

UCH-FC  
Q. Ambiental  
V632  
C.2



**“ESTUDIOS PRELIMINARES DE LA CALIDAD Y  
COMPORTAMIENTO DE LAS AGUAS SERVIDAS EN LOS  
SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE LA III REGIÓN”**

Seminario de Título  
Entregado a la  
Facultad de Ciencias de la Universidad de Chile  
En Cumplimiento parcial de los requisitos para optar al título de

**QUIMICO AMBIENTAL**

**PATRICIA YOVANA VICENCIO OGALDE**

Director Seminario de Título : Ing. Civil Andrés Ullrich  
Profesor Patrocinante : Dr. Raúl Morales

Noviembre, 2001



*Dedicada a mis padres,*

*Gracias por su apoyo y confianza.*

*Gracias a ustedes, hoy puedo emprender un nuevo camino  
con el corazón lleno de esperanzas  
y sin temor porque su fe me acompaña.*



## AGRADECIMIENTOS

Hoy se me ha dado la ocasión para darles las "Gracias" a todos los que en algún momento de mi vida me tendieron una mano para seguir adelante. Especialmente a mis Padres, Benilda y Guillermo y a mis Hermanos, por estar conmigo y apoyarme siempre.

A mi compañero y enamorado de siempre, Miguel, que tuvo la confianza suficiente para soportar el largo periodo de estudios que nos mantuvo separados.

A EMSSAT, especialmente a mi primer jefe Don Andrés, que me entrego apoyo, confianza y muchos consejos prácticos de la vida. Agradecer a Benjamin que me brindo su amistad y paciencia, además, no puedo olvidar a los que fueron mis compañeros de trabajo la señora Lidia, Nelson, Víctor, Don Daniel, Gabriel y Osvaldo que también se portaron un siete conmigo.

A la profesora Sylvia Copaja, por su preocupación y colaboración en el desarrollo de este trabajo.

A mis compañeros y amigos que me entregaron su afecto, alegría y entusiasmo en todo momento, que me permitió salir victoriosa de esta etapa de mi vida. Gracias Libby, Carolina, Charo, Claudio, Cecy, Pablo, Jessica, Alejandra, Paola y Lorena.

# INDICE DE MATERIAS



Dedicatoria	ii
Agradecimiento	iii
INDICE DE MATERIAS	iv
INDICE DE FIGURAS	vii
INDICE DE TABLAS	x
INDICE DE ABREVIATURAS	xii
GLOSARIO	xiii
<b>RESUMEN</b>	xvii
<b>I.- INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS</b>	1
<b>II.- DEFINICIONES Y TEORIA DE LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE LAS AGUAS SERVIDAS</b>	<b>5</b>
2.1 GENERALIDADES	5
2.2 CAUDALES	5
2.3 AGUAS SERVIDAS DOMÉSTICAS	6
2.4 AGUAS SERVIDAS INDUSTRIALES	7
2.5 OBJETIVOS DEL TRATAMIENTO	7
2.6 SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS	8
2.6.1 Tratamiento biológico de aguas servidas	9
2.6.2 Laguna Aireada	10
2.6.3 Laguna Facultativa	12
2.7 SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE LODOS	13
2.7.1 Generalidades	13
2.7.2 Tratamiento de lodos	15
<b>III. SITUACIÓN ACTUAL DE LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO EMSSAT S.A.</b>	
3.1 GENERALIDADES	16
3.2 DESCRIPCIÓN DE LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO	20
3.2.1 Copiapó	20
3.2.2 Vallenar	22
3.2.3 Tierra Amarilla	

