilizadas y rellenas con material granular (medio filtrante). Sobre éste se coloca una capa protectora de material y se plantan especies vegetales que se alimentan del flujo de agua residual, cuyo nivel se mantiene siempre por debajo de la superficie del medio filtrante. La distribución del afluente a la celda debe ser uniforme y la recolección del efluente debe tener una altura variable, de tal modo que el sistema no presente corrientes o flujos puntuales y permita su total drenaje en caso de ser necesario.

El humedal artificial de SFS, prácticamente desconocido en Chile, es una tecnología viable para la depuración de las aguas residuales, especialmente si éstas son de origen doméstico. Esta técnica propicia su aplicación en localidades con climas cálidos y población preferiblemente no mayor a los 3000 habitantes (por disponibilidad de terreno), donde las condiciones económicas y ambientales de estos proyectos, pueden ser determinantes a la hora de decidir el sistema de tratamiento de aguas servidas de una localidad. En la Tabla N° 1.5 se indican los resultados de un estudio realizado en la Comunidad Europea sobre las alternativas de uso de los sistemas de tratamiento de aguas servidas en función de la cantidad de habitantes, de donde se desprende que la utilización de humedales es bastante recurrida para poblaciones menores de 2000 habitantes.

Tabla N° 1.5
Sistemas de tratamiento usados por la comunidad Europea
en función de la población (Collado, 1991 en Martínez, 2004)

SISTEMA	POBLACIÓN EQUIVALENTE							
	100	200	500	1000	2000	5000	10000	> 10000
FOSA SÉPTICA	M	I	P					
HUMEDAL	P	I	M	M	M	I	P	P
TANQUE Imhoff	M	M	I	P				
FILTRO DE ARENA	M	M	M	I	P			
BIODISCO			P	P	I	M	M	M
LAGUNAS AIREADAS			P	I	M	M	M	M
L. A. AIREACIÓN EXTENDIDA	I	I	M	M	M	M	M	I

P: POCO ; I: INTERMEDIO ; M: MUCHO

En cuanto a la experiencia del país en la aplicación de SFS para el tratamiento de las aguas residuales es muy escasa (su uso está limitado a casos específicos a nivel de tratamiento industrial), lo que queda evidenciado al observar la Tabla N° 1.6 donde se indica la cobertura de agua potable y alcantarillado y los sistemas de tratamiento utilizados para la depuración de las aguas servidas por la principal Empresa, ESVAL S.A. que atiende al 98.75% de la población total

de la V Región. En la Tabla N° 1.7 se muestra el resto de las Empresas que operan en la región y la cobertura que tiene cada una en agua potable, alcantarillado y tratamiento.

Tabla N° 1.6
Cobertura de agua potable y alcantarillado y
Sistema de tratamiento usado por ESVAL SA. V Región
 (Superintendencia de Servicios Sanitarios SISS, 2003)

LOCALIDAD	POBLACIÓN ESTIMADA	COBERTURA		SISTEMA DE TRATAMIENTO
		AGUA POTABLE	ALCANTARILLADO	
ALGARROBO	5.483	99,5	77,1	Emisario Submarino
ALMENDRAL	3.240	100,0	57,2	
ARTIFICIO	9.958	97,4	77,3	
CABILDO	13.332	100,0	96,2	Laguna de Estabilización
CACHAGUA	1.338	100,0	25,0	Lodos Activados (*)
CALLE LARGA	4.718	98,9	23,8	Lodos Activados (*)
CARTAGENA	10.355	96,6	69,5	Emisario Submarino
CASABLANCA	13.447	98,8	93,5	Laguna Aireada
CATEMU	6.225	99,4	79,0	Laguna Aireada
CHEPICAL	2.598	98,7	7,9	
CHINCOLCO	1.827	95,8	0,0	Lodos Activados
CONCON	25.896	99,7	79,2	Emisario Submarino
CURAUMA	5.286	99,8	96,3	Laguna Aireada
EL QUISCO	5.640	97,1	32,7	Emisario Submarino
EL TABO	4.218	96,1	29,0	Emisario Submarino
HIJUELAS	9.452	94,3	69,5	
ISLA NEGRA	1.411	96,7	0,6	Emisario Submarino
LA CALERA	39.744	96,6	94,4	
LA CRUZ	8.383	92,5	82,9	Lodos Activados
LA LAGUNA	1.689	97,1	7,6	Lodos Activados (*)
LA LIGUA	20.947	100,0	95,2	Lodos Activados
LAS CRUCES	2.871	96,2	25,4	Emisario Submarino
LIMACHE	33.785	99,3	91,2	Lodos Activados
LLAY LLAY	16.781	99,9	92,8	Laguna Aireada
LOS ANDES	61.231	99,7	96,5	Lodos Activados
NOGALES	9.922	99,5	84,4	Laguna de Estabilización
PAPUDO	3.079	100,0	69,4	Lodos Activados
PETORCA	2.892	91,7	55,5	Laguna de Estabilización
PLACILLA DE LA LIGUA	3.437	91,6	0,0	-
PLACILLA DE PEÑUELA	6.866	99,5	85,5	Laguna Aireada
PUCHUNCAVI	3.450	100,0	87,9	Laguna de Estabilización
PUNTA SE TRALCA	1.330	98,9	0,0	-
PUTAENDO	9.531	99,7	61,6	Laguna Aireada
QUILLOTA	59.491	99,7	98,8	Lodos Activados
QUILPUE	124.637	99,7	95,5	Emisario Submarino

Continuación Tabla N° 1.6 Cobertura de agua potable y alcantarillado por ESVAL SA. V Región.				
QUINTERO	19.614	98,4	88,6	Emisario Submarino (*)
REAL CURIMON	3.943	99,3	0,0	Lodos Activados (*)
REÑACA	15.316	99,9	96,9	Emisario Submarino
RINCONADA	5.659	98,8	0,0	Lodos Activados (*)
SAN ANTONIO	88.807	96,6	88,8	Emisario Submarino (*)
SAN ESTEBAN	10.300	99,5	38,9	Laguna de Estabilización
SAN FELIPE	51.939	99,7	98,8	Lodos Activados
SAN ISIDRO	669	100,0	0,0	-
SAN PEDRO	3.480	99,0	0,0	Lodos Activados (*)
SAN SEBASTIÁN	2.410	96,1	4,9	Emisario Submarino
SANTA MARIA	4.718	99,4	60,3	Laguna de Estabilización
VALPARAÍSO	283.976	99,7	96,3	Emisario Submarino
VILLA ALEMANA	90.492	99,6	97,0	Emisario Submarino
VIÑA DEL MAR	312.937	99,7	96,1	Emisario Submarino
ZAPALLAR	1.750	100,0	1,1	Lodos Activados (*)
TOTAL	1.430.500	99,2	90,5	

(*) futuras plantas

Tabla N° 1.7
Cobertura de agua potable, alcantarillado
y tratamiento de aguas servidas. V Región
 (Superintendencia de Servicios Sanitarios, SISS, 2003)

EMPRESAS	POBLACIÓN		COBERTURA		
	HABITANTES	(%)	AGUA POTABLE	ALCANTARILLADO	TRATAMIENTO
ESVAL SA	1.430.500	98,75	99,2	90,5	77,6
COOPAGUA LTDA	4.400	0,30	100,0	37,7	37,7
E.A.P. LOS MOLLES SA	641	0,04	100,0	16,0	0,0
BRISAS DE MIRASOL	3.243	0,22	96,7	16,0	0,0
SASIPA	3.800	0,26	100,0	0,0	0,0
LAGO PEÑUELAS SA	-	0,00	-	-	-
MIRASOL DE ALGARROBO	3.280	0,23	99,4	0,0	0,0
ALGARROBO NORTE	2.799	0,19	96,0	0,0	0,0

Como en todo sistema, existen ventajas y limitaciones que son necesarias tener presente a la hora de evaluar una alternativa. Frente al sistema de tratamiento mediante flujo subsuperficial (SFS) se pueden identificar las siguientes ventajas, limitaciones.

i) Ventajas

Como sistema para el tratamiento de las aguas servidas, el humedal SFS, es una alternativa técnica y económicamente factible por las siguientes razones:

- Son de bajo costo en relación a otras opciones de tratamiento.
- Los gastos de operación y mantenimiento son bajos (energía y suministros).
- La instalación no requiere de un trabajo permanente de operación y mantenimiento.
- Los humedales soportan adecuadamente las variaciones de caudal.
- Facilitan la reutilización y potencial reciclaje del agua.
- No se requiere de personal calificado para su mantenimiento.

Además

- Proporcionan un hábitat para muchos organismos.
- Pueden construirse en armonía con el paisaje.
- Puede convertirse en un área de estudio.
- Puede generar un atractivo turístico.
- Es una zona sensible con el medio ambiente que cuenta con el favor del público.
- Proporcionan muchos beneficios adicionales a la mejora de la calidad del agua, como ser un hábitat para la vida salvaje y un realce de las condiciones estéticas de los espacios abiertos.
- Dependiendo del tipo de vegetación usada, pueden convertirse en una fuente de recursos al cosechar las plantas, generando una actividad económica.
- No generan olores ni ruidos
- Si no sube agua a la superficie, suele no haber problemas de vectores (moscas, mosquitos)
- El efluente es transparente, a diferencia del procedente de lagunaje que presenta coloración por el arrastre de microalgas.

ii) Limitaciones

- Requieren de grandes extensiones de terreno, comparado con los sistemas convencionales (Tabla N° 1.8). El tratamiento con humedal puede ser relativamente más económico que otra opción, solo en el caso de tener un terreno disponible y asequible.
- El rendimiento del humedal puede ser menos constante que el de un proceso convencional.
- El rendimiento puede ser estacional en respuesta a los cambios en las condiciones ambientales, invierno-verano, incluyendo lluvias y sequías.
- Los componentes biológicos son sensibles a sustancias como el amoníaco y los pesticidas que llegan a ser tóxicos.
- Se requiere una mínima cantidad de agua para que sobrevivan, pero no soportan estar completamente secos.

Además, el uso de los humedales artificiales SFS para el tratamiento de aguas residuales es relativamente nuevo, por lo que no existe un consenso sobre el diseño óptimo del sistema y por ende no se dispone de información técnica suficiente sobre su rendimiento a largo plazo en zonas templadas. Por otro lado, gran parte de los estudios se han desarrollado en países con climas fríos por lo que los parámetros de diseño en los modelos disponibles, corresponden a esas condiciones.

En la Tabla N° 1.8 se muestra el resultado de un estudio comparativo de los diferentes sistemas de tratamiento, en relación a la disponibilidad de superficie, necesidades de obra y equipos, y costo de construcción y mantenimiento.

Tabla N° 1.8
Estudio comparativo de los diferentes sistemas de tratamiento (Scoáñez, 1999)

SISTEMA	SUPERFICIE NECESARIA (m ² /hab)	NECESIDADES DE		COSTOS DE	
		OBRA	EQUIPOS	CONSTRUCCIÓN	MANTENIMIENTO
FOSA SÉPTICA	0,4 – 0,6	P	MP	P	P
LECHO FILTRANTE	2,2 – 2,8	MP	MP	M	M
ZANJA FILTRANTE	6 – 6,5	MP	MP	M	M
HUMEDAL	2,5 – 9	P-B	MP	P	P
TANQUE Imhoff	0,01 – 1	B	P-B	P	P
LECHO BACTERIANO	4 – 7	B	B	I	M
LECHO DE TURBA	0,6 – 1	P	MP	P	M
FILTRO DE ARENA	1,2 – 10	P	P	M	M
RIEGO POR ENCHARCAMIENTO	10 – 30	P-B	MP	P	I
INFILTRACIÓN PRECOLACIÓN	2 – 10	P-B	MP	P	P
ESCORENTIA SUPERFICIAL	6 – 10	P-B	MP	P	P
BIODISCOS	5 – 7	MP-P	M	I	M
AIREACIÓN PROLONGADA	2 – 8	B-M	M	I	M
LAGUNAS AIREADAS	1 – 3	B	MP	P	P
LAGUNAS AEROBIAS	4 – 7	B	MP	P	P
LAGUNAS ANAEROBIAS	4 – 7	B	MP	P	P
LAGUNAS FACULTATIVAS	2 – 14	B	MP	P	P
TRATAMIENTOS FÍSICO-QUÍMICOS	0,1 – 0,2	B	M	I	M
POZO FILTRANTE	1 – 10	B-M	MP	M	M
RIEGO POR ASPERSIÓN	8 - 10	B	P	I	I

MP: MUY POCO; P: POCO; I: INTERMEDIO; B: BASTANTE; M: MUCHO;

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo general

Dada la necesidad imperativa de purificar las aguas contaminadas al menor costo social, energético y ambiental, el presente trabajo tiene como objetivo “el estudio experimental de

tratamiento de aguas residuales domésticas mediante sistema de flujo subsuperficial” con el fin de reducir la carga contaminante del vertido y convertirlo en inocuo para el medio ambiente.

Esta propuesta apunta al mejoramiento de las condiciones sociales, económicas, ecológicas y culturales de la población, en concordancia con las metas gubernamentales, como también, generar las actitudes y prácticas necesarias para lograr el desarrollo que se persigue en esta materia.

1.2.2 Objetivos específicos

- Estudiar experimentalmente un Sistema de Flujo Subsuperficial (SFS) para el tratamiento de aguas residuales domésticas, usando grava y caña común (arundo donax)
- Establecer la eficacia de plantas vegetales existente en la zona para su uso en tratamiento de purificación de aguas residuales domésticas mediante SFS.
- Establecer la eficacia de material granular existente en la zona para uso como medio filtrante en sistema de purificación de aguas residuales mediante SFS.
- Abrir la posibilidad de uso de un nuevo sistema de purificación de aguas residuales domésticas, más amigables con el medio ambiente.
- Abrir la posibilidad al estudio de vegetales que cumplan con la depuración y que puedan ser cosechados como materia prima para desarrollar otras actividades económicas (ejemplo forraje para animales)
- Establecer un procedimiento para el diseño de humedales SFS acorde con la realidad nacional.

1.3 HIPOTESIS DE TRABAJO

“El uso de grava limpia como medio filtrante (tamaño máximo 1 ½”) y caña común como vegetal (arundo donax) en un sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas mediante flujo subsuperficial (SFS), logra reducir la carga contaminante del afluente a niveles permitidos por la normativa vigente para su vertido (DS N° 90 de 2000)”.

La factibilidad de un sistema no convencional para el tratamiento de aguas residuales domésticas a menor costo de operación y mantenimiento en relación a los sistemas convencionales, permite a la autoridad implementar estrategias y planes de desarrollo hacia las pequeñas comunidades, que por su ubicación geográfica y/o condición socioeconómica no tienen posibilidad de contar con un sistema de tratamiento convencional de agua residuales, considerando que el recurso hídrico purificado es fundamental para lograr un desarrollo equilibrado e integral, que permite mejorar la calidad de vida humana y la biodiversidad de los ecosistemas.

Lograr los objetivos que persigue el presente trabajo, genera esencialmente beneficios socioeconómicos y ambientales, pues, no se pretende fomentar el uso del agua o incrementar la

oferta y demanda hídricas, sino que se orienta a corregir los graves problemas de dotación existentes tanto para el abastecimiento de la población a través de la posibilidad de reciclar el agua, como también, potenciar el desarrollo de diversas actividades económicas por medio de su reutilización previa purificación. Se incorporan objetivos ambientales en busca del reequilibrio hídrico orientado al uso sostenible del agua al disminuir su captación de las fuentes naturales y al vertido de aguas no contaminadas, propiciando con ello la recuperación medioambiental del entorno afectado.

La vulnerabilidad del recurso hídrico frente a la creciente escasez puede minimizarse al incorporar un sistema de tratamiento natural del agua residual, que permita a bajo costo hacer un uso más eficiente de ella a través de la utilización de técnicas para la reutilización y/o reciclaje incorporando nuevas formas para el diseño urbano y/o la vivienda, además de sensibilizar a la población y a la autoridad para un manejo adecuado del recurso.

La implementación de un sistema SFS para la purificación de las aguas residuales, resultaría ser más conveniente que un sistema convencional, debido a menores costos de operación y mantenimiento, a la posibilidad de usar las plantas vegetales como materia prima una vez cosechadas y a la inserción del sistema en el paisaje.

1.4 METODOLOGIA PROPUESTA

El esquema metodológico adoptado conforme a los objetivos planteados, se resume a continuación, donde se indican los ejes y los principales elementos que definen el flujo de información requerida y el desarrollo del proceso experimental (ver Figura N° 1.4, Diagrama de metodología propuesta).

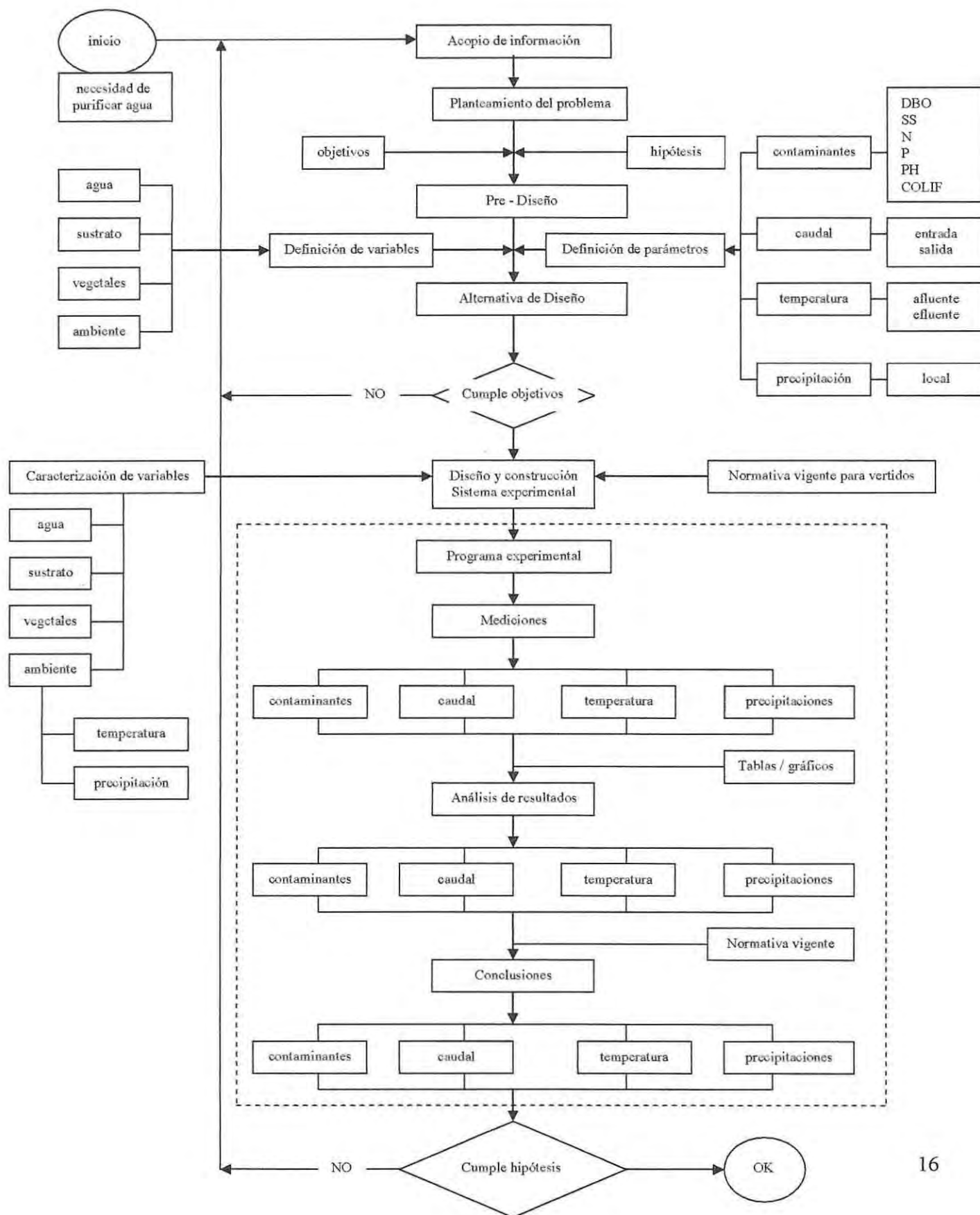
Frente a una necesidad de purificar el agua residual, la metodología se inicia con el acopio de información relacionada con el tema (libros, apuntes, trabajos, Internet, etc), para dar paso al planteamiento del problema y definición de los objetivos y la hipótesis.

Se diseña la alternativa de investigación conforme a los objetivos y se definen las variables involucradas y los parámetros a medir.

Con la caracterización de las variables (calidad del agua residual a tratar, materiales granulares y vegetales a utilizar según disponibilidad del entorno, antecedentes sobre las condiciones climáticas locales, específicamente precipitaciones y temperaturas), y la exigencia de purificación de acuerdo a la normativa vigente, se da inicio al diseño del humedal experimental para luego realizar su construcción.

Poner en funcionamiento el sistema, registrar datos y observaciones son los pasos siguientes y necesarios para establecer los análisis de los resultados y presentar las conclusiones correspondientes.

Figura N° 1.4 Diagrama de metodología propuesta



1.5 LIMITACIONES DEL ESTUDIO

- La experiencia se desarrolla en patio adyacente al Laboratorio de Mecánica de Suelos, Facultad de Arquitectura de la Universidad de Valparaíso.
- Se usan plantas vegetales, caña común, *Arundo Donax*, para realizar la experiencia.
- Se usa grava tamaño máximo 1 1/2" como áridos para el estrato filtrante.
- El agua servida utilizada proviene de fosa séptica ubicada en recinto del Laboratorio.
- Las condiciones climáticas corresponden a la localidad. Valparaíso.
- El tamaño del humedal experimental corresponde a escala de laboratorio
- Los resultados obtenidos serán representativos a la escala usada.

CAPITULO II ANTECEDENTES SOBRE CONTAMINACIÓN, DEPURACIÓN Y SISTEMAS DE TRATAMIENTO NATURAL DEL AGUA

2.1 CONTAMINACIÓN DEL AGUA

2.1.1 Introducción

La contaminación de las aguas puede proceder de fuentes naturales o de actividades humanas. Hoy en día, sin duda, que la fuente más importante de contaminación es provocada por el hombre. El desarrollo y la industrialización a parte de generar una mayor demanda de agua producen una gran cantidad de residuos mucho de los cuales van a parar al sistema hídrico. El uso de medios de transporte fluviales y marítimos son, en muchas ocasiones, causa de contaminación de las aguas (los accidentes marítimos son responsables de alrededor de un 5% de los hidrocarburos vertidos en el mar) (Echarri, 1998).

El ciclo natural del agua tiene una gran capacidad de purificación, sin embargo, esta misma facilidad de regeneración y su aparente abundancia, ha provocado su uso equivocado de vertedero habitual, en el que arrojamamos todo tipo de residuos producto de nuestras actividades. Aguas servidas, pesticidas, desechos químicos, metales pesados, residuos radiactivos, y otros elementos, se encuentran en menor o mayor cantidad, al analizar las aguas de los lugares más remotos del planeta, muchas de las cuales presentan una contaminación tal que las hace peligrosa para la salud humana y dañina para la vida.

La degradación del agua viene de tiempos inmemoriales y en algunos lugares como la desembocadura del Nilo, los niveles de contaminación son elevados desde hace siglos, pero ha sido en nuestra época cuando el problema de la contaminación se ha extendido a ríos, lagos y mares producto del vertido de los residuos producidos por la actividad humana.

2.1.2 Origen de la contaminación del agua

El origen de la contaminación de las aguas puede proceder de **Fuentes naturales** o de **Fuentes antropogénicas** producto de la actividad humana.

a) Fuentes naturales:

Algunas fuentes de contaminación del agua son naturales. Por ejemplo, el mercurio que se encuentra naturalmente en la corteza terrestre y en los océanos contamina la biosfera mucho más que el procedente de la actividad humana. Algo similar ocurre con los hidrocarburos y otros productos. Estudios realizados por la Academia de las Ciencias de EEUU en 1989, estimaron que un tercio de la contaminación por hidrocarburos que llegan al océano se debe a filtraciones naturales y a través de la atmósfera (Echarri, 1998)

Normalmente las fuentes de contaminación natural son dispersas y no provocan concentraciones altas de polución, excepto en algunos lugares muy específicos (un volcán por ejemplo), en

cambio, la contaminación de origen humano, se concentra en determinados lugares y es mucho más peligrosa que la natural, para la mayor parte de los contaminantes.

b) Fuentes antropogénicas:

Existen cuatro focos principales de contaminación de origen humano: la industria, los vertidos urbanos, la navegación y la agricultura y ganadería.

i) Industria

Según el tipo de industria es el tipo de residuo producido. Hoy en día, con el avance tecnológico muchas industrias, principalmente en los países desarrollados, poseen eficaces sistemas de depuración de aguas, sin embargo, no son suficiente para liberar las aguas de la contaminación, considerando que los residuos industriales son los que tienen la mayor incidencia.

Dentro del sector industrial, a modo de ejemplo, algunas de las actividades y contaminación asociada, se indican en la Tabla N° 2.1

Tabla N° 2.1
Actividad industrial y sustancias contaminante típicas asociada (Echarri,1998)

SECTOR INDUSTRIAL	SUSTANCIAS CONTAMINANTES PRINCIPALES
Construcción	Sólidos en suspensión, metales, grado de pH.
Minería	Sólidos en suspensión, metales pesados, materia orgánica, pH, cianuros.
Energía	Calor, hidrocarburos y productos químicos.
Textil y piel	Cromo, taninos, tensoactivos, sulfuros, colorantes, grasas, disolventes orgánicos, ácidos acéticos y fórmicos, sólidos en suspensión.
Automoción	Aceites lubricantes, pinturas y aguas residuales.
Navales	Petróleo, productos químicos, disolventes y pigmentos.
Siderurgia	Cascarillas, aceites, metales disueltos, emulsiones, sosas y ácidos.
Química inorgánica	Hg, P, fluoruros, cianuros, amoníaco, nitritos, ácido sulfhídrico, F, Mn, Mo, Pb, Ag, Se, Zn, etc, y los compuestos de todos ellos.

Tabla N° 2.1 (continuación)

Química orgánica	Órgano halogenado, órgano silícico, compuestos cancerígenos, y otros que afectan al balance de oxígeno.
Fertilizantes	Nitratos y fosfatos.
Pasta y papel	Sólidos en suspensión y otros que afectan al balance de oxígeno.
Plaguicidas	Órgano halogenados, órgano fosforados, compuestos cancerígenos, biocida, etc.
Fibras químicas	Aceites minerales y otros que afectan al balance de oxígeno.
Pinturas, barnices y tintas	Compuestos organoestámicos, compuestos de Zn, Cr, Se, Mo, Ti, Sn, Ba, Co, etc.

ii) Vertidos urbanos

La actividad doméstica produce principalmente residuos orgánicos, no obstante, el sistema de alcantarillado arrastra todo tipo de sustancias (emisiones de automóviles -hidrocarburos, plomo, otros metales- sales, ácidos, etc.), que intensifican la contaminación de las aguas. Estudio realizado por la Academia de las Ciencias de EEUU en 1989, estimó que el 35% de la contaminación por hidrocarburos vertida al océano corresponde a las descargas de aguas residuales urbanas e industriales (Echarri, 1998).

Como una forma de combatir la creciente contaminación de las aguas por descargas residuales, en Mayo de 1991, fue aprobada la Directiva 91/271/CEE de la Unión Europea sobre el Tratamiento de las Aguas Residuales Urbanas, la cual urge a los estados miembros a tomar las medidas necesarias para lograr que todas las aguas residuales sean adecuadamente recogidas y sometidas a tratamientos secundarios o equivalentes antes de ser vertidas, que dependiendo del tamaño de la comunidad, se debe cumplir entre el periodo 1995 y 2005. Sin duda que esta medida obligatoria de purificación de las aguas residuales está reduciendo de forma importante este tipo de contaminación. En Chile, a través del DS N° 90 de 2000, se adopta una disposición similar a cumplir a partir del año 2006.

iii) Navegación

Esta actividad produce diferentes tipos de contaminación, pero mayoritariamente son hidrocarburos. Los vertidos de petróleo, accidentales o no, provocan importantes daños ecológicos.

Según estudio realizado por el Consejo Nacional de Investigación de los EEUU, en 1985 se vertieron al mar 3,2 millones de toneladas de hidrocarburos. A lo largo de la década de los ochenta se tomaron diversas medidas para reducir la contaminación de los mares y estudios posteriores realizados por la Academia de las Ciencias de EEUU estimaba que en 1989 se habían reducido en un 60% los vertidos, alcanzando algo más de los 2 millones de toneladas. De esta cifra, un tercio correspondería a vertidos de buques (más por operaciones de limpieza y similares, valor que va disminuyendo con el tiempo, que por accidentes).

iv) Agricultura y ganadería

Los trabajos agrícolas producen vertidos de pesticidas, fertilizantes y restos orgánicos de animales y plantas que contaminan de una forma difusa pero importante las aguas.

La mayoría de los vertidos de esta actividad son producidos por la ganadería y al ser directos, es decir, no se hacen a través de redes urbanas de saneamiento, son más difíciles de controlar y depurar. Al contener los vertidos de origen agrario grandes cantidades de nitratos, se acentúa la vulnerabilidad de las aguas subterráneas cuya concentración en nitrato sea superior a 50 mg/l como también los embalses, lagos y otros ecosistemas acuáticos que se encuentran en estado eutrófico o en peligro de estarlo.

En la Tabla Nº 2.2 se indica una equivalencia de carga contaminante producida por una persona en una vivienda normal con respecto a la población agraria expresada en DBO.

Tabla Nº 2.2
Equivalencia de carga contaminante de una persona con respecto
a población agraria expresado en DBO (Echarri,1998)

FUENTE DE DESECHO	EQUIVALENTE POBLACIÓN
Hombre	1
Vaca	16,4
Caballo	11,3
Cerdo	3
Oveja	2,45
Gallina	0,013

2.1.3 Alteraciones físicas, químicas y biológicas del agua

La contaminación del agua queda representada por alteraciones físicas, químicas y biológicas, las que resumidamente se indican en las Tablas Nº 2.3; 2.4 y 2.5.

Tabla N° 2.3
Alteraciones físicas del agua (Echarri, 1998)

Alteraciones físicas	Características y contaminación que indica
Color	En general no se pueden establecer relaciones claras entre el color y el tipo de contaminación, pero una característica propia del agua pura es que se presenta incolora. El agua no contaminada suele tener ligeros colores rojizos, pardos, amarillentos o verdosos debido, principalmente, a los compuestos húmicos, férricos o los pigmentos verdes de las algas que contienen. Las aguas contaminadas pueden tener muy diversos colores.
Olor y sabor	Compuestos químicos presentes en el agua como los fenoles, diversos hidrocarburos, cloro, materias orgánicas en descomposición o esencias liberadas por diferentes algas u hongos pueden dar olores y sabores muy fuertes al agua, aunque estén en muy pequeñas concentraciones. Las sales o los minerales dan sabores salados o metálicos, en ocasiones sin ningún olor.
Temperatura	La temperatura óptima del agua para beber está entre los 10 y 14 °C. El aumento de temperatura disminuye la solubilidad de gases (oxígeno) y aumenta, en general, la de las sales. Aumenta la velocidad de las reacciones del metabolismo, acelerando la putrefacción. Las centrales nucleares, térmicas y otras industrias contribuyen a la contaminación térmica de las aguas, a veces de forma importante.
Materiales en suspensión	Partículas como arcilla, limo y otras, aunque no lleguen a estar disueltas, son arrastradas por el agua de dos maneras: en suspensión estable (disoluciones coloidales) que precipitarán solo después de haber sufrido coagulación o floculación (reunión de varias partículas); o en suspensión momentánea, que solo dura mientras el movimiento del agua las arrastra.
Radiactividad	Las aguas naturales presentan valores de radiactividad, debido a isótopos del K. A través de algunas actividades humanas, el agua es contaminada con isótopos radiactivos.
Espumas	Los detergentes producen espumas y añaden fosfato al agua (eutrofización), disminuyen considerablemente el poder auto purificador de los ríos al dificultar la actividad bacteriana y también interfieren en los procesos de floculación y sedimentación en las estaciones depuradoras
Conductividad	La conductividad eléctrica del agua pura es muy baja. El agua natural tiene iones en disolución y su conductividad es mayor y proporcional a la cantidad y características de esos electrolitos. Debido a esto se usan valores de conductividad como índice aproximado de concentración de solutos. Como la temperatura modifica la conductividad las medidas se deben hacer a 20 °C.

Tabla N° 2.4
Alteraciones químicas del agua (Echarri, 1998)

Alteraciones químicas	Características y contaminación que indica
pH	Las aguas naturales pueden tener pH ácido por el CO₂ disuelto desde la atmósfera o proveniente de los seres vivos; por ácido sulfúrico procedente de algunos minerales, o por ácidos húmicos disueltos del mantillo del suelo. La principal sustancia básica en el agua natural es el carbonato cálcico que puede reaccionar con el CO₂ formando un sistema tampón carbonato/bicarbonato Las aguas contaminadas con vertidos mineros o industriales pueden tener pH muy ácido. El pH tiene una gran influencia en los procesos químicos que tienen lugar en el agua, actuación de los floculantes, tratamientos de depuración, etc.
Oxígeno disuelto (OD)	Las aguas superficiales limpias suelen estar saturadas de oxígeno, lo que es fundamental para la vida. Por el contrario, si el nivel de oxígeno disuelto es bajo indica un agua contaminada con materia orgánica, septicización, de mala calidad e incapaz de mantener determinadas formas de vida.
Materia orgánica biodegradable Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	DBO5 es la cantidad de oxígeno disuelto requerido por los microorganismos para la oxidación aerobia de la materia orgánica biodegradable presente en el agua. Se mide a los 5 días. Su valor da una idea de la calidad del agua desde el punto de vista de la materia orgánica presente y permite prever cuanto oxígeno será necesario para la depuración adecuada e ir comprobando la eficacia que está teniendo el sistema de tratamiento en una planta.
Materiales oxidables Demanda Química de Oxígeno (DQO)	DQO es la cantidad de oxígeno que se necesita para oxidar los materiales contenidos en el agua con un oxidante químico (normalmente dicromato potásico en medio ácido). Se determina en tres horas y en la mayoría de los casos, guarda una buena relación con la DBO por lo que es de gran utilidad al no necesitar los cinco días de la DBO. Sin embargo la DQO no diferencia entre materia biodegradable y el resto y no suministra información sobre la velocidad de degradación en condiciones naturales.
Nitrógeno total	Varios compuestos de nitrógeno son nutrientes esenciales. Su presencia en exceso en las aguas es causa de eutrofización. El nitrógeno se presenta de varias formas químicas en las aguas naturales y contaminadas. En los análisis habituales se suele determinar el NTK (Nitrógeno Total Kjeldahl) que incluye el nitrógeno orgánico y el amoniacal. El contenido en nitratos (NO₃) y nitritos (NO₂) se da por separado.

Tabla N° 2.4 (continuación)

Fósforo total	El fósforo, es también, un nutriente esencial para la vida. Al igual que el nitrógeno, su exceso en el agua provoca eutrofización. El fósforo total incluye distintos compuestos como diversos ortofosfatos, polifosfatos y fósforo orgánico. La determinación se hace convirtiendo todos ellos en ortofosfatos que son los que se determinan por análisis químico.
Aniones: cloruros nitratos nitritos fosfatos sulfuros cianuros fluoruros	Indican salinidad Indican contaminación agrícola Indican actividad bacteriológica Indican detergentes y fertilizantes Indican acción bacteriológica anaerobia (aguas negras) Indican contaminación de origen industrial En algunos casos se añaden al agua para la prevención de las caries, aunque es una práctica muy discutida
Cationes: sodio calcio / magnesio amonio metales pesados	Indica salinidad Están relacionados con la dureza del agua Contaminación con fertilizantes y heces De efectos muy nocivos; se bioacumulan en la cadena trófica
Compuestos orgánicos	Los aceites y grasas procedentes de procesos industriales (automóviles, lubricantes, etc.) o restos de alimentos, son difíciles de metabolizar por las bacterias y flotan formando películas en el agua que dañan a los seres vivos. Como resultado de la contaminación industrial, pueden existir fenoles en el agua que cuando reaccionan con el cloro que se añade como desinfectante, forman clorofenoles, que dan al agua muy mal olor y sabor

Tabla N° 2.5
Alteraciones biológicas del agua (Echarri, 1998)

Alteraciones biológicas	Características y contaminación que indica
Bacterias coliformes	Desechos fecales
Virus	Desechos fecales y restos orgánicos
Animales, plantas, microorganismos diversos	eutrofización

2.1.4 Sustancias contaminantes del agua

Existe un gran número de sustancias contaminantes del agua que se pueden clasificar de distintas maneras. Una posibilidad comúnmente usada es representarla en 8 grupos que se indica en la Tabla N° 2.4

Tabla N° 2.6
Sustancias contaminantes del agua (Echarri, 1998)

GRUPO	SUSTANCIA	CARACTERISTICAS
1	Microorganismos patógenos	Son los diferentes tipos de bacterias, virus, protozoos y otros organismos que transmiten enfermedades como el cólera, tifus, gastroenteritis diversas, hepatitis, etc. En los países en vías de desarrollo las enfermedades producidas por estos patógenos son uno de los motivos más importantes de muerte prematura, sobre todo de niños. Normalmente estos microbios llegan al agua en las heces y otros restos orgánicos que producen las personas infectadas. Por esto, un buen índice para medir la salubridad de las aguas, en lo que se refiere a estos microorganismos, es el número de bacterias coliformes presentes en el agua. La OMS (Organización Mundial de la Salud) recomienda que en el agua para beber no hayan colonias de coliformes (0 por 100ml de agua).
2	Desechos orgánicos	Son el conjunto de residuos orgánicos producidos por los seres humanos, ganado, etc. Incluyen heces y otros materiales que pueden ser descompuestos por bacterias aeróbicas, es decir en procesos con consumo de oxígeno. Cuando este tipo de desechos se encuentran en exceso, la proliferación de bacterias agota el oxígeno, y ya no pueden vivir en esta agua peces y otros seres vivos que necesitan oxígeno. Buenos índices para medir la contaminación por desechos orgánicos son la cantidad de oxígeno disuelto, (OD) en agua, o la DBO.
3	Sustancias químicas inorgánicas	En este grupo están incluidos ácidos, sales y metales tóxicos como el mercurio y el plomo. Si están en cantidades altas pueden causar graves daños a los seres vivos, disminuir los rendimientos agrícolas y corroer los equipos que se usan para trabajar con el agua.

Tabla N° 2.6 (continuación)

4	Nutrientes vegetales inorgánicos	Nitratos y fosfatos son sustancias solubles en agua que las plantas necesitan para su desarrollo, pero si se encuentran en cantidad excesiva inducen el crecimiento desmesurado de algas y otros organismos provocando la eutrofización de las aguas. Cuando estas algas y otros vegetales mueren, al ser descompuesto por los microorganismos, se agota el oxígeno y se hace imposible la vida de otros seres vivos. El resultado es un agua maloliente e inutilizable.
5	Compuestos orgánicos	Muchas moléculas orgánicas como petróleo, gasolina, plásticos, plaguicidas, disolventes, detergentes, etc. acaban en el agua y permanecen, en algunos casos, largos periodo de tiempo, porque, al ser productos artificiales, tienen estructuras moleculares complejas difíciles de degradar por los microorganismos
6	Sedimentos y materiales suspendidos	Muchas partículas erosionadas del suelo y arrastradas a las aguas (por el viento por ejemplo), junto con otros materiales que hay en suspensión en las aguas, son, en términos de masa total, la mayor fuente de contaminación del agua. La turbidez que provocan en el agua dificulta la vida de algunos organismos, y los sedimentos se van acumulando destruyen sitios de alimentación o desove de los peces, rellenan los lagos o pantanos y obstruyen canales, ríos y puertos.
7	Sustancias radioactivas	Isótopos radiactivos solubles pueden estar presentes en el agua, y a veces, se pueden ir acumulando a lo largo de las cadenas tróficas, alcanzando concentraciones considerablemente más altas en algunos tejidos vivos que las que tenían las aguas.
8	Contaminación térmica	El agua caliente liberada por centrales de energía o procesos industriales eleva, en ocasiones, la temperatura de ríos o embalses con lo que disminuyen su capacidad de contener oxígeno y afecta a la vida de los organismos.

2.1.5 Cuadro de enfermedades por patógenos contaminantes de las aguas

La contaminación del agua produce una gran variedad de enfermedades al ser humano muchas de ellas con consecuencias fatales razón más que suficiente para purificar las aguas. En la Tabla N° 2.5 se indica un cuadro de enfermedades por patógenos contaminantes de las aguas.

Tabla N° 2.7
Enfermedades por patógenos contaminantes de las aguas (Echarri, 1998)

TIPO DE MICROORGANISMO	ENFERMEDAD	SÍNTOMAS
Bacterias	Cólera	Diarreas y vómitos intensos. Deshidratación. Frecuentemente es mortal si no se trata adecuadamente.
Bacterias	Tifus	Fiebres. Diarreas y vómitos. Inflamación del bazo y del intestino.
Bacterias	Disentería	Diarrea. Raramente es mortal en adultos, pero produce la muerte de muchos niños en países poco desarrollados.
Bacterias	Gastroenteritis	Nauseas y vómitos. Dolor en el digestivo. Poco riesgo de muerte.
Virus	Hepatitis	Inflamación del hígado e ictericia. Puede causar daños permanentes en el hígado.
Virus	Poliomielitis	Dolores musculares intensos. Debilidad. Temblores. Parálisis. Puede ser mortal.
Protozoos	Disentería amebiana	Diarrea severa, escalofríos y fiebre. Puede ser grave si no se trata.
Gusanos	Esquistosomiasis	Anemia y fatiga continuas.

2.2 DEPURACIÓN DEL AGUA

2.2.1 Introducción

La mayoría de los vertidos de aguas residuales que se hacen en el mundo no son tratadas. Simplemente se descargan en océanos, lagos o ríos más cercanos y se deja que los sistemas naturales, con mayor o menor eficacia y riesgo, degraden los desechos de forma natural, sin considerar la mayor de las veces el tiempo de renovación del agua (ver Tabla N° 1.2).

En la actualidad cada vez más se toma conciencia de la necesidad imperiosa de tratar las aguas residuales antes de ser evacuada al medio ambiente natural y es así como en los países desarrollados una proporción, cada vez mayor, de los vertidos es tratada en Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales (EDAR) antes de que lleguen a los ríos, lagos o mares a través de Sistemas Convencionales o Sistemas de Tratamiento Naturales, pero todavía esto no es suficiente para liberar al medio ambiente de la contaminación.

En general, el objetivo del tratamiento es reducir la carga contaminante del vertido y convertirlo en inocuo para el medio ambiente. Para cumplir con estos propósitos se usan distintos tipos de tratamiento dependiendo de los contaminantes que arrastra el agua, del caudal a tratar, de la localización y superficie disponible para las EDAR, de costos de inversión, operación y mantenimiento y de otros factores generales como clima, ecosistemas afectados, entre otros.

2.2.2 Tipos de sistemas de tratamiento

La Superintendencia de Servicios Sanitario (SISS) de Chile, clasifica los tipos de tratamiento como Convencionales, No Convencionales y Emisarios Submarino. Los sistemas Convencionales son aquellos que involucran mecanización (lodos activados, biodiscos, lagunas aireadas, etc) a diferencia de los No Convencionales que no involucran mecanización (lagunas de estabilización, humedales, etc). Los Emisarios Submarinos conducen las aguas servidas de la zona saneada a un lugar del Océano donde por auto-depuración natural se produce el tratamiento sin producir daño al ecosistema acuático y al litoral costero.

2.2.3 Procesos de tratamiento

Entre los distintos procesos para el tratamiento de las aguas residuales con el fin de lograr retirar las sustancias contaminantes, se pueden usar desde sencillas operaciones físicas como la sedimentación, en la que se deja que los contaminantes se depositen en el fondo del sistema por gravedad, hasta complicados procesos químicos, biológicos o térmicos, asociados también a mayores costos. Entre los más usuales están:

a) Procesos físicos para tratamiento (es la eliminación de los contaminantes en suspensión o disueltos contenidos en un agua residual. Este proceso se lleva a cabo normalmente a nivel de pre-tratamiento y tratamiento primario).

Sedimentación.	Natural
Flotación.	Natural o provocada con aire
Filtración.	Con arena, carbón, cerámica, etc
Evaporación.	Natural
Adsorción.	Con carbón activado, zeolita, resinas naturales, etc
Desorción (<i>stripping</i>).	Se transfiere el contaminante al aire (ej. Amoniaco)
Extracción	Con líquido disolvente que no se mezcla con el agua

b) Procesos químicos para tratamiento (buscan la eliminación de los contaminantes químicos presente en un agua residual, sin embargo, también se utiliza cuando existe la dificultad de sedimentación de partículas en suspensión. Este proceso puede llevarse a cabo a nivel de tratamiento primario y avanzado).

Coagulación-floculación	Agregación de pequeñas partículas usando coagulantes y floculantes (sales de hierro, aluminio, polielectrolitos, etc.)
Precipitación química	Eliminación de metales pesados haciéndolos insolubles con la adición de lechada de cal, hidróxido sódico u otros que suben el pH
Oxidación-reducción	Con oxidantes como el peróxido de hidrógeno, ozono, cloro, permanganato potásico o reductores como el sulfito sódico
Reducción electrolítica	Provocando la deposición en el electrodo del contaminante. Se usa para recuperar elementos valiosos
Intercambio iónico	Con resinas que intercambian iones. Se usa para quitar dureza al agua
Osmosis inversa	Haciendo pasar al agua a través de membranas semipermeables que retienen los contaminantes disueltos



c) Procesos biológicos para tratamiento (usan microorganismos que se nutren con diversos compuestos de los que contaminan las aguas. Los flóculos que se forman por agregación de microorganismos son separados en forma de lodos.

c1) Degradación aerobia: Procesos con microorganismos que necesitan oxígeno para su metabolismo

i) Lodos activados (Se añade agua con microorganismos a las aguas residuales en condiciones aerobias; burbujeo de aire o agitación de las aguas)

ii) Filtros bacterianos (Los microorganismos están fijos en un soporte sobre el que fluyen las aguas a depurar. Se puede introducir oxígeno suficiente para asegurar que el proceso es aerobio)

iii) Biodiscos (Intermedio entre los dos anteriores. Grandes discos dentro de una mezcla de agua residual con microorganismos facilitan la fijación y el trabajo de los microorganismo)

iv) Lagunas aireadas (Se realiza el proceso biológico en lagunas de grandes extensiones)

c2) Degradación anaerobia: Procesos con microorganismos que no necesitan oxígeno para su metabolismo

i) Tanques sépticos (Unidad prefabricada o construida in situ que desempeña las funciones de sedimentación y remoción de material flotante y la digestión de los lodos sedimentados)

ii) Lagunas anaerobias (Llamadas lagunas de oxidación o estabilización, el proceso biológico se realiza en lagunas de grandes extensiones)

iii) Minidigestores (Similar a los tanques sépticos, cuyo uso fundamental es obtener biogás a partir de residuos domésticos y/o residuos agropecuarios)

iv) Reactores anaerobios de segunda generación (UASB, Contacto)(Funcionamiento continuo, donde el metabolismo se realiza sin presencia de oxígeno y el sistema permite recuperación de biogás)

c3) Humedales: Se realiza el proceso biológico en zona húmedas de grandes extensiones, utilizando plantas vegetales emergente como espadañas, juncos, carrizos, otras.

i) Humedales naturales (Zonas húmedas consideradas como cuerpos receptores de agua sujeta a cierta calidad. El objetivo de verter agua es mejorar el hábitat existente)

ii) Humedales artificiales (Zonas húmedas artificiales donde el agua puede circular superficialmente (humedales de flujo libre, FWS) o bajo la superficie por un estrato permeable (humedales de flujo subsuperficial, SFS). El objetivo de verter agua es mejorar la calidad de la misma)

2.2.4 Niveles de Tratamiento

Dependiendo del grado de purificación que se requiera, las aguas residuales se pueden someter a distintos niveles de tratamiento. Es habitual hablar de pre-tratamiento, tratamiento primario, secundario y terciario o avanzado, aunque muchas veces la separación entre ellos no es totalmente clara. Una leve descripción de éstos se indica en la Tabla N° 2.8. La Figura N° 2.1 muestra un esquema del tratamiento primario y secundario en una EDAR convencional.

Tabla N° 2.8
Descripción de niveles de tratamiento para aguas residuales (Echarri,1998)

Pre-tratamiento.	Es un proceso en el cual, usando rejillas, cribas o mallas se separan los materiales voluminosos arrastrados por las aguas, como palos, telas, plásticos, etc.
Tratamiento primario.	Hace sedimentar los materiales suspendidos usando tratamientos físicos ó fisico-químicos. En algunos casos dejando, simplemente, las aguas residuales un tiempo en grandes tanques o, en el caso de los tratamientos primarios mejorados, añadiendo al agua contenida en estos grandes estanques, sustancias químicas quelantes que hacen más rápida y eficaz la sedimentación. También se incluyen en estos tratamientos la neutralización del pH y la eliminación de contaminantes volátiles como el amoníaco (desorción). Las operaciones que incluye son el desaceitado y desengrase, la sedimentación primaria, la filtración, neutralización y la desorción.
Tratamiento secundario.	Elimina materia orgánica soluble y partículas coloidales y similares. Puede incluir procesos biológicos y químicos. El tratamiento secundario más habitual es un proceso biológico en el que se facilita a las bacterias aerobias digieran la materia orgánica que llevan las aguas. Este proceso se suele hacer llevando el efluente que sale del tratamiento primario a tanques en los que se mezcla con agua cargada de lodos activos (microorganismos). Estos tanques tienen sistema de burbujeo o agitación que garantizan las condiciones aerobias para el crecimiento de los microorganismos. Posteriormente se conduce este líquido a tanques cilíndricos, sección en forma de tronco de cono, en los que se realiza la decantación de los lodos. Separados los lodos, el agua que sale contiene bastante menos impurezas.
Tratamiento terciario ó avanzado	Consisten en procesos físicos y químicos especiales con los que se consigue limpiar las aguas de contaminantes concretos: fósforo, nitrógeno, minerales, metales pesados, virus, compuestos orgánicos, etc. Es un tipo de tratamiento más caro que los anteriores y se usa en casos especiales: para purificar desechos de algunas industria, especialmente en los países más desarrollados, en las zonas con escasez de agua que necesitan purificarla para volverla a usar como potable o, en las zonas declaradas sensibles (con peligro de eutrofización) en las que los vertidos deben ser bajos en nitrógeno y fósforo principalmente.

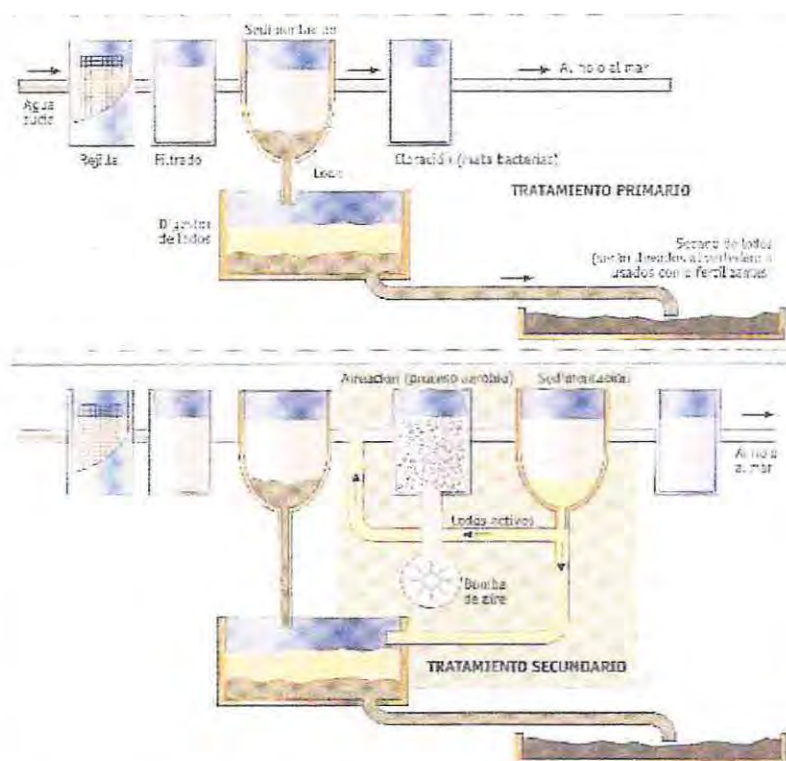


Figura N° 2.1
Esquema de tratamiento primario y secundario en una estación depuradora de agua residual convencional (Echarri, 1998)

2.2.5 Líneas de tratamiento

En el funcionamiento de una Estación Depuradora de Agua Residual (EDAR), principalmente Convencional, se suelen distinguir dos grandes líneas de tratamiento: **línea de agua y línea de fangos**.

a) línea de agua:

Es el conjunto de los procesos (primarios, secundarios, etc.) que depuran el agua propiamente tal. Comienza con el agua que entra a la depuradora (afluente) y termina en el agua vertida (efluente) al medio receptor río, lago o mar.

b) línea de fangos:

Está formada por el conjunto de procesos a los que se somete a los fangos (lodos) que se han producido en la línea de agua. Estos lodos son degradados en un digestor anaeróbico (o en otra forma similar), para ser después incinerados, usados como abono, o depositados en un vertedero.

2.2.6 Tratamiento especiales, eliminación de nitrógeno (N) y fósforo (P)

En los casos en que las aguas que salen de las Estaciones Depuradoras de Agua Residual (EDAR), tanto convencional como natural, se vierten a ecosistemas en peligro de eutrofización, es importante eliminar los principales nutrientes (N y P) que estas aguas puedan llevar, para no aumentar la intensidad de ese proceso. Las elevadas concentraciones de nitrógeno tienen también otros efectos negativos, como son la reducción de oxígeno disuelto en la aguas receptoras, toxicidad para la vida acuática, reducción de la efectividad de desinfección con cloro, peligro para la salud pública, etc, razón por la cual, el control de estos nutrientes está ganando importancia en la gestión de la calidad del agua y en los proyectos de plantas de tratamiento.

La eliminación del nitrógeno se hace en varias fases. En primer lugar, durante el tratamiento biológico habitual, la mayor parte de los compuestos orgánicos de nitrógeno se convierten en amoníaco (NH_3) (amonificación). A continuación hay que conseguir que el amoníaco se convierta a nitratos (NO_3^-) (nitrificación) por la acción de bacterias nitrificantes [Nitrosomonas (amonio a nitrito (NO_2^-)) y Nitrobacter (nitrito a nitrato)] que son aerobias. A continuación se procura la eliminación de los nitratos en el proceso llamado desnitrificación, para lo cual es necesario disponer de carbono (materia orgánica). Para esto se usan bacterias facultativas en condiciones anaerobias o anóxicas (no es necesario que todo el sistema sea anóxico) que hacen reaccionar el nitrato con parte del carbono que contiene el agua que está siendo tratada o provenir de la vegetación degradada en los sistemas naturales o de fuentes externas (por ejemplo metanol). Como resultado de la reacción se forma CO_2 (dióxido de carbono) y N_2O (óxido nitroso gaseoso) que se desprenden a la atmósfera. Para llevar a cabo estos procesos nitrificación / desnitrificación, hacen falta reactores de gran volumen (de cuatro a seis veces mayor que el necesario para eliminar carbono orgánico), las temperaturas bajas dificultan el proceso (a 12°C el volumen debe ser el doble que a 18°C), aireación de grandes masas de agua y recirculación de fangos que complican y encarecen aun más todo el proceso de depuración (Echarri, 1998).

Para eliminar fósforo se suelen pasar las aguas por un reactor “anaerobio” que facilita una mayor asimilación de ese elemento por las bacterias. Así se llega a eliminar el 60 – 70 % del fósforo. Si esto no es suficiente se complementa con una precipitación química forzada por la adición de cal, sulfato de alúmina o cloruro férrico (Echarri, 1998).

2.3 SISTEMAS DE TRATAMIENTO NATURAL DEL AGUA

2.3.1 Introducción

Cuando interaccionan, en el medio ambiente natural, el agua, el suelo, las plantas, microorganismos y la atmósfera, se producen procesos físicos, químicos y biológicos. Con el objetivo de aprovechar estos procesos y proporcionar un tratamiento al agua residual, se diseñan los sistemas de tratamiento natural. Los procesos que intervienen en estos sistemas naturales incluyen varios de los que se llevan a cabo en los sistemas convencionales – sedimentación, filtración, transferencia de gases, adsorción, intercambio iónico, precipitación química, oxidación y reducción química, y conversión y descomposición biológicas – además de procesos propios de los sistemas naturales como la fotosíntesis, la fotooxidación, y la asimilación por parte de las plantas.

A diferencia de los sistemas mecánicos o convencionales, donde el proceso se lleva a cabo en forma secuencial, en diferentes tanques y a gran velocidad debido al aporte energético, en los sistemas naturales (o no convencionales), los procesos se realizan en un único “reactor-ecosistema” casi de forma simultánea y a “velocidades naturales”.

2.3.2 Historia de los sistemas de tratamiento natural

El uso de sistemas de tratamiento natural en EEUU data de 1880, y consistía en una aplicación directa del agua residual al terreno. En la primera mitad del siglo XX, estos sistemas fueron sustituidos por estaciones depuradoras mecánicas conocidas hoy en día como convencionales o por granjas en las que el agua residual tratada se utilizaba para el riego de cultivos, riego de parques y jardines o recarga de acuíferos (Metcalf & Eddy, 1996).

En 1972, como consecuencia de las necesidades de reutilización del agua y reciclaje de nutrientes, renace el interés por los sistemas de tratamiento basados en la aplicación al terreno. Con ayuda financiera del Clean Water Act (decreto federal, conocido como Acta de las Aguas Limpias, CWA) promotor de este sistema, se da inicio a la investigación y desarrollo de tecnologías de tratamiento natural, de modo de convertir este sistema en una técnica de gestión alternativa para el tratamiento de las aguas residuales (Metcalf & Eddy, 1996).

Los avances mas recientes en materia de tecnología de tratamiento natural se centra en el uso de terrenos pantanosos artificiales con plantas emergentes (sistema de flujo libre y sistema de flujo subsuperficial) y sistemas acuáticos con plantas flotantes.

El interés de uso de terrenos pantanosos surgió del buen rendimiento observado en los terrenos pantanosos naturales y de la experiencia con otros sistemas de tratamiento natural y con sistemas de plantas acuáticas.

Todas las formas de tratamiento natural van siempre precedidas por algún tipo de pretratamiento mecánico (tamizado o sedimentación primaria para eliminar los sólidos gruesos), en todo caso, el nivel de pretratamiento dependerá de los objetivos del sistema y de las normas reguladoras aplicables a cada situación.

2.3.3 Sistemas de Tratamiento Natural

Dentro de los sistemas de tratamiento natural se pueden mencionar: Sistemas de aplicación al terreno, y Sistemas acuáticos.

De forma muy general se hará una descripción de estos sistemas de tratamiento:

a) sistemas de aplicación al terreno

i) sistema de baja carga

El sistema de baja carga es tal vez el sistema de tratamiento natural más común hoy en día. Se aplica el agua residual sobre un terreno con vegetación, tanto para purificar el agua como lograr el crecimiento de las plantas.

El agua residual aplicada se consume por evapotranspiración o precolación en el terreno (vertical u horizontal) y la que pueda fluir superficialmente se recoge y se vuelve aplicar. Figura N° 2.2. Los sistemas de baja carga se pueden clasificar en dos tipologías, Tipo 1 y Tipo 2. (Metcalf & Eddy, 1996).

- Tipo 1: El sistema pertenece a esta tipología cuando su principal objetivo es el tratamiento del agua residual y la carga hidráulica aplicada no esta controlada por la demanda de agua de la vegetación, sino por la permeabilidad del terreno.

- Tipo 2: En éste, el principal objetivo es la reutilización del agua residual, mediante la producción de cosechas o riego de superficies verdes. Se conocen como sistemas de irrigación con agua residual o sistema de irrigación de cultivos.

El agua residual se puede aplicar a cultivos, vegetación o terrenos forestales, mediante diferentes métodos de aspersión o técnicas superficiales de riego (por ejemplo surcos). La aplicación es intermitente, con ciclos de entre 4 a 10 días, lo que le permite al terreno mantener condiciones aerobias.

ii) sistema de infiltración rápida

En este sistema, el agua se aplica de forma intermitente en celdas de infiltración sin vegetación. También se puede aplicar mediante sistema de aspersión de alta carga, donde sí se requiere de vegetación (Figura N° 2.3)

El agua percolada se puede recuperar a través de un sistema de drenaje o mediante pozos de extracción.

La purificación del agua en este sistema es por percolación dada la rapidez del proceso en comparación con la evaporación.

Los objetivos del sistema de infiltración rápida son:

- tratamiento del agua seguido de recarga de acuíferos (evitar la intrusión de agua salina)
- tratamiento seguido de su recuperación mediante sistema de drenaje o extracción por bombeo.
- tratamiento seguido por circulación subterránea y descarga a aguas superficiales.

iii) sistema de riego superficial

El agua residual se distribuye en la superficie de terrenos vegetados con pendiente cuidadosamente seleccionada, de modo que pueda fluir en superficie hasta zanjas de recogida situada al final de la pendiente (Figura N° 2.4).

El agua se aplica también en ciclos, dependiendo de los objetivos del tratamiento. La evapotranspiración es variable y depende del clima de la región y estación del año.

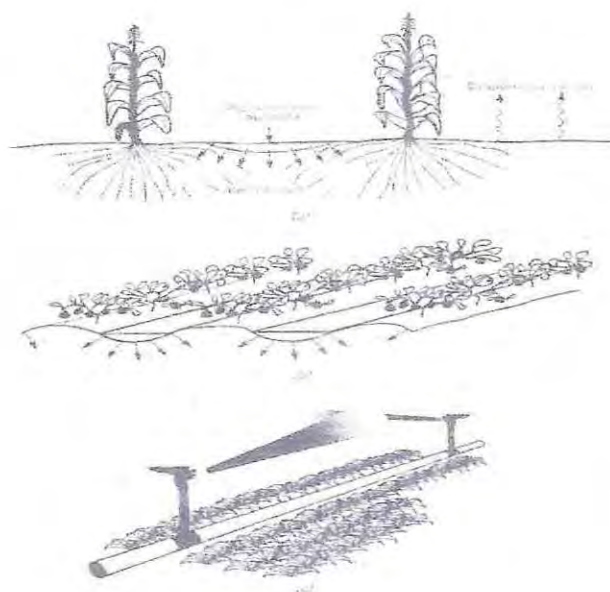


Figura N° 2.2

Tratamiento de baja carga (Metcalf & Eddy, 1996)

a) Trayectoria hidráulica; b) Distribución superficial; c) Aspersión

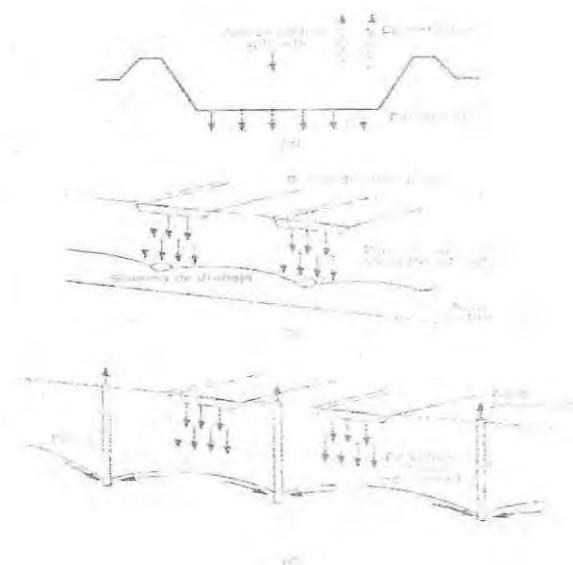


Figura N° 2.3

Sistemas de infiltración rápida (Metcalf & Eddy, 1996)

a) Trayectoria hidráulica; b) Recuperación mediante drenes; c) Recuperación mediante pozos

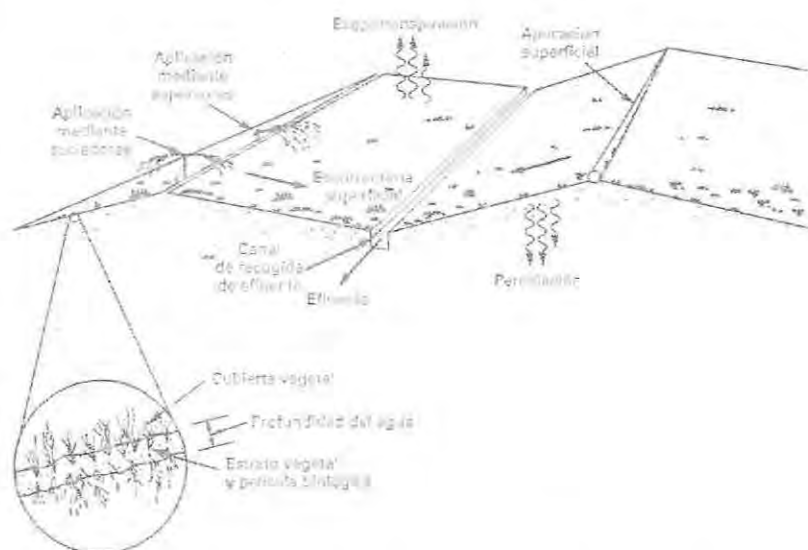


Figura N° 2.4
Esquema sistemas de riego superficial (Metcalf & Eddy, 1996)

b) sistemas acuáticos

i) sistema de terrenos pantanosos naturales y artificiales

Son terrenos inundados con profundidades de agua menores a 60 cm y con plantas emergentes como espadañas, juncos, aneas, otras. Figura N° 2.5 (ver ilustración en Figuras N° 3.1, 3.2 y 3.3) La vegetación proporciona superficies para la formación de películas bacterianas, facilita la filtración y la adsorción de los constituyentes del agua residual, permite la transferencia de oxígeno a la columna de agua, y controla el crecimiento de las algas al limitar la penetración de la luz solar.

Los terrenos pantanosos pueden ser **naturales o artificiales**.

• terrenos pantanosos naturales

Desde el punto de vista normativo, los terrenos pantanosos naturales se consideran cuerpos receptores de agua, por lo tanto los vertidos de agua están sujetos a cierta calidad de la misma (provenientes de tratamiento secundario o avanzado).

El objetivo de verter agua a zonas pantanosas naturales, es mejorar el hábitat existente.

• terrenos pantanosos artificiales

Los terrenos pantanosos artificiales no están sujetos a limitaciones de vertido como los terrenos pantanosos naturales. Existen dos tipos de sistemas artificiales: **sistema de flujo libre (FWS)**, **sistema de flujo subsuperficial (SFS)**

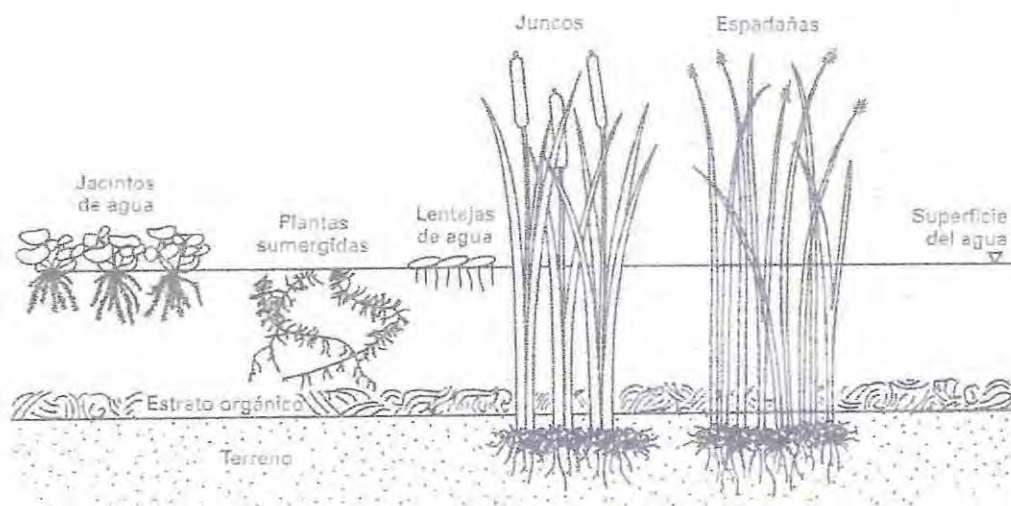


Figura N° 2.5
Plantas acuáticas comunes (Metcalf & Eddy, 1996)

- El sistema de flujo libre (FWS) consiste en balsas, celdas o canales paralelo, con suelo relativamente impermeable, vegetación emergente y niveles de agua poco profundos (0,1 – 0,6 m) (ver ilustración en Figura N° 3.3).

Se les aplica agua pretratada en forma continua, y el tratamiento se produce durante la circulación del agua a través de los tallos y raíces de la vegetación emergente.

Estos sistemas FWS, también se pueden diseñar a objeto de crear nuevos hábitat para la flora y fauna, para mejorar el paisaje o para mejorar las condiciones de terrenos pantanosos naturales próximos al mejorar la calidad del agua. Además, por la biodiversidad que puede dar origen este sistema, se puede convertir en un centro de estudio e investigación.

- El sistema de flujo subsuperficial (SFS), se diseña con el objeto de proporcionar tratamiento secundario y avanzado. Consisten en zanjales o celdas con fondo impermeable y cierta pendiente, rellenos con grava o arena (medio granular) para el crecimiento de la vegetación emergente (Figura N° 2.6)

ii) sistema de tratamiento mediante plantas acuáticas flotantes

Los sistemas de plantas acuáticas flotantes son, conceptualmente, similares a los FWS excepto por el empleo de plantas flotantes, jacintos de agua o lentejas de agua indicados anteriormente en la Figura N° 2.5. En la Figura N° 2.7 se ilustra un sistema de tratamiento mediante plantas acuáticas.

Las profundidades de agua varían entre 0,5 – 1.8 m y se emplean sistemas complementarios de aireación para mantener las condiciones aerobias. Las cargas hidráulicas anuales y las necesidades de superficie son similares a los sistemas de terreno pantanoso.

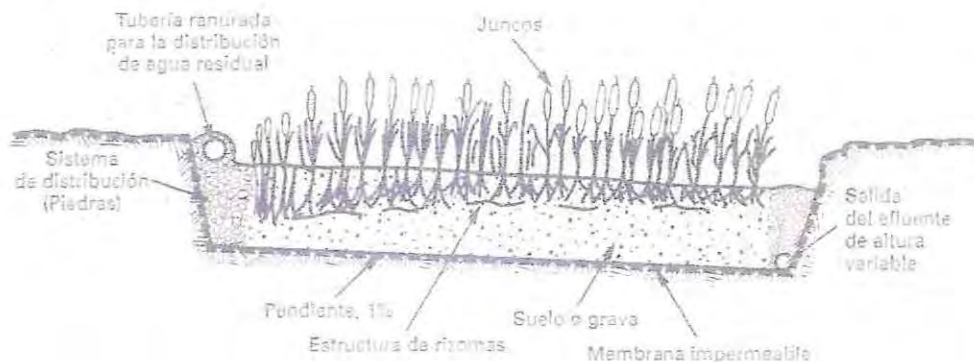


Figura N° 2.6
Sección sistema de flujo subsuperficial (SFS) (Metcalf & Eddy, 1996)



Figura N° 2.7
Sistema mediante plantas acuáticas (Metcalf & Eddy, 1996)

iii) acuicultura

La acuicultura es el cultivo de peces y otros organismos acuáticos para la producción de alimentos. El agua residual se ha ocupado en diversas actividades de acuicultura en todo el mundo. En la mayoría de los casos, el objetivo del sistema era la producción de biomasa, siendo la purificación del agua un beneficio agregado. Gran parte del tratamiento que se consigue con la

acuicultura, se bebe a las bacterias adheridas a las plantas acuáticas flotantes. Existen pocas evidencias que demuestren la contribución de los peces al tratamiento.

Este sistema requiere de mayor investigación y es especialmente necesario definir los riesgos sanitarios asociados al uso de cultivos de organismos acuáticos en agua residual.

2.3.4 Tratamiento para pequeñas comunidades

Por su situación geográfica y desarrollo, las pequeñas comunidades presentan una serie de problemas que hacen difícil la provisión de sistemas de agua potable y tratamiento de aguas residuales. Estudios realizados en EEUU indican que las pequeñas comunidades (con población menor o igual a 1000 habitantes) representan el 32% y sólo el 0,7% tiene planta de tratamiento (Metcalf y Eddy, 1996).

Debido a su tamaño, las pequeñas comunidades dificultan la construcción y explotación de plantas de tratamiento debido a: normativas de vertidos estrictas, costo por habitante elevado, limitaciones de financiamiento, presupuesto limitado para la explotación y mantenimiento de las instalaciones.

i) Normativas de vertido estrictas

Para la preservación del medio ambiente, las normativas de vertido son las mismas para comunidades grandes y pequeñas. Como consecuencia de ello, las pequeñas comunidades se ven obligadas a proporcionar el mismo nivel de tratamiento a pesar de sus limitaciones económicas, lo que genera una gran dificultad.

ii) Costo por habitante elevado

Por ser pequeñas no pueden aprovechar las ventajas de la economía a escala que se derivan de la construcción. El costo constructivo por habitante suele ser más elevado que en población de mayor tamaño.

En las pequeñas comunidades la población es más dispersa lo que contribuye a elevar los costos por habitante. Los costos de construcción de un sistema de saneamiento para una comunidad de 1.000 habitantes pueden llegar a ser 2 a 4 veces superior que para una de 100.000 habitantes (Metcalf y Eddy, 1996)

iii) Limitaciones de financiamiento

En general, las pequeñas comunidades enfrentan un problema de financiamiento para los sistemas de saneamiento debido a:

- Menores ingresos por vivienda: en general los ingresos de familias instaladas en zonas no urbanas son menores a los de la zona urbana. Aun cuando la población no urbana es más pobre, existen también pequeñas comunidades ricas cerca de las grandes ciudades.

- Recaudación de impuesto por vivienda: la mayor parte de las recaudaciones por impuesto corresponden a los propietarios de las residencias, debido a la casi nula existencia de industria o comercio.
- Financiamiento: las pequeñas comunidades tienen grandes dificultades para acceder al mercado de bonos (préstamos o créditos), y si lo consiguen deben pagar mayor interés debido a las bajas cantidades de bonos emitidas.
- Impacto de la recesión: como las pequeñas comunidades cuentan con un reducido número de empresarios que emplean a un gran número de personas, las variaciones en la situación económica provocan un gran impacto.

iv) presupuesto limitado para la explotación y mantenimiento

En general las pequeñas comunidades disponen de recursos económicos limitados y escasa experiencia en la gestión de instalaciones de sistemas de tratamiento de agua residuales. Problemas frecuentes están relacionados con el diseño, contratación, deficiente control de la ejecución de las obras, gestión de proyecto, facturación, contabilidad, presupuesto, explotación y mantenimiento.

La superación de estos problemas conlleva a crear una empresa de gran envergadura, lo que no es posible sostener en las pequeñas comunidades. Por lo tanto, implantar un sistema de tratamiento en una pequeña comunidad demanda responder soluciones concretas, con bajas necesidades operacionales y de mantenimiento, frente a lo cual, el uso de sistemas naturales para el tratamiento de las aguas residuales puede ser una real alternativa, sin acudir a la instalación de grandes estaciones depuradoras de aguas residuales (EDAR) capaces de realizar complejos tratamientos pero a un elevado costo.

CAPITULO III TRATAMIENTO NATURAL DEL AGUA MEDIANTE SISTEMA DE FLUJO SUBSUPERFICIAL (SFS)

3.1 INTRODUCCIÓN

Los humedales son áreas que se encuentran saturadas por aguas superficiales o subterráneas. Suelen tener aguas con profundidades inferiores a 60 cm con plantas emergentes como espadañas, carrizos, juncos, entre otros, (Figura N° 2.5). La vegetación proporciona superficies para la formación de películas bacterianas, facilita la filtración y la adsorción de los constituyentes del agua residual, permite la transferencia de oxígeno a la columna de agua y controla el crecimiento de algas al limitar la penetración de la luz solar.

Los humedales presentan tres funciones básicas que los hacen potencialmente interesante para su uso como unidades para el tratamiento de aguas residuales:

- a) Fijan físicamente los contaminantes en la superficie del suelo y la materia orgánica.
- b) Utilizan y transforman los elementos por medio de los microorganismos.
- c) Logran niveles de tratamiento importantes con un bajo consumo de energía y mantenimiento.

Dentro de varios tipos de humedales artificiales desarrollados para el tratamiento de aguas residuales está el Sistema de Flujo Subsuperficial (SFS). Este sistema se diseña con el objeto de proporcionar tratamiento secundario o avanzado y consisten en celdas o zanjas excavadas, impermeabilizadas y posteriormente, rellenas con material granular (medio filtrante), donde el nivel del agua se mantiene siempre por debajo de la superficie de éste. Adicionalmente se puede colocar una capa protectora de árido de mayor tamaño y finalmente se plantan vegetales del tipo indicado anteriormente. La Figura N° 3.1 ilustra un SFS.

El concepto de SFS tiene varias ventajas. Existe la creencia de que las reacciones biológicas en los humedales se deben al crecimiento de organismos que se fijan al sustrato. El Sistema de Flujo Subsuperficial por contar con un lecho de material granular, principalmente grava, tiene mayores tasas de reacción y por lo tanto puede reducir la superficie total a ocupar. Por otra parte, como el nivel del agua se mantiene por debajo de la superficie del medio granular no está expuesto al ambiente, con lo que se evitan posibles problemas de mosquitos que pueden llegar a presentarse en otros sistemas. Tampoco se presentan riesgo con el acceso de público.

La competitividad del SFS desde el punto de vista económico, dependerá de los costos de la tierra, el tipo de impermeabilización que se requiera, el tipo y disponibilidad del material granular a emplear y el tipo y disponibilidad de plantas vegetales locales.

El uso de humedales no solo se ha reducido al tratamiento de aguas residuales públicas, sino que también, han sido usado en una variedad de industrias, escorrentía de aguas agrícolas y de lluvias, lixiviados de vertederos, drenajes de minas y aguas residuales domésticas en pequeños humedales después de fosas sépticas convencionales.

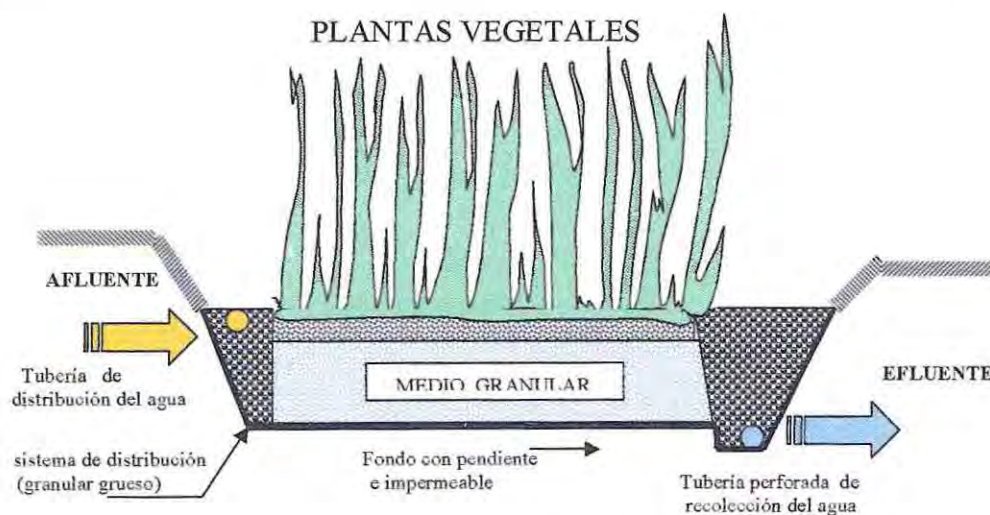


Figura N° 3.1
Sección longitudinal de un sistema de flujo subsuperficial (SFS)

En cuanto al rendimiento de los humedales, se puede indicar que se alcanzan buenos niveles de eficiencia de DBO, SS y nitrógeno (rendimientos superiores al 80%), así como niveles significativos de metales, trazas orgánicas y patógenos. No ocurre lo mismo con la eliminación de fósforo que es menor en estos sistemas de acuerdo a los estudios realizados.

3.2 COMPONENTES DEL HUMEDAL

Los humedales construidos consisten en el correcto diseño de una cubeta o zanja que contiene agua, sustrato y plantas vegetales en la mayoría de los casos. Estos componentes se pueden manipular durante la construcción, sin embargo, existen otros importantes elementos, como las comunidades de microorganismos y los invertebrados acuáticos, que se desarrollan naturalmente.

3.2.1 El agua

En el diseño y la construcción de un humedal, la hidrología es tal vez el factor más determinante para el éxito o fracaso del mismo, porque debe reunir todas las funciones propias de un humedal natural y debe tener en cuenta que:

- Pequeños cambios en la hidrología pueden tener efectos importantes en el humedal y en la efectividad del tratamiento (por ejemplo concentraciones de flujo)
- Debido al tamaño de su superficie y a su poca profundidad, actúa recíprocamente con la atmósfera a través de la temperatura, precipitaciones y la evapotranspiración (la pérdida combinada de agua por evaporación de la superficie de agua y por pérdida a través de la transpiración de las plantas).

- Debido a la densidad de vegetación, la hidrología del humedal se ve afectada dado que ésta obstruye los caminos de flujo, haciendo más sinuoso el movimiento del agua a través de la red de tallos, raíces y rizomas. Además, bloquea la exposición del sol y el viento.

3.2.2 Substratos

Los substratos en los humedales construidos incluyen suelo, arena, grava, roca y materiales orgánicos como el compost. Debido a la baja velocidad del agua y a la alta productividad típica de estos sistemas, se acumulan sedimentos y restos de vegetación que junto con el substrato son importantes por varias razones:

- Soportan a muchos de los organismos vivientes en el humedal.
- La permeabilidad del substrato afecta el movimiento del agua a través del humedal.
- Muchas transformaciones químicas y biológicas (principalmente microbianas) tienen lugar dentro del substrato.
- El substrato proporciona almacenamiento para muchos contaminantes.
- La acumulación de restos de vegetación aumenta la cantidad de materia orgánica la que da lugar a un intercambio de materia, fijación de microorganismos, y es una fuente de carbono, que es la fuente de energía para algunas de las más importantes reacciones biológicas en el humedal.

Cuando se inunda un substrato, sus características físicas y químicas se alteran. En un substrato saturado, el agua reemplaza los gases atmosféricos en los poros y el metabolismo microbiano consume el oxígeno disponible y aunque se presenta dilución de oxígeno de la atmósfera, puede darse lugar a la formación de un substrato anoxico, lo cual será importante para la remoción de contaminantes como el nitrógeno y metales.

3.2.3 Vegetación

El mayor beneficio de las plantas en un humedal es la transferencia de oxígeno a la zona de la raíz. A través de su penetración física en el sistema (tallos, raíces, y rizomas), permite transportar el oxígeno a mayor profundidad de lo que llegaría naturalmente por medio de la sola difusión. Figura N° 3.2.

Dentro de las contribuciones que realizan las plantas al tratamiento del agua residual y la escorrentía están:

- Estabilización del substrato y limitación de la canalización de flujo.
- Reducen la velocidad del agua lo que permite que los materiales suspendidos decanten.
- Toman el carbono, nutrientes, y elementos de traza y los incorporan a sus tejidos.
- Transfieren gases entre la atmósfera y los sedimentos.
- El escape de oxígeno desde las estructuras subsuperficiales de las plantas, oxigena otros espacios dentro del substrato.
- El tallo y el sistema de la raíz dan lugar a sitios para la fijación de microorganismos.
- Cuando se mueren y se deterioran dan lugar a restos de vegetación.

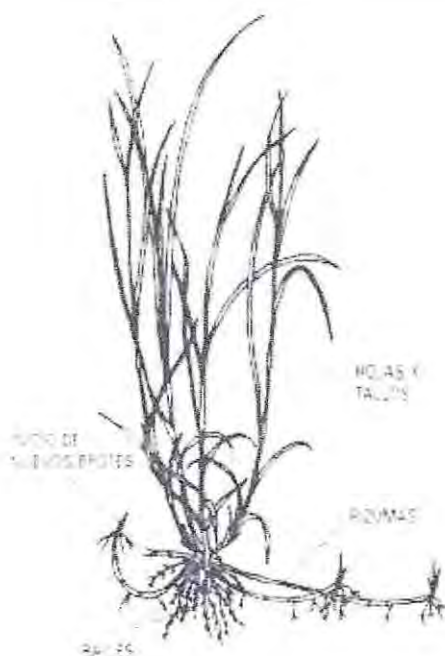


Figura N° 3.2
Esquema típico de planta emergente

Las plantas emergentes que frecuentemente se encuentran en la mayoría de los humedales artificiales en los EEUU son los juncos de laguna y las espadañas o una combinación de ellas, en cambio en los humedales artificiales Europeos los carrizos es la especie más dominante. Cuando se requiere darle un valor de hábitat a los humedales, además de conseguir el tratamiento de las aguas residuales, se diseñan sistemas que incluyen una gran variedad de plantas orientadas a proporcionar alimento y nido a las aves y otras formas de vida acuática. Las características de algunas plantas usadas en humedales artificiales son:

Espadaña (*Typha*): Son de la familia de las Tifáceas. La espadaña es ubicua en distribución, robusta, capaz de crecer bajo diversas condiciones medioambientales, y se propaga fácilmente, lo que la hace ideal para su uso en humedales. También es capaz de producir una biomasa anual importante y tiene un potencial pequeño de remoción de N y P por la vía de la poda y cosecha. La temperatura deseable para estas plantas es entre 10 y 30 °C. Los rizomas de espadaña plantados a intervalos de 0,6m aproximadamente pueden producir una cubierta densa en menos de un año. Tiene una penetración relativamente baja en grava (0,3m) por lo que no es recomendable su uso para sistemas SFS. (Figura N° 3.3; 3,4 y 3,5)

Juncos (*Scirpus*): Son de la familia de las Ciperáceas, son perennes y crecen en grupos. Son plantas ubicuas que viven en un diverso rango de aguas interiores y costeras, pantanos salobres y humedales. Los juncos son capaces de crecer en agua con profundidades entre 0,05 m y 3m sin dificultad. Las temperaturas deseables son entre 16 y 27 °C. Se encuentran juncos creciendo en un pH de 4 a 9. La mayoría de las especies tienen un crecimiento moderado y pueden lograr un cubrimiento adecuado en un periodo de un año con separaciones de 0,3m aproximadamente.

Entre la gran variedad de juncos, algunas especies crecen más rápido y pueden cubrir en un año la superficie con espaciamiento algo mayor (de entre 0,3 y 0,6m). Tiene una penetración en grava de 0,6m lo que le permite ser muy usada en humedales SFS. (Figuras 3.6; 3.7 y 3.8)

Carrizos (*Phragmites*): Son de la familia de las Gramíneas. Son anuales y altos con un rizoma perenne extenso. Su cubrimiento en un año es muy bueno con separación de 0,6 m. Sistemas que utilizan carrizos pueden ser más eficaces en la transferencia de oxígeno que los de las espadañas, porque los rizomas penetran verticalmente y en mayor profundidad (0,4m aproximadamente), pero menos eficaces que los juncos. La temperatura deseable para los carrizos es entre 12 y 25°C. Los carrizos por su bajo valor alimenticio no se ven atacado por animales como otro tipo de plantas por lo que es muy usado en humedales artificiales. (Figuras 3.9; 3.10 y 3.11)



Figura N° 3.3
Fotografía de un humedal con plantas espadañas (*typha*) (Lara, 2000)



Figura N° 3.4
Fotografía de plantas espadaña (*typha*) (Lara, 2000)



Figura N° 3.5
Fotografía de plantas espadañas (*typha*) (Lara, 2000)



Figura N° 3.6
Fotografía de plantas juncos (*scirpus*) (Lara, 2000)

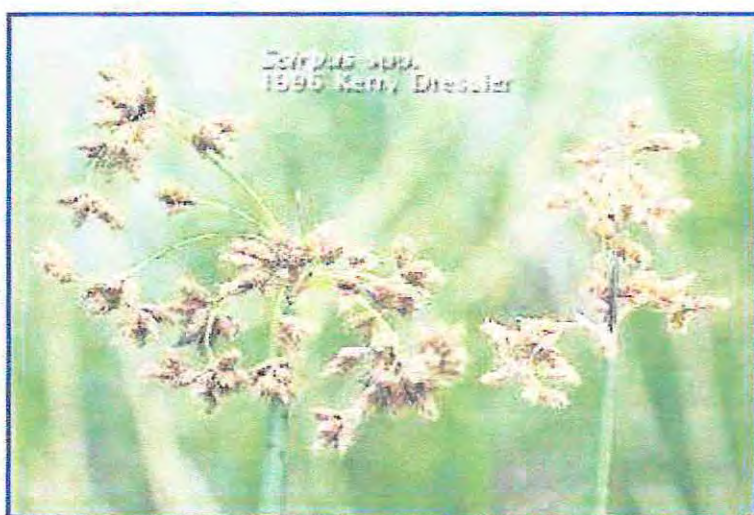


Figura N° 3.7
Fotografía de plantas juncos (*scirpus*) (Lara, 2000)

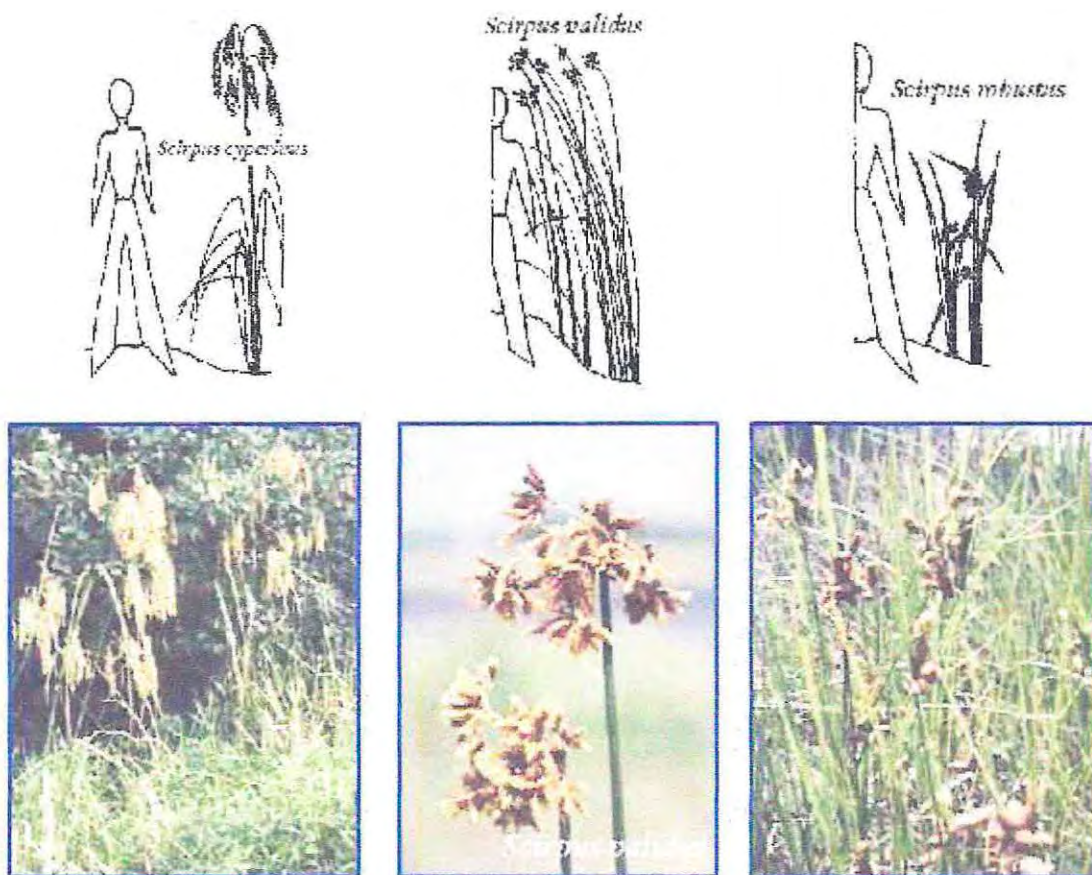


Figura N° 3.8
Fotografía de plantas juncos (*scirpus*) (Lara, 2000)

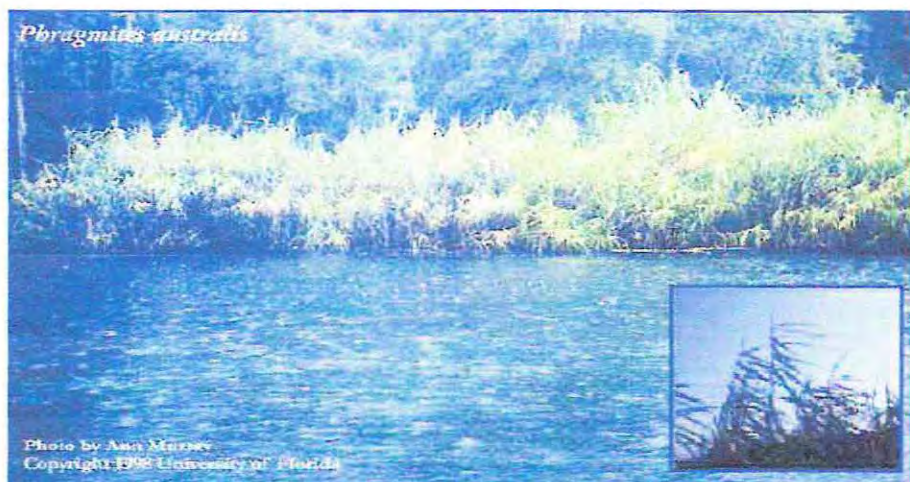


Figura N° 3.9
Fotografía plantas carrizos (*phragmites*) (Lara, 2000)

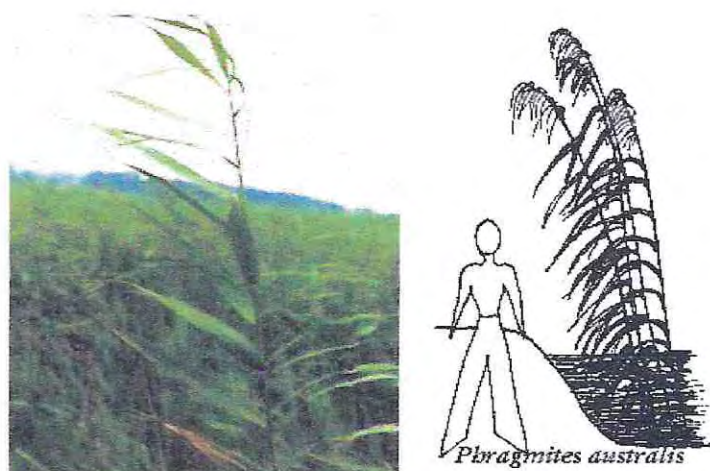


Figura N° 3.10
Fotografía de plantas carrizos (*phragmites*) (Lara, 2000)

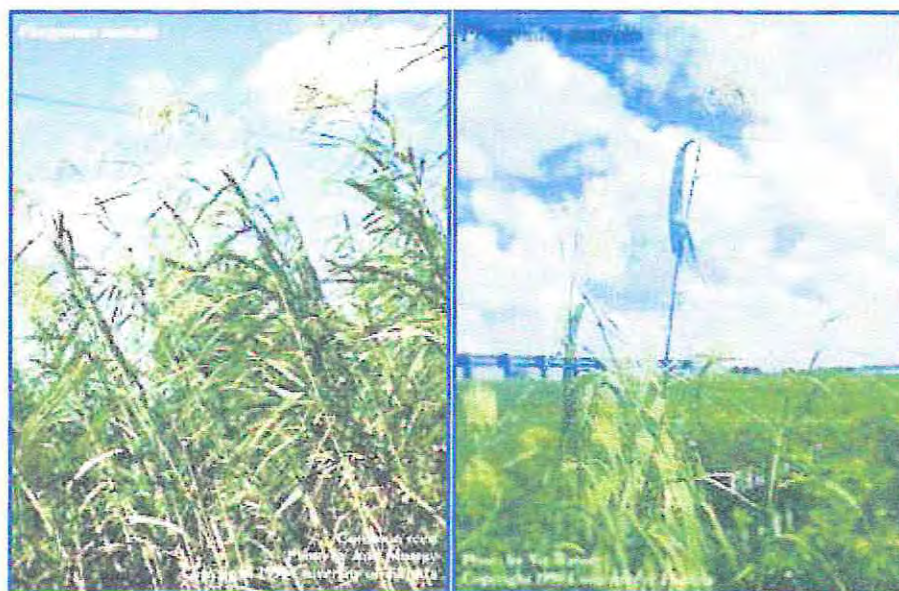


Figura N° 3.11
Fotografía plantas carrizos (*phragmites*) (Lara, 2000)

3.2.4 Microorganismos

Una característica fundamental de los humedales es que sus funciones son principalmente reguladas por los microorganismos y su metabolismo. Los microorganismos incluyen bacterias, levaduras, hongos, y protozoarios. La biomasa microbiana consume gran parte del carbono orgánico y muchos nutrientes.

La actividad microbiana:

- Transforma un gran número de sustancias orgánicas e inorgánicas en sustancias inocuas o insolubles.
- Altera las condiciones de potencial redox del sustrato y así afecta la capacidad de proceso del humedal.
- Está involucrada en el reciclaje de nutrientes.

Hay transformaciones microbianas aeróbicas (requieren de oxígeno libre) y anaeróbicas (tienen lugar en ausencia de oxígeno libre). Muchas especies bacterianas son facultativas, es decir, son capaces de funcionar bajo condiciones aeróbicas y anaeróbicas en respuesta a los cambios en las condiciones medioambientales. Así, las poblaciones microbianas se pueden extender rápidamente cuando el medio tiene gran energía o permanecer inactiva durante años cuando las condiciones medioambientales son desfavorables.

Sin embargo, la comunidad microbiana de un humedal puede ser afectada por sustancias tóxicas, como pesticidas y metales pesados, por lo que se debe prevenir que tales sustancias se introduzcan en las cadenas tróficas en concentraciones perjudiciales.

3.2.5 Animales

Algunos humedales construidos proveen un hábitat para una rica diversidad de invertebrados y vertebrados.

Los animales invertebrados, como insectos y gusanos, contribuyen al proceso de tratamiento fragmentando en detritus y consumiendo materia orgánica. Por ejemplo, las larvas de muchos insectos son acuáticas y consumen una gran cantidad de materia durante su fase larval. También los invertebrados desempeñan papeles ecológicos; por ejemplo, las ninfas de la libélula son rapaces importantes de larvas de mosquito.

Aunque los invertebrados son los animales más importantes en cuanto a la mejora de la calidad de las aguas, los humedales también atraen a una gran variedad de anfibios, tortugas, pájaros y mamíferos que pueden adicionalmente potenciar la existencia de estos sistemas bajo la mirada de zonas propicias para realizar excursiones ecológicas.

3.2.6 Paisaje y estética

Los humedales son áreas principalmente ocupadas para el tratamiento de las aguas residuales, sin embargo pueden proporcionar beneficios intangibles insospechados reforzando el paisaje y aumentando la estética del lugar.

3.3 CONSIDERACIONES AMBIENTALES Y DE SALUD PUBLICA

3.3.1 Protección a la salud y medio ambiente

El propósito fundamental del tratamiento de las aguas residuales es la protección, en primer lugar, de la salud pública y luego del medio ambiente. Lograr esta meta implica generar sistemas de tratamientos que aseguren la purificación de las aguas, tarea cada vez más difícil y necesaria que recae en los investigadores, científicos, ingenieros proyectistas y gestores públicos involucrados, considerando que la demanda de agua es cada vez mayor en un momento en que las fuentes más económicas ya están agotadas o cerca de estarlo, y debido al creciente volumen de residuos biológicos y químicos que están contaminando las aguas superficiales, provenientes incluso, del vertido de plantas convencionales de tratamiento de aguas residuales.

Teniendo presente este aspecto y considerando que el costo de construir y operar una planta tradicional de tratamiento avanzado es bastante más elevado, hoy en día, en la búsqueda de un acercamiento para pulir los efluentes, se ha renovado el interés en la aplicación de humedales artificiales para el tratamiento de las aguas residuales, debido a que comparados con los sistemas convencionales, los humedales requieren menor energía eléctrica, mano de obra no tan especializada, sus costos de operación y mantenimiento son bastante menores y los resultados de purificación son buenos, lo que los hace una real alternativa, además, de ser un sistema más “natural” en el sentido de que en ellos influyen más las condiciones medioambientales naturales como temperatura, lluvia, luz solar, viento, etc.

3.3.2 Riesgos a la salud y medio ambiente

Desde el punto de vista medioambiental y de salud pública, en general los humedales tienen potencialmente un mayor contacto con el medio ambiente y el público dada su extensión, lo que podría resultar el algún caso algo riesgoso si no se toman las medidas correspondientes. Controlar el acceso de público a la zona del efluente a través de un cerco por ejemplo, permite en lo referente a salud pública, preocuparse solo de monitorear el efluente dada su complicada supervisión debido a que los indicadores de organismos (coliformes totales) no muestran claramente la magnitud de tratamiento del agua residual (por ejemplo remoción de organismos patógenos), y tomar las medidas necesarias para evitar cualquier riesgo de contaminación de los operarios de la instalación. En relación a las principales sustancias contaminantes en el agua residual, el punto 2.1.4 hace referencia a ellos.

3.4 CONSIDERACIONES DE CONSTRUCCIÓN

Las consideraciones más importantes a tener en cuenta en la construcción de un humedal son la impermeabilización de la capa subsuperficial de terreno y su nivelación, selección y colocación del medio granular, establecimiento de la vegetación, y las estructuras de entrada y salida del agua. Estaciones de bombeo, estanques de regulación, instalaciones de desinfección y tuberías de conducción pueden ser también necesarias, pero estas instalaciones como otras que puedan llegar a ser utilizadas no son únicas de los humedales por lo que no se hará referencia a ellas por estar en otros textos. Puesto que los niveles de oxígeno disuelto pueden llegar a ser bajos, en algunos

casos puede ser necesario instalar sistemas de post aireación. Donde la topografía lo permita, una caída en cascada cubierta de cemento por ejemplo para protegerla, puede ser suficiente para este propósito.

3.4.1 Impermeabilización

Para impedir que se contamine con agua residual el subsuelo o el agua subterránea se requiere impermeabilizar el fondo y las paredes del humedal. En algunas ocasiones se puede encontrar in situ material suficientemente impermeable (arcilla) u otras posibilidades son tratamientos químicos, capa de bentonita, asfalto o algún tipo de membranas son usadas para impermeabilizar.

El fondo del humedal debe ser cuidadosamente nivelado y alisado antes de colocar la capa impermeabilizante, sobre todo si ésta es del tipo de alguna fibra sintética, que pueda llegar a perforarse. La cubierta vegetal del terreno debe retirarse y el sello de fundación debe tener una ligera pendiente para asegurar el drenaje y proporcionar las condiciones hidráulicas necesarias que permitan el flujo del sistema. El gradiente hidráulico que se requiere y el control del nivel de agua en cada celda que sea necesario construir, se regula con dispositivo instalado a la salida.

Las operaciones de construcción del fondo y rellenos del humedal deben cumplir rigurosidades similares a las de una carretera, es decir, se debe mantener la lisura y la pendiente en las distintas capas de acuerdo a proyecto. Muchos sistemas de humedales han tenido flujos preferenciales debido a errores en esta etapa de la construcción.

Los camiones que transportan el material granular pueden ser un problema. Debido a su gran peso, pueden producir ahuellamiento en el fondo del lecho con lo que se inducen flujos preferentes causando distorsión al sistema. Por tanto, no se debe permitir tráfico pesado por el fondo de las celdas, menos aun cuando se tengan condiciones climáticas de humedad.

Si se usa membrana impermeable, esta debe colocarse directamente en la totalidad de la superficie de la celda. El medio granular será colocado sobre la membrana que debe tener las propiedades mecánicas necesarias para soportarlo sin llegar a perforarse.

Los diques y bermas de las celdas de los humedales se construyen de la misma forma que las obras hidráulicas similares. Para sistemas a gran escala, la parte superior del dique debe tener un ancho suficiente que permita la circulación de un camión o cualquier equipo necesario para el mantenimiento. Además, cada celda debe contar con una rampa para el acceso de los vehículos de mantenimiento.

3.4.2 Selección del medio granular

La selección del material granular para el éxito del sistema es crítica. En general el material a usar no debe contener finos. Roca triturada y seca puede ser usada, pero durante el transporte en los camiones existe la posibilidad de segregación de finos, que más tarde pueden dar lugar a posibles focos de atascamientos, por lo que es preferible la utilización del material lavado. Grava, gravilla y eventualmente arenas pueden ser utilizadas bajo las condiciones de lavado. Variables

como la permeabilidad del medio granular, fuentes de abastecimiento y costos, también deben ser considerados para en la elección del material granular.

3.4.3 Establecimiento de la vegetación

El tipo de vegetación y la densidad de la misma son de vital importancia para lograr los resultados esperados. Plantas locales que estén adaptadas a las condiciones del lugar deben ser preferidas. En cuanto a la densidad de la vegetación, en el apartado 3.2.3 se indicó sobre esta materia.

Aunque la siembra se puede hacer a partir de semillas, este método requiere bastante tiempo y un control estricto del agua. Adicionalmente, existe la posibilidad de consumo de semillas por las aves, por lo que es más aconsejable el transplante de rizomas al medio granular previamente preparado.

3.4.4 Estructuras de entrada y salida

El SFS requiere de un flujo uniforme para alcanzar los rendimientos esperados. Una forma de lograr este requisito es a través de tuberías de distribución y recolección perforadas que se extienden a lo ancho de toda la celda, ubicadas en la parte superior a la entrada y en el fondo del lecho a la salida, rodeadas por material granular grueso (ver Figura N° 3.1). Grandes sistemas normalmente tienen su estructura de entrada y salida en concreto.

Para controlar el nivel de agua en la celda del humedal, la salida suele contar con un dispositivo como el que se ilustra en la Figura N° 3.12

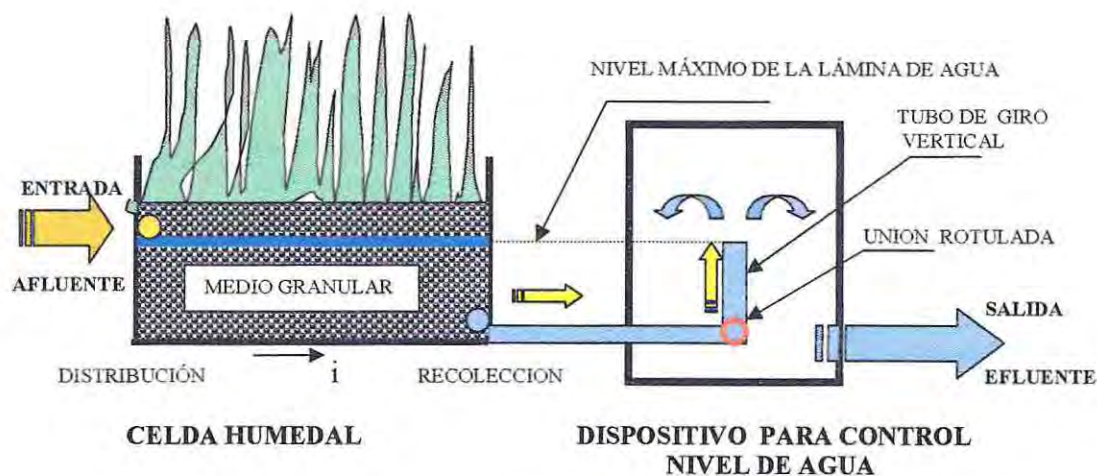


Figura N° 3.12
Dispositivo para el control de nivel de agua en el humedal

3.5 CONSIDERACIONES DE OPERACIÓN y MANTENIMIENTO Y CONTROL

3.5.1 Operación y mantenimiento

Es indispensable contar con un plan de operación y mantenimiento para lograr los resultados esperados del sistema. Este plan, que debe quedar por escrito durante la etapa final de diseño del sistema, debe enfocarse en los factores más sensibles que puedan afectar el rendimiento del humedal según las características del diseño. Algunos factores son:

- Asegurar el contacto del agua con la comunidad microbiana.
- Asegurar que el flujo alcance todas las partes del humedal.
- Mantener un ambiente saludable para los microbios.
- Mantener un crecimiento vigoroso de la vegetación.

En el aspecto hidráulico, el humedal debe ser revisado periódicamente para asegurarse de que el agua este circulando por todo el sistema y que aumentos de residuos no hayan provocado caminos de flujo y desarrollado áreas de estancamiento, lo que normalmente se ve reflejado en flujos superficiales. Por otra parte, el manejo del nivel del agua es vital para el crecimiento de las plantas y con ello el éxito del humedal.

En cuanto a su estructura, deben inspeccionarse los diques, vertederos y obras de control de agua con el fin de detectar cualquier anomalía en el flujo. Después de un evento ajeno al funcionamiento normal del humedal (ejemplo lluvias), es necesario realizar una inspección. Cualquier desperfecto, erosión u obstrucción, debe ser corregido a la brevedad, para evitar daños mayores y que podrían resultar más costosos.

La vegetación es pieza clave en el tratamiento de las aguas residuales en el humedal. Si bien las plantas pueden tolerar cambios temporales en la profundidad del agua, debe tenerse mucho cuidado de no exceder los límites tolerables de las especies usadas, con el afán por ejemplo de aumentar la profundidad de las raíces.

Las plantas deben inspeccionarse regularmente y quitar las especies invasoras. No deben usarse herbicidas, a menos que sea estrictamente necesario y en tal caso, su uso debe tener un cuidado extremo, dado que puede dañar severamente el sistema.

Animales como ratas y otros roedores pueden dañar los diques y la impermeabilización, por lo que deben tomarse las medidas necesarias para evitar que esto ocurra. Atrapar y retirar estos animales puede ser una opción. Cerco de alambre puede ser una solución para impedir el ingreso al humedal de animales de mayor tamaño.

Los mosquitos son comunes en los humedales cuando éste le ofrece las condiciones para desarrollarse. Lugares con agua superficial estanca son un excelente hábitat para los mosquitos y los nutrientes del agua detenida son ideales para el desarrollo de larvas. Aguas superficiales en movimiento minimizan el riesgo de desarrollo de mosquitos, más aun, si se logra que éstas no lleguen a la superficie como lo establece el diseño.

3.5.2 Control

Un plan de control debidamente ejecutado, es esencial para lograr la continuidad del sistema a largo plazo. Esta herramienta permite:

- Proporcionar datos para mejorar el rendimiento del tratamiento.
- Identifica problemas.
- Documenta la acumulación de sustancias potencialmente tóxicas antes de que sean bioacumulables.
- Determina el cumplimiento de los requisitos impuestos.

El control permite medir el comportamiento del humedal y establecer si éste está cumpliendo con los objetivos propuestos. Cuando el control es eficaz, se pueden detectar los problemas a tiempo reduciendo los riegos. Las fotografías tomadas al sistema en forma regular bajo las mismas condiciones de localización, ángulo de visión, etc. puede ser un documento invaluable.

El nivel de detalle del control esta dado por el tamaño y complejidad del humedal como también por su edad; un humedal maduro puede tener un control menor que uno reciente, ya que se conoce más acerca de él. La carga hidráulica es también un parámetro importante en el plan de control; un sistema ligeramente cargado que ha operado satisfactoriamente, puede ser verificado una vez al mes y después de cada tormenta, en cambio, aquellos que están muy cargados requerirá de un control más frecuente y detallado.

Dentro de los controles más recurrentes para el adecuado funcionamiento del humedal están: el control para cumplir exigencias de descarga, control del rendimiento del sistema y el control de la salud del humedal.

a) control para cumplir exigencias de descarga

El control para cumplir con las limitaciones de vertido indicado por la normativa, representa el mínimo para el muestreo y análisis. La frecuencia de muestreo y los parámetros a medir dependerán de las exigencias impuestas.

b) control del rendimiento del sistema

El rendimiento del humedal es normalmente evaluado para determinar:

- Carga hidráulica
- Volumen de entrada y salida
- Variación de la calidad del agua entre el afluente y efluente.

La eficacia del sistema en la remoción de contaminantes puede determinarse mediante la diferencia entre la carga de entrada (volumen de entrada x concentración del contaminante) y de salida (volumen de descarga x concentración del contaminante). Los parámetros de interés a evaluar pueden ser:

- DBO

- DQO
- Nitrógeno
- Fósforo
- Sólidos suspendidos totales
- Metales pesados
- Bacterias (totales o coliformes fecales)

Si el agua residual estuviera contaminada con elementos tóxicos, como pesticidas o metales pesados, deben analizarse los sedimentos una o dos veces al año, para visualizar el crecimiento potencial de estos contaminantes en el sedimento del humedal. El efluente debe analizarse en tormentas importantes para verificar la retención de sedimentos en el humedal y confirmar así que no hay arrastre de contaminantes. El agua subterránea, cuando la napa es cercana a la superficie, también debe supervisarse una o dos veces al año para asegurar que el humedal no la está contaminando producto de filtraciones.

c) control de la salud del humedal

Para mantener los humedales en correcto funcionamiento, deben controlarse periódicamente las condiciones generales del lugar para detectar los cambios que puedan perjudicar el sistema, como erosión, intervención de animales, crecimiento de vegetación indeseable o señales de enfermedad de las plantas.

La vegetación debe supervisarse periódicamente para evaluar su salud y abundancia. Humedales que no reciben grandes cargas pueden tener una supervisión más bien cualitativa que cuantitativa, en cambio, los sistemas importantes que son muy cargados requerirán una supervisión más frecuente y de forma cuantitativa. En general, se recomienda que esta supervisión sea más frecuente durante los primeros cinco años de funcionamiento del sistema.

La densidad de las plantas y la composición de las especies en el humedal puede determinarse midiendo parcelas cuadradas de 1m x 1m. Los cambios a tener presente son el número de especies no deseadas o agresivas, disminución en la densidad de la capa vegetativa y/o señales de enfermedad de las plantas. Se debe tener en cuenta que las plantas están sujetas a cambios graduales de año en año y algunas especies mueren y son reemplazadas por otras. Dado que estos cambios vegetativos son lentos, no es fácil detectarlos en el corto plazo, por lo que mantener buenos registros del humedal es esencial.

El aumento de sedimentos por acumulación podría generar atascamiento y/o camino de flujo indeseables, por lo que el nivel del agua en el humedal debe verificarse de vez en cuando, para lo cual es recomendable dejar un registro en la etapa de construcción con este propósito.

3.6 RENDIMIENTOS ESPERADOS

De acuerdo a los antecedentes disponibles, los humedales pueden tratar con efectividad niveles altos de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Sólidos Suspendidos (SS) y Nitrógeno (N), así como niveles significativos de metales, trazas orgánicas y patógenos. La remoción de fósforo (P) en cambio es menor, y está limitada a la oportunidad de contacto del agua residual con el suelo. Los mecanismos básicos de tratamiento incluyen sedimentación, precipitación química, adsorción, absorción, e interacción biológica (la DBO y el nitrógeno), así como la captación por parte de la vegetación. Si no se practica la poda, una fracción de la vegetación se descompone y permanece como materia orgánica refractaria, que termina formando turba en el humedal. Los nutrientes y otras sustancias asociadas a esta fracción refractaria se considera que son eliminados permanentemente del sistema. La Figura N° 3.13 representa esquemáticamente los principales procesos que se llevan a cabo en un humedal y que permiten la depuración del agua residual.

Experiencia a escala piloto con un sistema tipo SFS, cerca de Sydney, Australia, (en Lara, 2000) arrojó los valores que se indican en el Figura N° 3.14. El análisis, del sistema de plantas emergentes sembradas sobre arena gruesa, revela que se pudo reducir de forma significativa los SS, la DBO₅ y el nitrógeno (NTK y NH₃), en cambio la remoción de fósforo (P) es baja, lo que es consistente con otras investigaciones con sistemas basados en piedra y arena. C&R en la Figura N° 3.14 representa la carga total de contaminantes y la remoción obtenida.

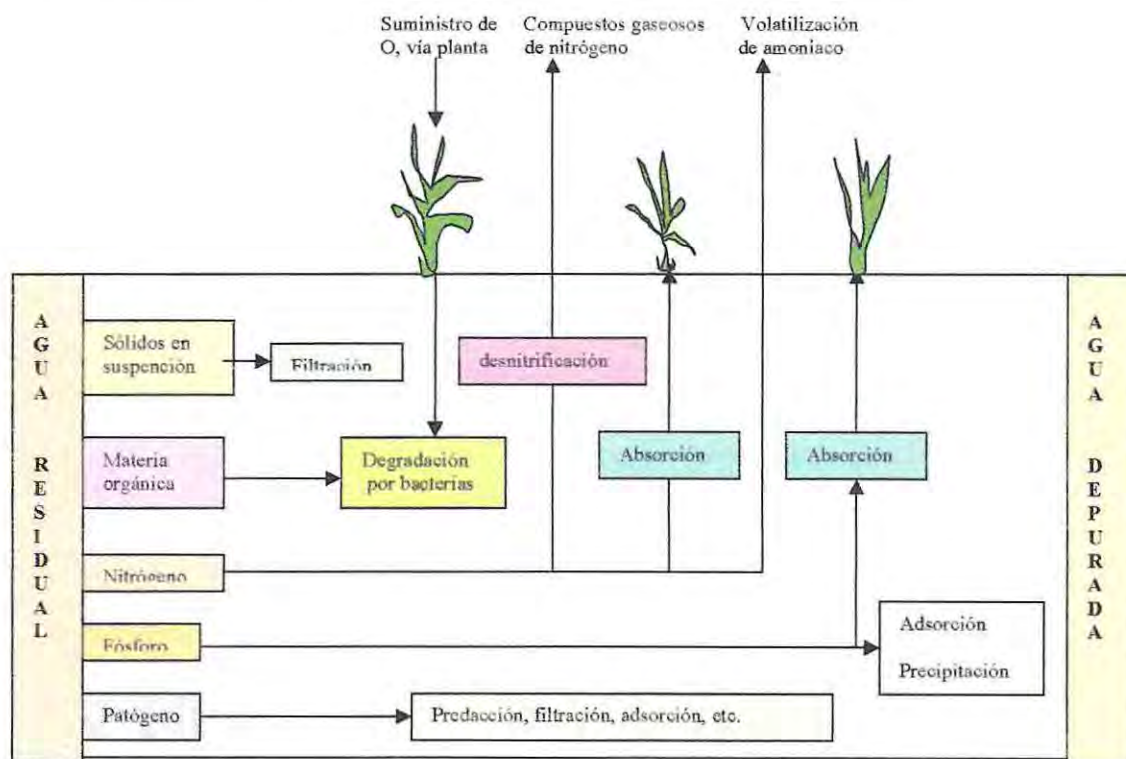
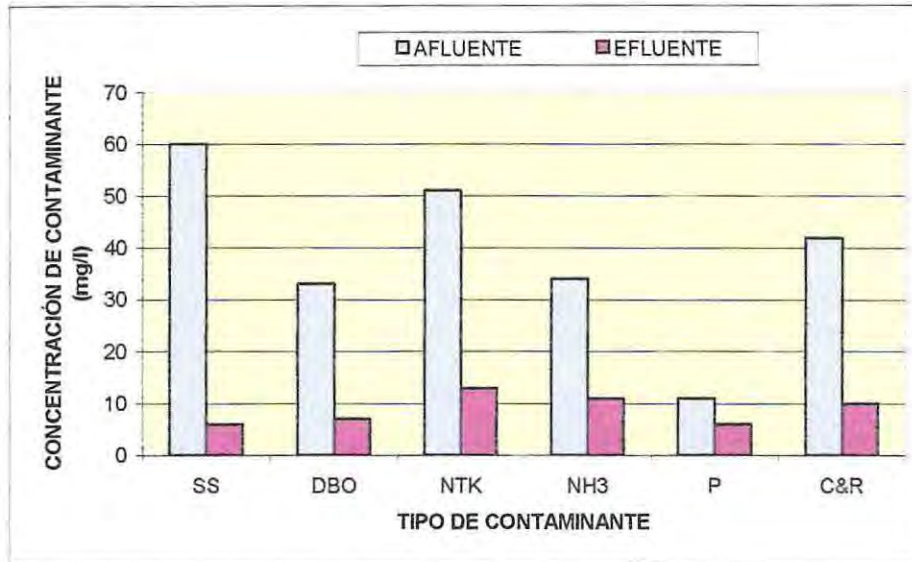


Figura N° 3.13
Esquema proceso de depuración de los humedales artificiales (Metcalf & Eddy, 1995)



(Experiencia a escala piloto humedal SFS. Sydney, Australia)

Figura N° 3.14
Rendimiento de remoción típica. (Lara, 2000)

3.6.1 Remoción de sólidos suspendidos (SS)

La remoción de los sólidos suspendidos es muy efectiva en los SFS, produciendo efluentes con concentraciones inferiores a 20 mg/l que es el valor de referencia. La Figura N° 3.15 muestra datos de SS a la entrada contra SS a la salida para un humedal de SFS en Norte América, recibiendo distinta calidad de agua residual (Reed *et al.*, 1995).

Como se puede observar, casi todos los valores están por debajo del valor de referencia, independiente de la concentración de entrada. Solamente una instalación sobrepasó este valor, debido a un cortocircuito causado al presentarse flujo superficial, con lo que el efluente alcanzó una concentración de 23 mg/l.

La remoción de SS en un humedal es más o menos rápida, y se estima que ocurre en gran parte entre el 12 y 20 % del área inicial.

En el diseño del SFS, es importante tener en cuenta las posibles obstrucciones parciales del medio granular, lo que ocasionaría una reducción de la conductividad hidráulica del substrato produciéndose un flujo superficial que no corresponde a las condiciones de diseño para el adecuado funcionamiento del sistema.

No se cuenta con un modelo cinético de remoción de sólidos suspendidos, pero las investigaciones indican que siguen el mismo patrón que la DBO de manera que cuando se diseña un sistema para la remoción de una concentración particular de DBO, se puede esperar una remoción de SS comparable, siempre y cuando se mantengan las condiciones de flujo de diseño.

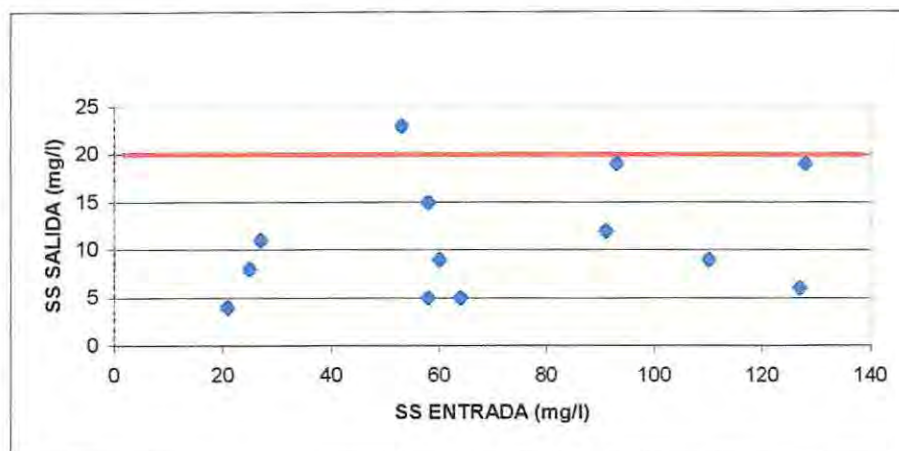


Figura N° 3.15

Relación entre SS de entrada y salida en un sistema SFS. (Reed *et al.*, 1995)

3.6.2 Remoción de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO)

La remoción de materia orgánica sedimentable es muy rápida debido a la deposición y filtración en los SFS, donde cerca del 50 % de la DBO aplicada es removida en los primeros metros del humedal. Esta materia orgánica sedimentable es descompuesta aerobia o anaerobiamente, dependiendo del oxígeno disponible. El resto de la DBO se encuentra en estado disuelto o en forma coloidal y continua siendo removida del agua residual al entrar en contacto con los microorganismos que crecen en el sistema. Esta actividad puede ser aerobia cerca de las raíces y rizomas, pero la descomposición anaerobia prevalece en el resto del sistema.

Para las mismas instalaciones en las que se obtuvieron los datos de SS indicados en la Figura N° 3.15, en la Figura N° 3.16 se presentan los valores registrados para la DBO a la entrada y salida del sistema. En este caso todos los valores del efluente están por debajo del nivel de referencia de 20 mg/l, lo que al igual que para SS, se puede lograr independiente de la concentración de entrada de DBO (dentro del rango mostrado). En Europa se han registrado relaciones similares para concentraciones de DBO₅ a la entrada superior a 150 mg/l.

En climas relativamente cálidos se ha observado una rápida remoción de DBO durante los primeros días, luego decrece y se piensa que esta influida por la producción de DBO residual debida a la descomposición de los residuos de las plantas y otra materia orgánica natural presente en el humedal. Esta situación hace único a los humedales, ya que se produce DBO dentro del sistema y a partir de fuentes naturales, fenómeno que hace imposible diseñar un sistema para una salida de cero DBO, independiente del tiempo de retención hidráulica. Por lo tanto, en términos generales, la DBO del efluente solo puede alcanzar valores mínimos entre 2 y 7 mg/l.

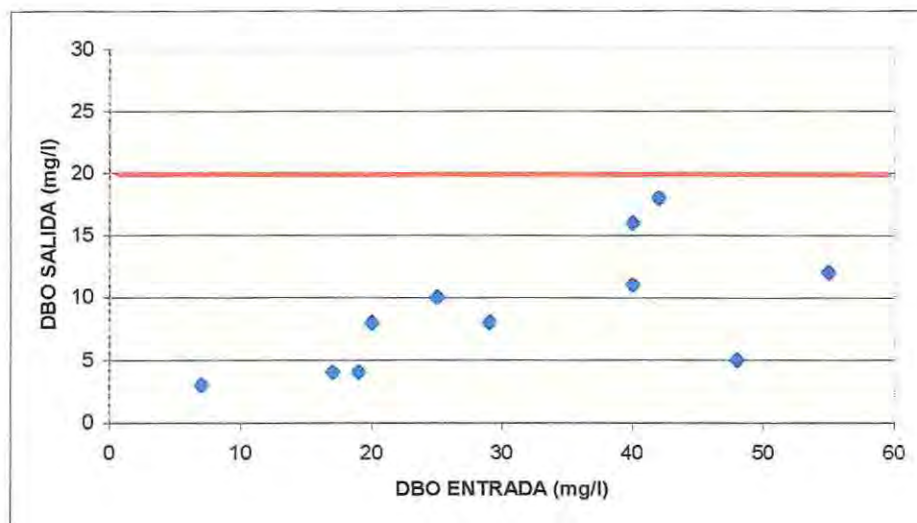


Figura N° 3.16
Relación entre DBO de entrada y salida en SFS (Reed *et al.*, 1995)

3.6.3 Remoción de nitrógeno (N)

La remoción de nitrógeno en los humedales artificiales puede llegar a ser muy efectiva, pudiendo alcanzar valores por encima del 80 %. Si bien, a través de las plantas ocurre una asimilación de nitrógeno, solo una pequeña fracción del nitrógeno total puede ser eliminado por esta vía. Experiencias en Norteamérica demuestran que solamente entre el 10 y 15 % del nitrógeno eliminado se retira del sistema usando la poda de las plantas.

El nitrógeno que entra al sistema de humedal puede medirse como nitrógeno orgánico y amoniacal (la combinación de estas dos se representa como Nitrógeno Total Kjeldahl; NTK), nitrito y nitrato. En otras palabras, el nitrógeno total (NT) en el humedal esta conformado por nitrógeno orgánico, nitrógeno amoniacal, nitrito y nitrato.

El potencial de remoción de nitrógeno puede tomar varios años en desarrollarse, debido a que se requiere por lo menos dos o tres etapas del crecimiento de las plantas, sistemas de raíces, capas de residuos y materiales del bentos, para alcanzar el equilibrio.

Los tanques sépticos, sistemas del tratamiento primario y efluentes de lagunas facultativas normalmente no contienen nitratos, pero pueden tener altos niveles de nitrógeno orgánico y amoniacal. En cambio, los efluentes de sistema de tratamiento secundarios aireados tienen niveles bajos de nitrógeno orgánico, pero contienen concentraciones significativas de nitrógeno amoniacal y nitratos. En sistemas con intensidad alta o aireación prolongada pueden tener la mayoría del nitrógeno en forma de nitrato.

El nitrógeno orgánico que entra al humedal está normalmente asociado con sólidos orgánicos del agua residual y/o algas. La remoción inicial de estos materiales como sólidos suspendidos es más o menos rápida. Mucho de este nitrógeno orgánico sufre descomposición o mineralización y

descarga entonces nitrógeno en forma de amoniacal al agua. También puede ser una fuente de nitrógeno, los detritos de las plantas y otros materiales orgánicos producidos naturalmente por el humedal, generando una descarga estacional de amoníaco. Una aproximación conservadora al diseño de un humedal, sería asumir que la mayor parte de NTK que entra al sistema, esta en forma de nitrógeno amoniacal.

Se cree que la mejor forma para remover el amoníaco de los humedales es la nitrificación biológica seguida por la desnitrificación. La oportunidad de nitrificar existe cuando se tienen condiciones aerobias, suficiente alcalinidad y la temperatura adecuada, y después de que la mayoría de la DBO ha sido removida, para que los organismos nitrificantes puedan competir con los organismos heterótrofos por el oxígeno disponible.

La experiencia ha demostrado que la condición limitante para la nitrificación en los humedales es la disponibilidad de oxígeno, la relación teórica indica que son necesario 4,6 g de oxígeno para oxidar 1g de nitrógeno amoniacal.

Para los mismos sistemas de humedales artificiales considerados en los gráficos anteriores, la Figura N° 3.17 compara la entrada y salida de amoníaco. La línea inclinada en el grafico representa la igualdad entre el amoníaco de entrada y salida, es decir, el sistema tiene una remoción igual a cero. Los puntos que están por encima de la línea indican que existe una producción neta de amoníaco dentro del sistema. La procedencia de este amoníaco se cree que es la mineralización del nitrógeno orgánico en el humedal, combinado con una insuficiencia de oxígeno e inadecuadas condiciones aerobias requeridas para la nitrificación con los tiempos de retención hidráulica de dichos sistemas.

La disponibilidad de oxígeno en el humedal, está relacionada con la penetración de las raíces y la eficiencia en la transferencia de oxígeno de éstas. Por lo tanto, si se quiere tener eficacia en el proceso de nitrificación, es de suma importancia diseñar el humedal con una profundidad igual a la potencial penetración de las raíces. Cualquier flujo bajo la zona de las raíces será anaerobio y la nitrificación en esa zona será nula. Se ha estimado que en climas o estaciones cálidas, son necesarios tiempos de retención hidráulica entre 6 a 8 días para lograr los niveles de nitrificación deseados.

Depende también de la temperatura del agua, la remoción de amoníaco, por lo que en época de verano su remoción es bastante buena, decreciendo en la medida que baja la temperatura del agua.

Para dar lugar a las reacciones biológicas de nitrificación, es necesaria la alcalinidad. Está teóricamente aceptado para diseño una relación de 7,1 g de alcalinidad (como CaCO_3) por cada gramo de NH_4^+ - N oxidado. No obstante, es prudente usar 10 g de alcalinidad por cada gramo de nitrógeno amoniacal a causa de pérdidas externas. Normalmente las aguas domésticas poseen una alcalinidad suficiente, pero puede ser necesario una adición extra para asegurar niveles bajos de amoníacos y para algunas aguas residuales industriales con baja alcalinidad. Más o menos la mitad de la alcalinidad puede ser removida cuando el nitrato producido es biológicamente reducido por desnitrificación.

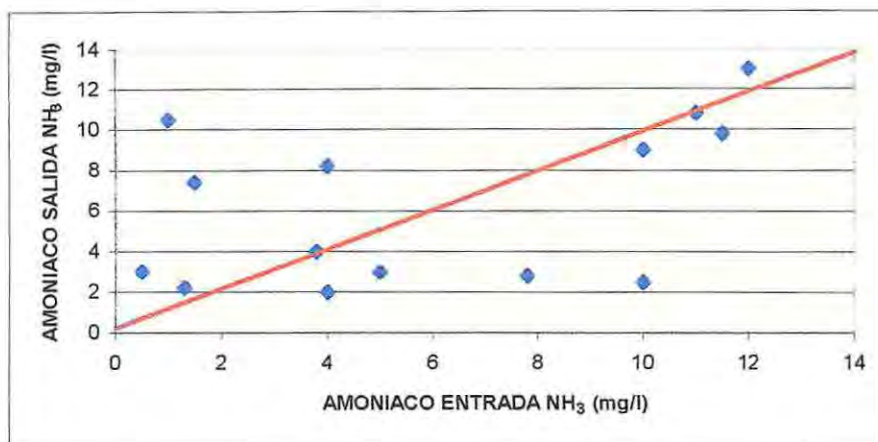


Figura N° 3.17

Relación entre Amoníaco de entrada y salida en un SFS. (Reed *et al.*, 1995)

La remoción de nitratos (NO_3) por vía de una desnitrificación biológica en humedales, requiere condiciones anoxicas, una fuente de carbono y condiciones adecuadas de temperatura. Las condiciones anoxicas en los humedales esta casi garantizada y la temperatura del agua dependen de la estación del año y del clima local, por lo que la disponibilidad de carbono tiende a ser el factor que controla el proceso. Metano y otras fuentes de carbono fácilmente degradables son usados habitualmente en procesos convencionales de desnitrificación, pero debido a su costo no es una solución aplicable a los humedales, así que la desnitrificación dependerá de los organismos presentes en el agua residual o que se encuentren en el humedal.

Anteriormente se indicó que para la nitrificación se requiere que se elimine previamente gran cantidad de DBO, por lo que la disponibilidad original de carbono orgánico ya no exista en el momento de la desnitrificación. Se estima que se requieren entre 5 y 9 g de DBO para desnitrificar 1g de $\text{NO}_3\text{-N}$.

Para los mismos sistemas de humedales indicados en los gráficos anteriores, la Figura N° 3.18 compara la entrada y salida de nitratos. La línea inclinada en el gráfico representa la igualdad entre la entrada y salida de nitrato, es decir remoción cero.

Otra fuente de carbono en los humedales son los residuos de las plantas y otros organismos naturales presentes en el bentos, que aun cuando su proceso de descomposición es lento, si las condiciones de temperatura son favorables, esto podría ser suficiente para una desnitrificación total, para cargas orgánicas y de nitrógeno usuales en los humedales.

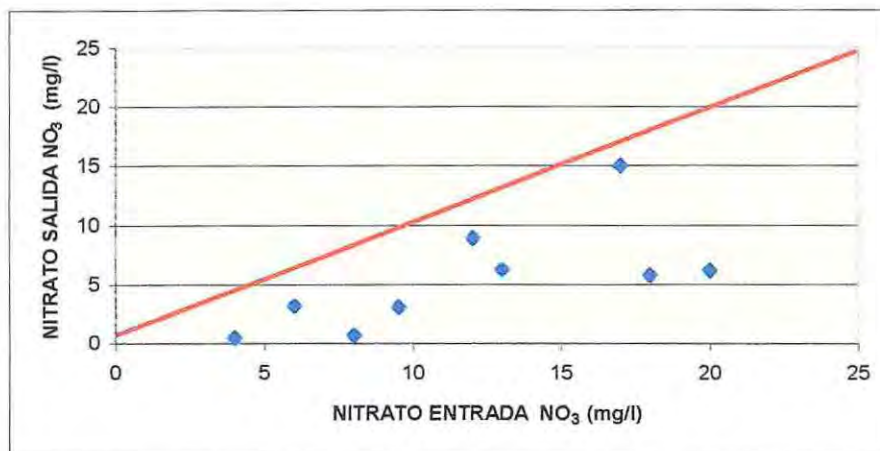


Figura N° 3.18
Relación entre Nitrato de entrada y salida en un SFS (Reed *et al.*, 1995)

3.6.4 Remoción de fósforo (P)

En general, en la mayoría de los sistemas de humedales artificiales la remoción de fósforo no es muy eficaz debido al pequeño contacto entre el agua residual y el medio granular. Algunos sistemas en Europa usan arena en lugar de grava para aumentar la capacidad de retención de fósforo, pero este medio demanda una mayor área de instalación debido a la menor conductividad hidráulica de la arena comparada con la grava. Si un proyecto requiere una importante remoción de fósforo, entonces será necesario contar con una gran superficie o usar métodos de tratamiento alternativo. La Figura N° 3.19 presenta valores de entrada y salida de fósforo para los sistemas anteriormente indicados.

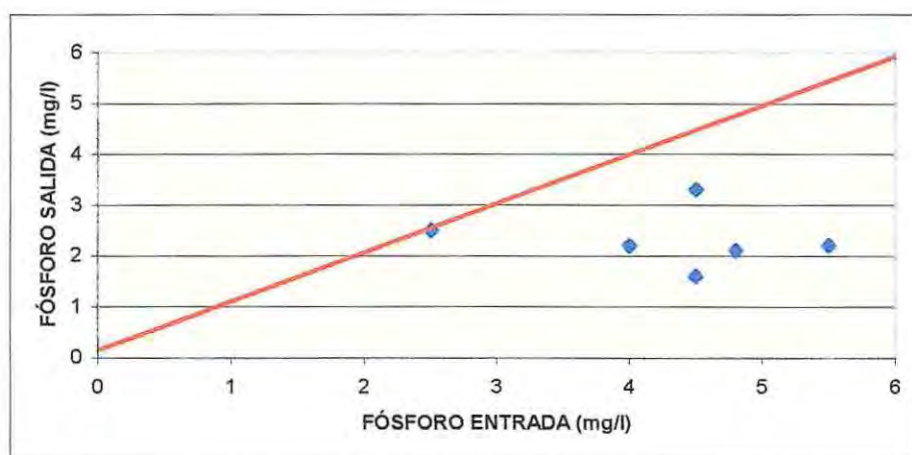


Figura N° 3.19
Relación entre Fósforo de entrada y salida en un SFS (Reed *et al.*, 1995)

La línea inclinada en la figura representa la condición en la que la entrada de fósforo es igual a la salida, es decir, rendimiento cero. Los puntos registrados indican una remoción entre 30 y 60 %. Puede esperarse que estas eficiencias se mantengan a largo plazo durante todo el periodo de diseño del sistema.

3.6.5 Remoción de metales

La remoción de metales en los humedales artificiales sigue prácticamente los mismos mecanismos que los usados para el fósforo descrito en el punto anterior, incluyendo asimilación por parte de las plantas, adsorción y precipitación. Como los sedimentos orgánicos e inorgánicos están aumentando continuamente (a una velocidad lenta) en los humedales, la disponibilidad de nuevos sitios de adsorción también aumenta.

Los humedales tienen una capacidad potencial de remoción de metales que se mantiene durante todo el periodo de diseño del sistema, y aunque los metales pueden acumularse en los humedales, esto no reviste, en general, una amenaza para los valores del hábitat dada las bajas concentraciones de metales que normalmente tienen las aguas residuales.

3.6.6 Remoción de coliformes fecales

En general, la reducción de coliformes fecales en los humedales artificiales, puede alcanzar una tasa de uno a dos logaritmos con tiempos de retención entre 3 y 7 días que muchas veces es insuficiente para satisfacer los requisitos de descarga que a menudo especifican una cantidad menor a 200 NMP/100ml. Tiempos de retención superiores a 14 días serían necesarios para lograr reducciones de 3 o 4 logaritmos (Reed *et al*, 1995)

Cuando se presentan intensas lluvias, baja la eficiencia de remoción de coliformes fecales por lo que en la mayoría de los humedales se utiliza alguna forma de desinfección. Para la instalación citada anteriormente, que cuenta con un medio de grava fina de río, los coliformes fecales se han reducido de 8×10^4 NMP/100ml a 10 NMP/100 ml de promedio.

3.7 CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO DE HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO SUBSUPERFICIAL

3.7.1 Consideración general de diseño

Dado que los contaminantes en las aguas residuales domésticas con mayor presencia son la DBO, SST, N y P, el desarrollo de la presente experiencia se centra principalmente en estudiar la remoción de éstos, razón por lo cual se indican los modelos de diseño para eliminar o reducir estos parámetros, no obstante lo anterior, se pueden reducir también en forma simultanea otros contaminantes.

Los sistemas de humedales artificiales pueden ser considerados como reactores biológicos, y su rendimiento puede ser estimado mediante una cinética de primer orden de flujo a pistón para la remoción de DBO y nitrógeno. Modelos de diseño para la remoción de DBO, sólidos suspendidos (SS), nitrógeno (N) y fósforo (P), como también las consideraciones hidráulicas y térmicas para los sistemas de flujo subsuperficial (SFS), se tratarán en este acápite.

La ecuación básica de los reactores de flujo a pistón esta dada por:

$$C_e / C_o = e^{-K_t \cdot T_r} \quad (3.1)$$

Donde:

C_e : concentración del contaminante en el efluente, mg/l

C_o : concentración del contaminante en el afluente, mg/l

K_t : constante de reacción de primer orden dependiente de la temperatura, d^{-1}

(el valor de K_t depende del contaminante que se quiere eliminar y de la temperatura t del agua en el humedal)

T_r : tiempo de retención hidráulica, d, que puede ser determinado por la expresión:

$$T_r = \frac{A_s \cdot y \cdot n}{Q} ; \quad (A_s = L \cdot W) \quad (3.2)$$

En que:

A_s : superficie humedal m^2

y : profundidad del agua en la celda del humedal, m

n : porosidad, o espacio disponible para el flujo del agua a través del humedal, expresado como decimal. El medio granular, raíces y otros sólidos ocupan espacio en el humedal.

L : largo de la celda del humedal, m

W : ancho de la celda del humedal, m

Q : caudal medio a través del humedal, m^3/d

$$Q = (Q_o + Q_e) / 2 \quad (3.3)$$

Donde:

Q_o : caudal de entrada humedal, m^3/d

Q_e : caudal de salida humedal, m^3/d

Para compensar las pérdidas o ganancias de agua a lo largo del flujo en el humedal causadas por filtraciones o precipitaciones, puede ser necesario determinar el caudal medio con la expresión anterior. Un diseño conservador debe asumir que no existen pérdidas por filtración y adoptar una estimación adecuada de pérdida por evapotranspiración y asumir una ganancia de flujo por lluvias de acuerdo a los registros históricos del lugar, para cada mes de operación. Esto requiere una primera suposición del área superficial del humedal para poder determinar el agua extra que entra o sale.



Considerando que en un diseño preliminar es usualmente razonable suponer que los caudales de entrada y salida son iguales, combinando las ecuaciones (3.1) y (3.2), es posible calcular el área superficial del humedal de acuerdo a:

$$A_s = \frac{Q \cdot \ln(C_o / C_e)}{K_t \cdot y \cdot n} \quad (3.4)$$

Donde:

A_s : superficie humedal, m^2

Las reacciones biológicas llevadas a cabo en el humedal dependen de la temperatura del agua y de ahí la necesidad de estimar adecuadamente este valor para lograr un buen diseño. En un caso extremo, un humedal poco profundo podría congelarse, lo que daría lugar a un cese del proceso, o si la temperatura es muy elevada, la evaporación podría reducir el flujo necesario para las plantas.

El diseño hidráulico del humedal, tema que se verá más adelante, es tan importante como la determinación de los modelos para la remoción de contaminantes, que están basados en un flujo uniforme a través de la sección del humedal y con mínimas corrientes preferenciales. El problema de muchos sistemas existentes, es no haber dado la importancia suficiente a los requerimientos hidráulicos, lo que ha provocado cortocircuitos y consecuencias adversas, sin los rendimientos esperados.

Un buen diseño requiere tener en cuenta consideraciones hidráulicas y térmicas, así como la cinética de la remoción. El procedimiento es habitualmente iterativo y requiere asumir la temperatura y profundidad del agua para resolver las ecuaciones cinéticas. De este modo se puede predecir el área de humedal necesaria para la remoción de un contaminante. El contaminante que requiera de la mayor superficie para su remoción, será el que controlará el tamaño del humedal.

Una vez conocida el área, las ecuaciones térmicas pueden ser usadas para estimar la temperatura teórica del agua en el humedal. Si este valor de temperatura no coincide con el asumido inicialmente, se requerirán iteraciones hasta que estas dos temperaturas converjan. El último paso es usar los cálculos hidráulicos para determinar la forma (relación largo – ancho) y la velocidad de flujo en el humedal. Si estos valores son significativamente diferentes a los asumidos inicialmente para las ecuaciones de temperatura, serán necesario nuevas iteraciones.

3.7.2 Diseño hidráulico

El diseño hidráulico de un humedal es crítico para el éxito de su rendimiento. Actualmente, todos los modelos de diseño asumen condiciones uniformes de flujo a pistón y que además no existen restricciones para el contacto entre los constituyentes del agua residual y los organismos responsables del tratamiento, concepto necesario para asegurar en un SFS, que las condiciones de flujo subsuperficial se mantienen normales durante todo el periodo de funcionamiento del sistema, lo que es posible solo a través de un cuidadoso diseño hidráulico y métodos constructivos apropiados.

El flujo en el humedal debe ser capaz de superar la resistencia por fricción del sistema, dado por el medio granular, las raíces de las plantas y los sólidos acumulados. La energía necesaria para superar esta resistencia, viene dada por la pérdida de carga entre la entrada y la salida del flujo en el sistema. En cuanto a la construcción del sistema, la mejor solución es dar al fondo del humedal una pendiente tal que permita drenarlo totalmente cuando sea necesario y una salida de altura variable con el nivel de agua.

La relación largo – ancho del humedal, tiene una gran incidencia en el régimen hidráulico y en la resistencia al flujo. En teoría grandes relaciones largo : ancho, 10:1 o mayores aseguran un flujo a pistón, pero tienen el inconveniente que en la parte alta se desbordan debido al incremento de la resistencia al flujo causado por la acumulación de residuos, como también, en la parte baja se ve reducida la densidad de plantas debido a la escasez de materia orgánica. Por lo tanto, relaciones 1:1 o hasta 4:1 son convenientes. Los cortocircuitos pueden ser reducidos al mínimo con una cuidadosa construcción y adecuado mantenimiento, y con el uso de múltiples celdas.

La ley de Darcy, definida en la ecuación (3.5), describe el régimen de flujo en un medio poroso que es lo asumido para el diseño de humedales SFS usando arena o grava como medio filtrante. El uso de piedras muy gruesas en el medio filtrante, produce un gran nivel de turbulencia en el flujo, por lo que la ecuación de Ergun es más apropiada en este caso.

En estricto rigor, la ley de Darcy no es aplicable a los SFS debido a las limitaciones físicas en el sistema. Este asume condiciones de flujo laminar, pero el flujo turbulento puede darse con gravas muy gruesas cuando el diseño usa un gradiente hidráulico alto. La ley de Darcy también asume que el flujo en el humedal es constante y uniforme, pero en realidad puede variar por precipitaciones, evapotranspiración y filtraciones; así como por los cortocircuitos en el flujo que pueden llegar a presentarse por una desigual porosidad o mala construcción. Sin embargo, si se utiliza una grava de tamaño medio o pequeño, si el sistema está apropiadamente construido para minimizar los cortocircuitos, si el sistema está diseñado para tener una mínima dependencia del gradiente hidráulico y si las pérdidas y ganancias del sistema están adecuadamente reconocidas, la ley de Darcy puede dar una aproximación razonable a las condiciones hidráulicas en el humedal.

Dado que:

$$v = k_s \cdot s \quad ; \quad v = Q / A_c \quad ; \quad A_c = W \cdot y$$

Combinando resulta

$$Q = k_s \cdot A_c \cdot s \quad (3.5)$$

Donde:

Q : caudal promedio a través del humedal, m^3/d $(Q_o + Q_e) / 2$

k_s : conductividad hidráulica de una unidad de área del humedal perpendicular a la dirección de flujo, $m^3/m^2/d$

A_c : área de la sección transversal perpendicular al flujo, m^2

s : gradiente hidráulico o pendiente de la superficie del agua en el sistema, m/m

v : velocidad de Darcy, la velocidad aparente del flujo a través de la sección transversal del humedal, m/d

Reemplazando y reorganizando los términos es posible obtener una ecuación que determine el ancho mínimo de una celda que sea compatible con el gradiente hidráulico seleccionado para el diseño del SFS, partiendo de:

$$s = (m \cdot y)/L ; \quad L = A_s/W ; \quad A_c = W \cdot y$$

Donde:

W : ancho de una celda del humedal, m

L : longitud de la celda de humedal, m

A_s : área superficial del humedal, m^2

m : pendiente del fondo del humedal, % expresado como decimal

y : profundidad del agua en el humedal,

s ; A_c ; anteriormente definidos

$$W = \frac{1}{y} \left[\frac{Q \cdot A_s}{m \cdot k_s} \right]^{0.5} \quad (3.6)$$

El área superficial del humedal (A_s) se determina en primer lugar, usando el modelo de diseño limitante para remoción de contaminantes. La ecuación (3.6) permite calcular el ancho mínimo de una celda de humedal compatible con el gradiente hidráulico seleccionado. Otras combinaciones de ancho – gradiente hidráulico pueden ser también posibles a fin de ajustar el diseño a las condiciones topográficas existentes del lugar propuesto.

Los valores de **m** y **k_s** a usar en la ecuación (3.6), es recomendable que estén dentro del rango que se indica a continuación con el fin de tener un factor de seguridad contra potenciales atascamientos, efectos de viscosidad y otras contingencias que pueden llegar a ser desconocidas en el momento del diseño. Así entonces, los valores recomendables para m y k_s son :

m: entre 5-20% de la pérdida de carga potencial (deseable, nunca mayor a 20%)

k_s : menor o igual a 1/3 de la conductividad efectiva.

Las ecuaciones (3.5) y (3.6) son válidas cuando el flujo es laminar a lo largo de los espacios vacíos del medio, es decir, cuando el número de Reynolds (N_R) es menor a 10. El número de Reynolds es función de la velocidad de flujo, del tamaño de los espacios vacíos y de la viscosidad cinemática del agua, como lo expresa la ecuación (3.7).

$$N_R = \frac{v \cdot D}{\nu} \quad (3.7)$$

Donde:

N_R : número de Reynolds, adimensional

v : velocidad de Darcy, m/s

D : diámetro de los vacíos del medio, tomarlo igual al tamaño medio del medio, m

ν : viscosidad cinemática del agua, m^2/s (Tabla 3.1)

En muchos casos N_R será menor que 1, por lo que el flujo laminar impera y la ley de Darcy es aplicable. Si el flujo es turbulento, entonces la conductividad hidráulica efectiva será significativamente menor que la predicha por la ley de Darcy

La conductividad hidráulica (k_s) en las ecuaciones (3.5) y (3.6) varía directamente con la viscosidad del agua, que a su vez es función de la temperatura del agua:

$$\frac{k_{s\ t}}{k_{s\ 20}} = \frac{v_{20}}{v_t} \quad (3.8)$$

Donde:

k_s : conductividad hidráulica a una temperatura t y $20\ ^\circ\text{C}$

v : viscosidad del agua a una temperatura t y $20\ ^\circ\text{C}$ (Tabla N° 3.1)

La viscosidad, en climas fríos y sobre todo en época de invierno, puede generar efectos importantes en los humedales SFS. Así por ejemplo, la conductividad hidráulica de un agua a una temperatura de $0\ ^\circ\text{C}$ podría ser el 56% de la de $20\ ^\circ\text{C}$. Este efecto está considerado en la recomendación de usar una conductividad hidráulica igual o menor a $1/3$ de k_s efectivo.

Tabla N° 3.1
Propiedades físicas del agua (Reed *et al.*, 1995)

TEMPERATURA ($^\circ\text{C}$)	DENSIDAD (Kg/m^3)	VISCOSIDAD DINAMICA ($\times 10^3$) ($\text{N}\cdot\text{s/m}^2$)	VISCOSIDAD CINEMÁTICA ($\times 10^6$) (m^2/s)
0	999.8	1.781	1.785
5	1000.0	1.518	1.519
10	999.7	1.307	1.306
15	999.1	1.139	1.139
20	998.2	1.102	1.003
25	997.0	0.890	0.893
30	995.7	0.708	0.800
40	992.2	0.653	0.658
50	988.0	0.547	0.553
60	983.2	0.466	0.474
70	977.8	0.404	0.413
80	971.8	0.354	0.364
90	965.3	0.315	0.326
100	958.4	0.282	0.294

La conductividad hidráulica también varía con el número y tamaño de vacíos del medio granular usado para el humedal. La Tabla N° 3.2 presenta ordenes de magnitud estimados para materiales granulares que podrían ser usados en un humedal SFS, sin embargo, es recomendable medir la conductividad hidráulica en terreno o laboratorio antes del diseño final como también la porosidad, la que puede ser medida por procedimiento estándar de la ASTM.

Existen valores de porosidad publicados en varios textos, pero pueden ser bastante menores que los indicados en la Tabla N° 3.2 debido a que corresponden a depósitos naturales de suelos y gravas que han pasado por un proceso de consolidación natural, por lo que son valores no apropiados para usar en el diseño de SFS.

Tabla N° 3.2
Características típicas de los medios granulares para humedales SFS (Reed *et al.*, 1995)

TIPO DE MATERIAL	TAMAÑO EFECTIVO D_{10} (mm)	POROSIDAD n (%)	CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA k_s (m ³ /m ² /d)
Arena gruesa	2	28 – 32	100 – 1.000
Arena gravosa	8	30 – 35	500 – 5.000
Grava fina	16	35 – 38	1.000 – 10.000
Grava media	32	36 – 40	10.000 – 50.000
Roca gruesa	128	38 – 45	50.000 – 250.000

Es posible usar una relación basada en la ecuación de Ergun, para estimar la conductividad hidráulica (k_s) cuando se ocupen gravas gruesas o rocas:

$$k_s = n^{3.7} \quad (n: \text{porosidad})$$

Esta ecuación, así como los valores indicados en la Tabla N° 3.2, son recomendables solo para un diseño preliminar o para estimar un orden de magnitud. El diseño definitivo de un SFS, debe contemplar mediciones reales de los dos parámetros; conductividad hidráulica y porosidad.

3.7.3 Aspectos térmicos

Las actividades físicas y biológicas en el humedal se ven afectadas por las condiciones de temperatura. Condiciones extremas sostenidas de bajas temperaturas (hielo por ejemplo), podría conllevar a la falla física de un humedal. Es conocido que las reacciones biológicas responsables de la remoción de DBO, nitrificación y desnitrificación dependen también de la temperatura. No obstante en muchos humedales existentes en climas fríos, no se ha establecido una relación muy obvia para el rendimiento de la remoción de DBO como dependencia de la temperatura. Por otra parte, varios sistemas en Canadá y EEUU han demostrado un descenso en la remoción de nitrógeno durante los meses más fríos, lo que es causado por la combinación de temperatura en las reacciones biológicas y la falta de oxígeno cuando se forma hielo sobre la superficie.

Las constantes dependientes de la temperatura para los modelos de remoción de DBO y nitrógeno, que se presentan más adelante, son necesarias para proporcionar un método fiable de estimación, en función de la temperatura del agua en el humedal, para un uso correcto y efectivo de los modelos biológicos de diseño. En esta sección se presenta la técnica para calcular la temperatura del agua en el humedal SFS.

Conocer el estado termal del humedal en un momento dado puede ser muy difícil, ya que puede haber pérdida y ganancias de calor del suelo subyacente, del agua residual que fluye por el

sistema y de la atmósfera. Los mecanismos térmicos básicos involucrados son conducción de o hacia el terreno, conducción de o hacia el agua residual, conducción y convección de o hacia la atmósfera y radiación de o hacia ella.

La ganancia de calor desde el terreno puede llegar a ser significativo, pero en un diseño conservador suele no considerarse, del mismo modo, el calor ganado por radiación tampoco es tomado en cuenta. Esta opción conservadora podría ser apropiada para los meses de invierno en las zonas donde las condiciones climáticas son más críticas, pero, en los lugares calurosos donde este factor puede llegar a ser importante durante los meses de verano, debe incluirse en el diseño.

Las pérdidas por convección debido a la acción del viento sobre la superficie, son despreciables en los humedales con buena densidad de vegetación, y la presencia de una capa superior con grava relativamente seca y resto de vegetación las disminuye aún más, por lo que las pérdidas por convección pueden ser ignoradas en el diseño térmico.

El modelo simplificado que se presenta, está basado solamente en las pérdidas por conducción a la atmósfera, y es conservador.

La energía ganada por el flujo del agua a través del humedal viene dada por:

$$q_G = C_p \cdot \delta \cdot A_s \cdot y \cdot n \quad (3.9)$$

Donde:

q_G : energía ganada por el agua, J/°C

C_p : capacidad de calor específico del agua, J/kg °C (4215 J/kg °C)

δ : densidad del agua, kg/m³ (1000 kg/m³)

A_s : área superficial del humedal, m²

y : profundidad del agua en el humedal, m

n : porosidad del humedal, en forma decimal (Tabla N° 3.2 valores típicos)

El calor perdido por el humedal SFS entero puede ser definido por :

$$q_P = (T_o - T_a) \cdot U \cdot \phi \cdot A_s \cdot T_r \quad (3.10)$$

Donde:

q_P : energía perdida vía conducción a la atmósfera, J

T_o : temperatura del agua que entra al humedal, °C

T_a : temperatura promedio del aire durante el periodo considerado, °C

U : coeficiente de transferencia de calor a la superficie del lecho del humedal, W/m² · °C

ϕ : factor de conversión, 86.400 s/d

A_s : área superficial del humedal, m²

T_r : tiempo de residencia hidráulica en el humedal, d

El valor de T_a se obtiene de los registros locales de meteorología o de la estación de medición más cercana al humedal. El año con el invierno más frío durante los últimos 20 o 30 años de

medición será seleccionado como “año de diseño” para los efectos de cálculo. La temperatura del aire promedio es aconsejable que sea igual al tiempo de retención hidráulica del humedal. El valor del coeficiente de transferencia de calor, U , viene dado por:

$$U = \frac{1}{\frac{y_1}{K_1} + \frac{y_2}{K_2} + \frac{y_3}{K_3} + \frac{y_n}{K_n}} \quad (3.11)$$

Donde:

K_i : conductividad térmica de la capa i (con i de 1 a n), $W / m \cdot ^\circ C$

y_i : espesor de la capa i (con i de 1 a n), m

En la Tabla N° 3.3 se indican valores de conductividad térmica de materiales que están habitualmente presentes en un humedal SFS.

Los valores de conductividad térmica, excepto el de la capa de residuos (resto de vegetación) del humedal, se pueden encontrar en la literatura. Sin embargo, el valor indicado en la tabla para la capa de residuos se cree conservador, y debe ser usado con cautela hasta que sea verificado en futuras experiencias.

Tabla N° 3.3
Conductividad térmica de algunos materiales (Reed *et al.*, 1995)

MATERIAL	K ($W / m \cdot ^\circ C$)
Aire (sin convección)	0.024
Nieve (nueva o suelta)	0.08
Nieve (de largo tiempo)	0.23
Hielo (a $0^\circ C$)	2.21
Agua (a $0^\circ C$)	0.58
Capa de residuos del humedal	0.05
Grava seca (25% de humedad)	1.5
Grava saturada	2.0
Suelo seco	0.8

El cambio de temperatura T_e en el humedal proveniente de las pérdidas y ganancias definidas por las ecuaciones (3.9) y (3.10) puede ser encontrado combinándolas:

$$T_e = q_P / q_G \quad (3.12)$$

$$T_e = T_o - T_e \quad (3.13)$$

$$T_w = (T_o + T_e) / 2 \quad (3.14)$$

Donde:

T_e : cambio de temperatura en el humedal, $^\circ C$

T_o : temperatura del agua que entra al humedal, °C

T_e : temperatura del efluente, °C

T_w : temperatura promedio del agua en el humedal, °C

Esta temperatura (T_w) se compara con el valor asumido, cuando el tamaño y el tiempo de retención hidráulica del humedal se calcularon para la remoción de DBO o nitrógeno. Si estas dos temperaturas no son cercanas, se deben realizar nuevas iteraciones en los cálculos hasta que converjan.

3.7.4 Modelo de diseño para remoción de DBO

Los sistemas de humedales artificiales pueden ser considerados como reactores biológicos y su rendimiento se puede aproximar al descrito por la cinética de primer orden de un reactor de flujo a pistón.

Una ecuación para estimar la remoción de DBO en un sistema de flujo libre (FWS) es la ec.(3.15). El modelo se basa en la experiencia con sistemas de aplicación sobre el suelo y filtros percoladores, dada la escasez de datos sobre sistemas SFS y también debido a que la información disponible de SFS, se reservaron para validar el modelo.

$$\frac{C_e}{C_o} = A \exp \left[- \frac{0.7 \cdot K_t \cdot A_v^{1.75} \cdot L \cdot W \cdot y \cdot n}{Q} \right] \quad (3.15)$$

Donde :

C_e : concentración de DBO en el efluente, mg/l

C_o : concentración de DBO en el afluente, mg/l

A : fracción de la DBO no removida como sólidos sedimentables a la entrada del sistema, es una variable que depende de la calidad del agua (fracción decimal)

K_t : constante de primer orden dependiente de la temperatura, d^{-1}

A_v : área superficial disponible para la actividad microbiana, m^2/m^3

L : longitud del sistema (paralelo al flujo), m

W : ancho del sistema, m

y : profundidad promedio del sistema, m

n : porosidad del sistema (espacio disponible para el paso del agua) como fracción decimal

Q : caudal promedio en el sistema, m^3/d

La ecuación (3.15) aun cuando teóricamente es correcta, conlleva dos problemas y que guardan relación con la dificultad para la determinación de los factores A y A_v .

El factor A ha sido medido para sistemas del tipo indicado (aplicación sobre suelo) de efluentes primarios y corresponde aproximadamente a 0.52 (48% de la DBO aplicada se queda a la entrada del sistema como materia particulada), sin embargo, el valor de A podría incrementarse para efluentes secundarios y terciarios a 0.70 y 0.90 (o más) respectivamente.

El valor de A_v es el área superficial disponible en el sistema para el desarrollo de biomasa fija. En los filtros percoladores y los biodiscos corresponde a la totalidad del área mojada y es relativamente fácil de obtener. En un humedal SFS el valor de A_v está dado por el área superficial del medio (grava o arena) y la vegetación que está en contacto con el agua residual, lo que es muy difícil de medir verazmente en un humedal en funcionamiento (superficie de raíces en continuo cambio por ejemplo) por lo que lo más adecuado es adoptar una aproximación del valor de A_v . Al igual que para el factor A , la determinación de A_v ha sido medida en sistemas con aplicación sobre suelo (FWS), donde el valor de A_v recomendado por algunas publicaciones es de $15,7 \text{ m}^2 / \text{m}^3$. No obstante, un metro cúbico de lecho en un SFS con grava de 25 mm puede tener al menos 146 m^2 de área superficial, además de toda la superficie de las raíces presentes, lo que hace que los humedales SFS puedan tener un mejor rendimiento.

Dado que el área superficial del humedal (A_s) es igual a ($W \cdot L$) es posible sustituyendo y reorganizando los términos de la ecuación (3.15) obtener una nueva ecuación para estimar el área requerida para un nivel de tratamiento deseado:

$$A_s = \frac{Q (\ln C_o - \ln C_e + \ln A)}{K_t \cdot y \cdot n} \quad (3.16)$$

Donde:

A_s : área superficial humedal, m^2

La ecuación (3.16) puede estimar el área superficial (A_s) para la remoción de DBO en un humedal FWS, pero dadas las dificultades para evaluar A y A_v , se ha realizado una segunda aproximación a partir del análisis de los datos de rendimiento de sistemas de este tipo en operación, llegándose a:

$$\frac{C_e}{C_o} = e^{-K_t \cdot Tr} \quad (3.17)$$

$$K_t = K_{20} (1.06)^{(t-20)} \quad (3.18)$$

En esencia, el mecanismo de remoción de DBO en un humedal SFS es el mismo que el descrito para el humedal FWS, es decir las ecuaciones (3.17) y (3.18) son también válidas para el diseño de humedales SFS, donde la constante de temperatura K_{20} queda dada por la ec.(3.19)

$$K_{20} = 1.104 \text{ d}^{-1} \quad (3.19)$$

De este modo, el área superficial del humedal SFS necesaria para remover un nivel de DBO determinado, se obtendría con la siguiente ecuación (3.20):

$$A_s = \frac{Q (\ln C_o - \ln C_e)}{K_t \cdot y \cdot n} \quad (3.20)$$

Donde:

A_s : área superficial del humedal, m^2

Q : caudal promedio en el sistema, m^3/d

C_o : concentración de DBO en el afluente, mg/l

C_e : concentración de DBO en el efluente, mg/l

K_t : constante de temperatura proveniente de las ecuaciones (3.18) y (3.19), d^{-1}

y : profundidad de diseño del sistema (agua), m

n : porosidad del humedal, en forma decimal (Tabla N° 3.2)

La ecuación (3.20) entrega un diseño más conservador que la ecuación (3.15) que es la asumida originalmente para estos diseños.

La DBO final en el efluente esta influenciada por la producción de DBO dentro del mismo sistema SFS, producto de la descomposición de los detritus y otras sustancias orgánicas que se encuentran presentes en forma natural en el humedal, por lo que las ecuaciones (3.17) y (3.20) no pueden ser usadas para diseñar un sistema con una DBO en el efluente final menor de 5 mg/l.

El medio granular seleccionado para los humedales SFS tiene una profundidad típica de 0.6 m aproximadamente, y a veces encima va una capa de material más fino de 76 a 150 mm de espesor para favorecer el enraizamiento inicial de la vegetación; éste se mantiene seco en condiciones normales de operación. Si se selecciona una grava relativamente pequeña, $\phi < 20$ mm para la capa principal donde se lleva a cabo el tratamiento, es probable que la capa superior de material fino no sea necesaria, sin embargo, es aconsejable incrementar ligeramente el espesor de la capa principal para asegurar la existencia de una zona seca en la parte superior del lecho.

En EEUU muchos de los humedales SFS que están en operación, tienen una profundidad de 0.6 m, pero algunos que se encuentran en clima más cálido donde el riesgo de congelación es bajísimo, funcionan con 0.3 m de profundidad. Estas pequeñas profundidades aumentan el potencial de transferencia de oxígeno, pero demandan una mayor área superficial con la agravante de aumentar también considerablemente el riesgo de congelación en climas fríos. Por otra parte, la profundidad de lecho de 0.6 m para su adecuado funcionamiento requiere una operación especial para conseguir la penetración de las raíces hasta el fondo del humedal. En la Tabla N° 3.4 se indica la contribución al tratamiento de las raíces y rizomas en el lecho del humedal.

Observando la Tabla N° 3.4 se desprende que el rendimiento en la remoción de DBO y nitrógeno amoniacal (NH_3) esta directamente relacionado con la profundidad de penetración de las raíces. Esta profundidad de penetración es el límite potencial de máximo crecimiento, por lo que al diseñar la profundidad de los humedales SFS, se debe tener especial cuidado en la profundidad de crecimiento de las raíces de la vegetación seleccionada para lograr los rendimientos esperados. Cabe recordar que el flujo bajo la penetración máxima de las raíces no tendrá remoción alguna.

Antes de ingresar las aguas residuales al sistema de humedal SFS, se debe hacer un tratamiento preliminar, a través de tanques sépticos, tanques Imhoff, lagunas, tratamiento preliminar convencional o sistemas similares.

Este tratamiento preliminar tiene por objeto reducir la concentración de los sólidos orgánicos fácilmente degradables, de lo contrario, se acumularían a la entrada del humedal produciendo atascamiento, posibles olores y efectos negativos para las plantas en esta zona, en definitiva se busca evitar el mal funcionamiento del sistema.

Tabla N° 3.4
Comparación del rendimiento de los humedales de Santee, con y sin vegetación
(California, EEUU) (Reed *et al.*, 1995)

CONDICIÓN DEL LECHO (*)	PENETRACIÓN DE LAS RAICES (cm)	CALIDAD DEL EFLUENTE (mg/l)		
		DBO	SST	NH ₃
Scirpus	76	5.3	3.7	1.5
Phragmites	> 60	22.3	7.9	5.4
Typha	30	30.4	5.5	17.7
Sin vegetación	0	36.4	5.6	22.1
(*) Q= 3.04 m ³ /d, TRH = 6d, dimensiones del lecho, L = 18,5m, W = 3,5m, y = 0,76m, el agua es residual primaria, DBO = 118mg/l, SST = 57mg/l, NH ₃ = 25mg/l				

Una forma para evitar estos problemas sería diseñar un sistema escalonado para la alimentación del humedal con las aguas servidas no tratadas. Un reactor anaeróbico preliminar podría ser útil para reducir la carga orgánica y el contenido de sólidos de un agua residual industrial muy concentrada. Mucho de los sistemas SFS en Europa aplican agua residual solo cribada y desarenada al lecho del humedal, lo que provoca la acumulación de lodos, olores y atascamiento, aunque esto pudiera ser aceptable para comunidades remotas. En algunos casos la zanja de entrada es usada para la deposición de lodos y es limpiada periódicamente.

3.7.5 Modelo de diseño para remoción de sólidos suspendidos totales (SST)

La remoción de sólidos suspendidos totales (SST), se debe a procesos físicos y sólo está influida por la temperatura a través de los efectos de la viscosidad en el flujo del agua. Dado que la distancia de sedimentación de la materia particulada es relativamente pequeña y el tiempo de residencia del agua en el humedal es bastante largo, los efectos de viscosidad pueden omitirse. La remoción de SST en el sistema SFS no es un parámetro limitante en el diseño y dimensionamiento del humedal, ya que la remoción de SST es muy rápida en comparación con la de DBO o nitrógeno.

La mayoría de los sólidos en las aguas residuales domésticas e incluso muchas industriales, son de naturaleza orgánica y pueden ser descompuestos con el tiempo, dejando un residuo mínimo. Un tratamiento primario similar al requerido para la DBO, entrega un nivel aceptable para este tipo de aguas residuales. Los sólidos que quedan entran al humedal pero su efecto será mínimo.

Los humedales diseñados para tratamiento de aguas lluvias, de alcantarillado unitario y aguas residuales de algunas industrias que contienen altas concentraciones de sólidos inorgánicos, pueden no necesitar un tratamiento primario, pero en cambio pueden requerir de lagunas o tanque de sedimentación antes del humedal, para evitar la acumulación de sólidos inorgánicos en el humedal.

Al igual que con la DBO, la remoción de SST esta influida por la producción de materiales orgánicos residuales propios del sistema que pueden aparecer en el efluente final como SST, por lo tanto, no se debe esperar encontrar menos de 5 mg/l de SST en el efluente.

Una regresión lineal de datos obtenidos en humedales de EEUU, proporciona una ecuación que permite estimar la concentración de SST a la salida del humedal (ec.3.21). Esta estimación permite solo obtener un orden de magnitud de la descarga, en ningún caso debe ser considerado como parámetro de diseño y como se dijo anteriormente, los SST no son un factor limitante.

Debe tenerse en cuenta que la ecuación (3.21) es aplicable en las condiciones que se obtuvo, es decir, es aplicable para cargas hidráulicas de entre 0.4 y 0.75 cm/d, valores superiores o inferiores pueden dar resultados incorrectos.

$$C_e = C_o (0.1058 + 0.0011 \cdot CH) \quad (3.21)$$

$$CH = (Q / A_s) \cdot 100 \quad (3.22)$$

Donde:

C_e : SST en el efluente, mg/l

C_o : SST en el afluente, mg/l

CH : carga hidráulica, cm/d

Q : caudal promedio, m³/d

A_s : área superficial del humedal, m²

3.7.6 Modelo de diseño para remoción de nitrógeno

El diseño para la remoción de nitrógeno es un procedimiento complicado, porque el nitrógeno puede estar presente de varias formas y requiere una serie de condiciones químicas y ambientales para su remoción. El nitrógeno amoniacal (NH₃) es la forma de nitrógeno más regulada en el efluente por su condición no ionizado, ya que puede ser tóxico para los peces en pequeñas concentraciones y la oxidación del amoniaco en el cauce receptor puede reducir el nivel de oxígeno disuelto propiciando la eutrofización.

Habitualmente el parámetro limitante de diseño para el humedal es la remoción de nitrógeno cuando se tienen límites estrictos de vertido, tanto para el nitrógeno amoniacal como total. En climas fríos, con largos periodos de bajas temperaturas, los requerimientos para la eliminación de nitrógeno pueden ser condicionantes para la factibilidad de las operaciones invernales, en tal caso, el almacenamiento del agua residual durante el invierno y la operación durante el verano será una alternativa a adoptar. Para asegurar el funcionamiento adecuado del humedal, el dimensionamiento para la remoción de nitrógeno, debe contemplar las condiciones termales indicadas en apartado 3.7.3.

Para el diseño por remoción de nitrógeno, es aconsejable asumir que todo el nitrógeno Kjeldahl (NTK) que entra al sistema se convierte en amoniaco. Una pequeña fracción del nitrógeno orgánico entrante queda permanentemente fijado al bentos, pero éste podría ser omitido para un diseño más conservador.

Durante los primeros dos años de operación, la remoción de nitrógeno puede superar las expectativas debido a que, la adsorción del suelo y la asimilación por parte de las plantas, genera un rápido crecimiento de la cubierta vegetal. Cerca del final de este periodo, el crecimiento del ecosistema se acerca al equilibrio y la remoción de amoníaco se estabilizará. El procedimiento de diseño que se describe a continuación está pensado para los rendimientos esperados a largo plazo.

La principal fuente, para lograr la nitrificación en los humedales, está dada por la disponibilidad de oxígeno y dado que en el SFS el nivel del agua se mantiene por debajo de la superficie del medio, la reaeración atmosférica es casi improbable. Sin embargo, las raíces y los rizomas de la vegetación proporcionan micro-sitios aerobios en sus superficies que permiten que las aguas residuales que fluyen a través del sistema tengan oportunidades de contacto con lugares aerobios dentro de un medio que es anaerobio. Como resultado, se tiene que dentro del mismo sistema hay condiciones aerobias y anaerobias para hacer posible la nitrificación y la desnitrificación. Los dos tipos de reacción biológica, nitrificación y desnitrificación, son dependientes de la temperatura y la velocidad de transferencia de oxígeno a las raíces de las plantas que puede variar con la estación del año.

Para lograr la desnitrificación es necesario contar con fuentes de carbono, la que estaría dada por la muerte y descomposición de las raíces y rizomas, los demás detritus orgánicos y la DBO del agua residual. Al inicio de operación del sistema es probable una deficiencia de carbono dado que la descomposición no es instantánea, sin embargo, transcurrido un cierto tiempo se puede disponer de una fuente de carbono suficiente para hacer posible la desnitrificación.

Como se indicó anteriormente, la principal fuente de oxígeno en el sistema SFS está dada por las raíces de los vegetales, de modo que es absolutamente esencial asegurar que las raíces penetren toda la profundidad del medio. Cualquier agua que circule por debajo de las raíces estará en un ambiente totalmente anaerobio y la nitrificación no será posible, excepto por la difusión en los niveles superiores. La Tabla N° 3.4 da respuesta a este fenómeno, donde la remoción de amoníaco puede ser directamente relacionada con la profundidad de las raíces. El lecho que contiene *Typha* (40% de penetración de las raíces) alcanza un 29% de remoción de amoníaco en comparación con el lecho que tiene *Scirpus*, que obtiene un 94% de remoción cuando la penetración de las raíces es completa.

Es importante tener presente que las plantas no crecen instantáneamente hasta alcanzar el fondo del humedal y tampoco proporcionan automáticamente el oxígeno necesario, por el contrario, su desarrollo es más bien lento y está limitado al tipo de vegetación, calidad del agua y las condiciones climáticas del lugar. La penetración de las raíces indicada en la Tabla N° 3.4 para la experiencia realizada en Santee, es probablemente la máxima potencial para las condiciones climáticas del lugar y la calidad del flujo aplicado. Esto deja ver que la profundidad de diseño de la celda no debe ser mayor que la penetración potencial de las raíces de los vegetales seleccionados, si se persigue tener oxígeno para remover amoníaco.

Para lograr la penetración de las raíces hasta el fondo del lecho, es necesario incorporar métodos operativos que aseguren dicha penetración, dado que las plantas pueden encontrar todos los nutrientes necesarios en la parte superior del lecho. En algunos sistemas europeos, el nivel del agua es disminuido gradualmente al término de cada año para inducir la penetración de las raíces. Otra variante usada, principalmente en climas fríos donde se requieren grandes superficies para el

invierno, es construir el humedal dividido en tres celdas paralelas(o más), de manera tal que en verano funcionen solamente dos de ellas a la vez durante un mes y así sucesivamente mientras dure el periodo cálido. Las raíces de la celda inactiva se ven obligadas a penetrar en busca de los nutrientes hasta que el agua es consumida.

En climas cálidos, donde la congelación no es un riesgo, es posible limitar la profundidad del lecho a 0.30 m con el fin de alcanzar más rápidamente una penetración completa, pero en este caso, aun cuando el volumen de grava no varía, se necesita una mayor superficie de terreno. A medida que disminuye la profundidad se incrementa la superficie.

a) Nitrificación

Para el caso de la nitrificación, no hay consenso sobre cuanto oxígeno es transferido a la zona de las raíces por cada tipo de planta, por lo que, no se sabe a ciencia cierta cuánto oxígeno está disponible en la superficie de las raíces para la actividad biológica. Algunas publicaciones estiman un rango de 5 a 45 g O₂/m²·d de área superficial de humedal.

La demanda de oxígeno de la DBO del agua residual y otras materias orgánicas presentes en el agua pueden utilizar gran parte de este oxígeno disponible, pero basados en los datos de remoción de amoníaco en Santee (Tabla N° 3.4) se tiene suficiente oxígeno en las raíces para asegurar la nitrificación.

Si la remoción de amoníaco observada en Santee, California, EEUU, se asume que fue realizada por la vía de la nitrificación biológica, es posible calcular la cantidad de oxígeno que estaría disponible para este propósito, dado que se requieren 5 g de oxígeno para nitrificar 1g de amoníaco (Reed *et al.*, 1995) El resultado de estos cálculos se indica en la Tabla N° 3.5

Tabla N° 3.5
Oxígeno disponible por vegetación emergente de un humedal (Reed *et al.*, 1995)

TIPO DE PLANTA	PENETRACIÓN DE LAS RAÍCES (cm)	OXIGENO DISPONIBLE	
		(gO ₂ /m ³ ·d) *	(gO ₂ /m ² ·d) **
Scirpus	76	7.5	5.7
Phragmites	60	8.0	4.8
Typha	30	7.0	2.1
promedio		7.5	

Profundidad total del lecho de grava 0.76 m.

* Oxígeno disponible por unidad de volumen contado en la zona de las raíces.

** Oxígeno disponible por unidad de área superficial de lecho de 0.76 m de profundidad.

El oxígeno disponible (Tabla N° 3.5) para la nitrificación por unidad de área superficial va de 2.1 a 5.7 gO₂/m²·d dado que la profundidad de penetración de las raíces es distinta para cada especie, valores que se ubican en el límite inferior del rango indicado por las publicaciones que se citó anteriormente (5 – 45 gO₂/m²·d). Sin embargo, el oxígeno disponible cuando se expresa en función del volumen en la zona de las raíces, es muy similar para cada planta, 7.5 gO₂/m³·d en promedio. De esto se desprende, al menos para estas tres especies, que el oxígeno disponible para la nitrificación será aproximadamente el mismo, así que la nitrificación depende de la

profundidad de penetración de las raíces presentes en el lecho del humedal. La ecuación (3.23) define esta relación.

$$K_{NH} = 0.01854 + 0.3922 (rz)^{2.6077} \quad (3.23)$$

Donde:

K_{NH} : constante de nitrificación a 20 °C, d^{-1}

rz : porcentaje de la profundidad del lecho del humedal ocupado por la zona de las raíces, en fracción decimal (0 a 1).

Si la zona de las raíces está totalmente desarrollada ($rz = 100\%$) el valor de K_{NH} es 0.41074 en cambio si el lecho no tiene vegetación K_{NH} es 0.01854. Estos valores son consistentes con los resultados observados en muchos sistemas SFS evaluados por la EPA (Environmental Protection Agency U.S).

Otro trabajo independiente publicado por Bavor *et.al.*, (1986) confirma estos valores. Este modelo toma la forma de la ecuación (3.24) con una constante a 20 °C de $0.107d^{-1}$ para un lecho de gravas en el que la zona de las raíces ocupa entre un 50 y 60% de la profundidad del lecho.

Una vez definida la constante básica K_{NH} es posible determinar la remoción de amoníaco, vía nitrificación, en un humedal SFS usando las ecuaciones (3.24) y (3.25).

$$\frac{C_e}{C_o} = e^{-K_t \cdot T_r} \quad (3.24)$$

$$A_s = \frac{Q \ln (C_o / C_e)}{K_t \cdot y \cdot n} \quad (3.25)$$

Donde:

C_e : concentración de amoníaco en el efluente, mg/l

C_o : concentración de amoníaco en el afluente, mg/l

K_t : constante dependiente de la temperatura, d^{-1}

T_r : tiempo de residencia hidráulico, d

Q : caudal promedio del humedal, m^3/d

y : profundidad del agua en el humedal, m

n : porosidad del humedal, (Tabla N° 3.2)

La constante dependiente de la temperatura K_t vale:

$$K_0 = 0 \, d^{-1}, \quad \text{para } t = 0 \, ^\circ C \quad (3.26)$$

$$K_t = K_{NH} 0.4103 \, d^{-1}, \quad \text{para } t = 1 \, ^\circ C \quad (3.27)$$

$$K_t = K_{NH} (1.048)^{(t-20)} \, d^{-1}, \quad \text{para } t > 1 \, ^\circ C \quad (3.28)$$

Para obtener los valores de K_t a temperaturas entre 0 y 1°C usar interpolación.

Si los lechos con profundidades mayores o iguales a 0.60 m no van a utilizar métodos para inducir la penetración de las raíces según medidas indicadas anteriormente, es conservador asumir que la zona de las raíces no ocupará más del 50% de la profundidad del lecho, a menos que mediciones indiquen otra cosa. Esta recomendación es el resultado de numerosas experiencias de sistemas en operación. Normalmente el tiempo de retención hidráulico que requerirá la ecuación (3.24) está entre 6 y 8 días para alcanzar límites exigentes de remoción de amoníaco en condiciones de verano, con una zona de raíces completamente desarrollada, e incluso puede ser mayor para un largo periodo de bajas temperaturas en invierno.

b) Desnitrificación

Las ecuaciones (3.23) a (3.28) solamente tienen en cuenta la conversión de amoníaco a nitrato, y por ende permiten calcular el área para esta situación. Cuando el proyecto requiere eliminar nitrógeno, se debe considerar la desnitrificación y por lo tanto dimensionar el humedal para los requerimientos exigidos. En general, gran parte de la producción de nitrato del humedal SFS puede desnitrificarse y ser removida dentro del área prevista para la nitrificación y sin necesidad de proporcionar fuente adicional de carbono. En el apartado 3.6.3 se indicó como naturalmente se puede formar carbono en el humedal para la desnitrificación.

El modelo de diseño recomendado para estimar la remoción de nitrógeno vía desnitrificación queda expresado por las ecuaciones (3.29) y (3.30).

$$\frac{C_e}{C} = e^{-K_t \cdot T_r} \quad (3.29)$$

$$A_s = \frac{Q \ln (C / C_e)}{K_t \cdot y \cdot n} \quad (3.30)$$

Donde:

- C_e : concentración de nitratos en el efluente, mg/l
- C : concentración de nitratos en el humedal, mg/l ($C = C_o - C_e$)
- C_o : concentración de nitratos en el afluente, mg/l
- K_t : constante dependiente de la temperatura, d^{-1}
- T_r : tiempo de residencia hidráulico, d
- A_s : área superficial del humedal, m^2
- Q : caudal promedio del humedal, m^3/d $Q = (Q_o + Q_e)/2$
- y : profundidad del agua en el humedal, m
- n : porosidad del humedal, (Tabla N° 3.2)

$$K_t = 0 \, d^{-1}, \quad \text{para } t = 0 \, ^\circ C$$

$$K_t = 1.000 (1.15)^{(t-20)} \, d^{-1}, \quad \text{para } t \geq 1 \, ^\circ C$$

La concentración de nitrato en el humedal (C) para las ecuaciones (3.29) y (3.30) corresponde a la diferencia entre las concentraciones de entrada y salida ($C_o - C_e$) determinadas con la ecuación (3.24), por lo tanto las ecuaciones (3.29) y (3.30) solo son aplicables para el nitrato que está presente en el humedal. Como la ecuación (3.24) determina el amoníaco que queda en el sistema

después de la nitrificación, sería conservador asumir que la diferencia ($C_o - C_e$) esta disponible como nitrato.

La constante de desnitrificación entre 0 - 1°C puede determinarse por interpolación, aun cuando la desnitrificación a estas temperaturas es bajísima.

En general los humedales SFS son anóxicos, pero también en la superficie de las raíces y rizomas tienen una parte aerobia, lo que hace posible obtener la nitrificación y la desnitrificación en el mismo volumen de reactor.

La ecuación (3.30) nos da el área superficial requerida de humedal para la desnitrificación; ésta no se adiciona al área determinada para la nitrificación por la ecuación (3.25) y puede resultar ser menor o igual, dependiendo de las concentraciones de nitratos en el afluente así como de la temperatura del agua.

c) Nitrógeno total

Generalmente, cuando se requiere la desnitrificación es porque hay una exigencia para el nitrógeno total (NT) en la descarga. El nitrógeno total en el efluente es la suma de los resultados obtenidos de las ecuaciones (3.24) y (3.29). La superficie requerida para alcanzar el nivel de exigencia de NT en el efluente es un procedimiento iterativo ocupando las ecuaciones (3.25) y (3.30):

1º- Se asume un valor para el amoníaco residual (C_e) y se resuelve la ecuación (3.25) para obtener el área requerida para nitrificar, determinando así el tiempo de retención hidráulico para el sistema

2º- Tomar $C = (C_o - C_e)$ como el nitrato producido por la nitrificación y usar este valor en la ecuación (3.29). Determinar la concentración de nitratos en el efluente con la ecuación (3.29).

3º- La concentración de NT en el efluente es la suma de los valores de C_e obtenidos en las ecuaciones (3.24) y (3.29). Si no se alcanzó la exigencia de NT se necesita otra iteración de los cálculos.

3.7.7 Modelo de diseño para remoción de fósforo

La remoción de fósforo que se describe en el apartado 3.6.4 no es completamente efectiva en los humedales SFS. Durante el primer año de operación los rendimientos pueden ser muy buenos pero la remoción de fósforo a largo plazo puede ocurrir solo a través de la acumulación de sedimentos. La deposición de estos sedimentos ocurre vía sedimentación particulada y precipitación química principalmente. Estos sedimentos se acumulan como turba dentro de la columna de agua y encima del lecho. El fósforo es retenido en esos sedimentos como precipitados de hierro, aluminio o calcio.

Normalmente el fósforo se encuentra en las aguas residuales en concentraciones de entre 4 y 15 mg/l. Dependiendo del caudal y de la carga hidráulica asociada es posible remover entre un 30 y 60% del fósforo como se muestra en la Figura N° 3.19 (Reed *et al.*, 1995).

Si la exigencia para la remoción de fósforo es muy alta (efluente menor de 1 mg/l), se debe considerar un sistema de remoción anterior o posterior al humedal para evitar que el área superficial resulte demasiado grande.

Como la deposición de sedimentos es la principal vía de eliminación del fósforo, la masa removida es función del área superficial del humedal y de la concentración de fósforo en el agua residual. Varios investigadores están de acuerdo que un modelo basado en una forma general de primer orden (como la ecuación (3.31)) representa el sistema (Reed *et al.*, 1995), sin embargo, no hay consenso acerca de la constante que va asociada al modelo.

Del análisis de los datos de la North American Data Base, Kadlec (Reed *et al.*, 1995) ha propuesto una constante de primer orden igual a 10 m/año (equivalente a 2,74 cm/d) para estimar la remoción de fósforo en un sistema de humedal artificial, de acuerdo a la ecuación (3.31).

$$\frac{C_e}{C_o} = \exp \left(\frac{-K_p}{CH} \right) \quad (3.31)$$

$$CH = (Q / A_s) \cdot 100 \quad (3.32)$$

$$A_s = \frac{b \cdot Q \cdot \ln (C_o / C_e)}{K_p} \quad (3.33)$$

Donde:

C_e : concentración de fósforo en el efluente, mg/l

C_o : concentración de fósforo en el afluente, mg/l

K_p : constante sistema, 2,74 cm/d

CH: carga hidráulica promedio anual, cm/d

Q : caudal promedio del humedal, m³/d

A_s : área superficial del humedal, m²

b : factor de conversión, 100 cm/m

En general, se puede requerir de un área muy grande para alcanzar buenos niveles de remoción de fósforo, por lo que, en muchos casos, no es una solución adecuada usar esta tecnología desde el punto de vista económico, sobre todo en sitios de gran plusvalía; entonces, el humedal debe diseñarse para la eliminación de nitrógeno y el diseño contemplará un tratamiento alternativo para la eliminación del fósforo.

CAPITULO IV DISEÑO Y CARACTERÍSTICAS DE HUMEDAL USADO EN EXPERIENCIA DE LABORATORIO

4.1 ANTECEDENTES PARA EL DISEÑO DE HUMEDAL EXPERIMENTAL

4.1.1 Aguas

Conocer las características del agua residual y el caudal del afluente a tratar, como el nivel de tratamiento exigido para el vertido del efluente de acuerdo a la normativa vigente, entre otros factores, son condiciones necesarias para poder diseñar y dimensionar el sistema de tratamiento.

Tal como se anticipó de algún modo en el acápite 3.7, la presente experiencia busca determinar el grado de purificación que se puede lograr del agua residual doméstica mediante un sistema de flujo subsuperficial (SFS), para lo cual se consideraran los parámetros de DBO, SST, N y P, en concordancia con los modelos de diseño planteados en el Capítulo III para éstos y adicionalmente se medirán los coliformes fecales, parámetro que posteriormente se comparará con las exigencias reglamentarias contractuales para el vertido de efluentes (DS N° 90).

El agua servida utilizada en la experiencia corresponde al de una fosa séptica ubicada en el sector del Laboratorio de Mecánica de Suelos, Facultad de Arquitectura, Universidad de Valparaíso, por ser la alternativa que presentó la mayor viabilidad para la materialización de la experiencia.

El agua servida se obtuvo directamente de la fosa séptica por medio de una bomba que la impulsa a un estanque elevado de donde se distribuye al humedal. Cuidando de no alterar el agua de la fosa séptica por efecto de la succión generada por la bomba y evitar el arrastre de materia en suspensión adicional que pudiera generar obstrucción en el sistema de conducción y distribución hasta la celda del humedal (debido al pequeño flujo previsto), se dispuso de filtros adicionales para minimizar el arrastre de materias no disueltas (ver Figura 4.4).

Cabe recordar que lo adecuado es contar con agua que tenga un tratamiento preliminar para ser usada en los SFS (tamizado y decantación), condición que se trató de obtener para la experiencia a través de filtros y decantación en el estanque elevado de almacenamiento (la capacidad del estanque permitía una autonomía de 3 días para el caudal de diseño adoptado).

Los resultados de los análisis de laboratorio realizados para caracterizar el agua residual se indican en la Tabla N° 4.1 y corresponden a los valores usados para el diseño del humedal experimental, mediante sistema SFS.

Los análisis fueron realizados en el Laboratorio de Control de Calidad y Gestión Ambiental de la Facultad de Farmacia de la Universidad de Valparaíso. Los boletines de análisis se adjuntan en Anexo 1.

Tabla N° 4.1
Caracterización del agua residual usada para el diseño del
sistema de flujo subsuperficial (SFS)

PARÁMETRO	CARGA CONTAMINANTE
DBO ₅	600,0 (mg/l)
SST	10,4 (mg/l)
NITRÓGENO (NTK)	24,6 (mg/l)
FOSFORO	2,8 (mg/l)
COLIFORMES	17.000 NMP/100 ml

Fuente: Boletín de análisis 050112-023 del 27.01.05 UNIVERSIDAD DE VALPARAISO

Las exigencias impuestas para el vertido del efluente, fueron tomadas de la normativa vigente, considerando que las aguas tratadas serán vertidas a un cuerpo receptor caracterizado por la “TABLA N° 4” del DS N° 90 de 2000 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia de Chile, como “cuerpo receptor de aguas marinas dentro de la zona de protección litoral” (ver Anexo 2).

Los límites máximos permitidos en dicho documento (TABLA N° 4, DS N° 90) para el vertido de contaminantes, se indican en la Tabla N° 4.2

Tabla N° 4.2
Límites máximos para vertido de contaminante, DS N° 90

PARÁMETRO	LÍMITE MÁXIMO
DBO	60 (mg/l)
SST	100 (mg/l)
NITRÓGENO (NTK)	50 (mg/l)
FOSFORO	5 (mg/l)
COLIFORMES	1000 NMP/100 ml

Fuente: DS N° 90 de 2000 del Ministerio Secretaría de la Presidencia,

4.1.2 Áridos para sustrato granular

Para la confección del sustrato granular del humedal mediante SFS, se usó grava tamaño máximo 1½”. Esta, proveniente del Río Aconcagua, preparada por la planta de áridos Maggi y comercializa por Easy ubicado en Av. Uno Norte N° 2901, Viña del Mar, posee las características indicadas en la Tabla N° 4.3

4.1.3 Plantas vegetales

La elección de las plantas vegetales a usar en la experiencia, se hizo después de un recorrido e inspección visual por la zona, optándose por cañas común (*Arundo Donax*) existente en el sector

del Laboratorio de Mecánica de Suelos, por presentar ventajas comparativas frente a otras plantas (permisos para su extracción, dificultad de obtención, cercanía, adaptación climática, rápida reposición en la eventualidad de deterioro, entre otros factores).

Tabla N° 4.3
Características del sustrato granular usado en humedal experimental

PARÁMETROS MEDIDOS A LA GRAVA		
GRANULOMETRIA DEL ÁRIDO (ASTM D422-63)		
TAMIZ:		% EN PESO QUE PASA
1 1/2"		100
1"		85,7
3/4"		45,2
3/8"		2,3
N° 4		0,2
DENSIDAD SECA MÁXIMA (kg/m ³)	NCh 1726	1,64
DENSIDAD SECA MÍNIMA (kg/m ³)	NCh 1726	1,35
DENSIDAD APARENTE (kg/m ³)	NCh 1116	1,50
DENSIDAD APARENTE SOBRE AGUA (kg/m ³)		1,49
DENSIDAD REAL DEL ÁRIDO (kg/m ³)	NCh 1117	2,620
DENSIDAD NETA (kg/m ³)	NCh 1117	2,728
ABSORCIÓN (%)	NCh 1117	1,51
PESO ESPECÍFICO (kg/m ³)	NCh 1117	2,670
CUBICIDAD DE PARTICULAS:		
Partículas rodada (%)		46,50
Partículas chancada (%)		53,10
Partículas lajeadas (%)		0,40
POROSIDAD n (%)		42,64
Porosidad para diseño considerando raíces (%)		38,0
CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA k _s (m ³ /m ² /d)		25.000 (estimado)

Como parámetro importante para la elección de las plantas a usar en el humedal se tuvo la profundidad de penetración de sus raíces considerando las recomendaciones indicadas por la literatura consultada cuyas características se muestran en la Tabla N° 4.4. Para los efectos del presente diseño se considera que la planta vegetal local seleccionada “caña común”, posee la misma potencial penetración de sus raíces, adoptándose el valor presentado en la Tabla N° 4.5.

Tal como se anticipó en el acápite 1.5, la presente experiencia se limitará al uso de esta especie, no obstante, esto no impide abrir el estudio a otros tipos de vegetales con la expectativa de encontrar plantas que además de purificar el agua residual, permitan ser cosechadas con fin de generar una actividad económica. En todo caso, en relación a este último punto, la planta vegetal usada “caña común” es analizada químicamente con el objeto de conocer sus propiedades y su posible utilización una vez cosechada. En Anexo 6 se adjuntan boletines de análisis.

Tabla N° 4.4a
Características de las plantas vegetales usadas
en Europa y Norteamérica (Reed *et al.*, 1995)

PLANTA	PENETRACIÓN RAÍCES (cm)
Juncos (<i>Scirpus</i>)	76
Carrizos (<i>Phragmites</i>)	> 60

Tabla N° 4.4b
Característica de la planta vegetal usada
en experiencia de laboratorio. Valparaíso - Chile

PLANTA	PENETRACIÓN RAÍCES (cm)
Caña común, (<i>Arundo Donax</i>)	60

4.1.4 Antecedentes complementarios para el diseño

Dentro de los antecedentes complementarios, necesarios para determinar el diseño del humedal artificial mediante el Sistema de Flujo Subsuperficial (SFS), se han considerado los valores indicados en la Tabla N° 4.5

Tabla N° 4.5
Antecedentes complementarios para el diseño

Caudal : Q	0,059 m ³ /d (41 cm ³ /min; 2,46 l/h) (1)
Profundidad humedal : y	0,60 m (2)
Pendiente humedal : m	a determinar en $f(A_s, Q, W, y, k_s)$
Precipitaciones locales: pp	a determinar en $f(T_r)$ (3)
Temperaturas ambiente crítica: T _a	2 °C ; en función de T _r (3)
Temperatura agua entrada : T _o	10 °C

(1) el valor medio del caudal se fijó después de una serie de procedimientos y mediciones realizados para calibrar el sistema de distribución del afluente dentro de ciertos límites fijados en función de la disponibilidad de los recursos materiales para confeccionar el humedal como también del volumen de la fuente de agua servida a utilizar.

(2) se ha adoptado una profundidad para el humedal correspondiente al 100% de la penetración máxima de las raíces, según recomendación Tabla N° 4.4b

(3) según registros obtenidos del Servicio Meteorológico de la Armada de Chile, Estación Puntas Angeles, Valparaíso.

4.2 DISEÑO HUMEDAL EXPERIMENTAL

4.2.1 Introducción

El diseño de un humedal artificial del tipo SFS, se basa en la determinación de distintas superficies, cada una necesaria para la remoción de una sustancia en particular, para posteriormente asumir como superficie de diseño la menor de aquella que permita remover todos los contaminantes seleccionados, de modo que el efluente vertido cumpla con las exigencias de remoción establecidas por la normativa vigente en función del cuerpo de agua receptor adoptado (Tabla N° 4.2). Dentro de las sustancias contaminantes que se plantea remover de acuerdo al presente diseño están la DBO, SST, N y P.

La limitación de remoción solo a estas sustancias (DBO, SST, N y P) se debe a que son las que se encuentran en mayor cantidad en las aguas residuales domésticas (propósito del presente trabajo), y se ha podido establecer en los estudios realizados que las superficies determinadas para la eliminación de éstos parámetros permite una reducción importante de otra variables no indicadas específicamente como son los elementos de traza (metales pesados), compuestos orgánicos a nivel de traza, y microorganismos, bacterias y parásitos (protozoos y helmitos). El procedimiento es iterativo.

El diseño que se desarrolla a continuación, corresponde a un humedal de SFS cuyo sustrato estará compuesto por grava tamaño máximo 11/2" y las plantas vegetales serán caña común; se denominará HUMEDAL GRAVA – CAÑA COMÚN (TIPO G-CC). Los parámetros ocupados para el diseño son los indicados en el acápite anterior, 4.1

4.2.2 Determinación de superficie para la remoción de DBO

a) Determinación de la superficie por estimación de la temperatura media en el humedal

Para dar inicio a la determinación de la superficie necesaria para la remoción de DBO, se debe partir asumiendo una temperatura promedio para el agua del humedal (t), valor que posteriormente deberá ser corroborado con la ec. (3.14), (T_w).

i) PRIMERA ITERACIÓN

1.a) Se asume $t = 6^\circ\text{C}$

Reemplazando en ec. (3.18), se tiene $K_t = 0,4883 \text{ d}^{-1}$

1.b) De acuerdo a ec. (3.20), se determina A_s , superficie necesaria para la remoción de DBO

Reemplazando resulta: $A_s = 1,22 \text{ m}^2$

Se consideró que $Q = Q_o = Q_e$ ($Q = (Q_o + Q_e) / 2$)

1.c) Con ec. (3.2), se determina el tiempo de retención hidráulica T_r ,

Reemplazando se obtiene: $T_r = 4,71 \text{ d}$

1.d) Para la variable U en la ec. (3.11) se asume que el humedal tendrá la estructura indicada en la Figura N° 4.1



Figura N° 4.1
Esquema estructura medio filtrante para humedal de diseño

1.e) Con el uso de las ec (3.11), (3.9), (3.10), (3.12), (3.13) y (3.14), se determina la temperatura promedio del agua en el humedal T_w , la que debe ser igual o muy similar a la temperatura t asumida inicialmente para que el diseño sea considerado correcto.

1.f) Aplicando la ec. (3.11), se tiene: $U = 2,50$

1.g) Remplazando en ec. (3.9) y (3.10) los valores de:

$$A_s = 1,22 \text{ m}^2$$

$$C_p = 4215 \text{ J/kg } ^\circ\text{C (cte)}$$

$$\delta = 1.000 \text{ kg/m}^3$$

$$y = 0,60 \text{ m}$$

$$n = 0,38$$

$$T_o = 10 ^\circ\text{C}$$

$$T_a = 2 ^\circ\text{C}$$

$$U = 2,50$$

$$\phi = 86.400 \text{ s/d}$$

$$T_r = 4,71 \text{ d}$$

y posteriormente ocupando la ec. (3.12), se tiene que:

$$T_e = 8,47 ^\circ\text{C}$$

1.h) con ec. (3.13) se tiene: $T_e = 1,53 ^\circ\text{C}$

1.i) Finalmente, usando la ec (3.14) y reemplazando T_o y T_e , se obtiene una temperatura promedio del agua en el humedal de:

$$T_w = 5,77 ^\circ\text{C}$$

1.j) La temperatura promedio del agua en el humedal ($T_w = 5,77\text{ }^{\circ}\text{C}$) obtenida es bastante similar a la asumida inicialmente ($t = 6^{\circ}\text{C}$), por lo que se considera aceptable. OK

1.k) Por lo tanto, no se hará una SEGUNDA ITERACIÓN y se considerará que la temperatura promedio del agua en el humedal es de 6°C , de acuerdo a las condiciones de temperatura ambiental local y estructura de humedal seleccionada (Figura N° 4.1).

b) Determinación de la superficie por pérdida o ganancia de flujo.

El humedal en su vida de servicio está sujeto a sufrir pérdida de flujo por filtraciones y/o evapotranspiración como también ganancia por efecto de precipitaciones. Siendo conservador (además de la gran dificultad para evaluar las pérdidas de flujo), se asume que no hay pérdidas y que las ganancias de flujo se deben a las precipitaciones, de modo que el caudal asumido inicialmente $Q = Q_o = Q_e$ es afectado por precipitaciones.

Considerando que el tiempo de retención hidráulico del humedal es de $T_r = 4,71\text{ d}$ ($\sim 5\text{d}$), se determinan las precipitaciones máximas registradas para ese lapso de tiempo empleando la información de precipitaciones obtenida por el Servicio Meteorológico de la Armada de Chile en su estación Punta Ángeles ubicada en Valparaíso, para el periodo comprendido entre los años 1978 y 2002 (ver Anexo 3).

Según estos antecedentes, las precipitaciones máximas ocurridas en 120 horas (5 días) es de 228,6 mm (Julio, 1984) para el periodo 1978 - 2002.

Con el valor de $A_s = 1,22\text{ m}^2$, y la precipitación máxima para 120 horas (228,6mm), se determina el aumento de caudal en el humedal por precipitaciones (Q_p) lo que arroja un valor de $Q_p = 0,056\text{ m}^3/\text{d}$.

Luego, el caudal medio en el humedal es:

$$Q = (Q_{\text{entra}} + Q_{\text{sale}}) / 2$$

reemplazando se obtiene:

$$Q = 0,115\text{ m}^3/\text{d}$$

Con este nuevo caudal $Q = 0,115\text{ m}^3/\text{d}$, se determina una nueva superficie A_s para el humedal, de modo que la remoción de DBO no se vea afectada en época invernal por las precipitaciones.

Entonces, usando las ec (3.20) y (3.2) se tiene:

$$A_s = 2,38\text{ m}^2, \text{ y}$$

$$T_r = 4,72\text{ d}$$

Luego con $T_r = 4,72\text{ d}$ y $K_t = 0,4883\text{ d}^{-1}$ (para $t = 6\text{ }^{\circ}\text{C}$) y usando ec (3.17) se determina la concentración de DBO en el efluente (C_e) el que debe cumplir con la normativa. (Tabla N° 4.2)

reemplazando se obtiene:

$C_e = 59,87 \text{ mg/l}$, valor que cumple con límite máximo exigido (60 mg/l)

Resumiendo, el humedal necesario para la remoción de DBO, considerando la incidencia de las precipitaciones, se indica en la Tabla N° 4.6a

Tabla N° 4.6a
Resumen parámetros de diseño por DBO
(considerando precipitaciones)

$Q \text{ (m}^3/\text{d)}$	$A_s \text{ (m}^2\text{)}$	$T_r \text{ (d)}$	$T_w \text{ (}^\circ\text{C)}$	$C_e \text{ (mg/l)}$
0,115	2,38	4,72	6	59,87

No obstante la necesidad de considerar las precipitaciones para el diseño, se estima que este procedimiento aumenta demasiado la extensión del humedal (para un mismo “y”) por lo que, más que aumentar el área del humedal por precipitaciones (en $1,16 \text{ m}^2$ que equivale a un 95% del área necesaria para la remoción de DBO) se sugiere conveniente adoptar las siguientes consideraciones para el diseño:

- i) Para el humedal experimental de laboratorio, dado su reducido tamaño y posibilidades de manejo frente a las precipitaciones, su dimensionamiento no contemplará el efecto de las precipitaciones.
- ii) Para un humedal a escala real, más que adicionar área por precipitaciones, se recomienda en su diseño, aumentar la altura de la(s) celda(s) para evitar el rebalse de ella(s) en caso de precipitaciones. Esta diferencia de altura (aumento) se hará en función de las precipitaciones máximas registradas para la localidad donde se ubique el humedal, en concordancia con el tiempo de retención hidráulico determinado en el diseño del humedal y el periodo de retorno considerado para las precipitaciones. Además, disponer un regulador de caudal (una válvula por ejemplo) en la salida de la(s) celda(s) de modo que el caudal de efluente sea controlado y no se vea afectado por las precipitaciones.
- iii) Si se considera que el agua de lluvia es “pura”, en función de su cantidad puede producir una dilución de los contaminantes rebajando con ello la concentración de la carga contaminante por mg/l , con lo que se podría aumentar el caudal de salida frente a posibles eventualidades de rebalse.

En consideración a lo anteriormente indicado, los parámetros de diseño del humedal experimental para la remoción de la DBO se resumen en la Tabla N° 4.6b y esquemáticamente se representa en la Figura N° 4.2

Tabla N° 4.6b
Resumen parámetros de diseño por DBO
(sin considerar precipitaciones)

Q (m ³ /d)	K_t	A_s (m ²)	T_r (d)	T_w (°C)	C_e (mg/l)
0,059	0,4883	1,22	4,71	6	60,16

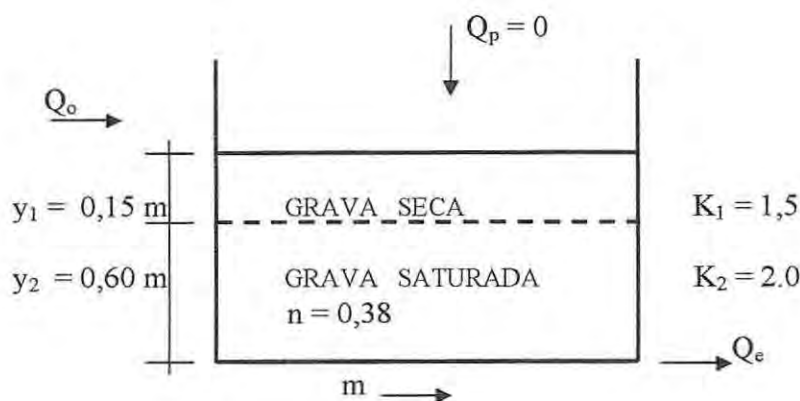


Figura N° 4.2
Esquema estructura medio filtrante humedal experimental

4.2.3 Determinación de remoción de SST

La determinación de los SST no es un requisito para el área del humedal, pero sí una condición de remoción. Su valor se obtiene usando las ec. (3.21) y (3.22)

Si bien es cierto que la reducida cantidad de SST en el afluente (10,4 mg/l) permite verter directamente el agua residual al cuerpo receptor dado que el máximo permitido es bastante mayor (100 mg/l), no obstante ello, se determinará la reducción de los SST que se produce al pasar el flujo de afluente por el humedal con la superficie determinada para la remoción de la DBO.

De acuerdo con la ec. (3.22), reemplazando los valores de Q y A_s obtenidos para la remoción de DBO se determina CH , que usado en ec. (3.21) junto con C_o (concentración de SST en el afluente) se calcula la concentración de SST en el efluente (C_e).

De este modo se obtiene para C_e un valor de 1,16 mg/l, bastante menor al exigido 100 mg/l, Tabla N° 4.2, cumpliéndose con la normativa.

4.2.4 Determinación de superficie para remoción de nitrógeno

a) Nitrificación

Se ha indicado anteriormente (acápito 3.6.3) que es conservador asumir que todo el NTK que entra al humedal está en forma de nitrógeno amoniacal, es decir $C_o = \text{NTK}$.

Por otra parte, la remoción del nitrógeno amoniacal, depende de la penetración y densidad de raíces y rizomas existente en el humedal (rz), variable muy difícil de medir, por lo cual se estima un valor para rz. Se debe tener presente en todo caso la profundidad potencial de penetración de las raíces, la profundidad del humedal y el periodo de crecimiento (el crecimiento de las plantas no es instantáneo).

De acuerdo a los resultados del análisis inicial del agua residual a utilizar en la experiencia, se tiene que la concentración de nitrógeno en el afluente (24,6 mg/l) es bastante menor a la permitida en el efluente (50 mg/l) por lo que ésta puede ser vertida directamente al cuerpo receptor seleccionado considerando solo este parámetro. Ahora bien, no obstante lo anterior, se determinará cual es la capacidad de remoción de nitrógeno que tiene el humedal con la superficie determinada para la remoción de DBO.

Para efectos académicos, se han considerado distintos valores de rz, que combinando las ec (3.23), y (3.28) se obtienen también distintos valores para K_t . Asumiendo los valores de A_s y T_r obtenidos para la remoción de DBO como constantes, y usando la ec (3.24) se logra la Tabla N° 4.7

Tabla N° 4.7
Remoción de nitrógeno por Nitrificación

rz (%)	K_{NH}	$K_t \text{ (d}^{-1}\text{)}$	$A_s \text{ (m}^2\text{)}$	$T_r \text{ (d)}$	$C_o \text{ (mg/l)}$	$C_e \text{ (mg/l)}$
0	0,01854	0,00962	1,22	4,71	24,6	23,5
50	0,08288	0,04299	1,22	4,71	24,6	20,1
75	0,20377	0,10570	1,22	4,71	24,6	14,9
100	0,41074	0,21306	1,22	4,71	24,6	9,0

Según se observa en la Tabla N° 4.7, en general la concentración de nitrógeno en el efluente (C_e) es menor a la inicial, sin embargo, es preciso hacer notar que esta reducción en la carga contaminante del nitrógeno es más importante en la medida que aumenta rz, es decir cuando aumenta la penetración y densidad de las raíces y rizomas en el humedal. Así por ejemplo, si el humedal esta sin plantas (rz = 0) la remoción de nitrógeno es bastante baja (4,5%), al contrario si rz = 100%, la remoción puede llegar a más del 60% para la superficie considerada.

Si bien, para efectos de cumplimiento de la carga contaminante en el efluente todos los valores de rz considerados en la Tabla N° 4.7 cumplen con la normativa, el humedal experimental contempla plantas vegetales razón por la cual para el diseño se adoptarán solo los valores de rz igual al 75 y

100% con el fin posterior de obtener resultados comparativos a mediano y largo plazo para la penetración y densidad de las raíces y rizomas.

Finalmente, considerando la superficie y el tiempo de retención hidráulico determinado para la remoción de la DBO, se confecciona la Tabla N° 4.8, que indica la remoción de nitrógeno (amoníaco) por nitrificación que se produce para una penetración y densidad de raíces dada ($r_z = 75$ y 100%).

Tabla N° 4.8
Superficie, retención hidráulica y
remoción de Nitrógeno por nitrificación

r_z (%)	K_{NH}	K_t (d^{-1})	A_s (m^2)	T_r (d)	C_o (mg/l)	C_e (mg/l)
75	0,20377	0,10570	1,22	4,71	24,6	14,9
100	0,41074	0,21306	1,22	4,71	24,6	9,0

Cabe hacer notar que C_e corresponde a la concentración de nitrógeno en forma de amoníaco en el efluente debido al proceso de nitrificación por lo que la diferencia entre la concentración de entrada (C_o) y la concentración de salida (C_e) determina la cantidad de nitrógeno (C) que queda dentro del humedal en forma de nitrato, que es necesario remover a través del proceso de desnitrificación. El nitrato que queda en el humedal, se indica en la Tabla N° 4.9

Tabla N° 4.9
Nitrato en el humedal por nitrificación

r_z (%)	C (mg/l)
75	9,7
100	15,6

$$C = C_o - C_e$$

b) Desnitrificación

Al igual que para la nitrificación, a continuación se determinará cual es la remoción de nitrato que se produce en el humedal con la superficie calculada para la remoción de la DBO. Cabe recordar que la cantidad de nitrógeno en el afluente es bastante pequeña de acuerdo a los análisis iniciales (Tabla N° 4.1) pudiéndose verter directamente al cuerpo receptor ya que la exigencia para el vertido de agua residual (Tabla N° 4.2) permite un valor máximo de la concentración de nitrógeno total en el efluente de 50 mg/l.

Ahora bien, considerando el nitrógeno ya vertido en forma amoniacal en el efluente por nitrificación (Tabla N° 4.8), solo queda en el humedal la cantidad de nitrógeno en forma de nitrato indicado en la Tabla N° 4.9 según el valor de r_z considerado, que debe ser removido por desnitrificación. Usando la ec (3.29) se obtiene la Tabla N° 4.10

De los valores obtenidos en la Tabla N° 4.10 se deduce que la superficie determinada para la remoción de la DBO es más que suficiente para remover por desnitrificación el nitrato que queda en el humedal, con una concentración teórica en el efluente nula.

Tabla N° 4.10
Superficie, retención hidráulica
y remoción de Nitrógeno por desnitrificación

rz (%)	K_t (d^{-1})	A_s (m^2)	T_r (d)	C_e (mg/l)
75	141,3	1,22	4,71	0
100	141,3	1,22	4,71	0

La explicación de esta situación se debe a que el humedal está principalmente en una condición anaerobia que es importante para la desnitrificación y prácticamente son las plantas a través de sus raíces y rizomas que lo hacen aerobio necesiéndose por lo tanto una mayor superficie para llevar a cabo la nitrificación. Finalmente en la Tabla N° 4.11 se indica la superficie, el tiempo de retención hidráulica y la concentración total de nitrógeno en el efluente en función de rz.

Tabla N° 4.11
Resumen parámetros de diseño por Nitrógeno

rz (%)	A_s (m^2)	T_r (d)	C_e (mg/l)
75	1,22	4,71	14,9
100	1,22	4,71	9,0

4.2.5 Determinación de superficie para remoción de fósforo

Frente a la determinación de la superficie necesaria para la remoción de fósforo con el objeto de cumplir con las exigencias, cabe hacerse dos preguntas:

- Cuanto fósforo puedo remover con la superficie de humedal determinada para la remoción de DBO (Tabla N° 4.6b) ó remoción de Nitrógeno (Tabla N° 4.11)
- Que superficie de humedal necesito para remover una exigencia de fósforo, es decir, llegar a una concentración de fósforo C_e en el efluente permitida.

Para responder la primera pregunta se usan las ec (3.32) y (3.31), cuyos resultados se indican en Tabla N° 4.12

Tabla N° 4.12
Remoción de Fósforo con superficie de humedal
determinada por DBO

rz (%)	A_s (m^2)	CH	C_e (mg/l)
75	1,22	4,84	1,59
100	1,22	4,84	1,59

Considerando que la exigencia de concentración de fósforo para el vertido del efluente es de 5 mg/l, la superficie determinada para la remoción de DBO es suficiente para dar cumplimiento a este requisito. Sin embargo hay que hacer notar que la cantidad de fósforo en el afluente es también pequeña (2,8 mg/l) lo que permite incluso su vertido en forma directa al cuerpo receptor seleccionado, que de acuerdo a la Tabla N° 4.2 se acepta un máximo de 5 mg/l. Ahora bien, frente a los valores obtenidos en la Tabla N° 4.12 se deduce que la remoción teórica de fósforo, con la superficie determinada para la remoción de la DBO, puede alcanzar el 43 %.

Finalmente, la superficie necesaria de humedal para la remoción de DBO, SST, N y P en función de las características del agua residual del afluente, sustrato, plantas vegetales y antecedentes complementarios, indicados en las Tablas N°s 4.1, 4.3, 4.4b y 4.5 y la calidad del efluente para el vertido bajo las exigencias emanadas por la normativa de acuerdo a la Tabla N° 4.2 queda fijada por la DBO. En la Tabla N° 4.13 se indica el resultado de la superficie obtenida y el tiempo de retención hidráulica en función de rz, donde además se hace referencia a la concentración esperada de cada contaminante en el efluente C_e . La Figura N° 4.3 representa gráficamente la remoción esperada de los contaminantes.

Tabla N° 4.13
Superficie, tiempo de retención y remoción esperada
para cada contaminante en humedal Tipo G - CC

rz (%)	A_s (m ²)	T_r (d)	DBO (mg/l)		SST (mg/l)		N (mg/l)		P (mg/l)	
			C_o	C_e	C_o	C_e	C_o	C_e	C_o	C_e
75	1,22	4,71	600,0	60,16	10,4	1,16	24,6	14,9	2,8	1,59
100	1,22	4,71	600,0	60,16	10,4	1,16	24,6	9,0	2,8	1,59

4.2.6 Forma del humedal

Es recomendable que la relación largo : ancho del humedal este entre 1:1 a 4:1 como se indicó en el acápite 3.7.2, teniendo presente esta sugerencia, el humedal experimental por condiciones de espacio físico se ajustará a 1,22 m de largo y 1 m de ancho obteniéndose con ello el cumplimiento de la superficie de diseño. Sin embargo, considerando el sistema de distribución del afluente y de recolección del efluente, además de la disposición y operación de las plantas vegetales, el humedal tendrá finalmente un largo de 1,40 m y su ancho será de 1,0 m con lo que se obtiene una relación $L : W = 1,4 : 1$ compatible con las sugerencia.

Por otra parte, ocupando la expresión dada por la ec. (3.6) se pueden obtener diferentes alternativas para la relación $L : W$ en función de la topografía del terreno disponible para la construcción del humedal en cuanto a su pendiente y geometría. A modo de ejemplo en la Tabla N° 4.14 se hace notar la influencia de la pendiente “m” en las dimensiones de L y W para los valores determinados anteriormente en la Tabla N° 4.13 para rz = 75%

Se observa en la Tabla N° 4.14 que a medida que aumenta la pendiente disminuye el ancho del humedal y el largo aumenta en la relación indicada, lo cual responde a la filosofía de diseño para el sistema de purificación. Para cumplir con la relación de $L : W = 1,4 : 1$ indicada anteriormente,

es necesario que la pendiente del humedal “m” sea igual a 0,002% valor que es muy pequeño debido también a las reducidas dimensiones obtenidas para el humedal bajo los parámetros de diseño considerados.

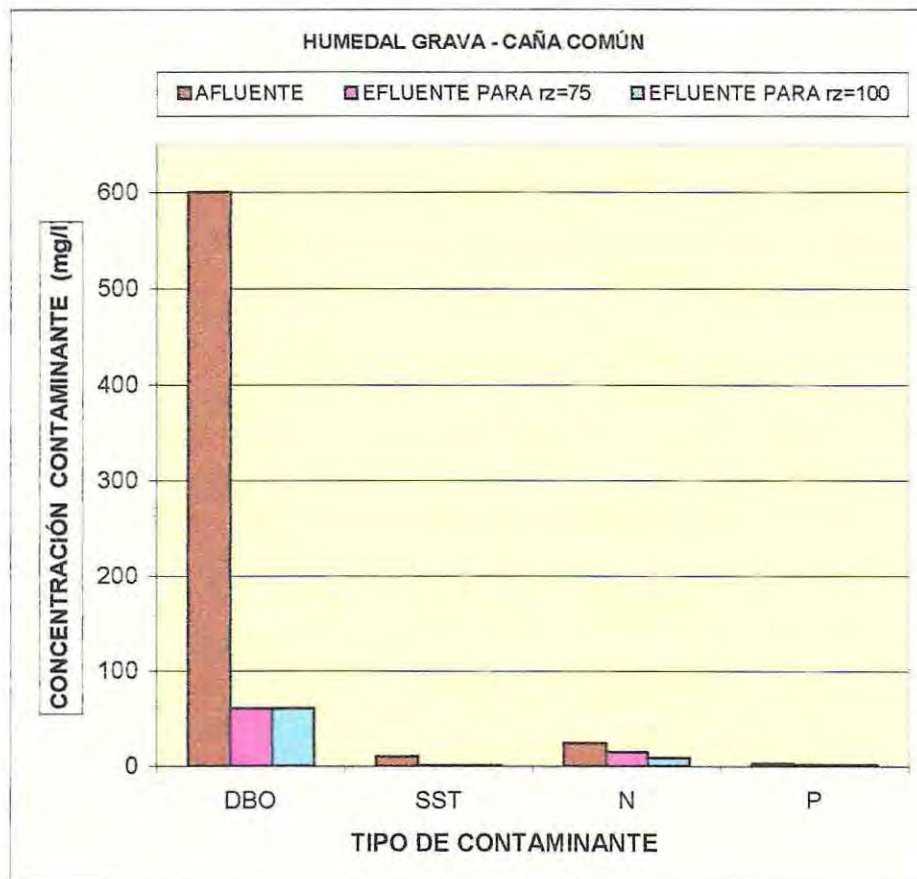


Figura N° 4.3
Remoción esperada de contaminantes

Tabla N° 4.14
Relación de L :W en función de la pendiente “m”

m (%)	W (m)	L (m)	L : W
0,002	0,98	1,36	1,39 : 1
0,01	0,44	3,02	6,9 : 1
0,1	0,14	9,50	65,4 : 1
1,0	0,04	33,25	831,2 : 1
10	0,01	133,0	13300 : 1

4.3 CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA EXPERIMENTAL

4.3.1 Generalidades

Como resultado de diseño para el humedal experimental en función de los parámetros asumidos e indicados anteriormente se presenta la Tabla N° 4.15, en la cual se considera una densidad y penetración de raíces y rizomas del 75%, valor que se obtendría después de cierto tiempo (aproximadamente 1 año).

Tabla N° 4.15
Resumen parámetros de diseño humedal

PARAMETROS									
Q_o (m^3/d)	A_s (m^2)	L (m)	W (m)	T_r (d)	T_w ($^{\circ}C$)	m (%)	y (m)	rz (%)	plantas caña común (unidad / m^2)
0,059	1,40	1,4	1,0	5,4	6	0,002	0,60	75	10

4.3.2 Características del humedal experimental

Las características del sistema de tratamiento experimental empleado y del humedal propiamente tal, se indican en las Figuras N° 4.4, 4.5 y 4.6. La Figura N° 4.7 muestra una fotografía de las plantas usadas.

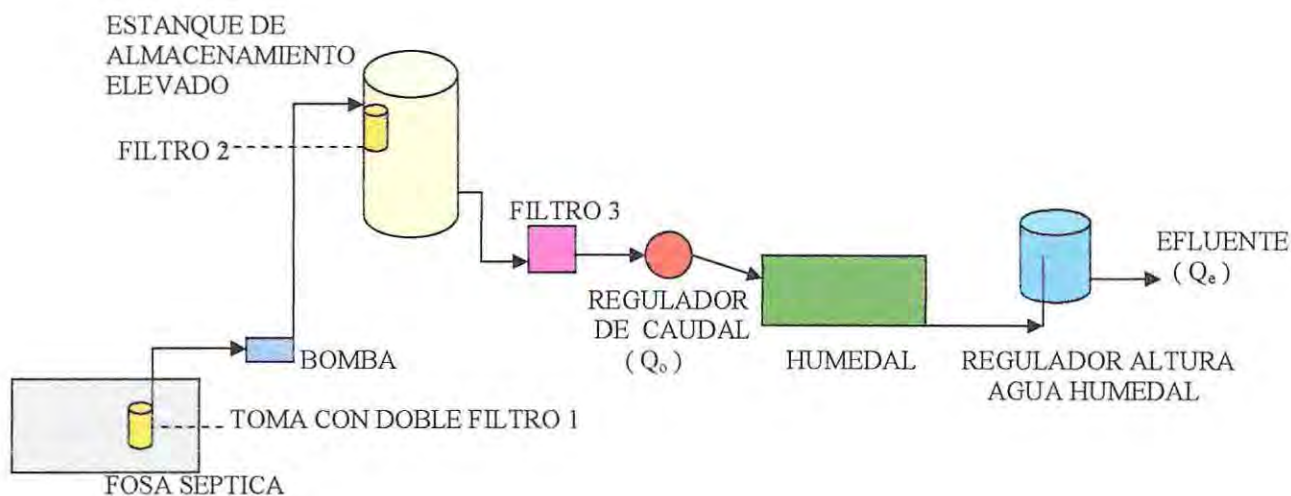


Figura N° 4.4
Esquema del sistema de tratamiento experimental utilizado

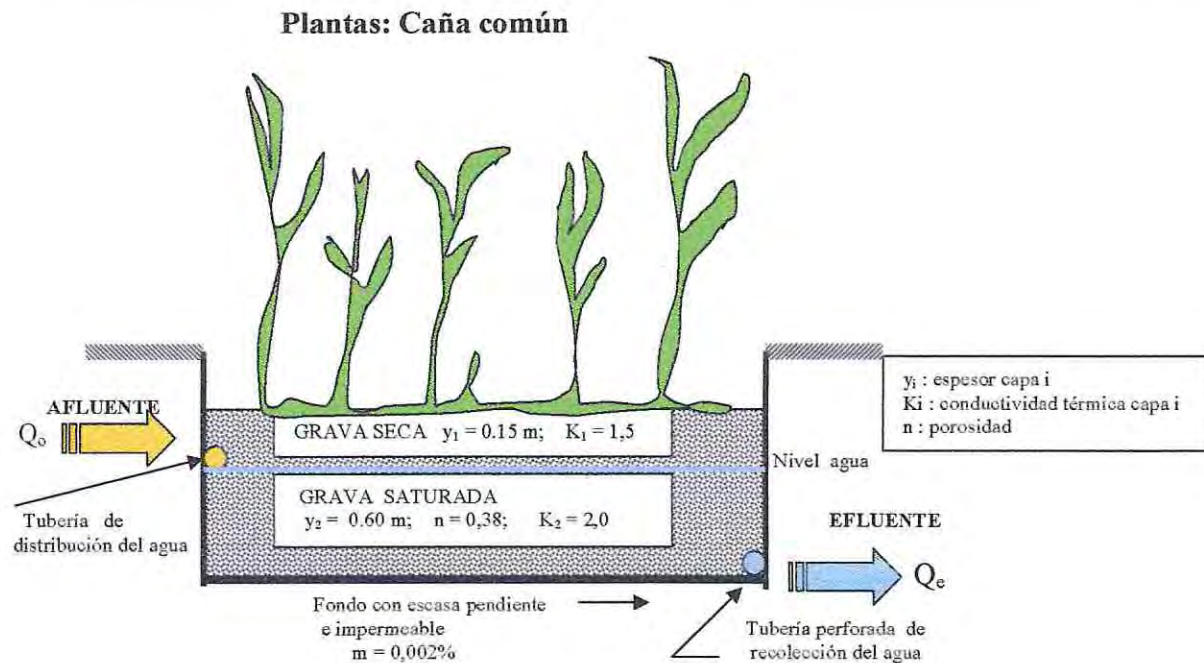


Figura N° 4.5
Esquema celda humedal experimental de SFS
con sustrato de grava y plantas de caña común

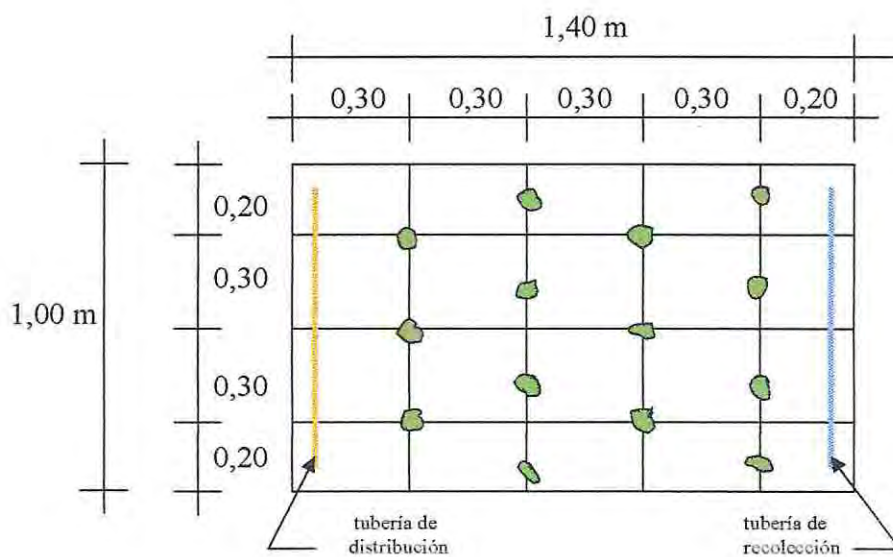


Figura N° 4.6
Esquema distribución de plantas en celda experimental



Figura N° 4.7
Fotografía humedal experimental
grava - caña común (*arundo donax*)
Universidad de Valparaíso

CAPITULO V PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1 PRESENTACIÓN

Lo que se persigue en esta experiencia, es determinar la remoción de contaminantes en el agua residual por medio de un humedal artificial de flujo subsuperficial (SFS) diseñado con las características ilustradas en las Figuras N°s 4.4, 4.5 y 4.6

Para ello se estableció un programa de medición con el objeto de cuantificar los contaminantes en el agua residual antes de que ésta entre al humedal (agua afluente) y después de que el flujo haya pasado (agua efluente), teniéndose presente el tiempo de retención hidráulica determinado para el humedal.

Las variables elegidas para su medición son las ya establecidas en el proceso de diseño y corresponden a la DBO, SST, N, P y adicionalmente se determinaron los coliformes fecales y el pH. Las mediciones de contaminante se realizaron cada 30 días aproximadamente, tomando la primera muestra cuando el humedal llevaba un mes de funcionamiento. Con el propósito de medir y comparar el mismo tipo de agua, el lapso de tiempo entre la toma de muestra del afluente y del efluente respectivo, se programó en función del periodo de retención del agua en la celda del humedal.

La muestra del afluente fue tomada de un dispositivo, dispuesto con este fin, antes de la entrada del flujo a la celda, y la muestra del efluente justo después que ésta sale de la celda.

Por otra parte, con el objeto de conocer la uniformidad del flujo en el tiempo y detectar posibles pérdidas o ganancias que pudieran afectar algún resultado, se realizaron mediciones de caudal justo antes de la entrada y a la salida de la celda del humedal.

Paralelo a las mediciones de caudal, se realizó un registro diario de temperatura en distintos puntos del sistema, generándose tres estaciones de medición. Complementariamente se realizó un registro de la temperatura ambiente del lugar donde se ubica el humedal y del agua potable (extraída de una llave ubicada al interior del recinto del Laboratorio de Mecánica de Suelos) con el fin de relacionar posteriormente las temperaturas entre los distintos puntos de medición. Para homogeneizar la toma de datos y minimizar posibles diferencias, se optó por tomar las mediciones de temperatura entre las 9 y 10 de la mañana. Por último, se suma al registro de mediciones de temperatura los valores de la máxima y mínima diarias entregada por la Dirección de Meteorológica de Chile para la ciudad de Valparaíso.

Finalmente, con el objeto de evaluar la influencia de las precipitaciones en el humedal, se elaboró un registro con las precipitaciones ocurridas "in situ", y los datos informados por la Dirección Meteorológica de Chile para la ciudad de Valparaíso.

5.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.2.1 Análisis de contaminantes

Los datos registrados en la Tabla N° 5.1 son el resultado de los análisis de laboratorio realizados a muestras de agua residual correspondiente a 3 muestras de afluente y 3 muestras de efluente. El periodo de muestreo es de un mes aproximadamente y el desfase de tiempo entre la toma del afluente y el efluente respectivo corresponde a 6 días en virtud del tiempo de retención del agua en la celda del humedal. En Anexo 8, fotos 25 y 27 ilustran la toma de muestra de afluente y efluente respectivamente.

Tabla N° 5.1
Mediciones de contaminantes humedal SFS grava - caña común

CONTAMINANTES	NUMERO DE MEDICIONES							
	AGUA AFLUENTE				AGUA EFLUENTE			
	1	2	3	promedio	1	2	3	promedio
FECHA	22.02.05	24.03.05	27.04.05		28.02.05	29.03.05	03.05.05	
DBO ₅ (mg/l)	50	200	350	200	35	20	40	31,7
SST (mg/l)	9,6	10,2	23,4	14,4	0,8	4,4	0,36	1,9
NTK (mg/l)	21,0	37,9	44,4	34,4	14,7	22,7	33,4	23,6
P (mg/l)	2,1	3,7	6,0	3,9	1,2	2,9	4,9	3,0
COLIF. (NMP/100 ml)	>1600	>1600	>1600	>1600	>1600	>1600	>1600	>1600
pH	s/i	s/i	7,38	7,38	s/i	s/i	7,71	7,71

Fuente: Boletines de análisis. Universidad de Valparaíso. (ver anexo 1)

s/i : sin información

Al observar la Tabla N° 5.1 se desprende que la calidad del agua residual (afluente) no es constante, aun más, la carga contaminante aumenta en el tiempo para todos los parámetros medidos a excepción de los coliformes fecales. Se puede deducir además que la eficiencia de remoción del sistema, representada a través de la calidad del efluente, no es igual para todos los parámetros.

Analizando individualmente el rendimiento de cada contaminante, se puede observar que la DBO₅ presenta un porcentaje de remoción muy similar para las dos últimas mediciones, cercana al 90 % independiente de la carga contaminante del afluente, en cambio para los SST el porcentaje de remoción es más errático fluctuando entre un 98 y 57%. Para el NTK se observa que la remoción tiende a un valor entre un 25 a 40% independiente de la carga contaminante del afluente, sin embargo, para el fósforo el porcentaje de remoción disminuye en la medida que la carga contaminante del afluente aumenta. Frente a esta irregularidad de remoción de los contaminantes, además de la reducida cantidad de datos en el tiempo en relación al crecimiento de las plantas, se optó por hacer un análisis con los valores promedio de cada contaminante, originándose la Tabla N° 5.2

La Tabla N° 5.2, representada gráficamente en la Figura N° 5.1, demuestra que el humedal remueve una cantidad importante de los contaminantes analizados, sin embargo, dada la

heterogeneidad de la calidad del agua residual (afluente) y el poco tiempo de evaluación, se dificulta establecer una constante de remoción para todos los contaminantes. En todo caso se puede esperar que con la maduración del sistema (crecimiento de las raíces y rizomas, época de medición, factores ambientales, etc.), y un periodo de análisis mayor (un par de años) se logre establecer una relación de remoción más concreta para cada contaminante y una mejor calidad del efluente.

Tabla N° 5.2
Porcentaje de remoción promedio
de sustancias contaminantes analizadas

CONTAMINANTE	AFLUENTE	EFLUENTE	% REMOCIÓN
DBO ₅ (mg/l)	200	31,7	84,2
SST (mg/l)	14,4	1,9	86,8
NTK (mg/l)	34,4	23,6	31,4
P (mg/l)	3,9	3,0	23,1
COLIF (NMP/100 ml)	> 1600	> 1600	0
pH	7,38	7,71	-

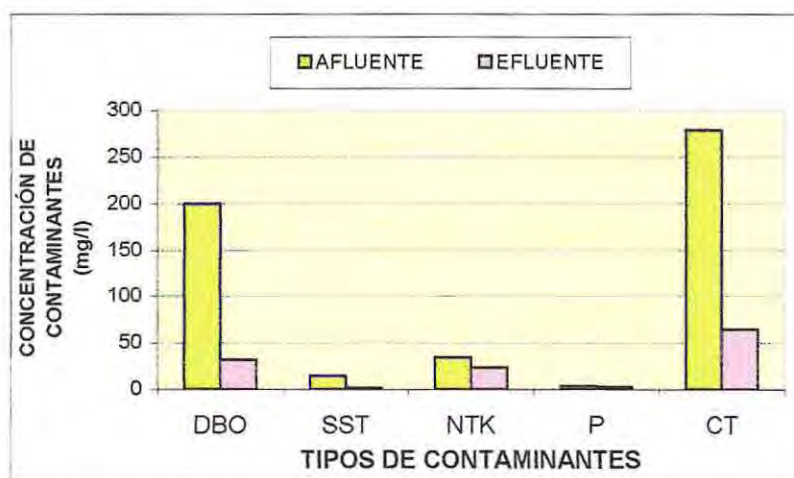


Figura N° 5.1
Remoción promedio de contaminantes
Humedal grava – caña común

De acuerdo a la Tabla N° 5.2, la sustancia contaminante que es más removida por el sistema bajo las condiciones establecidas en el diseño, corresponde a los sólidos suspendidos totales (SST) con un 86,8%, muy cerca de este porcentaje esta la DBO₅ con un 84,2%, luego sigue el NTK con un 31,4% y el P con un 23,1%. El pH se mantiene dentro del rango permitido de vertido y los coliformes fecales no sufren cambio.

En relación a los SST, en el acápite 3.6.1 se indicó que no se cuenta con un modelo cinético para remoción de éstos, y que siguen el mismo patrón de remoción que la DBO, situación que queda confirma a la luz de los resultados obtenidos.

Ahora bien, si se comparan los resultados obtenidos en la Tabla N° 5.2 con las exigencias de vertido para las aguas residuales indicado en la Tabla N° 4.2, se desprende que el humedal SFS es capaz de remover la carga contaminante del afluente a valores que permiten al efluente cumplir con la normativa, a excepción de los coliformes fecales que no presentan remoción, siendo una debilidad del sistema natural.

Frente al problema de los coliformes fecales y con el fin de rebajar la carga contaminante, experimentalmente se aplicó a una muestra de efluente distintas dosis de solución de cloro (cloro doméstico, solución de cloro corresponde a 4% hipoclorito de sodio p/v) obteniéndose los resultados indicados en la Tabla N° 5.3.

De la Tabla N° 5.3 se desprende que aplicando 3 gotas de cloro doméstico por litro (solución de cloro corresponde a 4% hipoclorito de sodio p/v) se logra una disminución de los coliformes de >1600 a < 2 NMP/100ml (99,9% de remoción) lo que permite que el agua pueda ser vertida sin problema de acuerdo al DS N° 90, incluso si el efluente va a parar a zonas aptas para la acuicultura o áreas de manejo y explotación de recursos bentónicos, donde se exige un máximo de coliformes de 70 NMP/100ml.

Tabla N° 5.3
Remoción de coliformes fecales aplicando
cloro doméstico al efluente obtenido del humedal

Carga contaminante del efluente inicial (NMP/100ml)	Solución de cloro aplicada (gotas/litro)	Carga contaminante del efluente final (NMP/100ml)	Remoción (%)
>1600	0	>1600	0
>1600	1	>1600	0
>1600	2	>1600	0
>1600	3	< 2	99,9

Fuente : Boletín de análisis 050524-246, Facultad de Farmacia, Universidad de Valparaíso.

Con el propósito de visualizar el comportamiento de remoción de los distintos contaminantes en el transcurso del tiempo y su relación con respecto al límite máximo de vertido exigido por la normativa, en las figuras siguientes se ilustra la eficiencia alcanzada por el sistema para la DBO₅, SST, N, P, coliformes fecales y pH respectivamente.

La Figura N° 5.2 muestra el comportamiento mensual de la DBO tanto para el afluente como afluente. Se observa que para el mes 2 y 3 la carga contaminante del afluente es varias veces mayor al límite máximo de vertido indicado por la normativa (DS N° 90), sin embargo, la carga contaminante en el efluente tratado por el sistema SFS se mantuvo bajo el límite, siendo éste parámetro adecuadamente removido por el sistema.

La Figura N° 5.3 representa el comportamiento de los sólidos suspendidos totales (SST). Si bien la carga contaminante del afluente es pequeña en relación a las exigencias de vertido por la normativa, que incluso se puede verter el agua sin ningún tratamiento considerando sólo este parámetro, el humedal logra una reducción importante, sobre todo para el tercer mes cuando la carga contaminante del afluente en SST es mayor.

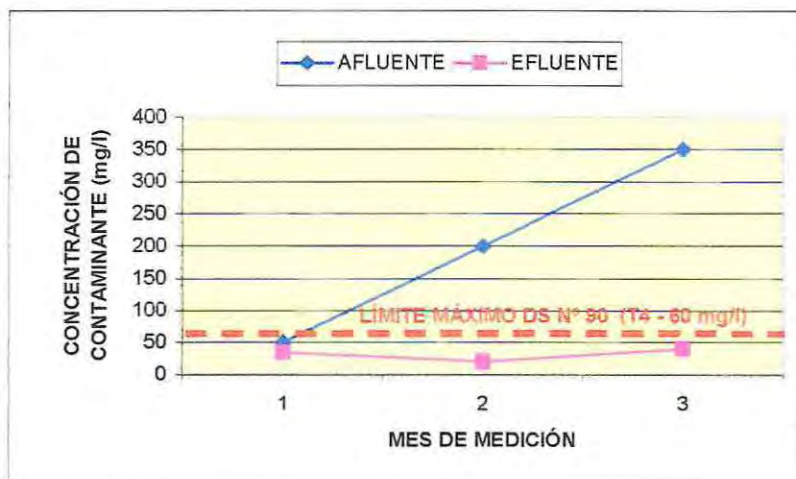


Figura N° 5.2
Remoción de DBO
Humedal grava – caña común

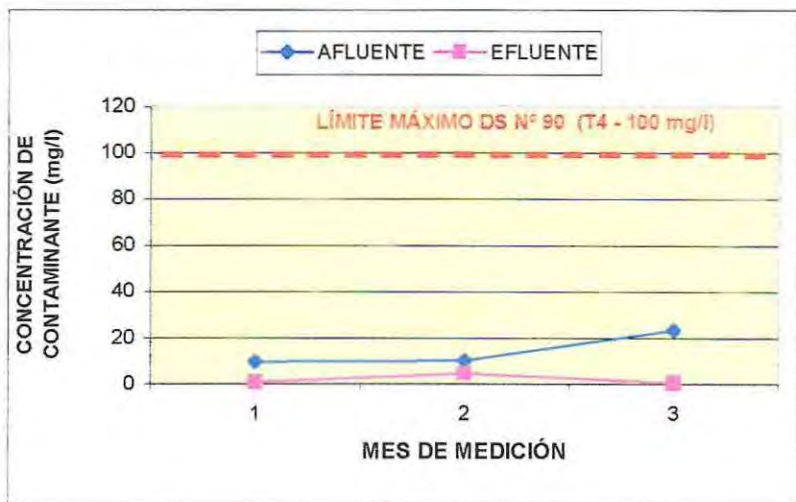


Figura N° 5.3
Remoción de SST
Humedal grava – caña común

Según se observa en la Figura N° 5.4, la cantidad de nitrógeno existente en el agua residual está por debajo del límite máximo de vertido, no obstante, el humedal es capaz de remover una parte

de ella, que teóricamente debiera aumentar con el tiempo dado que la remoción del nitrógeno está directamente relacionada con el crecimiento de las plantas (Reed *et al*, 1995). Cabe recordar que el humedal al tercer mes de medición lleva sólo cuatro meses de vida.

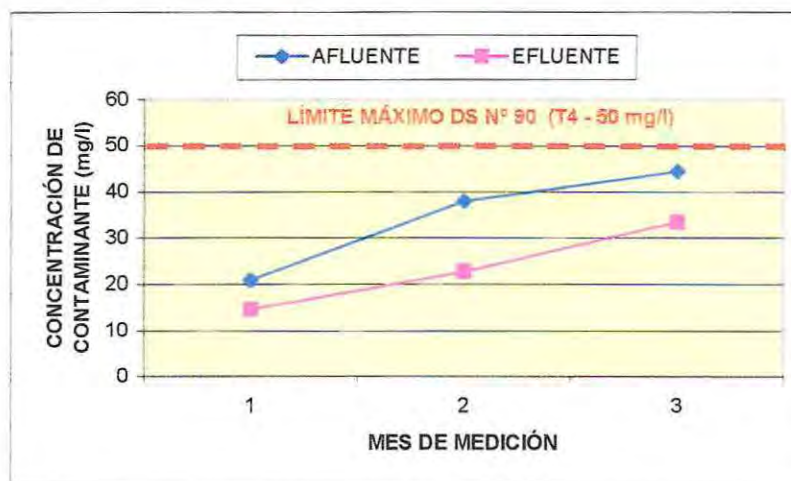


Figura N° 5.4
Remoción de Nitrógeno
Humedal grava – caña común

En la Figura N° 5.5, se representa la remoción de fósforo en el tiempo. Se puede observar que la eficiencia del sistema frente a este parámetro es limitada, más aún, en la medida que aumenta la carga contaminante en el afluyente, el porcentaje de remoción disminuye. Este resultado es consecuente con investigaciones realizadas en Norteamérica y Europa, donde se indica la dificultad que tienen los humedales para remover el fósforo.

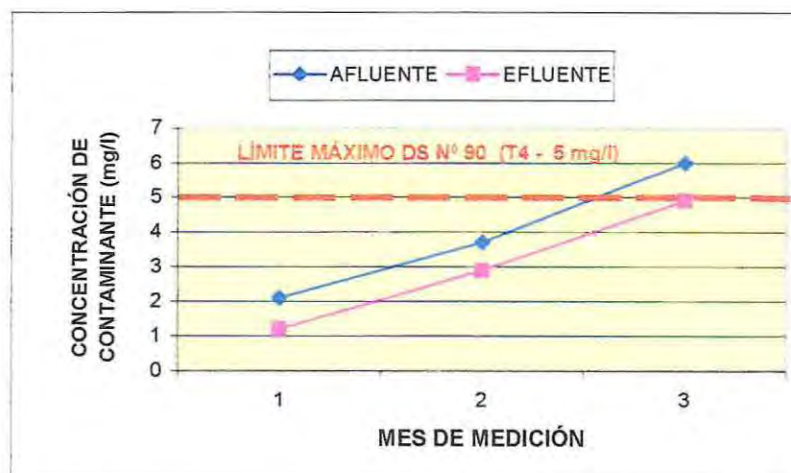


Figura N° 5.5
Remoción de Fósforo
Humedal grava – caña común

La Figura N° 5.6 ilustra el comportamiento de humedal frente a los coliformes fecales, donde se observa que la carga contaminante en el efluente está por sobre el límite máximo permitido por la normativa (por lo menos para el periodo de medición).

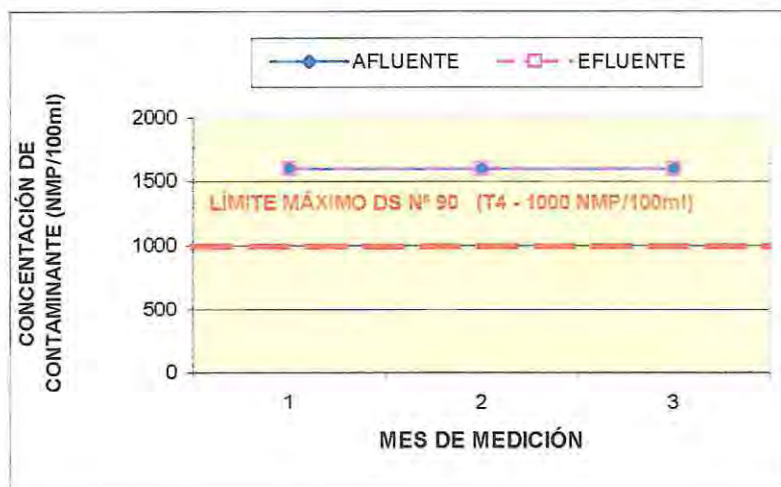
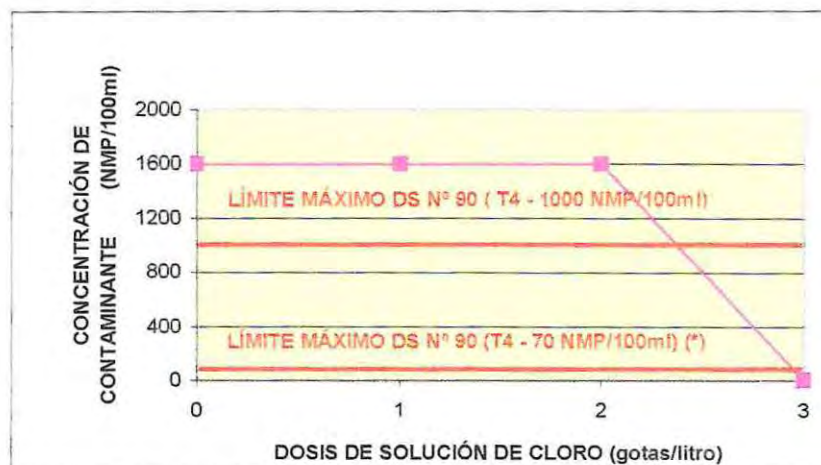


Figura N° 5.6
Remoción de Coliformes
Humedal grava – caña común

De acuerdo a la experiencia de Norteamérica y Europa, para obtener reducciones significativas en los coliformes es necesario que el tiempo de retención del agua en la celda sea superior a 14 días (Reed *et al*, 1995). El tiempo de retención en el humedal experimental es de 6 días aproximadamente, lo que sería insuficiente para satisfacer los requerimientos de remoción. La alternativa normalmente empleada es aplicar adicionalmente algún tipo de desinfectante y para este caso se utilizó cloro doméstico con el resultado ilustrado en la Figura N° 5.7.

La Figura N° 5.8 muestra que el pH del agua residual tratada se mantiene dentro del rango aceptado por la normativa, no siendo por lo tanto un parámetro preocupante.

Finalmente, con el propósito de cuantificar la posible mejora del efluente obtenido del humedal propiamente tal (celda), se diseñó un filtro de Grava-Arena (Figura N° 5.9) por el cual se hizo pasar el flujo proveniente del humedal (Efluente-1) para luego ser vertido al cuerpo receptor como Efluente-2. Los valores obtenidos se indican en la Tabla N° 5.4 y se representan gráficamente en la Figura N° 5.10, de donde se desprende que este pequeño filtro produce una reducción adicional de los contaminantes.



(*) Zonas aptas para la acuicultura áreas de manejo y explotación de recursos bentónicos

Figura N° 5.7
Remoción de Coliformes Fecales
 aplicando cloro doméstico a efluente del humedal
 Humedal grava – caña común

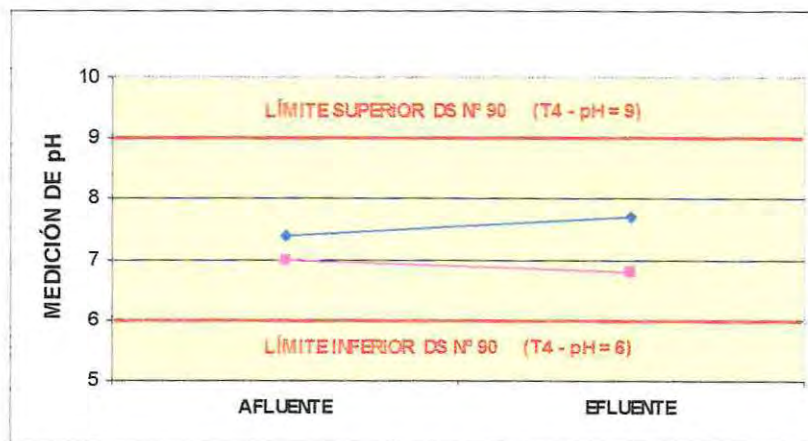


Figura N° 5.8
Remoción de pH
 Humedal grava – caña común

Tabla N° 5.4
Remoción de contaminantes usando adicionalmente
filtro de grava - arena antes del vertido

CONTAMINATE	AFLUENTE		EFLUENTE-1		EFLUENTE-2	
	(mg/l)	%	(mg/l)	%	(mg/l)	%
DBO ₅	350,0	100	40,0	11,4	10,0	2,9
SST	23,4	100	0,36	1,5	0	0
NTK	44,4	100	33,4	75,2	31,7	71,4
P	6,0	100	4,9	81,7	3,6	60,0
TOTAL	423,8	100	78,7	18,6	45,3	10,7

Asumiendo en la Tabla N° 5.4 que la carga total de contaminante en el afluente es de 423,8 (mg/l), al pasar éste por la celda del humedal se reduce a 78,7(mg/l) (efluente-1), para finalmente quedar en 45,3 (mg/l) (efluente-2) cuando pasa por el filtro de grava-arena, produciéndose una remoción total de los contaminantes en un 89%.

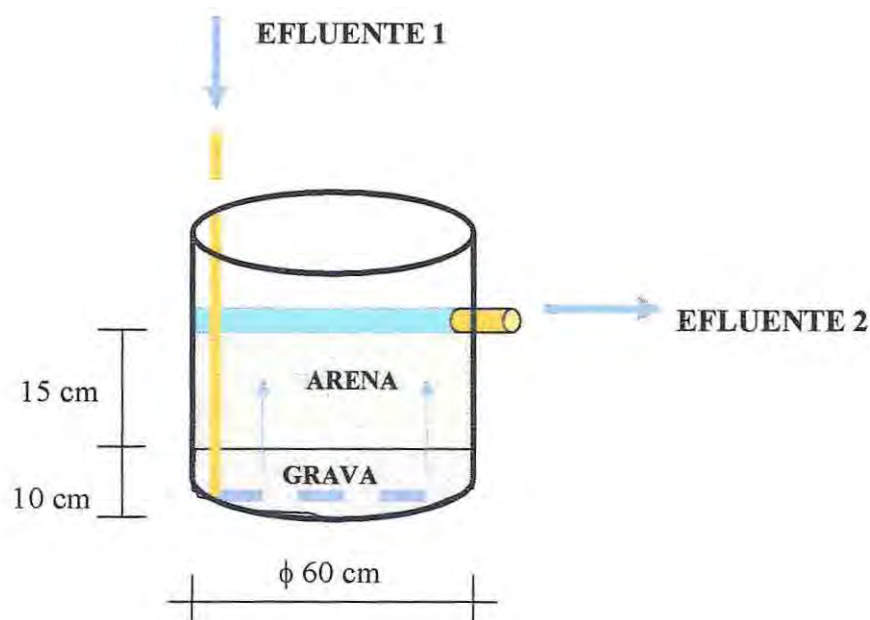


Figura N° 5.9
Filtro grava - arena

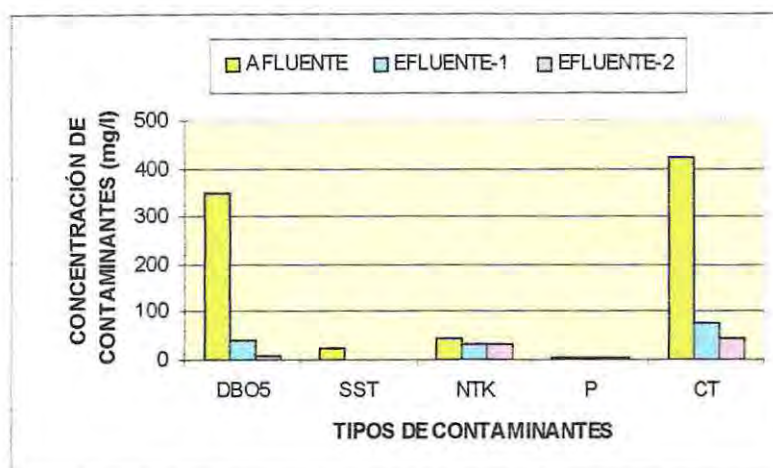


Figura N° 5.10
Remoción de contaminantes usando
filtro de grava-arena antes del vertido

5.2.2 Análisis de caudales

Con el objeto de conocer el caudal que entra y sale de la celda, se realizaron mediciones diarias del flujo justo antes de la entrada a la celda (ver foto 26, Anexo 8) y a la salida (ver foto 27, Anexo 8) obteniéndose la serie de tablas adjuntas en Anexo 4. El promedio mensual para el afluyente y efluente se indica en la Tabla N° 5.5 y se representa gráficamente en la Figura N° 5.11.

Tabla N° 5.5
Caudal medio mensual (cm^3/min)
Humedal grava- caña común

	Q _o AFLUENTE	Q _e EFLUENTE	Q MEDIO
ENERO	43,7	37,2	40,5
FEBRERO	47,4	41,4	44,4
MARZO	42,3	34,1	38,2
ABRIL	44,9	35,1	40,0
MAYO	42,9	35,9	39,4
Promedio	44,2	36,7	40,5

(ver anexo)

Se desprende de la Tabla N° 5.5 que el caudal medio mensual del efluente es menor que el afluyente, diferencia que podría asociarse a una pérdida de agua en la celda por evaporación, a un consumo por parte de las plantas (evapotranspiración), ó también debido a filtraciones aun cuando éstas a simple vista no se detecta que ocurran (la celda fue cuidadosamente impermeabilizada).

La pérdida de agua promedio en la celda es de 7,5 (cm³/min) ó 10,8 (l/d) correspondiente a un 17 % con respecto al caudal de entrada (afluente). Ahora bien, considerando la superficie del humedal, 1,40 m², se tiene una pérdida de 7,71 (l/d/m²).

La Tabla N° 5.5 deja ver además, que el caudal promedio durante el periodo de medición se mantuvo dentro del rango establecido en el diseño, por lo que, el sistema de distribución construido y el mantenimiento realizado, ha resultado adecuado para el correcto funcionamiento del humedal.

Con el propósito de conocer y cuantificar las pérdidas, suponiendo que éstas se deben solamente a evaporación y consumo por parte de las plantas, se instaló una cápsula en la celda del humedal (ver foto 28, anexo 8) para registrar el agua por evaporación durante 24 horas y, luego, por diferencia determinar el agua consumida por las plantas, obteniendo de este modo la Tabla N° 5.6

Tabla N° 5.6
Estimación de pérdida de caudal en celda humedal
Humedal grava – caña común

Parámetro	(l/d/m ²)	Porcentaje (%)
Pérdida total	7,71	100
Pérdida por Filtración	0	0
Pérdida por Evaporación	0,04 (*)	0,5
Pérdida por Consumo plantas	7,67	99,5

(*) promedio de 10 mediciones

Se desprende de la Tabla N° 5.6 que prácticamente toda la pérdida de flujo al interior de la celda se debe al consumo por parte de las plantas (99,5%), siendo la pérdida por evaporación bastante menor (0,5%).

Cabe hacer notar que la de pérdida de agua determinada en la Tabla N° 5.6 es sólo una estimación, ya que ésta depende de varios factores entre los cuales está, la temperatura ambiente, época del año, densidad y crecimiento de las plantas, raíces y rizomas, espesor de capa superficial seca, etc., sin embargo, puede tomarse como un procedimiento aproximado para cuantificarla y deducir un valor representativo (válido para las condiciones de diseño), si se mantiene un registro periódico durante la vida del humedal.

En la Figura N° 5.11, se ha graficado el comportamiento mensual del caudal para el afluente y efluente. Se observa casi un paralelismo entre las dos curvas, lo que indica que el sistema mantiene un flujo uniforme, es decir, el caudal del afluente (Q_o) es igual al caudal del efluente (Q_e) más las pérdidas (P), o sea: $Q_o = Q_e + P$.

Por otra parte, un análisis de los registros diarios de caudal (adjuntos en anexo 4) ponen de manifiesto que éste depende de la altura de carga del afluente en el estanque de almacenamiento, por lo que a partir de mediados del mes de Febrero se incorporó al registro de caudales la altura del agua residual en el estanque a objeto de obtener una relación que permita determinar el caudal tanto del afluente como del efluente con solo leer la altura de agua en el estanque, previa fijación de un sistema de referencia.

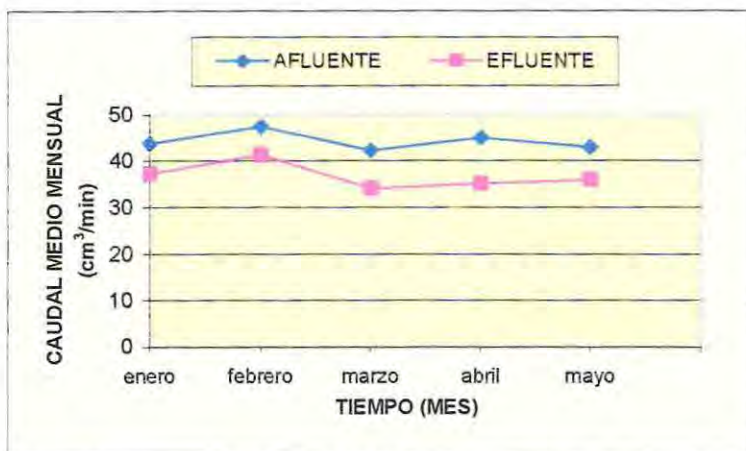


Figura N° 5.11
Caudal medio mensual
Humedal grava – caña común

Como resultado de la gráfica del caudal (Q) en función de la altura de agua en el estanque de almacenamiento (H) (Figuras N° 5.12 a 5.19) se obtuvo una familia de curvas que responden a la ecuación de una recta del tipo $Q = m \cdot H + c$, donde la pendiente “ m ” es prácticamente constante para todas las mediciones ($m = 26,3$) no así la constante “ c ” que varía entre 10 y 20 para el afluyente y entre 2 y 18 para el efluente, valor que depende de la calidad del afluyente y de la colmatación de filtro dispuesto después del estanque (ver Figura N° 4.4), para un rango de H entre 1,30 y 0,60m.

El comportamiento del flujo durante el mes de Febrero puede observarse en la Figura N° 5.12 para el afluyente y en la Figura N° 5.13 para el efluente. De las graficas se tiene que la variación de caudal en función de la altura de agua en el estanque de almacenamiento responde a una relación lineal, y tal como se dijo anteriormente, puede ser representada a través de la ecuación de una recta del tipo $Q = m \cdot H + c$. La particularidad de estos gráficos está en que los valores de las mediciones registradas quedan ordenados claramente bajo una única “línea”, deduciéndose con ello que el funcionamiento del sistema es bastante homogéneo.

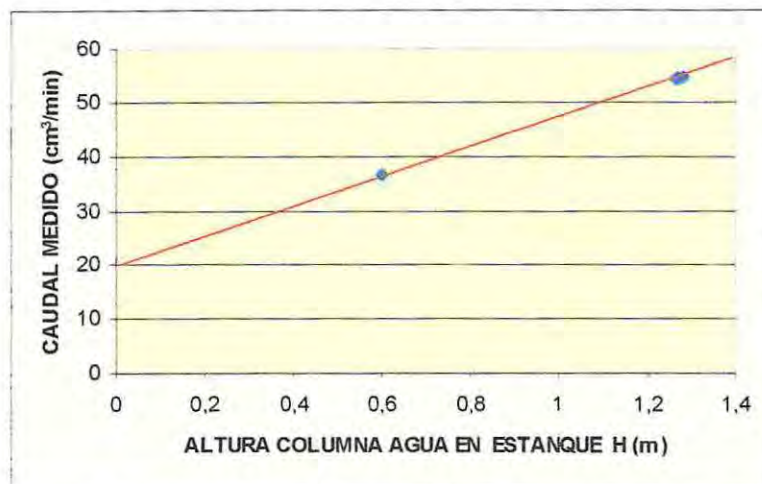


Figura N° 5.12
Caudal afluente mes de Febrero
Humedal grava – caña común

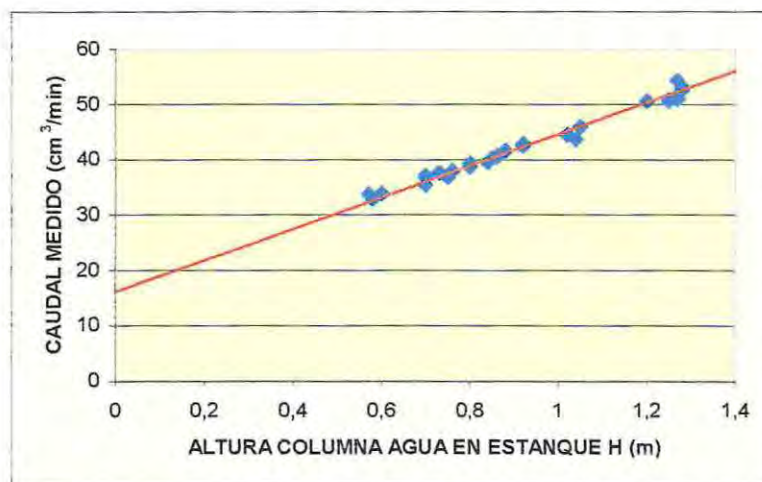


Figura N° 5.13
Caudal efluente mes de Febrero
Humedal grava – caña común

En el mes de Marzo, al graficar las mediciones de caudal en función de la altura de agua en el estanque de almacenamiento, no se obtuvo el comportamiento esperado, sino que se generó una nube de punto, principalmente para el efluente, que fue difícil de interpretar hasta que se tomaron periodos para análisis, logrando establecer una familia de rectas con pendiente “m” muy parecida pero con una constante “c” de intercepto distinta, tanto para el afluente como efluente como lo muestran las Figuras N° 5.14 y 5.15. El valor de “c” acuerdo a lo observado, es menor en la medida que el filtro dispuesto después del estanque se colmata (ver Figura 4.4).

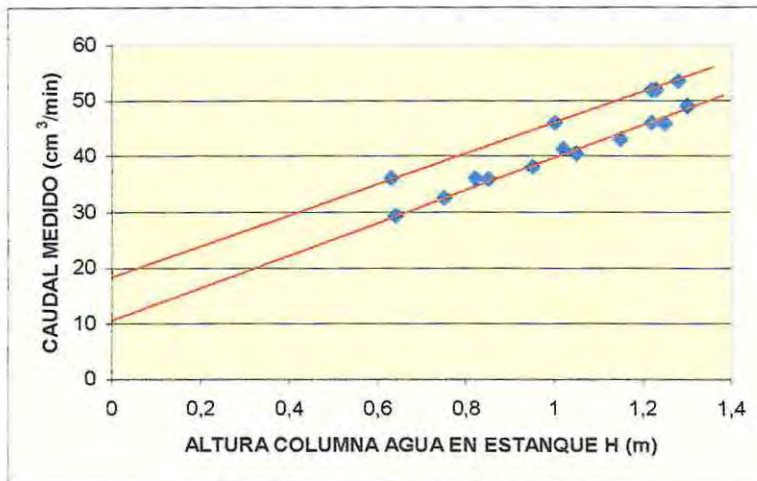


Figura N° 5.14
Caudal afluente mes de Marzo
Humedal grava – caña común

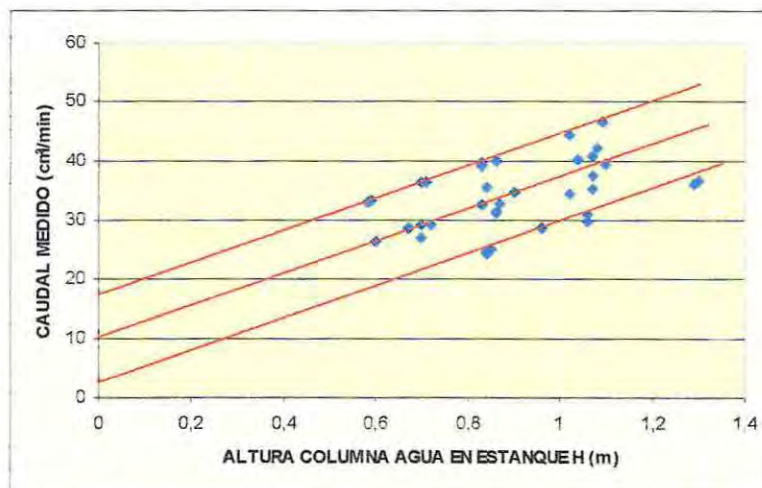


Figura N° 5.15
Caudal efluente mes de Marzo
Humedal grava – caña común

En las graficas de las Figuras N° 5.16 y 5.17, correspondiente al mes de Abril, se da una situación similar a la descrita para el mes de Marzo.

Si bien, el propósito inicial de las graficas era sólo buscar una correlación entre el caudal y la altura del agua en el estanque de almacenamiento, surgió a partir de ello una herramienta que indirectamente permite llevar un control sobre el estado del sistema de distribución reflejado en un desplazamiento de las rectas hacia el origen de coordenadas.

El desplazamiento de las rectas manifiesta el grado de colmatación del sistema de distribución, específicamente del filtro dispuesto después del estanque, representado en la disminución del valor de “c”. Este hecho permitió establecer un rango de tiempo para el cambio del filtro a fin de homogeneizar el flujo de entrada, y mantener en correcto funcionamiento el sistema de distribución, vital para el éxito del humedal.

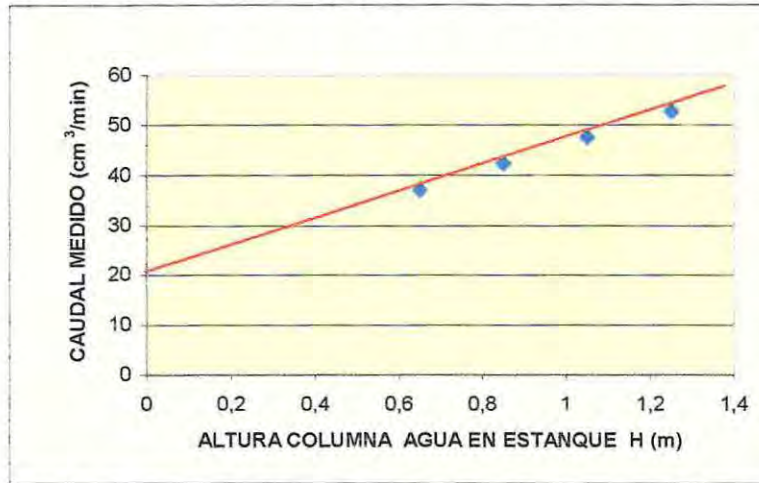


Figura N° 5.16
Caudal afluente mes de Abril
Humedal grava – caña común

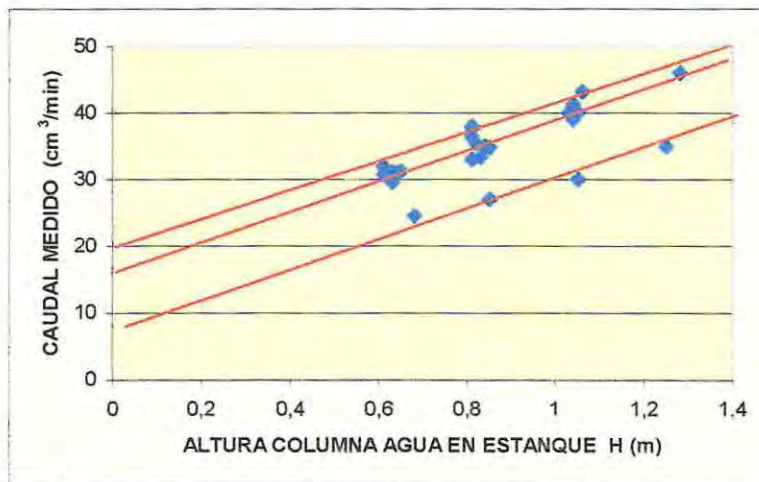


Figura N° 5.17
Caudal efluente mes de Abril
Humedal grava – caña común

Las Figuras N° 5.18 y 5.19 muestran el comportamiento del caudal durante el mes de Mayo. Con la información recopilada y analizada de los meses anteriores, en el mes de Mayo se puso mayor

cuidado a la colmatación del filtro a través del valor de “c”, con lo que se obtuvo una nube de puntos más concentrada como se observa en las Figura N° 5.19.

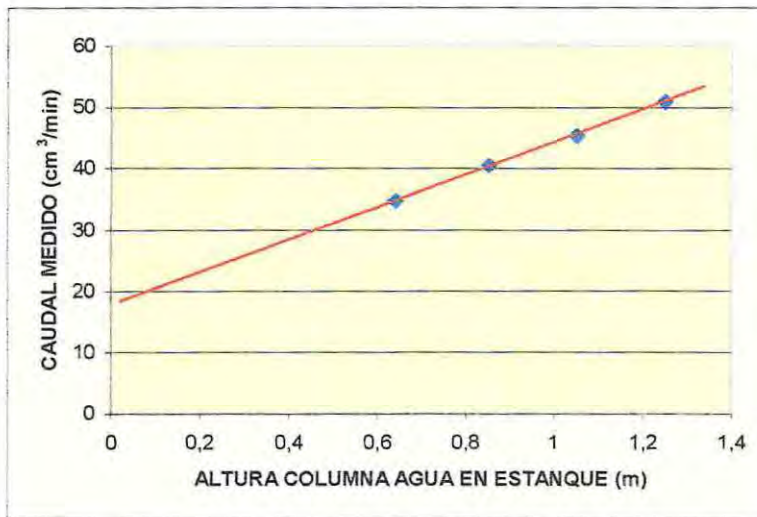


Figura N° 5.18
Caudal afluente mes de Mayo
Humedal grava – caña común

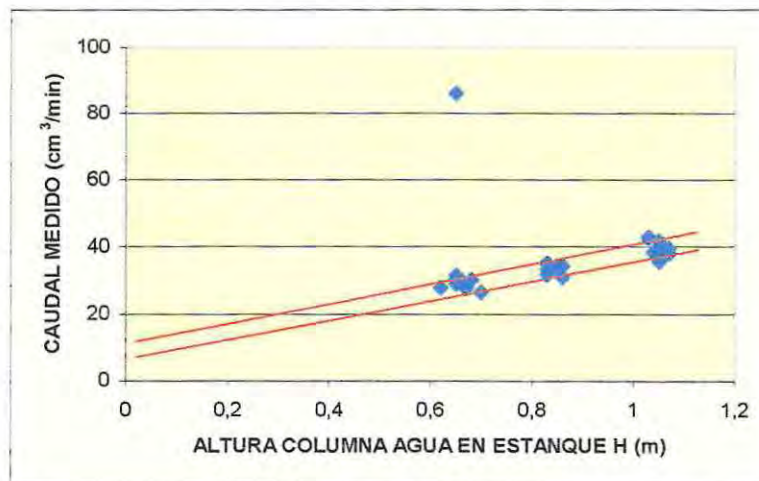


Figura N° 5.19
Caudal efluente mes de Mayo
Humedal grava – caña común

Finalmente, debido a la época (enero – mayo) y al instante (entre las 9 y 10 AM) en que se realizaron las mediciones, no se tiene registro de la influencia de las precipitaciones sobre el caudal, salvo en un caso muy puntual, donde la medición de un flujo de efluente coincidió con la

ocurrencia de un evento lluvioso, situación que quedó reflejada en la grafica de la Figura N° 5.19, con un punto aislado.

Si bien la construcción del humedal contempló las precipitaciones para evitar rebalse, al observar la Figura N° 5.19 se desprende que el caudal de salida (efluente) por efecto de las lluvias aumentó casi al triple, situación que se debe tener muy presente al momento de diseñar los elementos u obras de arte aguas abajo del humedal. Por otra parte, bajo el punto de vista de la contaminación, puede estimarse que el efecto de las precipitaciones produce una dilución de la carga contaminante, sin embargo, el aumento repentino del caudal puede producir arrastre de sedimentos contaminantes que es importante evaluar. Cuando se haya instalado un sistema o equipo de desinfección para los coliformes fecales, éste debe incorporar un aumento automático de la dosificación con el fin de prevenir contaminación en el cuerpo receptor, debido al mayor flujo.

5.2.3 Análisis de temperaturas

El comportamiento del humedal depende entre otros factores de la temperatura, razón por la cual se realizó un registro diario de éstas en distintos puntos del sistema, generándose la serie de Tablas adjunta en Anexo 4. La temperatura registrada para el afluente corresponde a la temperatura del flujo justo antes que entre a la celda (ver foto 23, anexo 8) y la del efluente inmediatamente cuando sale de ella (ver foto 27, anexo 8). Para determinar la temperatura del agua en la celda propiamente tal, en la etapa de construcción de la misma se dejó inserto un tubo de PVC perforado dispuesto en forma vertical, lo que permitió con la ayuda de un termómetro registrar las temperaturas en cualquier punto de la columna de agua, dando como resultado para este estudio que la temperatura en la superficie y en el fondo es la misma (ver foto 24, anexo 8).

La temperatura ambiente se tomó en un punto fijo dispuesto con este fin (ver foto 22, Anexo 8) y la temperatura del agua potable se obtuvo midiéndola directamente del flujo de una llave ubicada en el recinto del laboratorio. Las temperaturas máximas y mínimas corresponden a los valores informados por la Dirección Meteorológica de Chile para Valparaíso. En la Tabla N° 5.7 se resumen las mediciones, indicando el promedio mensual de las temperaturas en las distintas estaciones seleccionadas.

Tabla N° 5.7
Promedio mensual de temperaturas
en las distintas estaciones de medición (°C)
Humedal grava – caña común

	AFLUENTE	CELDA	EFLUENTE	AMBIENTE	AGUA POT	MÁXIMA(*)	MÍNIMA(*)
ENERO	18,1	20,8	19,5	17,1	18,0	20,5	13,5
FEBRERO	19,1	21,4	20,3	17,9	18,9	20,6	14,7
MARZO	17,5	19,7	18,5	16,9	17,9	21,0	13,5
ABRIL	13,9	15,5	14,8	13,7	15,5	17,9	11,1
MAYO	12,8	13,8	13,2	12,7	13,9	15,9	9,6
Promedio	16,3	18,2	17,3	15,7	16,8	19,2	12,5

(*) Fuente: www.meteochile.cl (ver anexo 4)

La Tabla N° 5.7, representada en la Figura N° 5.20, deja ver que la temperatura del afluente sube al entrar a la celda del humedal para luego bajar una vez que éste sale de él (efluente). Se desprende también que la ganancia de temperatura por parte de la celda (2,7 °C en Enero) va decreciendo paulatinamente en la medida que se aproxima un clima más frío (en Mayo la ganancia es de solo 1°C). Este aumento de temperatura en la celda se asocia al calentamiento del sustrato granular del humedal durante el día, de acuerdo a la época de medición.

Si comparamos la temperatura de la estación “celda” con la “máxima”, se observa que la para los primeros meses del año (enero – febrero) la temperatura de la celda es mayor, para luego en los meses siguientes invertirse la situación. La causa de ello radica principalmente a que el humedal recibe menor radiación solar debido a su ubicación (está al lado de una edificación que con el pasar del día le hace sombra más tempranamente), aún cuando la temperatura ambiente máxima pueda ser mayor. El mes de marzo refleja esta situación.

Al medir la temperatura del agua potable se buscaba obtener alguna relación con las demás variables, sin embargo, esta no se da en forma clara; solo se puede indicar al observar los promedios de las temperaturas que el valor obtenido para el afluente es similar al determinado para el agua potable.

Como las mediciones de temperatura se realizaron entre las 9 y 10 de la mañana, no se obtienen valores por debajo de la “mínima” que por lo general corresponde a temperaturas ocurridas en la madrugada.

El comportamiento de las plantas y el rendimiento esperado del humedal depende entre otros factores de la temperatura, pero, debido al corto periodo de medición (enero-mayo) no se encontró una relación concreta entre la remoción de los contaminantes y la temperatura, sin embargo, se espera que con el crecimiento del humedal, se pueda obtener una tendencia del efecto de la temperatura en el rendimiento del sistema.

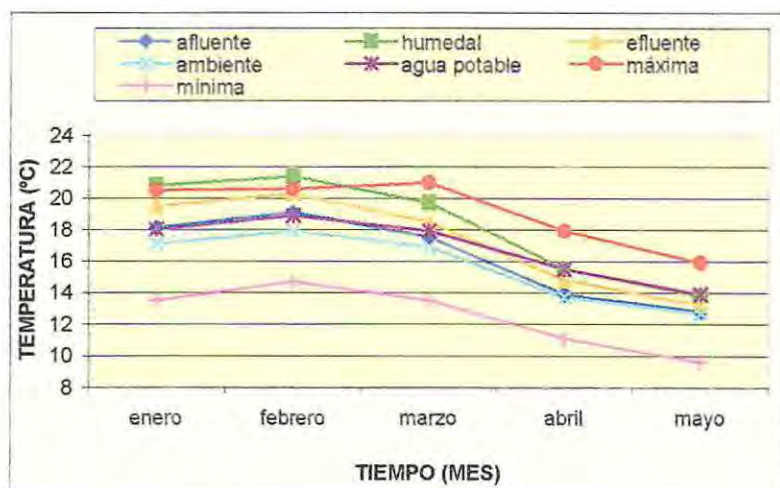


Figura N° 5.20
Temperaturas media mensual para las distintas estaciones de medición
Humedal grava – caña común

5.2.4 Análisis de precipitaciones

Dependiendo de la intensidad y duración de las precipitaciones el funcionamiento del humedal puede ser afectado, ya sea en su infraestructura como en la calidad del efluente obtenido, razón por la cual se realizó un registro de las precipitaciones con el fin de cuantificar los posibles efectos que éstas pudieran tener sobre el comportamiento del humedal. En Anexo 4, se adjunta Tabla con el registro de las precipitaciones ocurridas durante el periodo de análisis mientras que en la Tabla N° 5.8 se indican los valores mensuales acumulados para las precipitaciones registradas in situ y las obtenidas por la Dirección Meteorológica de Chile. Además, se incorpora el valor mensual de precipitaciones correspondiente a un año normal, entregada por la misma Dirección. La Figura N° 5.21 representa gráficamente el comportamiento de las precipitaciones para el periodo enero- mayo de 2005.

Tabla N° 5.8
Precipitación mensual acumulada (mm)
Humedal grava – caña común

	REGISTRO IN SITU	REGISTRO OFICIAL (*)	REGISTRO AÑO NORMAL (*)
ENERO	0	0	1
FEBRERO	0	0,2	2
MARZO	0	11,2	4,0
ABRIL	0	11,8	17,3
MAYO	77,0	128,0	71,4

(*) Fuente: www.meteo.cl (ver anexo 4)

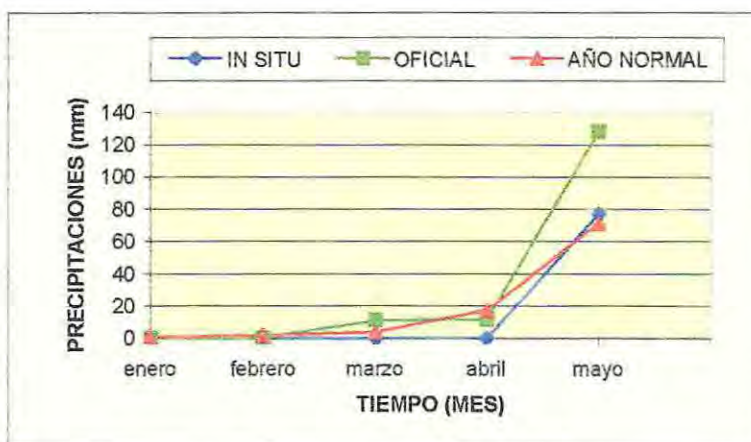


Figura N° 5.21
Precipitación mensual acumulada
Humedal grava – caña común

Dado que el registro de precipitaciones “in situ” sólo está para el mes de mayo, resulta difícil hacer un análisis sostenible sobre el tema, no obstante, se puede indicar en función de los datos

obtenidos, que las precipitaciones no son homogéneas en todo el territorio y para el caso particular de localización del humedal, éstas son inferior en un 66% con respecto a las determinadas por la Dirección Meteorológica de Chile, en Estación Punta Ángeles, Valparaíso, por lo que usar los datos pluviométricos informados por este organismo, resulta conservador para el diseño.

5.3 Estimación de costos de operación y mantenimiento del humedal

En relación al costo de operación y mantenimiento del humedal, de acuerdo al sistema de tratamiento implementado para el desarrollo de la experiencia y al periodo de análisis considerado (enero-mayo, 2005), se reduce a la operación de una bomba eléctrica de 0,5 HP (durante 6 minutos aproximadamente cada 3 días para cargar con agua residual estanque de almacenamiento instalado, ver Figura N° 4.4), y al mantenimiento mensual de filtro dispuesto a la salida del afluente del estanque de almacenamiento (filtro 3, Figura N° 4.4), al reemplazo eventual de piezas estimado en un 2% anual de la inversión realizada (\$370.000 app) y a la reposición de 3 unidades de plantas vegetales (3 de 14, aproximadamente el 20%; ver Figura N° 4.6).

El costo de operación se ha estimado en 18,2 \$/m³ de agua tratada y el costo de mantenimiento en 104.000 \$/anual, correspondiente al empleo de 85 horas hombre al año con un costo de \$ 96.600 (asumiendo un sueldo mensual de \$200.000) y al recambio de piezas estimado en \$ 7.400 anual.

En la Tabla N° 5.9 se hace una comparación de inversión y de costos de operación entre tres sistema de tratamiento: biodiscos, lodos activados y humedal SFS. Los dos primeros sistemas corresponden al tipo de tratamiento convencional mientras que el humedal al no convencional según calificación de la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS). La razón de comparar estos sistemas es con el objeto de apreciar la dificultad económica a la cual se enfrentan las pequeñas comunidades para tratar sus aguas residuales y particularmente se ha elegido el sistema de lodos activados, debido a que éste es el que más se está usando y/o proponiendo para tratamiento según los antecedentes presentados en la Tabla N° 1.6.

Tabla N° 5.9
Comparación de inversión y costos de operación entre
sistema de tratamiento por Biodiscos, Lodos activados, y Humedal SFS (en Martínez, 2004)

Población (hab)	Biodiscos		Lodos activados		Humedal SFS	
	Inversión (UF/hab)	Operación (UF/hab/año)	Inversión (UF/hab)	Operación (UF/hab/año)	Inversión (UF/hab)	Operación (UF/hab/año)
100	72,14	5,61	9,5	1,82	1,77	0,55
200	37,66	3,16	5,4	0,93	1,75	0,30
500	15,94	1,51	3,2	0,48	1,73	0,14
1000	-	-	1,4	0,27	1,71	0,07
2000	4,34	0,14	1,4	0,20	1,69	0,04
3000	2,90	0,12	0,9	0,17	1,68	0,03

Se desprende de la Tabla N° 5.9, que el sistema de Biodisco es el que demanda la mayor inversión y el mayor costo de operación, por lo que su uso está en gran desventaja con respecto a los otros dos sistemas.

Al comparar el sistema de lodos activados con el humedal SFS, se tiene el siguiente resultado: Para una población de hasta 500 habitantes, el humedal SFS claramente ofrece la mejor alternativa. Si la población está entre 1.000 y 3.000 habitantes, el sistema de tratamiento a través de lodos activados presenta una inversión levemente menor que el humedal, no obstante, los costos de operación son mayores. Un análisis de los costos indicados en la Tabla N° 5.9 deja ver que para una población de 1.000 habitantes, en menos de un año el humedal iguala los costos del sistema de lodo activado y resulta ser más económico de ahí en adelante. Para el caso de una población con 3000 habitantes, al cabo de 4 años el humedal equipara los costos con respecto a los lodos activados y los disminuye también de ahí en adelante, consagrándose como una mejor alternativa. Ahora bien, frente a la elección de un sistema no basta con considerar sólo la evaluación económica, los aspectos ambientales y los beneficios adicionales que se pueden obtener de él son también importantes, frente a lo cual, se estima que el humedal SFS ofrece mayores oportunidades para mejorar la calidad de vida de la población.

Como en el acápite 1.1 se indicó las ventajas y limitaciones del humedal SFS, a modo de equilibrar la información en relación a la comparación entre estos dos sistemas, a continuación se identifican las ventajas y limitaciones del sistema de los lodos activados:

i) Ventajas

- Alta remoción de carga orgánica, que genera un efluente cristalino y sin olores.
- No requiere tratamiento primario, sólo un tratamiento que elimine los sólidos no biodegradables.
- Demanda poca superficie.

ii) Limitaciones

- Eventual producción de olores, aerosoles y espumas: la mala operación o estancamiento de agua genera mal olor. Los aireadores pueden generar gran cantidad de espuma con altos contenidos de grasas o detergente o alzas de pH. También generan aerosoles que pueden transportar a través de pequeñas gotas, virus y coliformes.
- Requiere un sistema para tratamiento de los lodos, que aumenta los costos operacionales por estabilización y/o disposición.
- Actúa eficazmente si no falla el equipo clave
- Alto consumo de energía. Es una tecnología intensiva en uso de energía, principalmente por la aireación
- Requiere equipo mecanizado y personal capacitado. La complejidad del sistema y sus partes electromecánicas, hace necesario personal con ciertos conocimientos técnicos.
- Produce una gran cantidad de lodo en comparación con los sistemas naturales (entre 3 a 7 l/m³ de agua tratada)

5.4 Análisis comparativo entre humedal experimental y experiencia en Sydney, Australia

El diseño adoptado en esta experiencia corresponde principalmente a estudios realizados en EEUU y Europa, donde han utilizado para proponer el modelo, materiales diferentes a los usados en la presente experiencia de laboratorio (agua residual, medio filtrante, plantas, etc.), bajo condiciones ambientales también distintas. Sin embargo, un análisis de los resultados demuestra que los porcentajes de remoción obtenidos para el humedal experimental son similares a los de experiencias en Sydney, Australia, referida en acápite 3.6.

En la Tabla N° 5.10 se indican los porcentajes de remoción obtenidos por ambas experiencias y se puede observar que para la DBO y los SST éstos son bastante similares. No ocurre lo mismo para el NTK y P, donde las diferencias de remoción son mayores.

Frente a la diferencia en los porcentajes de remoción para los contaminantes NTK y P indicados en la Tabla N° 5.10, es necesario y oportuno hacer la siguiente reflexión. Teóricamente, la remoción del nitrógeno en el humedal está controlada por la densidad y penetración de las raíces y rizomas en el medio filtrante, por lo tanto, si esta condición no se cumple adecuadamente el resultado de la remoción será parcial o insuficiente. Pues bien, para el caso del humedal experimental, las mediciones analizadas corresponden al periodo de inicio del humedal por lo que éste está aun muy joven (no más de 4 meses de edad) de modo que las plantas todavía no poseen la densidad y penetración de sus raíces y rizomas lo suficiente para purificar adecuadamente el afluente, justificando así, la diferencia de remoción con respecto al caso de Sydney.

Por otra parte, la remoción de fósforo en el humedal esta condicionada al contacto del agua residual con el medio filtrante, por lo que, ésta será más eficiente en la medida que el sustrato ocupado tenga una mayor superficie específica. Ahora bien, el medio filtrante ocupado en el humedal experimental (Valparaíso) corresponde a grava, en cambio en Sydney se utilizó arena gruesa lo que proporciona una mayor superficie específica y por ende se obtiene un mejor rendimiento para la remoción de fósforo.

Tabla N° 5.10

Comparación de porcentaje de remoción de contaminantes entre experiencias realizadas en Sydney-Australia y Valparaíso-Chile

Contaminante	EXPERIENCIA SYDNEY AUSTRALIA			EXPERIENCIA VALPARAISO CHILE			Diferencia (%)
	Afluente (mg/l)	Efluente (mg/l)	Remoción (%)	Afluente (mg/l)	Efluente (mg/l)	Remoción (%)	
DBO	33	8	75,6	200	31,7	84,2	8,6
SST	60	7	88,3	14,4	1,9	86,8	1,5
NTK	51	13	74,5	34,4	23,6	31,4	43,1
P	11	6	54,5	3,9	3	23,1	31,4

Finalmente, cabe hacer presente que en la medida que se investigue y estudien las variables físicas y bioquímicas involucradas en el sistema de tratamiento de flujo subsuperficial (caudal, calidad del agua residual, tipo de plantas autóctonas o exóticas, material granular para el medio filtrante, etc), junto con las condiciones ambientales (temperatura, precipitaciones) se puede, en

función de los resultados obtenidos, calibrar el modelo de diseño planteado a la realidad del país, de modo que el proceso de la depuración sea más eficiente y se logre la eficacia deseada para el sistema. Por otra parte, adicionalmente al proceso de purificación del agua, se debe estudiar la posibilidad de obtener un beneficio extra del sistema por medio de la cosecha de las plantas utilizadas en el humedal, potenciando con ello la factibilidad de una actividad económica para la comunidad, con el firme propósito de mejorarle su calidad de vida.

CAPITULO VI CONCLUSIONES Y COMENTARIOS FINALES

6.1 CONCLUSIONES

6.1.1 Conclusiones sobre contaminantes

- El humedal experimental remueve parte importante de los contaminantes considerados en el estudio.
- El efluente obtenido del humedal cumple las exigencias de la normativa (DS N° 90 de 2000 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia de Chile), para su vertido al cuerpo receptor seleccionado (Tabla N° 4.2) a excepción de los coliformes.
- El mayor porcentaje de remoción se logra para los SS con un 86,8 %, luego la DBO₅ con 84,2 %, le sigue el NTK con un 31,4 % y posteriormente el fósforo con un 23,1 %.
- El humedal por si solo, no genera reducción de coliformes fecales (a la fecha de mediciones).
- Con una dosis de cloro doméstico de 3 gotas/litro (solución de cloro con 4% de hipoclorito de sodio p/v), se logró reducir los coliformes de >1600 a < 2 (NMP/100ml).

6.1.2 Conclusiones sobre caudales

- La pérdida de flujo en la celda del humedal corresponde a un 17%. Se estima en 7,7 (l/d/m²).
- La pérdida de caudal en la celda se debe principalmente al consumo de las plantas (99,5 %) y en menor proporción a evaporación (0,5 %). No hay pérdida por filtraciones.

6.1.3 Conclusiones sobre temperatura

- La temperatura del afluente sube cuando entra a la celda del humedal y baja cuando sale de ella.
- La temperatura del agua en la celda del humedal es igual en toda la columna, es decir, es la misma desde la superficie hasta el fondo.
- No se registro en el humedal una temperatura menor a la mínima oficial informada.

6.1.4 Conclusiones sobre precipitaciones

- Las precipitaciones registradas in situ, son un 60% inferior a las informadas oficialmente.
- Por precipitaciones, el caudal de efluente puede aumentar varias veces, consideración que debe tenerse presente en el diseño de las obras de arte aguas abajo. La carga contaminante también puede aumentar.

6.1.5 Conclusiones sobre operación y mantenimiento

- El costo de operación del humedal experimental se ha estimado en 18,2 \$/m³ de agua tratada y el de mantenimiento \$104.000 anual.
- El costo de operación y mantenimiento de los humedales SFS es menor que el de los sistemas de tratamiento por Biodisco o Lodos activados.

6.1.6 Conclusiones generales

- Experimentalmente, usando grava y caña común (arundo donax) en un SFS, se logra reducir la carga contaminante del afluente a valores permitidos por la normativa vigente para su vertido (DS N° 90 de 2000) cumpliéndose la hipótesis planteada.
- Los porcentajes de remoción obtenidos en el humedal experimental, son consistente con otras investigaciones realizadas en Norteamérica.

6.2 COMENTARIOS FINALES

Los porcentajes de remoción alcanzados por el humedal experimental para los diferentes contaminantes son auspiciosos, sin embargo, deben ser considerados como resultados preliminares debido al reducido periodo de evaluación (4 meses) y a la época particular del año en que fueron medidos (enero-mayo), por lo que frente a un periodo de análisis mayor y condiciones climáticas diferentes (verano-invierno), los valores de remoción obtenidos pueden sufrir variaciones.

Por otra parte, las mediciones analizadas corresponden a los primeros 4 meses de vida del humedal, lo que constituye un factor determinante en el rendimiento del sistema, pues, muchos de los procesos de remoción están asociados al crecimiento de las plantas, por lo que en la medida que el humedal alcance su madurez, puede esperarse de él una mayor eficiencia.

El humedal SFS con caña común, frente a los costos de operación y mantenimiento con respecto a los otros sistemas comparados anteriormente (biodiscos o lodos activados), presenta una ventaja comparativa importante a mediano y largo plazo, no obstante lo anterior, adicionalmente ofrece, a diferencia de los otros sistemas de tratamiento, una serie de productos con beneficios económicos para la población ante a la posibilidad de cosechar las cañas usadas en el tratamiento del agua. En el Anexo 6 se indican resultados preliminares de análisis efectuados a la caña común, de donde se puede inferir la potencialidad de atributos que dispone este vegetal: la hoja por ejemplo, posee una cantidad de proteínas (mayor que la carne) que la puede hacer viable para la generación de alimento y la caña propiamente tal, contiene materia prima para la producción de celulosa. Sin duda que la existencia de estas dos propiedades demandan una investigación más profunda sobre el tema.

Si orientamos la aplicación del humedal con caña común como vegetal a la zona norte del país, donde la escasez de agua es evidente y la superficie de terreno disponible, en términos generales,

bondadosa, resulta ser una solución impensada para el tratamiento de las aguas residuales y su reutilización. Mas aún, frente a la dificultad tanto técnica como económica de encontrar materiales en la zona para la construcción de viviendas, sobre todo en las localidades ubicadas al interior del territorio, el humedal ofrece la posibilidad de que una vez cosechada y elaborada la caña, puede ser usada en la construcción y en el equipamiento (muebles) de las casas, con beneficios socioeconómicos insospechados.

Del punto de vista del paisaje, la caña común elegida para el estudio (arundo donax) tiene un potencial crecimiento de hasta 5 m de altura, lo que permite la idea de formar “cañaverales”, donde la población pueda descansar a la sombra de éstos en una tarde asoleada o, alcanzar el relajamiento soñado al observar una laguna con agua cristalina (almacenamiento de las aguas residuales tratadas) al final de un paraje verdoso (cañaveral) inserto en un territorio árido y hostil.

Una última reflexión. En el sur del país se talan bosques para la producción de celulosa con edad mínima de 18-20 años, dejando el suelo al descubierto lo que provoca fuerte impactos ambientales (erosiones por ejemplo) con consecuencias difíciles de solucionar, al menos en el corto y mediano plazo. Pues bien, ante esta problemática se plantea ambiciosamente trasladar los bosques del sur a cañaverales en el norte para la producción de celulosa. Este planteamiento se basa en la idea de los humedales, los que a parte de purificar las aguas residuales, “ofrecen” sus plantas (cañas) para ser cosechadas con este fin. Frente a esto surgen muchas preguntas tales como: ¿el rendimiento de materia prima es equivalente en ambos casos, es decir, la tala de un bosque de 20 años, genera la misma cantidad de materia prima que un cañaveral cosechado anualmente por el mismo periodo?, ¿el deterioro ambiental es el mismo en ambos casos?. Sin duda que responder responsablemente éstas y otras tantas preguntas demanda un estudio profundo y detallado del tema, sin embargo, pensar en cambiar los bosques por cañaverales para la producción de celulosa por ejemplo, puede ser un punto de partida para ayudar a la sustentabilidad del planeta.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguas Residuales: Tratamiento por humedales artificiales. Fundamentos científicos, tecnología y diseño. Seoáñez C.M. Ed. Mundi-prensa.1999.
- Atlas Geográfico. IGM. Ed. por Instituto Geográfico Militar de Chile. 2004.
- Ciencias de la tierra y del medio ambiente. Echarri Luis. Ed.Teide.1998. Libro electrónico.
<http://www.tecnun.es>
- Chile por regiones (cd interactivo). Editorial Zig-Zag. 2004.
- Depuración de aguas residuales urbanas mediante humedales artificiales. Lara B. Jaime. Ed. Libro electrónico. 2000
- Dirección Meteorológica de Chile. Informe de Precipitaciones y Temperaturas
- D.S. N° 90 de 2000 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia. Norma de emisión para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos líquidos a aguas marinas y continentales superficiales.
- El agua potable. Informes Especiales. Cyberclases.net. Internet. 2004.
- Estudio preliminar para la evaluación del impacto ambiental del sistema de centrales hidroeléctricas del alto BíoBío. Informe final 1988. Endesa & Universidad de Concepción. Oscar Parra *et al.*.
- Estudio de los sistemas de tratamiento de aguas servidas domiciliarias en zonas rurales. Tesis de grado para optar al título de Ingeniero Constructor. Pablo Martínez V. 2004.
- Ingeniería de aguas residuales. Tratamiento, Vertido y Reutilización. Metcalf & Eddy. Tercera Edición. Ed. McGRAW-HILL. 1996.
- Ingeniería ambiental. J.Glynn Henry & Gary W. Heinke. Segunda Edición.2002.
- Los desafíos ambientales. Reflexiones y propuestas para un futuro sostenible. María Novo (coordinadora), V. Ruiz, C. Montes, R. Antúnez, A. Sasson, J. Carrera, L. Martín, A. Ruiz-Elvira, J.Ros.. Ed. 2002
- Land & Scapeseries : Waterscapes. El tratamiento de aguas residuales mediante sistemas vegetales. Hélène Izembart & Bertrand Le Boudec. Ed. Gustavo Gili, SA. 2003
- Mar: Salinidad. Libro electrónico. <http://www.mgdl.net>
- Natural systems for waste managment and treatment. Reed S.C, Cristes R.W. & Middlebrooks E.J. 2da Ed.McGraw-Hill, 1995.

- Naturaleza y ciudad. Planificación Urbana y Procesos Ecológicos. Michael Hough. Ed. Gustavo Gili, SA. 1998.
- Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS)
- Tratamiento de aguas residuales. En pequeñas poblaciones. Cristes & Tchobanoglous. Ed. McGraw-Hill 2000.
- Tratamiento anaerobio de residuos. Producción de Biogás. Silvio Montalvo M. & Lorna Guerrero S. Ed. UTFSM. 2003.

ANEXOS

ANEXO 1 BOLETINES DE ANÁLISIS DE AGUA
Facultad de Farmacia. Universidad de Valparaíso

QUI

FAC
Control de Calidad

BOLETÍN DE ANÁLISIS

050112-023

SOLICITANTE : UNIVERSIDAD DE VALPARAÍSO – LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS
ATT. SR. NELSON VALDES M.
DIRECCIÓN : AV. CIRCUNVALACIÓN N° 805, PLAYA ANCHA, VALPARAISO
PRODUCTO : MUESTRA N° 1 FOSA SEPTICA
PROYECTO : HUMEDAL, SISTEMA DE FLUJO SUBSUPERFICIAL
UBICACIÓN : FOSA SEPTICA, LAB. MECANICA DE SUELOS, UNIV. DE VALPARAISO
FECHA MUESTRA: 12-01-2005 / 10:00 HRS
CODIGO : NE
LOTE : NE
FECHA VENCIMIENTO: NE
CONDICIÓN DE RECEPCIÓN : 5 L AGUA EN BIDON PLASTICO
FECHA DE RECEPCIÓN : 12-01-05
FECHA DE REALIZADO EL ENSAYO : 12-27.01.05
REFERENCIA DE DATOS : LIBRO AA -1 P. 138

RESULTADOS :

DBO ₅ : 600,0 mg/L	Ref. Límite máx. según DS. 609: 250 mg/L
Sólidos suspendidos totales: 10,4 mg/L	Ref. Límite máx. según DS. 609: 220 mg/L
Nitrógeno: 24,6 mg/L	
DQO: 39,12 mg/L	
Coliformes Fecales: 17000 NMP/100 mL	
Fósforo : 2,8 mg/L	Ref. Límite máx. según DS. 609: 5 mg/L

Referencia: Tabla N° 1 caracterización de aguas servidas domésticas correspondiente a 100 habitantes D. S. N° 609, 1998.
Norma de Emisión para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos industriales líquidos a sistemas de alcantarillado.


CLAUDIA SANTIBÁÑEZ-SCHILLER
Químico Analista
Lab. Ext. Control de Calidad


Q.F. MARCELA ESCOBAR PEÑA
Director Técnico
Lab. Ext. Control de Calidad

VALPARAÍSO, 27 de enero de 2005.-

MEP/gfe.-

- El presente Boletín de Análisis solamente da fe de la muestra recibida y analizada.
- Parte de este Boletín de Análisis no podrá ser reproducido, excepto en su totalidad, sin permiso por escrito de Laboratorio Externo de Control de Calidad, QUIFAC.
- Los resultados obtenidos en el presente Boletín de Análisis no certifican que el producto analizado corresponde a un producto USP.

FACULTAD DE FARMACIA - UNIVERSIDAD DE VALPARAISO

AV. GRAN BRETAÑA 1093 - PLAYA ANCHA - FONO: 32-508120 - FAX: 32508132 - e-mail: marcela.escobar@uv.cl - VALPARAISO

SOLICITANTE : UNIVERSIDAD DE VALPARAÍSO – LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS
ATT. SR. NELSON VALDES M.
DIRECCIÓN : AV. CIRCUNVALACIÓN N° 805, PLAYA ANCHA, VALPARAISO
PRODUCTO : MUESTRA 1 AFLUENTE
PROYECTO : HUMEDAL, SISTEMA DE FLUJO SUBSUPERFICIAL (SFS)
UBICACIÓN : AFLUENTE SFS UBICADO EN PATIO LAB. MECANICA DE SUELOS, UNIV. DE VALPARAISO
FECHA MUESTRA: 22-02-2005 / 11:00 HRS
CODIGO : NE
LOTE : NE
FECHA VENCIMIENTO: NE
CONDICIÓN DE RECEPCIÓN : 4.5 L AGUA EN 2 BOTELLAS PLASTICO Y 1 BOTELLA VIDRIO
FECHA DE RECEPCIÓN : 22-02-05
FECHA DE REALIZADO EL ENSAYO : 22.02-07.03.05
REFERENCIA DE DATOS : LIBRO AA -1 P. 153

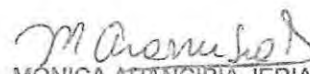
RESULTADOS :

DBO ₅ : 50 mg/L	Ref. Límite máx. según DS. 609: 250 mg/L
Sólidos suspendidos totales: 9,6 mg/L	Ref. Límite máx. según DS. 609: 220 mg/L
Nitrógeno: 21,0 mg/L	
DQO: 26,18 mg/L	
Coliformes Fecales: > 1600 NMP/100 mL	
Fósforo : 2,1 mg/L	Ref. Límite máx. según DS. 609: 5 mg/L

Referencia: Tabla N° 1 caracterización de aguas servidas domésticas correspondiente a 100 habitantes D. S. N° 609, 1998.
Norma de Emisión para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos industriales líquidos a sistemas de alcantarillado.


CLAUDIA SANTIBÁÑEZ SCHILLER
Químico Analista
Lab. Ext. Control de Calidad


Q.F. MARCELA ESCOBAR PEÑA
Director Técnico
Lab. Ext. Control de Calidad


MÓNICA ARANCIBIA JERIAS
Químico Analista
Lab. Ext. Control de Calidad

VALPARAÍSO, 08 de Marzo de 2005.-

MEP/gfe.-

- El presente Boletín de Análisis solamente da fe de la muestra recibida y analizada.
- Parte de este Boletín de Análisis no podrá ser reproducido, excepto en su totalidad, sin permiso por escrito de Laboratorio Externo de Control de Calidad, QUIFAC.
- Los resultados obtenidos en el presente Boletín de Análisis no certifican que el producto analizado corresponde a un producto USP.

SOLICITANTE : UNIVERSIDAD DE VALPARAÍSO – LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS
ATT. SR. NELSON VALDES M.
DIRECCIÓN : AV. CIRCUNVALACIÓN N° 805, PLAYA ANCHA, VALPARAISO
PRODUCTO : MUESTRA 1 EFLUENTE
PROYECTO : HUMEDAL, SISTEMA DE FLUJO SUBSUPERFICIAL (SFS)
UBICACIÓN : EFLUENTE SFS UBICADO EN PATIO LABORATORIO MECANICA DE SUELOS, UNIV. DE VALPARAISO
FECHA MUESTRA: 28-02-2005 / 11:00 HRS
CODIGO : NE
LOTE : NE
FECHA VENCIMIENTO: NE
CONDICIÓN DE RECEPCIÓN : 4.5 L AGUA EN 2 BOTELLAS PLASTICO Y 1 BOTELLA VIDRIO
FECHA DE RECEPCIÓN : 28-02-05
FECHA DE REALIZADO EL ENSAYO : 28.02-15.03.05
REFERENCIA DE DATOS : LIBRO AA -1 P. 161

RESULTADOS :

DBO ₅ : 35 mg/L	Ref. Límite máx. según DS. 609: 250 mg/L
Sólidos suspendidos totales: 0,8 mg/L	Ref. Límite máx. según DS. 609: 220 mg/L
Nitrógeno: 14,7 mg/L	
Fósforo : 1,2 mg/L	Ref. Límite máx. según DS. 609: 5 mg/L
DQO: < 1 mg/L	
Coliformes Fecales: > 1600 NMP/100 mL	

Referencia: Tabla N° 1 caracterización de aguas servidas domésticas correspondiente a 100 habitantes D. S. N° 609, 1998.
Norma de Emisión para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos industriales líquidos a sistemas de alcantarillado.


CLAUDIA SANTIBÁÑEZ SCHILLER
Químico Analista
Lab. Ext. Control de Calidad


Q.F. MARCELA ESCOBAR PEÑA
Director Técnico
Lab. Ext. Control de Calidad

VALPARAÍSO, 15 de Marzo de 2005.-

MEP/gfe.-

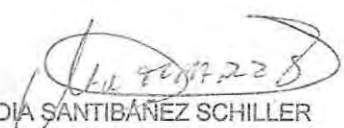
- El presente Boletín de Análisis solamente da fe de la muestra recibida y analizada.
- Parte de este Boletín de Análisis no podrá ser reproducido, excepto en su totalidad, sin permiso por escrito de Laboratorio Externo de Control de Calidad, QUIFAC.
- Los resultados obtenidos en el presente Boletín de Análisis no certifican que el producto analizado corresponde a un producto USP.

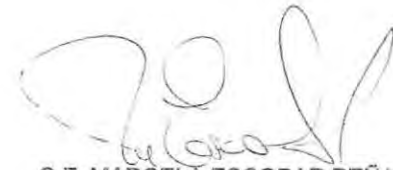
SOLICITANTE : UNIVERSIDAD DE VALPARAÍSO – LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS
ATT. SR. NELSON VALDES M.
DIRECCIÓN : AV. CIRCUNVALACIÓN N° 805, PLAYA ANCHA, VALPARAISO
PRODUCTO : AFLUENTE N° 2
PROYECTO : HUMEDAL, SISTEMA DE FLUJO SUBSUPERFICIAL (SFS)
UBICACIÓN : AFLUENTE SFS UBICADO EN PATIO LAB. MECANICA DE SUELOS, UNIV. DE VALPARAISO
FECHA MUESTRA: 24-03-2005 / 11:00 HRS
CODIGO : NE
LOTE : NE
FECHA VENCIMIENTO: NE
CONDICIÓN DE RECEPCIÓN : 4.5 L AGUA EN 2 BOTELLAS PLASTICO Y 1 BOTELLA VIDRIO
FECHA DE RECEPCIÓN : 24-03-05
FECHA DE REALIZADO EL ENSAYO : 24.03-08.04.05
REFERENCIA DE DATOS : LIBRO AA -1 P. 183

RESULTADOS :

DBO ₅ : 200 mg/L	Ref. Límite máx. según DS. 609: 250 mg/L
Sólidos suspendidos totales: 10,2 mg/L	Ref. Límite máx. según DS. 609: 220 mg/L
Fósforo : 3,7 mg/L	Ref. Límite máx. según DS. 609: 5 mg/L
DQO: 25,96 mg/L	
Coliformes Fecales: > 1600 NMP/100 mL	
Nitrógeno: 37,9 mg/L	

Referencia: Tabla N° 1 caracterización de aguas servidas domésticas correspondiente a 100 habitantes D. S. N° 609, 1998.
Norma de Emisión para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos industriales líquidos a sistemas de alcantarillado.


CLAUDIA SANTIBAÑEZ SCHILLER
Químico Analista
Lab. Ext. Control de Calidad


Q.F. MARCELA ESCOBAR PEÑA
Director Técnico
Lab. Ext. Control de Calidad

VALPARAÍSO, 08 de abril de 2005.-

MEP/gfe.-

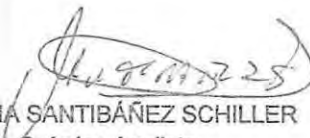
- El presente Boletín de Análisis solamente da fe de la muestra recibida y analizada.
- Parte de este Boletín de Análisis no podrá ser reproducido, excepto en su totalidad, sin permiso por escrito de Laboratorio Externo de Control de Calidad, QUIFAC.
- Los resultados obtenidos en el presente Boletín de Análisis no certifican que el producto analizado corresponde a un producto USP.

SOLICITANTE : UNIVERSIDAD DE VALPARAÍSO – LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS
ATT. SR. NELSON VALDES M.
DIRECCIÓN : AV. CIRCUNVALACIÓN Nº 805, PLAYA ANCHA, VALPARAISO
PRODUCTO : EFLUENTE Nº 2
PROYECTO : HUMEDAL, SISTEMA DE FLUJO SUBSUPERFICIAL (SFS)
UBICACIÓN : EFLUENTE SFS UBICADO EN PATIO LAB. MECANICA DE SUELOS, UNIV. DE VALPARAISO
FECHA MUESTRA: 29-03-2005 / 11:00 HRS
CODIGO : NE
LOTE : NE
FECHA VENCIMIENTO: NE
CONDICIÓN DE RECEPCIÓN : 4.5 L AGUA EN 2 BOTELLAS PLASTICO Y 1 BOTELLA VIDRIO
FECHA DE RECEPCIÓN : 29-03-05
FECHA DE REALIZADO EL ENSAYO : 24.03-08.04.05
REFERENCIA DE DATOS : LIBRO AA -1 P. 183

RESULTADOS :

DBO ₅ : 20 mg/L	Ref. Límite máx. según DS. 609: 250 mg/L
Sólidos suspendidos totales: 4,4 mg/L	Ref. Límite máx. según DS. 609: 220 mg/L
Fósforo : 2,9 mg/L	Ref. Límite máx. según DS. 609: 5 mg/L
DQO: 8,05 mg/L	
Coliformes Fecales: > 1600 NMP/100 mL	
Nitrógeno: 22,7 mg/L	

Referencia: Tabla Nº 1 caracterización de aguas servidas domésticas correspondiente a 100 habitantes D. S. Nº 609, 1998.
Norma de Emisión para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos industriales líquidos a sistemas de alcantarillado.


CLAUDIA SANTIBÁÑEZ SCHILLER
Químico Analista
Lab. Ext. Control de Calidad


Q.F. MARCELA ESCOBAR PEÑA
Director Técnico
Lab. Ext. Control de Calidad

VALPARAÍSO, 11 de abril de 2005.-

MEP/gfe.-

- El presente Boletín de Análisis solamente da fe de la muestra recibida y analizada.
- Parte de este Boletín de Análisis no podrá ser reproducido, excepto en su totalidad, sin permiso por escrito de Laboratorio Externo de Control de Calidad, QUIFAC.
- Los resultados obtenidos en el presente Boletín de Análisis no certifican que el producto analizado corresponde a un producto USP.

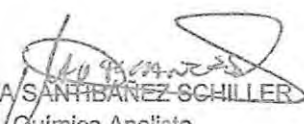
SOLICITANTE : UNIVERSIDAD DE VALPARAÍSO – LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS
ATT. SR. NELSON VALDES M.
DIRECCIÓN : AV. CIRCUNVALACIÓN N° 805, PLAYA ANCHA, VALPARAISO
PRODUCTO : AFLUENTE N° 3
PROYECTO : HUMEDAL, SISTEMA DE FLUJO SUBSUPERFICIAL (SFS)
UBICACIÓN : AFLUENTE SFS UBICADO EN PATIO LAB. MECANICA DE SUELOS, UNIV. DE VALPARAISO
FECHA MUESTRA: 27-04-2005 / 11:00 HRS
CODIGO : NE
LOTE : NE
FECHA VENCIMIENTO: NE
CONDICIÓN DE RECEPCIÓN : 4.5 L AGUA EN 2 BOTELLAS PLASTICO Y 1 BOTELLA VIDRIO
FECHA DE RECEPCIÓN : 27-04-05
FECHA DE REALIZADO EL ENSAYO : 27.04-12.05.05
REFERENCIA DE DATOS : LIBRO AA -1 P. 209

RESULTADOS :

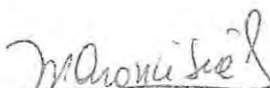
DBOs: 350 mg/L
Sólidos suspendidos totales: 23,4 mg/L
Fósforo : 6,0 mg/L
pH: 7,38
Coliformes Fecales: > 1600 NMP/100 mL
Nitrógeno: 44,4 mg/L

Ref. Limite máx. según DS. 609: 250 mg/L
Ref. Limite máx. según DS. 609: 220 mg/L
Ref. Limite máx. según DS. 609: 5 mg/L

Referencia: Tabla N° 1 caracterización de aguas servidas domésticas correspondiente a 100 habitantes D. S. N° 609, 1998.
Norma de Emisión para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos industriales líquidos a sistemas de alcantarillado.


CLAUDIA SANTIBÁÑEZ SCHILLER
Químico Analista
Lab. Ext. Control de Calidad


Q.F. MARCELA ESCOBAR PEÑA
Director Técnico
Lab. Ext. Control de Calidad


MONICA ARANCIBIA JERIAS
Químico Analista
Lab. Ext. Control de Calidad

VALPARAÍSO, 13 de Mayo de 2005.-

MEP/gfe.-

- El presente Boletín de Análisis solamente da fe de la muestra recibida y analizada.
- Parte de este Boletín de Análisis no podrá ser reproducido, excepto en su totalidad, sin permiso por escrito de Laboratorio Externo de Control de Calidad, QUIFAC.
- Los resultados obtenidos en el presente Boletín de Análisis no certifican que el producto analizado corresponde a un producto USP.

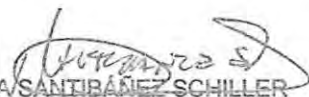
SOLICITANTE : UNIVERSIDAD DE VALPARAÍSO – LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS
ATT. SR. NELSON VALDES M.
DIRECCIÓN : AV. CIRCUNVALACIÓN Nº 805, PLAYA ANCHA, VALPARAISO
PRODUCTO : EFLUENTE Nº 3
PROYECTO : HUMEDAL, SISTEMA DE FLUJO SUBSUPERFICIAL (SFS)
UBICACIÓN : EFLUENTE SFS UBICADO EN PATIO LAB. MECANICA DE SUELOS, UNIV. DE VALPARAISO
FECHA MUESTRA: 03-05-2005 / 11:00 HRS
CODIGO : NE
LOTE : NE
FECHA VENCIMIENTO: NE
CONDICIÓN DE RECEPCIÓN : 4.5 L AGUA EN 2 BOTELLAS PLASTICO Y 1 BOTELLA VIDRIO
FECHA DE RECEPCIÓN : 03-05-05
FECHA DE REALIZADO EL ENSAYO : 03-12.05.05
REFERENCIA DE DATOS : LIBRO AA -1 P. 211

RESULTADOS :

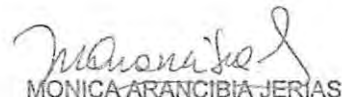
DBO₅: 40 mg/L
Sólidos suspendidos totales: 0,36 mg/L
Fósforo : 4,9 mg/L
pH: 7,71
Coliformes Fecales: > 1600 NMP/100 mL
Nitrógeno: 33,4 mg/L

Ref. Límite máx. según DS. 609: 250 mg/L
Ref. Límite máx. según DS. 609: 220 mg/L
Ref. Límite máx. según DS. 609: 5 mg/L

Referencia: Tabla Nº 1 caracterización de aguas servidas domésticas correspondiente a 100 habitantes D. S. Nº 609, 1998.
Norma de Emisión para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos industriales líquidos a sistemas de alcantarillado.


CLAUDIA SANTIBÁÑEZ SCHILLER
Químico Analista
Lab. Ext. Control de Calidad


Q.F. MARCELA ESCOBAR PEÑA
Director Técnico
Lab. Ext. Control de Calidad


MONICA ARANCIBIA-JERIAS
Químico Analista
Lab. Ext. Control de Calidad

VALPARAÍSO, 13 de Mayo de 2005.-

MEP/gfe.-

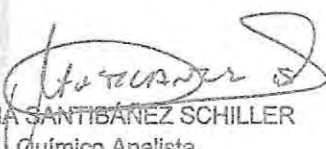
- El presente Boletín de Análisis solamente da fe de la muestra recibida y analizada.
- Parte de este Boletín de Análisis no podrá ser reproducido, excepto en su totalidad, sin permiso por escrito de Laboratorio Externo de Control de Calidad, QUIFAC.
- Los resultados obtenidos en el presente Boletín de Análisis no certifican que el producto analizado corresponda a un producto USP.

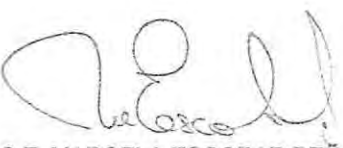
SOLICITANTE : UNIVERSIDAD DE VALPARAÍSO – LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS
ATT. SR. NELSON VALDES M.
DIRECCIÓN : AV. CIRCUNVALACIÓN N° 805, PLAYA ANCHA, VALPARAISO
PRODUCTO : EFLUENTE N° 3' (EFLUENTE OBTENIDO DESPUES DE FILTRO DE ARENA)
PROYECTO : HUMEDAL, SISTEMA DE FLUJO SUBSUPERFICIAL (SFS)
UBICACIÓN : EFLUENTE SFS UBICADO EN PATIO LAB. MECANICA DE SUELOS, UNIV. DE VALPARAISO
FECHA MUESTRA: 03-05-05
CODIGO : NE
LOTE : NE
FECHA VENCIMIENTO: NE
CONDICIÓN DE RECEPCIÓN : 4.5 L AGUA EN 2 BOTELLAS PLASTICO Y 1 BOTELLA VIDRIO
FECHA DE RECEPCIÓN : 03-05-05
FECHA DE REALIZADO EL ENSAYO : 03-12.05.05
REFERENCIA DE DATOS : LIBRO AA -1 P. 213

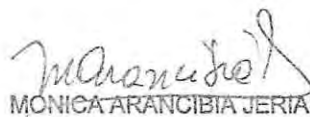
RESULTADOS :

DBO ₅ : 10,0 mg/L	Ref. Límite máx. según DS. 609: 250 mg/L
Sólidos suspendidos totales: No detectados	Ref. Límite máx. según DS. 609: 220 mg/L
Fósforo : 3,6 mg/L	Ref. Límite máx. según DS. 609: 5 mg/L
pH: 7,89	
Coliformes Fecales: > 1600 NMP/100 mL	
Nitrógeno: 31,7 mg/L	

Referencia: Tabla N° 1 caracterización de aguas servidas domésticas correspondiente a 100 habitantes D. S. N° 609, 1998.
Norma de Emisión para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos industriales líquidos a sistemas de alcantarillado.


CLAUDIA SANTIBÁÑEZ SCHILLER
Químico Analista
Lab. Ext. Control de Calidad


Q.F. MARCELA ESCOBAR PEÑA
Director Técnico
Lab. Ext. Control de Calidad


MONICA ARANCIBIA JERIAS
Químico Analista
Lab. Ext. Control de Calidad

VALPARAÍSO, 13 de Mayo de 2005.-

MEP/gfe.-

- El presente Boletín de Análisis solamente da fe de la muestra recibida y analizada.
- Parte de este Boletín de Análisis no podrá ser reproducido, excepto en su totalidad, sin permiso por escrito de Laboratorio Externo de Control de Calidad, QUIFAC.
- Los resultados obtenidos en el presente Boletín de Análisis no certifican que el producto analizado corresponde a un producto USP.

**ANEXO 2 DS N° 90 DE 2000 DEL MINISTERIO SECRETARÍA GENERAL
DE LA PRESIDENCIA. (DO 07.03.2001)**

Compendio:

Norma de emisión para la regulación de contaminantes asociados a la
descarga de residuos líquidos a aguas marinas y continentales superficiales

**ANEXO 2 DS N° 90 DE 2000 DEL MINISTERIO SECRETARIA GENERAL DE
LA PRESIDENCIA (DO 07.03.2001)**

Compendio:

Norma de emisión para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos líquidos a aguas marinas y continentales superficiales.

LÍMITES MÁXIMOS DS N° 90 de 2000

	DBO (mg/l)	SST (mg/l)	NTK (mg/l)	P (mg/l)	pH	COLIFORMES (NMP/100ml)	DESCARGA A:
TABLA N° 1	35	80	50	10	6,0 a 8,5	1000	Cuerpos de agua fluviales o cuerpos lacustres de naturaleza artificial
TABLA N° 2	300	300	75	15	6,0 a 8,5	1000	Cuerpo de agua fluviales considerando dilución del receptor $C = T_1 (1 + d)$; $T_1 = TABLA\ 1$; $d = C_R / C_e$ C_R : caudal disponible del cuerpo receptor C_e : caudal medio mensual del efluente vertido
TABLA N° 3	35	80	10	2	6,0 a 8,5	1000 – 70**	Cuerpo de agua lacustre naturales (lagos, lagunas) directa o efluente que van a parar a lagos o lagunas
TABLA N° 4	60	100	50	5	6,0 a 9,0	1000 – 70**	Cuerpo de aguas marinas dentro de la zona de protección Litoral. Zona de protección : $A = 1,6 (1,28 H_b) / m$ H_b : altura media de la rompiente (m) m: pendiente del fondo A : ancho de la zona (m)
TABLA N° 5	-	700 (300)*	-	-	5,5 a 9,0	-	Cuerpo de agua fuera de la zona de protección litoral.

Observación: esta tabla corresponde solo a un compendio del DS N°90.

(300)* a partir del 10° año de vigencia del presente decreto

(70)** en áreas aptas para la acuicultura y áreas de manejo y explotación de recursos bentónicos

ANEXO 3 REGISTRO DE PRECIPITACIONES PARA VALPARAISO

Periodo 1978 - 2002

Dirección Meteorológica de Chile

[illegible]

ANO 1984	DIA																														
MES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
ENERO																															
FEBRERO																															
MARZO																															
ABRIL																0,5															8,1
MAYO					9,5																										
JUNIO		1,4									6,1							3,0	10,0		1,5	24,8			25,5	17,5		16,4			
JULIO	19,5	35,0	10,1	30,8	75,6	11,4	14,5	39,4	84,9	13,8	51,0	7,1			14,4	0,4															0,4
AGOSTO											8,9	32,5						2,8	6,2												
SEPTIEMBRE														7,0				43,8	2,7	1,6		4,5	3,6								
OCTUBRE																														16,6	
NOVIEMBRE																															
DICIEMBRE																											0,3				

[illegible]

ANO 1999	DIA																															
MES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
ENERO																																
FEBRERO																																
MARZO																																
ABRIL																																
MAYO																16,0		25,0	19,0		57,4	5,8		18,9				57,4	50,9	6,2		
JUNIO				15,2						46,0			1,1	11	1,1	7,7	6,9							6,2								
JULIO																																
AGOSTO																						48,1	25,9									
SEPTIEMBRE																				0,2												
OCTUBRE																																
NOVIEMBRE																																
DICIEMBRE																								0,4			30	28,2				

[illegible][illegible][illegible]

[illegible]

ANO 1991	DIA																														
MES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
ENERO																															
FEBRERO																															
MARZO																															
ABRIL												0,1	9,3	3,8			1,6		1,4												
MAYO																	0,8	10,8	1,8								5,8	80,7	19,8	0,7	
JUNIO			31,8	39,9	6,3												19,2	47,4	25,3	60,5											
JULIO								6,2	3,7								40,8		22,3	35,1									1,0	11,0	8,2
AGOSTO							14,0	6,2																							
SEPTIEMBRE	1,2				0,4											26,1	22,9														
OCTUBRE														17,4																	
NOVIEMBRE																															
DICIEMBRE											2,4																18,5				

[illegible][illegible][illegible][illegible]

ANO 1996	DIA																															
MES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
ENERO																																
FEBRERO																																
MARÇO																							1.0	0.3								
ABRIL				7.4	0.7																											
MAYO															19.0	0.6																
JUNIO											2.8	33.0	6.8		2.6																	
JULIO	0.6		9.9	16.4	0.4	45.6	28.9																				0.3			0.2		
AGOSTO				5.3	19.6																				9.8							
SEPTIEMBRE																			0.1													
OCTUBRE			1.0								0.5							0.7														
NOVIEMBRE					0.5																											
DICIEMBRE								1.5																								

ANO 1997	DIA																														
MES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
ENERO																															
FEBRERO																															
MARZO		0.3				0.9				0.5																			0.3		
ABRIL															0.7			0.4				0.1	3.0								
MAYO																26.3				4.8								51.7	50.6		
JUNIO			43.6							15.3	65.3	15.1	1.7	3.7				0.6	51.6	20.4	22.4	53.1	4.0								
JULIO	0.2						0.5																						39.8	0.6	
AGOSTO																11.9	65.4	49.7	19.3												0.3
SEPTIEMBRE	37.9	4.0			3.0	25.3												7.9	5.8								1.4				
OCTUBRE	14.4	6.0	1.3								1.0		25.5																		
NOVIEMBRE											9.0	0.8																			
DICIEMBRE																															

ANO 1998	DIA																														
MES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
ENERO																															
FEBRERO																															
MARZO		0.5									11.3	5.9	1.1																		
ABRIL												1.0	1.2	2.1										5.8					0.7		
MAYO					1.4	33.8																		5.8							
JUNIO																															
JULIO																															
AGOSTO																															
SEPTIEMBRE												15.5	2.8																		
OCTUBRE																															
NOVIEMBRE																															
DICIEMBRE																															

ANO 1999	DIA																															
MES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
ENERO																																
FEBRERO												0.4	0.1					0.1														
MARZO								2.1						7.6	0.5																	
ABRIL		1.1																								0.6	0.2					
MAYO				0.5																									25.4	1.1		
JUNIO																													3.2	36.3		
JULIO	10.8															0.5		3.1				2.5								18.3		
AGOSTO						4.0														0.1	1.0	35.1								15.1	6.8	
SEPTIEMBRE	0.1	0.1				27.5	13.9	30.0	43.4	0.2				22.5																		
OCTUBRE																																
NOVIEMBRE																																
DICIEMBRE																																

ANO 2000	DIA																															
MES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
ENERO																																
FEBRERO													2.0	3.4									0.4									
MARZO																																
ABRIL															2.6	2.0																
MAYO	0.8														0.3	0.4										16.7						
JUNIO					0.2										45.8	64.4	9.9	1.0				5.2	15.3		0.3	75.4	11.3		26.2	28.0	24.8	22.7
JULIO	23.4						5.3				0.7	1.4										0.3										
AGOSTO															1.6										0.6	4.4						
SEPTIEMBRE										0.5	55.2	8.2		2.6	0.5							34.5	9.9									
OCTUBRE			0.4	0.1																			0.3				2.8					
NOVIEMBRE																																
DICIEMBRE																															0.1	

ANO 2001	DIA																																
MES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31		
ENERO																																	
FEBRERO																					0.3					0.4							
MARZO																																	
ABRIL																																	
MAYO						0.6	0.6		0.1					0.5	3.3	20.2	26.0	0.2						12.5		1.0	0.1			0.6	3.4	2.7	0.1
JUNIO											0.1				4.0																		
JULIO	0.6								1.0	39.0					7.0		11.0	25.9	22.0	6.0										6.0	191.0	17.0	
AGOSTO						2.0						0.2	0.1														52.0	0.4		4.0	0.1		
SEPTIEMBRE																																	
OCTUBRE																																	
NOVIEMBRE																																	
DICIEMBRE																																	

[illegible]

**ANEXO 4 REGISTRO DE CAUDALES, TEMPERATURAS Y
PRECIPITACIONES EN HUMEDAL EXPERIMENTAL**

ANEXO 4

REGISTRO DE CAUDALES, TEMPERATURAS Y PRECIPITACIONES EN HUMEDAL EXPERIMENTAL

4.1 Mediciones de caudales

Tabla N° 4.1
Registro de caudales humedal SFS grava – caña común
Mes de Enero

DETERMINACIÓN			CAUDALES (cm ³ /min)					
N°	FECHA	HORA	AFLUENTE			EFLUENTE		
			Vol (cm ³)	t (min)	Q _o (cm ³ /min)	Vol (cm ³)	t (min)	Q _e (cm ³ /min)
1	06.01.05	9:45				870	29	30,0
2	07.01.05	10:10				860	23	37,4
3		11:25				1020	33	30,9
4		16:20	980	20	49			
5		17:00	960	20	48			
6	08.01.05	9:26				915	26	35,2
7	(*)	13:00				950	27	35,2
8	17.01.05	9:45				890	23	38,7
9	18.01.05	10:08				645	20	32,3
10		10:30				865	25	34,6
11	19.01.05	9:20				890	22	40,5
12	20.01.05	14:50				880	21	41,9
13	21.01.05	9:30				980	28	35,0
14		10:00	890	20	44,5			
15		10:40	850	19	44,7			
16		11:30	950	22	43,2			
17	22.01.05	12:20				785	21	37,4
18		13:00				820	23	35,7
19	24.01.05	9:50				835	20	41,7
20	25.01.05	9:30	1010	22	45,9			
21		10:20	955	23	41,5			
22		10:50	980	23	42,6			
23	26.01.05	9:55				900	30	30,0
24		10:30				890	30	29,7
25	27.01.05	10:10				900	23	39,1
26		10:45				895	23	38,9
27	28.01.05	9:40				905	26	34,8
28	29.01.05	10:15				985	24	41,0
29		12:00				880	23	38,3
30	31.01.05	9:40				860	22	39,1
31		12:00				925	23	40,2
			Promedio:		Q _o = 43,7	Promedio:		Q _e = 37,2

(*) Las mediciones realizadas antes del día 17 corresponden al "humedal" sin grava y sin plantas, no considerados para el promedio.

Tabla N° 4.2
Registro de caudales humedal SFS grava – caña común
Mes de Febrero

DETERMINACIÓN			CAUDALES (cm ³ /min)						Columna agua
Nº	FECHA	HORA	AFLUENTE			EFLUENTE			
			Vol (cm ³)	t (min)	Q _a (cm ³ /min)	Vol (cm ³)	t (min)	Q _e (cm ³ /min)	H (m)
1	01.02.05	15:35				885	19	46,6	s/i
2		15:55				895	19	47,1	s/i
3		16:15				890	21	42,4	s/i
4	02.02.05	9:35				975	25	39,0	s/i
5		10:05				890	23	38,7	s/i
6		10:30				875	25	35,0	s/i
7	03.02.05	9:45				850	26	32,7	s/i
8		10:10				955	29	32,9	s/i
9	04.02.05	10:05				1015	23	44,1	s/i
10	05.02.05	10:30				840	24	35,0	s/i
11	07.02.05	10:45				970	23	36,5	s/i
12	08.02.05	10:15				830	19	43,7	s/i
13	09.02.05	10:10				780	22	35,4	s/i
14	10.02.05	10:50				880	19	46,3	s/i
15	11.02.05	10:05				930	24	38,7	s/i
16	12.02.05	9:50				1070	21	50,9	1,27
17	14.02.05	10:20				855	21	40,7	0,86
18		11:10				810	29	40,5	0,86
19	15.02.05	9:40				1060	20	53,0	1,28
20		10:05				840	16	52,5	1,28
21		11:30	820	15	54,7				1,28
22		12:00	820	15	54,7				1,27
23		12:20	815	15	54,3				1,27
24	16.02.05	10:20				1000	24	41,7	0,88
25		10:50				960	22	43,6	1,04
26	17.02.05	9:45				880	26	33,8	0,57
27	18.02.05	10:50				760	15	50,7	1,25
28		11:10				810	16	50,6	1,25
29		11:25				910	18	50,6	1,20
30	19.02.05	10:35				935	22	42,5	0,92
31		11:00				900	21	42,9	0,92
32	21.02.05	10:10				920	26	35,4	0,70
33		11:20				780	21	37,1	0,70
34	22.02.05	10:50				885	22	40,2	0,85
35		13:00				815	15	54,3	1,27
36	23.02.05	10:45				845	19	44,5	1,02
37	24.02.05	10:30				870	22	39,5	0,84
38		10:55				865	22	39,3	0,80
39		13:30				920	25	36,8	0,75
40	25.02.05	9:30				965	21	45,9	1,05
41		11:10				890	23	38,7	0,80
42		11:40				905	24	37,7	0,73

s/i : sin información

Continuación Tabla N° 4.2
Registro de caudales humedal SFS grava – caña común
Mes de Febrero

DETERMINACIÓN			CAUDALES (cm ³ /min)						Columna agua
			AFLUENTE			EFLUENTE			
Nº	FECHA	HORA	Vol (cm ³)	t (min)	Q _a (cm ³ /min)	Vol (cm ³)	t (min)	Q _e (cm ³ /min)	H (m)
43	26.02.05	10:10				910	24	37,9	0,76
44		10:35				810	22	36,8	0,70
45	28.02.05	10:30				780	23	33,9	0.60
46		11:00				760	23	33.0	0,58
47		12:00	845	23	36,7				0,60
48		12:30	840	23	36,5				0,60
			Promedio: Q _a = 47,4			Promedio: Q _e = 41,4			

Tabla N° 4.3
Registro de caudales humedal SFS grava – caña común
Mes de Marzo

DETERMINACIÓN			CAUDALES (cm ³ /min)						Columna agua
Nº	FECHA	HORA	AFLUENTE			EFLUENTE			
			Vol (cm ³)	t (min)	Q _a (cm ³ /min)	Vol (cm ³)	t (min)	Q _e (cm ³ /min)	H (m)
1	01.03.05	9:00				840	19	44,2	1,02
2	02.03.05	9:50				860	22	39,1	0,83
3		10:15				790	20	39,5	0,83
4		16:30				870	24	36,3	0,70
5	03.03.05	10:10				885	19	46,6	1,09
6	04.03.05	9:40				920	23	40,0	0,86
7	05.03.05	9:30				730	22	33,2	0,59
8						725	22	32,9	0,58
9		10:30	795	22	36,1				0,63
10		11:20	920	20	46,0				1,0
11		12:05	910	17	53,5				1,28
12	07.03.05	9:15				745	23	32,4	0,83
13		11:10				730	25	29,2	0,72
14	08.03.05	9:39				630	24	26,3	0,60
15		9:55				790	20	26,3	0,60
16	09.03.05	10:05				865	22	39,3	1,10
17	10.03.05	9:40				830	24	34,6	0,90
18		11:30				720	22	32,7	0,87
19	11.03.05	9:10				785	27	29,1	0,70
20		10:35				570	20	28,5	0,67
21	12.03.05	9:40	585	20	29,3				0,64
22		10:25	650	20	32,5				0,75
23		11:10	715	20	35,8				0,85
24		12:00	760	20	38,0				0,95
25		12:45	810	20	40,5				1,05
26		13:30	860	20	43,0				1,15
27		14:15	915	20	45,8				1,25
28	14.03.05	9:20				485	20	24,3	0,84
29		9:50				520	21	24,8	0,84
30	15.03.05	9:15				570	20	28,5	0,96
31	16.03.05	10:00				550	15	36,7	1,30
32						720	20	36,0	1,29
33	17.03.05	9:20				615	20	30,8	1,06
34		9:40				595	20	29,8	1,06
35	18.03.05	9:45				500	20	25,0	0,85
36		10:35	540	15	36,0				0,82
37		10:55	620	15	41,3				1,02
38		11:15	690	15	46,0				1,22
39		11:40	735	15	49,0				1,30
40	19.03.05	9:30				530	15	35,3	1,07
41						560	15	37,3	1,07
42	21.03.05	9:00				570	21	27,1	0,70



Continuación Tabla N° 4.3
Registro de caudales humedal SFS grava – caña común
Mes de Marzo

DETERMINACIÓN			CAUDALES (cm ³ /min)						Columna agua
			AFLUENTE			EFLUENTE			
Nº	FECHA	HORA	Vol (cm ³)	t (min)	Q _o (cm ³ /min)	Vol (cm ³)	t (min)	Q _e (cm ³ /min)	H (m)
43	22.03.05	9:05				755	22	34,3	1,02
44	23.03.05	9:00				620	20	31,0	0,86
45		9:30				630	20	31,5	0,86
46	24.03.05	15:30	675	13	51,9				1,23
47		15:45	675	13	51,9				1,22
48	26.03.05	9:45				800	22	36,4	0,71
49	28.03.05					785	20	39,3	0,83
50						780	20	39,0	0,83
51	29.03.05	8:10				840	20	42,0	1,08
52		9:00				895	22	40,7	1,07
53	30.03.05	9:20				710	20	35,5	0,84
54	31.03.05	9:10				605	15	40,3	1,04
			Promedio: Q _o = 42,3			Promedio: Q _e = 34,1			

Tabla N° 4.4
Registro de caudales humedal SFS grava – caña común
Mes de Abril

DETERMINACIÓN			CAUDALES (cm ³ /min)						Columna agua
N°	FECHA	HORA	AFLUENTE			EFLUENTE			H (m)
			Vol (cm ³)	t (min)	Q _a (cm ³ /min)	Vol (cm ³)	t (min)	Q _e (cm ³ /min)	
1	01.04.05	9:00				760	20	38,0	0,81
2	02.04.05	8:45				740	24	30,8	0,61
3		10:40				690	15	46,0	1,28
4	04.04.05	9:35				755	20	37,8	0,81
5	05.04.05	9:25				640	20	32,0	0,61
6	06.04.05	8:55				825	20	41,3	1,04
7	07.04.05	9:00				730	20	36,5	0,81
8	08.04.05	9:05				605	20	30,3	0,62
9	09.04.05	9:30				815	20	40,8	1,04
10	11.04.05	9:10				620	20	31,0	0,64
11	12.04.05	10:00				800	20	40,0	1,03
12	13.04.05	9:10				710	20	35,5	0,82
13	14.04.05	9:40				590	20	29,5	0,63
14	15.04.05	9:40				780	20	39,0	1,04
15	16.04.05	9:40				700	21	33,3	0,83
16	18.04.05	9:40				905	26	34,8	0,85
17	19.04.05	8:30				490	20	24,5	0,68
18	20.04.05	9:50				385	11	35,0	1,25
19	21.04.05	9:05				600	20	30,0	1,05
20	22.04.05	8:50				675	25	27,0	0,85
21	23.04.05	9:30				950	22	43,2	1,06
22	25.04.05	9:00				500	16	31,3	0,65
23	26.04.05	8:30				800	20	40,0	1,05
24	27.04.05	8:50				700	20	35,0	0,84
25	28.04.05	9:00				800	20	40,0	1,03
26	29.04.05	10:20				660	20	33,0	0,81
27	30.04.05	9:18				685	22	31,1	0,63
28		10:00	740	20	37,0				0,65
29		10:30	845	20	42,3				0,85
30		10:55	950	20	47,5				1,05
31		11:20	790	15	52,7				1,25
			Promedio Q _a = 44,9			Promedio Q _e = 35,1			

Tabla N° 4.5
Registro de caudales humedal SFS grava – caña común
Mes de Mayo

DETERMINACIÓN			CAUDALES (cm ³ /min)						Columna agua
			AFLUENTE			EFLUENTE			
Nº	FECHA	HORA	Vol (cm ³)	t (min)	Q _a (cm ³ /min)	Vol (cm ³)	t (min)	Q _e (cm ³ /min)	H (m)
1	02.05.05	9:00				635	20	31,8	0,83
2	03.05.05	9:20				610	22	27,7	0,62
3	04.05.05	9:45				650	17	38,3	1,04
4	05.05.05	9:40				670	20	33,5	0,84
5	06.05.05	8:50				660	22	30,0	0,66
6	07.05.05	10:15				750	19	39,5	1,07
7	09.05.05	9:00				630	20	31,5	0,65
8	10.05.05	9:00				835	20	41,8	1,05
9	11.05.05	9:00				700	20	35,0	0,83
10	12.05.05	9:00				600	20	30,0	0,65
11	13.05.05	9:05				875	22	39,8	1,05
12	14.05.05	9:50				665	20	33,3	0,84
13	16.05.05	9:45				680	20	34,0	0,85
14	17.05.05	8:05				600	20	30,0	0,68
15	18.05.05	9:45				855	20	42,8	1,03
16	19.05.05	9:05				735	22	33,4	0,83
17	20.05.05	9:05				610	21	29,0	0,65
18		9:45	695	20	34,8				0,64
19		10:15	810	20	40,5				0,85
20		10:45	905	20	45,3				1,05
21		11:15	815	16	50,9				1,25
22	21.05.05	9:45				710	20	35,5	1,05
23	23.05.05	10:10				860	10	86,0	0,65
24	24.05.05	9:55				890	23	38,7	1,05
25	25.05.05	8:35				545	16	34,1	0,86
26	26.05.05	9:40				555	20	27,8	0,67
27	27.05.05	9:15				760	20	38,0	1,07
28	28.05.05	9:45				620	18	34,4	0,86
29	30.05.05	9:20				615	20	30,8	0,86
30	31.05.05	9:15				635	24	26,5	0,70
			Promedio Q _a = 42,9			Promedio Q _e = 35,9			

4.2 Mediciones de temperatura

Tabla N° 4.6
Registro de temperaturas humedal SFS grava – caña común
Mes de Enero

MEDICIONES IN SITU DE TEMPERATURA (1) (°C)						REGISTRO OFICIAL (2) (°C)	
dia	afluente	humedal	efluente	ambiente	agua potable	máxima	mínima
01	-	-	-	-	-	-	-
02	-	-	-	-	-	-	-
03	-	-	-	-	-	-	-
04	-	-	-	-	-	-	-
05	-	-	-	-	-	-	-
06	23	22	22	17	19	22,5	13,3
07	19	22	22	17	18	s/i	11,0
08	19	22	22	20	18	s/i	s/i
09	-	-	-	-	-	22,8	s/i
10	18	22	19	16	19	20,0	12,5
11	18	21	19	16	19	19,5	12,5
12	17	21	19	16	18	20,0	13,7
13	18	22	19	16	18	21,9	14,0
14	18	21	18	17	19	s/i	12,5
15	18	22	19	16	18	23,5	s/i
16	-	-	-	-	-	19,2	13,1
17	17	20	19	16	18	19,5	14,9
18	17	21	19	15	18	s/i	14,0
19	17	21	17	16	18	18,7	s/i
20	16	20	19	15	17	19,5	13,5
21	18	20	19	17	19	20,5	15,4
22	20	20	20	19	18	23,8	12,6
23	-	-	-	-	-	21,2	14,5
24	19,5	21	20	18	19	23,0	12,2
25	17,5	21	18	18	19	20,3	14,6
26	18	22	19,5	16	18	19,5	14,6
27	19	21	20,5	18	18	18,5	14,0
28	19	21	21	18,5	17,5	21,7	11,6
29	19	22	21	17	18,5	20,1	14,0
30	-	-	-	-	-	17,5	13,4
31	18	21	21	18,5	16,5	23,7	10,2
Promedio:	18,1	20,8	19,5	17,1	18,0	20,5	13,5

(1) Las mediciones In Situ se realizaron entre las 9 y 10 hr de cada día

(2) Registro oficial corresponde a las temperaturas entregadas por la Dirección Meteorológica de Chile, para Valparaíso

Fuente: www.meteochile.cl

(3) Las mediciones In Situ realizadas antes del día 17 corresponden al humedal sin grava y sin plantas por lo tanto no son consideradas para el cálculo del promedio. Del día 17 en adelante el humedal está con grava y plantas

Tabla N° 4.7
Registro de temperaturas humedal SFS grava – caña común
Mes de Febrero

MEDICIONES IN SITU DE TEMPERATURA (1) (°C)						REGISTRO OFICIAL (2) (°C)	
dia	afluente	humedal	efluente	ambiente	agua potable	máxima	mínima
01	18	21	19,5	20	17,5	20,0	10,8
02	18	21	19	16,5	19,5	19,3	12,4
03	17	21	19	15	17	19,2	13,5
04	18	21	19	19	18	s/i	12,0
05	18,5	21	19	16	18,5	s/i	s/i
06	-	-	-	-	-	20,0	12,0
07	21	21	21	17,5	18	20,0	12,5
08	21	21	22	17	19	19,0	12,7
09	18	21	19,5	15,5	18	19,0	15,0
10	17,5	21	18	16	19	18,7	15,3
11	19	21	20	16,5	18,5	19,5	15,6
12	19	21	20	17	19	22,5	16,5
13	-	-	-	-	-	21,4	14,5
14	21	22	21	20	19,5	22,3	14,0
15	19	22	20	20,5	19,5	s/i	14,2
16	19	22	21	18,5	19	20,5	15,5
17	19	22	21	18,5	20	s/i	16,5
18	19,5	22	21	18	19,5	21,0	15,1
19	20	22	21	18	20	20,6	18,0
20	-	-	-	-	-	20,5	12,0
21	18	21	20	17,5	18	19,7	15,0
22	18	21	20	19	19	22,3	14,5
23	21	21	21	18,5	19,5	23,4	16,6
24	21	22	21	20	19,5	20,0	14,5
25	19	22	21	18	19	23,6	14,8
26	19	22	21	18,5	19,5	19,5	16,5
27	-	-	-	-	-	21,5	17,8
28	19,5	21	21	18,5	20	20,5	18,5
Promedio:	19,1	21,4	20,3	17,9	18,9	20,6	14,7

(1) Las mediciones In Situ se realizaron entre las 9 y 10 hr de cada día

(2) Registro oficial corresponde a las temperaturas entregadas por la Dirección Meteorológica de Chile, para Valparaíso

Fuente: www.meteochile.cl

Tabla N° 4.8
Registro de temperaturas humedal SFS grava – caña común
Mes de Marzo

MEDICIONES IN SITU DE TEMPERATURA (1) (°C)						REGISTRO OFICIAL (2) (°C)	
día	afluente	humedal	efluente	ambiente	agua potable	máxima	mínima
01	20	21	20	20	20	21,5	18,5
02	20	21	21	20	20	25,0	14,5
03	19,5	22	21	18	19	21,2	15,7
04	20	22	21	20	19,5	24,2	16,0
05	19	22	21	19	19	24,0	15,0
06	-	-	-	-	-	18,7	12,0
07	17,5	21	19	17,5	17	19,5	14,1
08	16,5	20,5	18,5	17	20	19,7	12,5
09	19	21	20	18,5	19	22,5	12,5
10	18	20,5	18,5	17,5	18,5	21,0	13,9
11	18	21	19,5	18,5	19	19,7	16,6
12	18	20	18,5	18,5	18,5	24,0	15,5
13	-	-	-	-	-	24,7	15,5
14	17	20	18	15	17	19,2	14,0
15	18	20	18,5	17,5	18,5	19,7	14,5
16	19	20	19	17,5	18	22,3	13,5
17	18	20	18,5	17,5	18,5	23,0	13,9
18	19	20	19	19	20	22,1	14,0
19	18	19,5	18	16	17,5	23,0	12,6
20	-	-	-	-	-	23,0	13,5
21	17	20	18	16	18	19,0	14,4
22	16,5	19	18	15,5	16	17,7	11,6
23	16	18,5	17,5	16	17	17,2	12,0
24	16	18,5	17,5	14,5	16	s/i	12,2
25	-	-	-	-	-	s/i	s/i
26	15,5	17	17	14	16,5	18,5	s/i
27	-	-	-	-	-	20,4	10,5
28	14	17,5	16	13,5	15	20,4	10,2
29	14,5	17	16	14	15	20,5	10,2
30	15,5	17	16,5	15,5	16	17,0	11,0
31	15	17	16	14,5	16	19,3	12,3
Promedio:	17,5	19,7	18,5	16,9	17,9	21,0	13,5

(1) Las mediciones In Situ se realizaron entre las 9 y 10 hr de cada día

(2) Registro oficial corresponde a las temperaturas entregadas por la Dirección Meteorológica de Chile, para Valparaíso

Fuente: www.meteocile.cl

Tabla N° 4.9
Registro de temperaturas humedal SFS grava – caña común
Mes de Abril

MEDICIONES IN SITU DE TEMPERATURA (1) (°C)						REGISTRO OFICIAL (2) (°C)	
día	afluente	humedal	efluente	ambiente	agua potable	máxima	mínima
01	15	17	16	14,5	16	19,5	12,9
02	13,5	17	15	13,5	15	17,5	9,5
03	-	-	-	-	-	18,0	10,0
04	13,5	16	15	13	16	16,6	10,0
05	13	16	15	12,5	15	20,2	11,0
06	14,5	16	15	13,5	16	18,3	10,1
07	13,5	16	14,5	14,5	18,5	19,5	10,0
08	13	16	15	13,5	15	s/i	10,0
09	13,5	15,5	15	13	15	17,5	s/i
10	-	-	-	-	-	17,7	10,3
11	13,5	15	14,5	13,5	14,5	16,6	10,1
12	14,5	15,5	15,5	14	16	15,0	10,0
13	14	15	15	14	15	17,0	11,5
14	13	15	14,5	15	16	s/i	10,0
15	14,5	15	14,5	15	15,5	18,0	11,0
16	14,5	15	15	14,5	15,5	17,0	12,0
17	-	-	-	-	-	14,5	12,0
18	12,5	15	14	11,5	13,5	17,6	10,0
19	13	15	14	15	14	22,1	11,5
20	13,5	15	14	14	15	15,4	12,2
21	13,5	15	14	12	16	15,6	10,9
22	13	15	14	12	14	17,5	10,1
23	14	15	14	13	14	17,0	10,2
24	-	-	-	-	-	17,5	12,5
25	14,5	15,5	15	14	16	18,3	13,0
26	16	15,5	15,5	14,5	16,5	16,6	14,0
27	14,5	15,5	15,5	13,5	16	15,5	12,0
28	14,5	15,5	14,5	13,5	16	23,3	12,0
29	16	15,5	15,5	15,5	17	23,5	12,5
30	14	16	15	13,5	15	s/i	11,4
Promedio:	13,9	15,5	14,8	13,7	15,5	17,9	11,1

(1) Las mediciones In Situ se realizaron entre las 9 y 10 hr de cada día

(2) Registro oficial corresponde a las temperaturas entregadas por la Dirección Meteorológica de Chile, para Valparaíso

Fuente: www.meteoclile.cl

Tabla N° 4.10
Registro de temperaturas humedal SFS grava – caña común
Mes de Mayo

MEDICIONES IN SITU DE TEMPERATURA (1) (°C)						REGISTRO OFICIAL (2) (°C)	
día	afluente	humedal	efluente	ambiente	agua potable	máxima	mínima
01	-	-	-	-	-	14,2	s/i
02	14	15,5	14,5	13	15	14,5	12,2
03	14,5	15	14,5	13,5	15	16,5	8,4
04	15	15,5	15	14	15,5	17,5	13,5
05	14	15	14	13	16	15,5	11,4
06	10,5	14,5	12,5	12	12	s/i	8,6
07	14	14	13,5	12,5	14	14,5	s/i
08	-	-	-	-	-	17,7	13,0
09	14	14,5	14,5	14,5	15	16,9	13,5
10	15	15	15	15,5	16	18,5	13,6
11	13	14,5	13,5	13	16,5	18,2	10,3
12	12	14,5	13,5	12,5	14,5	16,7	10,1
13	15	14,5	14,5	13	15,5	15,6	13,2
14	13	14,5	13,5	13	13,5	15,0	9,3
15	-	-	-	-	-	16,2	7,9
16	11,5	13,5	12	11,5	12	14,2	6,9
17	11	13	12	11	12	14,5	10,5
18	13,5	13,5	13,5	14	14,5	14,8	13,0
19	11	13	12	11,5	12	15,5	7,6
20	9,5	12,5	11	10	11,5	15,7	8,5
21	12	12	11	13	11,5	s/i	6,7
22	-	-	-	-	-	13,5	s/i
23	11	12,5	12	10,5	13	13,2	10,3
24	14	13	13	14	14,5	17,0	12,6
25	12	12,5	12,5	12	13,5	15,5	10,0
26	12,5	13	13	12,5	14,5	14,5	11,1
27	14	13	13	14	14,5	17,5	13,0
28	13	13	13	13	14	15,0	11,0
29	-	-	-	-	-	20,0	13,5
30	13	14	13,5	13	14	17,0	10,8
31	11	13,5	12,5	10	12,5	14,4	9,4
Promedio:	12,8	13,8	13,2	12,7	13,9	15,9	9,6

(1) Las mediciones In Situ se realizaron entre las 9 y 10 hr de cada día

(2) Registro oficial corresponde a las temperaturas entregadas por la Dirección Meteorológica de Chile, para Valparaíso

Fuente: www.meteochile.cl

4.3 Mediciones de precipitaciones

Tabla N° 4.11
Registro de precipitaciones humedal SFS grava – caña común
(mm)

FECHA	ENERO		FEBRERO		MARZO		ABRIL		MAYO	
DIA	in situ	oficial	in situ	oficial	in situ	oficial	in situ	oficial	in situ	oficial
01	s/p	s/p	s/p	s/p	s/p	s/p	s/p	s/p	s/p	s/p
02	s/p	s/p	s/p	s/p	s/p	s/p	s/p	s/p	s/p	s/p
03	s/p	s/p	s/p	s/p	s/p	s/p	s/p	s/p	18,1	29,8
04	s/p	s/p	s/p	s/p	s/p	s/p	s/p	s/p	1,6	2,9
05	s/p	s/p	s/p	s/p	s/p	s/p	s/p	s/p	s/p	s/p
06	s/p	s/p	s/p	s/p	s/p	s/p	s/p	s/p	s/p	s/p
07	s/p	s/p	s/p	s/p	s/p	s/p	s/p	s/p	0,8	2,1
08	s/p	s/p	s/p	s/p	s/p	s/p	s/p	s/p	s/p	s/p
09	s/p	s/p	s/p	s/p	s/p	s/p	s/p	s/p	2,3	3,9
10	s/p	s/p	s/p	s/p	s/p	s/p	s/p	s/p	s/p	s/p
11	s/p	s/p	s/p	s/p	s/i	11,0	s/p	s/p	s/p	s/p
12	s/p	s/p	s/p	s/p	s/p	s/p	s/p	s/p	s/p	s/p
13	s/p	s/p	s/p	s/p	s/p	s/p	s/p	s/p	s/p	s/p
14	s/p	s/p	s/p	s/p	s/p	s/p	s/p	s/p	s/p	s/p
15	s/p	s/p	s/p	s/p	s/p	s/p	s/p	s/p	s/p	s/p
16	s/p	s/p	s/p	s/p	s/p	s/p	s/p	s/p	1,5	2,7
17	s/p	s/p	s/p	s/p	s/p	s/p	s/p	s/p	s/p	s/p
18	s/p	s/p	s/p	s/p	s/p	s/p	s/p	s/p	13,8	18,0
19	s/p	s/p	s/i	0,2	s/p	s/p	s/p	s/p	s/p	s/p
20	s/p	s/p	s/p	s/p	s/p	s/p	s/p	s/p	s/p	s/p
21	s/p	s/p	s/p	s/p	s/p	s/p	s/p	s/p	s/p	s/p
22	s/p	s/p	s/p	s/p	s/p	s/p	s/p	s/p	22,3	29,5
23	s/p	s/p	s/p	s/p	s/p	s/p	s/p	s/p	16,6	26,2
24	s/p	s/p	s/p	s/p	s/p	s/p	s/p	s/p	s/p	s/p
25	s/p	s/p	s/p	s/p	s/p	s/p	s/p	s/p	s/p	0,1
26	s/p	s/p	s/p	s/p	s/p	s/p	s/p	s/p	s/p	s/p
27	s/p	s/p	s/p	s/p	s/p	s/p	s/i	0,6	s/p	s/p
28	s/p	s/p	s/p	s/p	s/p	s/p	s/p	s/p	s/p	s/p
29	s/p	s/p	-	-	s/p	s/p	s/p	s/p	s/p	s/p
30	s/p	s/p	-	-	s/p	s/p	s/p	s/p	s/p	s/p
31	s/p	s/p	-	-	s/p	s/p	-	-	s/p	s/p
Mensual	0	0,0	0	0,2	0	11,0	0	0,6	77,0	116,2
Acumulada	0	0,0	0	0,2	0	11,2	0	11,8	77,0	128,0

Registro oficial corresponde a las precipitaciones entregadas por el Servicio de Meteorología de la Armada de Chile, para Valparaíso. Fuente: www.meteoclile.cl

s/p: sin precipitación

s/i: sin información

**ANEXO 5 BOLETIN DE ANÁLISIS DE EFLUENTE DE HUMEDAL
APLICANDO CLORO DOMÉSTICO**
Facultad de Farmacia. Universidad de Valparaíso

SOLICITANTE : UNIVERSIDAD DE VALPARAÍSO – LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS
ATT. SR. NELSON VALDES M.
DIRECCIÓN : AV. CIRCUNVALACIÓN Nº 805, PLAYA ANCHA, VALPARAISO
PRODUCTO : RILES ANTES DEL FILTRO ~~DE ARENA~~
PROYECTO : NE
UBICACIÓN : NE
FECHA MUESTRA: NE
CODIGO : NE
LOTE : NE
FECHA VENCIMIENTO: NE
CONDICIÓN DE RECEPCIÓN : 4 L EN BOTELLAS DE VIDRIO.
FECHA DE RECEPCIÓN : 24-05-05
FECHA DE REALIZADO EL ENSAYO : 25-31.05.05
REFERENCIA DE DATOS : LIBRO AA -1 P. 237

RESULTADOS :

M1 Muestra original > 1600 NMP/100 mL
M2 Original + 1 gota de cloro > 1600 NMP/100 mL
M3 Original + 2 gotas de cloro > 1600 NMP/100 mL
M4 Original + 3 gotas de cloro < 2 NMP/100 mL

Solución de Cloro corresponde a 4 % Hipoclorito de Sodio p/v

NMP/100 mL: Número más probable / 100 mL

Método :

Referencia: Tabla Nº 1 caracterización de aguas servidas domésticas correspondiente a 100 habitantes D. S. Nº 609, 1998.

Norma de Emisión para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos industriales líquidos a sistemas de alcantarillado.



Q.F. MARCELA ESCOBAR PEÑA
Director Técnico
Lab. Ext. Control de Calidad

VALPARAÍSO, 01 de Junio de 2005.-

MEP/gfe.-

- El presente Boletín de Análisis solamente da fe de la muestra recibida y analizada.
- Parte de este Boletín de Análisis no podrá ser reproducido, excepto en su totalidad, sin permiso por escrito de Laboratorio Interno de Control de Calidad, QUIFAC.
- Los resultados obtenidos en el presente Boletín de Análisis no certifican que el producto analizado corresponde a un producto USP.

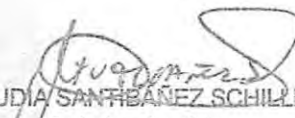
ANEXO 6 BOLETINES DE ANÁLISIS DE LA CAÑA COMUN (*Arundo Donax*)
Facultad de Farmacia. Universidad de Valparaíso

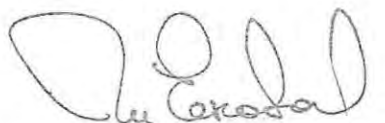
SOLICITANTE : UNIVERSIDAD DE VALPARAÍSO – LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS
ATT. SR. NELSON VALDES M.
DIRECCIÓN : AV. CIRCUNVALACIÓN Nº 805, PLAYA ANCHA, VALPARAISO
PRODUCTO : CAÑA SECADA AL HORNO (TALLO Y HOJA)
PROYECTO : NE
UBICACIÓN : NE
FECHA MUESTRA: NE
CODIGO : NE
LOTE : NE
FECHA VENCIMIENTO: NE
CONDICIÓN DE RECEPCIÓN : TALLOS Y HOJAS DE CAÑA EN BOLSA PLASTICA
FECHA DE RECEPCIÓN : 31-03-05
FECHA DE REALIZADO EL ENSAYO : 21.04-20.05.05
REFERENCIA DE DATOS : LIBRO AA -1 P. 188 Y 232

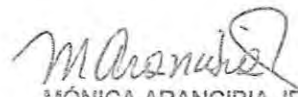
RESULTADOS :

Tallo	Hoja
Humedad : 2,0 % p/p	Humedad : 5,9 % p/p
Lípidos : 3,3 % p/p b. s.	Lípidos : 6,8 % p/p b. s.
Cenizas : 6,5 % p/p b. s.	Cenizas : 12,4 % p/p b. s.
Proteínas : 5,0 % p/p b. s.	Proteínas : 23,1 % p/p b. s.
Fibra : 37,1 % p/p b. s.	Fibra : 18,9 % p/p b. s.
Extracto No Nitrogenado : 46,1 % p/p b. s.	Extracto No Nitrogenado : 32,9 % p/p b. s.
Calorías : 234,1 Kcal/100 g	Calorías : 285,2 Kcal/100 g

Métodos : AOAC


CLAUDIA SANHUEZA SCHILLER
Químico Analista
Lab. Ext. Control de Calidad


Q.F. MARCELA ESCOBAR PEÑA
Director Técnico
Lab. Ext. Control de Calidad


MÓNICA ARANCIBIA JERIAS
Químico Analista
Lab. Ext. Control de Calidad

VALPARAÍSO, 24 de Mayo de 2005.-

MEP/gie.-

- El presente Boletín de Análisis solamente da fe de la muestra recibida y analizada.
- Parte de este Boletín de Análisis no podrá ser reproducido, excepto en su totalidad, sin permiso por escrito de Laboratorio Externo de Control de Calidad, QUIFAC.
- Los resultados obtenidos en el presente Boletín de Análisis no certifican que el producto analizado corresponde a un producto USP.

QUI**FAC**
Calidad Garantada**BOLETÍN DE ANÁLISIS**

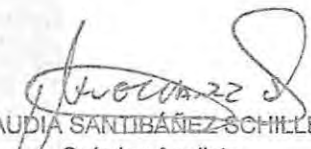
050331-160

SOLICITANTE : UNIVERSIDAD DE VALPARAÍSO – LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS
ATT. SR. NELSON VALDES M.
DIRECCIÓN : AV. CIRCUNVALACIÓN Nº 805, PLAYA ANCHA, VALPARAISO
PRODUCTO : CAÑA SECADA BAJO TECHO (TALLO Y HOJA)
PROYECTO : NE
UBICACIÓN : NE
FECHA MUESTRA: NE
CODIGO : NE
LOTE : NE
FECHA VENCIMIENTO: NE
CONDICIÓN DE RECEPCIÓN : TALLOS Y HOJAS DE CAÑA EN BOLSA PLASTICA
FECHA DE RECEPCIÓN : 31-03-05
FECHA DE REALIZADO EL ENSAYO : 21.04-20.05.05
REFERENCIA DE DATOS : LIBRO AA -1 P. 189 Y 233

RESULTADOS :

Tallo	Hoja
Humedad : 8,4 % p/p	Humedad : 6,0 % p/p
Lípidos : 3,1 % p/p b. s.	Lípidos : 7,6 % p/p b. s.
Cenizas : 7,2 % p/p b. s.	Cenizas : 12,6 % p/p b. s.
Proteínas : 6,3 % p/p b. s.	Proteínas : 22,2 % p/p b. s.
Fibra : 37,3 % p/p b. s.	Fibra : 15,7 % p/p b. s.
Extracto No Nitrogenado : 37,7 % p/p b. s.	Extracto No Nitrogenado : 35,9 % p/p b. s.
Calorías : 203,9 Kcal/100 g	Calorías : 300,8 Kcal/100 g

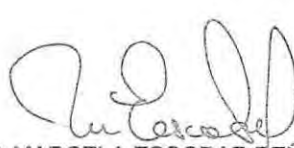
Métodos : AOAC



CLAUDIA SANTIBÁÑEZ SCHILLER
Químico Analista
Lab. Ext. Control de Calidad



MÓNICA ARANCIBIA JERIAS
Químico Analista
Lab. Ext. Control de Calidad



Q.F. MARCELA ESCOBAR PEÑA
Director Técnico
Lab. Ext. Control de Calidad

VALPARAÍSO, 24 de Mayo de 2005.-

MEP/gfe.-

- El presente Boletín de Análisis solamente da fe de la muestra recibida y analizada.
- Parte de este Boletín de Análisis no podrá ser reproducido, excepto en su totalidad, sin permiso por escrito de Laboratorio Externo de Control de Calidad, QUIFAC.
- Los resultados obtenidos en el presente Boletín de Análisis no certifican que el producto analizado corresponde a un producto USP.

FACULTAD DE FARMACIA - UNIVERSIDAD DE VALPARAISO

AV. GRAN BRETAÑA 1093 - PLAYA ANCHA - FONO: 32-508120 - FAX: 32508132 - e-mail: marcela.escobar@uv.cl - VALPARAISO

SOLICITANTE : UNIVERSIDAD DE VALPARAÍSO -- LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS
ATT. SR. NELSON VALDES M.

DIRECCIÓN : AV. CIRCUNVALACIÓN Nº 805, PLAYA ANCHA, VALPARAISO

PRODUCTO : CAÑA SECADA A LA INTEMPERIE (TALLO Y HOJA)

PROYECTO : NE

UBICACIÓN : NE

FECHA MUESTRA: NE

CODIGO : NE

LOTE : NE

FECHA VENCIMIENTO: NE

CONDICIÓN DE RECEPCIÓN : TALLOS Y HOJAS DE CAÑA EN BOLSA PLASTICA

FECHA DE RECEPCIÓN : 31-03-05

FECHA DE REALIZADO EL ENSAYO : 21.04-20.05.05

REFERENCIA DE DATOS : LIBRO AA -1 P. 190 Y 234

RESULTADOS :

Tallo	Hoja
Humedad : 5,6 % p/p	Humedad : 6,4 % p/p
Lípidos : 3,0 % p/p b. s.	Lípidos : 6,2 % p/p b. s.
Cenizas : 7,0 % p/p b. s.	Cenizas : 13,2 % p/p b. s.
Proteínas : 7,1 % p/p b. s.	Proteínas : 12,5 % p/p b. s.
Fibra : 36,2 % p/p b. s.	Fibra : 23,8 % p/p b. s.
Extracto No Nitrogenado : 41,1 % p/p b. s.	Extracto No Nitrogenado : 37,9 % p/p b. s.
Calorías : 219,8 Kcal/100 g	Calorías : 257,4 Kcal/100 g

Métodos : AOAC


CLAUDIA SANTIBÁÑEZ SCHILLER
Químico Analista
Lab. Ext. Control de Calidad


Q.F. MARCELA ESCOBAR PEÑA
Director Técnico
Lab. Ext. Control de Calidad


MÓNICA ARANGIBIA JERIAS
Químico Analista
Lab. Ext. Control de Calidad

VALPARAÍSO, 24 de Mayo de 2005.-

MEP/gfe.-

- El presente Boletín de Análisis solamente da fe de la muestra recibida y analizada.
- Parte de este Boletín de Análisis no podrá ser reproducido, excepto en su totalidad, sin permiso por escrito de Laboratorio Externo de Control de Calidad, QUIFAC.
- Los resultados obtenidos en el presente Boletín de Análisis no certifican que el producto analizado corresponde a un producto USP.

**ANEXO 7 ESTUDIO TÉCNICO DE HUMEDAL DE FLUJO
SUBSUPERFICIAL PARA LA LOCALIDAD DE QUINTAY**

ANEXO 7 ESTUDIO TÉCNICO DE HUMEDAL DE FLUJO SUBSUPERFICIAL PARA LA LOCALIDAD DE QUINTAY.

7.1 LOCALIDAD DE QUINTAY

Quintay (palabra mapuche que significa “embarcación entregada al viento”) es un pueblo costero que se localiza en la Comuna de Casablanca, Provincia de Valparaíso, V Región.

Ubicado en 33°11' latitud Sur y 71°45' longitud Oeste, su actual y único acceso terrestre se realiza a través de la Ruta F-800 en una distancia de 25 kilómetros a partir de la Ruta 68 que une la Capital de Chile, Santiago, con la ciudad de Valparaíso, a la altura del Km. 93 (Figura N° 7.1)

Su infraestructura Vial Urbana, con calles estrechas en algunos sectores, presenta su calzada en tierra y con escasa formación de veredas que conducen a una deficiente conectividad, sobre todo en época invernal por la topografía de “cerro” de la localidad, generando problemas de erosiones e inundaciones al no contar además con un sistema de saneamiento que permita la adecuada evacuación de aguas lluvias.

En cuanto a su infraestructura Sanitaria, dispone de una red de distribución de agua potable administrada por el “Comité Agua Potable Rural Quintay” pero su cobertura no alcanza cubrir la totalidad de la población, más aun, en época de verano la demanda de agua potable es muy superior a la oferta instalada generando graves problemas de abastecimiento, lo que recae en una racionalización del recurso. En lo referente a saneamiento de las aguas residuales, no existe sistema de recolección público de aguas servidas (alcantarillado) por lo que en algunos sectores, debido a la saturación del sistema particular de tratamiento del agua residual, éstas corren por la vía pública generando potenciales fuentes de contaminación para la población y el medio ambiente. Tampoco cuenta con sistema de tratamiento de los residuos sólidos, los que son retirados por camión municipal proveniente de Casablanca.

La localidad de Quintay, que congrega a los sectores “Caleta de Quintay” y “Playa Grande” considerados para efectos del presente estudio de costos (ver Figura N° 7.2), tiene una población estable de 900 habitantes aproximadamente, pero, en época de verano puede hasta duplicarse.

7.2 CONSIDERACIONES Y LIMITACIONES PARA EL ESTUDIO DE COSTOS

Para el estudio de costos del sistema de tratamiento de las aguas servidas para la localidad de Quintay mediante un humedal artificial de flujo subsuperficial SFS, se establecen las siguientes consideraciones y limitaciones:

- a) Debido a que en la localidad no existe un sistema de recolección público de aguas servidas, se desconoce el caudal y la carga contaminante de las mismas por lo que se asumen los valores indicados en la Tabla N° 7.1
- b) No se considerará el valor del terreno en el análisis de costos. La geometría y la topografía del terreno, para efectos del estudio de costos, se asume que es de

forma rectangular ($L: W = 1:1$ a $4:1$) y con poca pendiente. La ubicación probable se indica en la Figura N° 7.2.

- c) Para efectos de costos del Humedal propuesto, sistema de flujo subsuperficial (SFS), el diseño se limitará a un estanque regulador donde llegan las aguas servidas, humedal propiamente tal y tranque de acumulación del efluente (ver Figura N° 7.3)

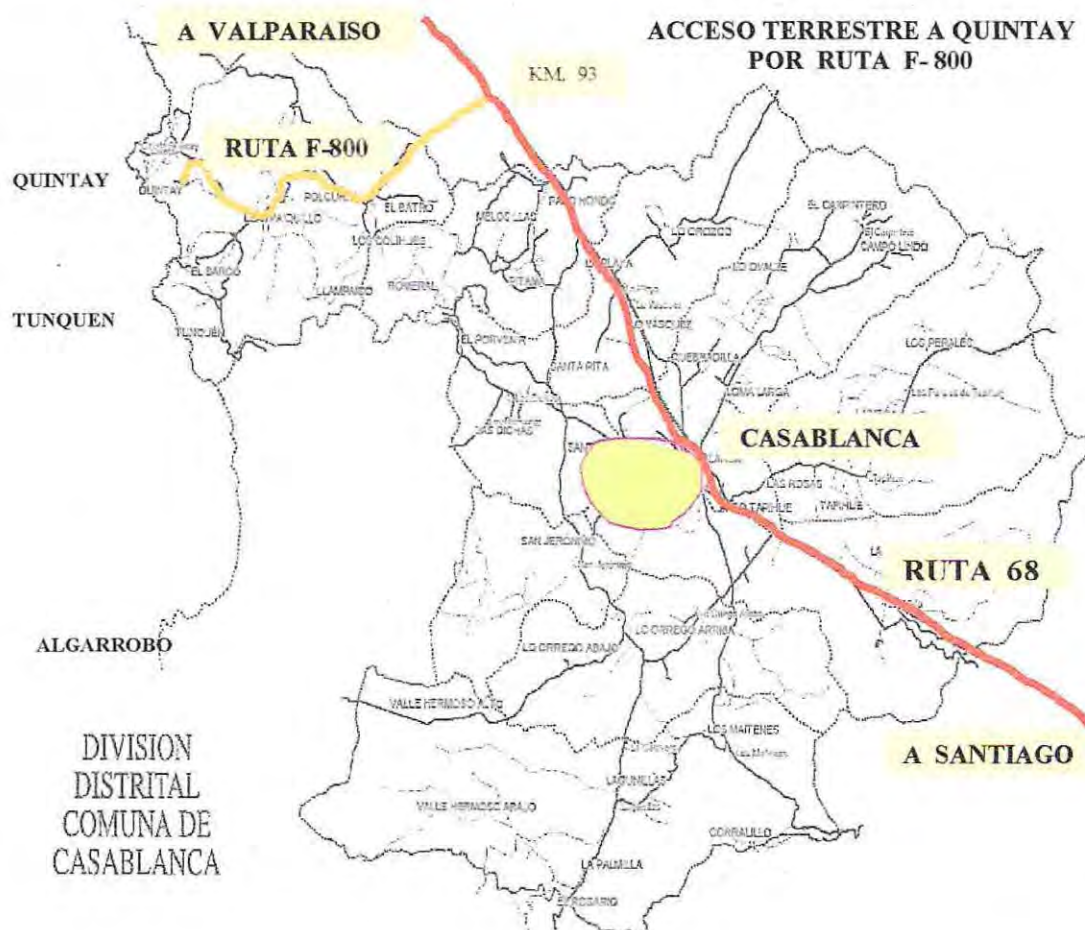


Figura N° 7.1
Esquema acceso terrestre a Quintay

Tabla N° 7.1
Parámetros de diseño para humedal en Quintay

ITEM	PARAMETROS	VALORES
1	POBLACIÓN	
1.1	Población Caleta Quintay (pick)	1200 (hab)
1.2	Población Playa Grande (pick)	750 (hab)
1.3	Dotación	250 (l/hab/día)
2	CARGA CONTAMINANTE AFLUENTE	
2.1	DBO	150 (mg/l)
2.2	SST	150 (mg/l)
2.3	NITRÓGENO NTK	120 (mg/l)
2.4	FÓSFORO	15 (mg/l)
3	CONDICIONES CLIMATICAS	
3.1	Precipitaciones	Según registro Armada de Chile
3.2	Temperatura ambiente crítica	$T_a = -2^{\circ}\text{C}$
3.3	Temperatura agua afluente	$T_o = 10^{\circ}\text{C}$
4	HUMEDAL	
4.1	Profundidad humedal	0,60 m
4.2	Porosidad sustrato (grava)	0,38
4.3	Plantas	Arundo donax
5	CAUDAL (determinación en f (dotación))	$Q_o = 351 \text{ (m}^3/\text{d)}$
6	LÍMITE DE CARGA CONTAMINANTE EN EFLUENTE	Según DS N° 90 (Tabla N° 1)
6.1	DBO	35 (mg/l)
6.2	SST	80 (mg/l)
6.3	NITRÓGENO NTK	50 (mg/l)
6.4	FÓSFORO	10 (mg/l)

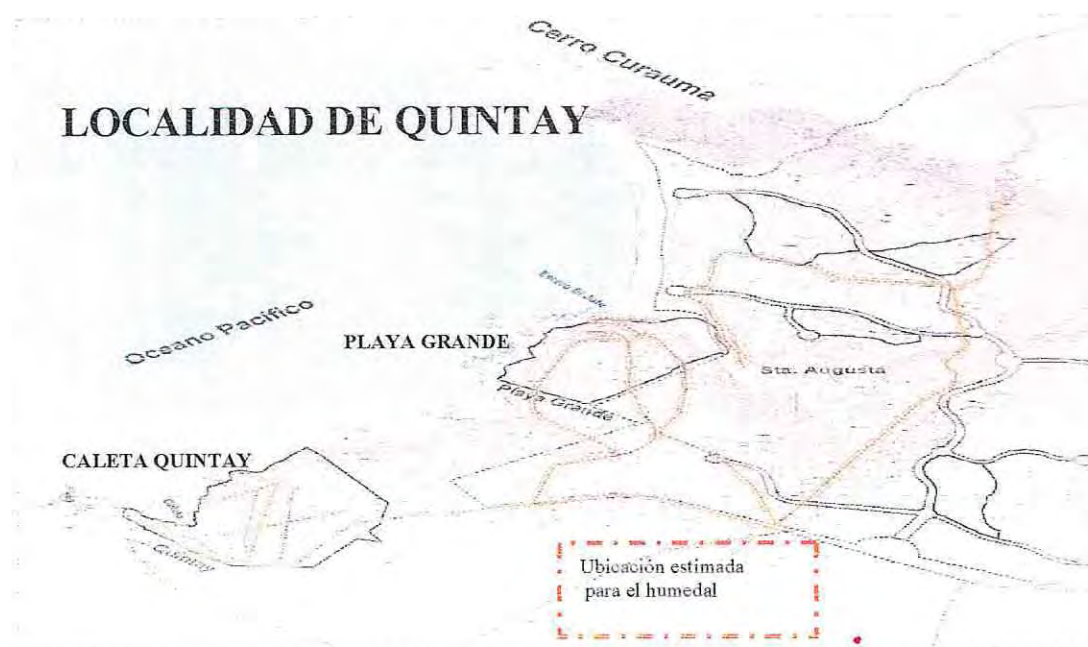


Figura N° 7.2
Localización de sectores Caleta Quintay - Playa Grande
y ubicación estimada para el humedal

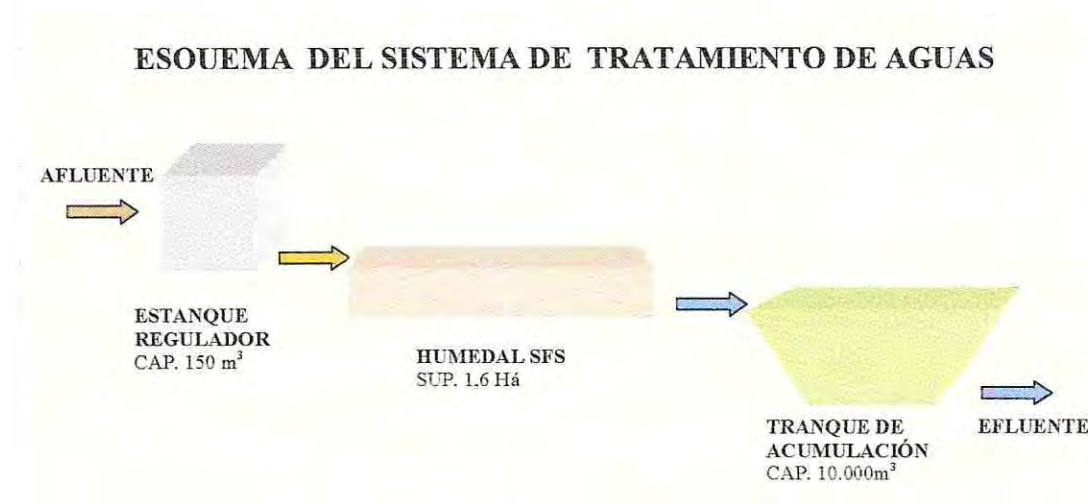


Figura N° 7.3
Esquema de diseño considerado para estudio de costo
del sistema de tratamiento de aguas residuales para Quintay

7.3 ESTIMACIÓN DE COSTO HUMEDAL SFS PARA QUINTAY

Tabla N° 7.2					
Estimación de costo humedal SFS para Quintay					
ITEM	DESIGNACIÓN	UNIDAD	CANT.	P.UNIT.	P. TOTAL
1	OBRAS PREVIAS				
1.1	Cierros	gl	-	-	300.000
1.2	Instalación de faena	gl	-	-	5.000.000
1.3	Limpieza, replanteo y trazado	gl	-	-	3.000.000
1.4	Letrero indicativo	gl	-	-	150.000
1.5	Permisos municipales	gl	-	-	4.500.000
2	OBRAS DE CONSTRUCCIÓN				
2.1	Movimientos de tierras				
2.1.1	Escarpe	m ³	4.884	1.130	5.518.920
2.1.2	Excavaciones y retiro	m ³	2.685	1.677	4.502.745
2.1.3	Formación de terraplen	m ³	2.140	2.738	5.859.320
2.1.4	Preparación subrasante	m ²	16.150	445	4.186.750
2.1.5	Relleno humedal (grava)	m ³	12.189	9.068	110.529.850
2.1.6	Relleno sub-base (cbr> 40%)	m ³	76	8.898	676.248
2.1.7	Relleno mejoramiento (cbr>40%)	m ³	198	8.898	1.761.804
2.2	Compactación				
2.2.1	Sello	m ²	13.543	445	6.026.635
2.2.2	Filtro humedal	m ²	40.630	445	18.080.350
2.2.3	Sub-base	m ²	2.171	445	966.095
2.2.4	Mejoramiento	m ²	990	445	440.550
2.3	Impermeabilización				
2.3.1	Membrana	m ²	14.175	3.000	42.525.000
2.3.2	Colocación	m ²	14.175	1.000	14.175.000
2.4	Hormigón armado				
2.4.1	Fundaciones h-25	m ³	18,5	170.000	3.145.000
2.4.2	Muros y losas h-25	m ³	40,5	170.000	6.885.000
3	INSTALACIONES				
3.1	Cañerías (φ 110 pvc)	ml	740	3.500	2.590.000
3.2	Piezas especiales	gl	-	-	555.000
4	VEGETALES				
4.1	Plantas (Arundo Donax)	u	150.480	300	45.144.000
4.2	Plantación (colocación)	gl	-	-	2.500.000
5	OBRAS COMPLEMENTARIAS				
5.1	Cierres definitivos	ml	550	3.080	1.694.000
5.2	Evacuación aguas lluvias	ml	600	12.000	7.200.000
5.3	Camino acceso (7m, con sub-base e =10 cm)	ml	200	18.000	3.600.000
5.4	Señalización	gl	-	-	100.000
5.5	Aseo / Entrega	gl	-	-	200.000
Valor UF: \$ 17.110 referencia Costo estimado por habitante: \$184.000					\$ 301.312.270 + IVA (19%) \$ 358.561.600
TOTAL :					

ANEXO 8 ÁLBUM FOTOGRÁFICO DE HUMEDAL EXPERIMENTAL

ANEXO 8 ÁLBUM FOTOGRÁFICO DE HUMEDAL EXPERIMENTAL

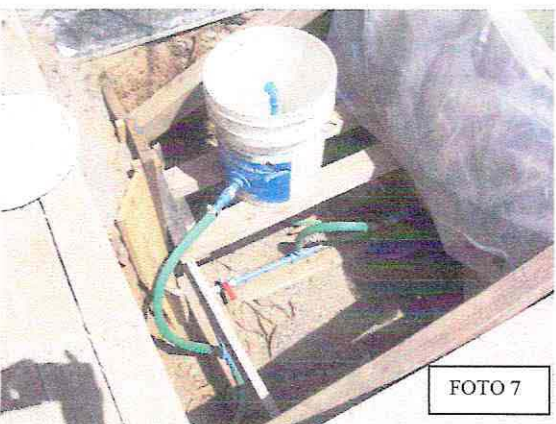
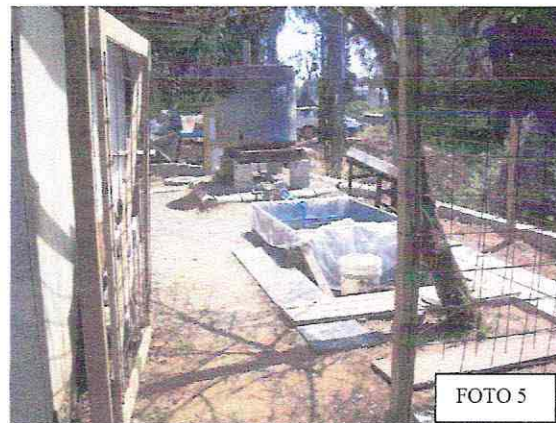
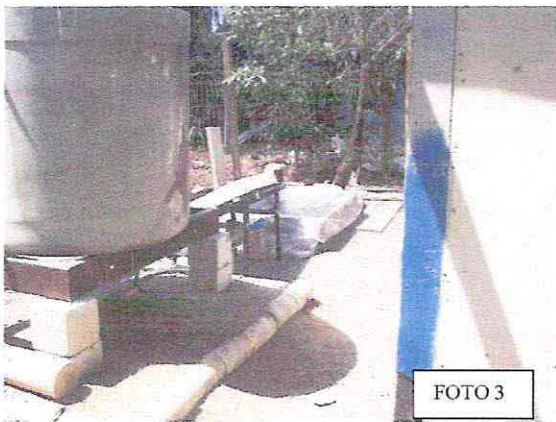




FOTO 9



FOTO 10



FOTO 11



FOTO 12

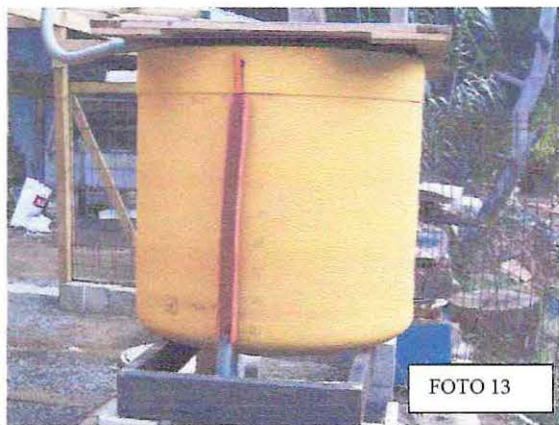


FOTO 13



FOTO 14



FOTO 15



FOTO 16



FOTO 17



FOTO 18



FOTO 19



FOTO 20



FOTO 21



FOTO 22



FOTO 23



FOTO 24