# INDICE DE MATERIAS



3.2.4	Freirina	25
3.2.5	Diego de Almagro	27
3.2.6	El Salado	28
3.2.7	Caldera	30
3.2.8	Chañaral	31
3.2.9	Huasco	31
3.3	SITUACIÓN CON RESPECTO A LOS EFLUENTES	32
3.4	SITUACIÓN CON RESPECTO A LOS LODOS	34
3.5	SITUACIÓN CON RESPECTO A RUIDOS Y OLORES	35
3.5.1	Situación actual de los ruidos	36
3.5.2	Situación actual de los olores	37
3.6	SITUACIÓN CON RESPECTO A LOS RILES	39
3.7	CONCLUSIONES	42
<b>IV.</b>	<b>ANÁLISIS DE LA CALIDAD DE LAS AGUAS SERVIDA</b>	
4.1	GENERALIDADES	44
4.1.1	Características físicas	44
4.1.2	Características químicas	46
4.1.3	Características biológicas	50
4.2	INFORMACIÓN DISPONIBLE	50
4.2.1	Conceptos básicos	52
4.2.2	Muestras puntuales	52
4.2.3	Campañas de mediciones	53
4.3	METODOLOGÍA	53
4.3.1	Recopilación de la información	53
4.3.2	Procesamiento de la información	53
4.4	ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	54
4.4.1	Introducción	54
4.4.2	Caudal	55
4.4.3	Temperatura	66
4.4.4	PH	69

## INDICE DE MATERIAS



4.4.5	Demanda Bioquímica de Oxígeno	71
4.4.6	Demanda Química de Oxígeno	74
4.4.7	Turbiedad	76
4.4.8	Sólidos Suspendidos Totales	78
4.4.9	Nitrógeno	79
4.4.10	Fósforo	85
4.4.11	Metales	88
4.4.12	Sulfuros	91
4.4.13	Coliformes Fecales	92
4.4.14	Otros Compuestos	92
4.4.15	Conductividad	93
4.5	ANALISIS DE RESULTADOS	95
4.5.1	Estimación de cargas diarias por habitante	95
4.5.2	Estimaciones de relaciones entre parámetros orgánicos.	96
4.5.3	Estimaciones de relaciones matemáticas entre parámetros	98
4.5.4	Estimación comparativa de la variación diaria de los parámetros en los diferentes afluentes de la región.	102
4.5.5	Estimación de la eficiencia del tratamiento	103
4.6	CONCLUSIONES	104
<b>V.</b>	<b>PROYECTO DE MEJORAMIENTO ADOPTADO POR EMSSAT S.A.</b>	
5.1	GENERALIDADES	107
5.2	PROYECTOS DE MEJORAMIENTO	107
5.3	CUMPLIMIENTO AMBIENTAL	108
5.3.1	Lodos	108
5.3.2	Ruidos	109
5.3.3	Olores	109
<b>VI</b>	<b>PROGRAMA DE MONITOREO</b>	
6.1	GENERALIDADES	110
6.2	DISPONIBILIDAD DE LABORATORIO EMSSAT S.A.	110
6.3	PROGRAMA DE MONITOREO DE LOS DIFERENTES PARÁMETROS DEL AFLUENTE Y EFLUENTES	111



## INDICE DE MATERIAS

6.4	PROGRAMA DE MONITOREO PARA LODOS	115
6.4.1	Generalidades	115
6.4.2	Programa de monitoreo de lodos	115
6.5	PROGRAMA DE MONITOREO RUIDOS Y OLORES	117
6.5.1	Programa de monitoreo de ruidos	117
6.5.2	Programa de monitoreo de olores	118
6.6	ESTIMACIÓN DE LOS COSTOS RELACIONADOS CON LOS DIVERSOS MONITOREOS	119
6.7	CONCLUSIONES	121
<b>VII.</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	
7.1	CONCLUSIONES FINALES	123
7.1.1	Situación actual	123
7.1.2	Calidad de la información	123
7.1.3	Características de las aguas servidas y sus tratamientos	124
7.1.4	Proyectos de mejoramientos de los sistemas de tratamientos	125
7.1.5	Programa de monitoreo y validación de la información	126
7.2	RECOMENDACIONES	126
7.2.1	En relación con los resultados obtenidos	126
7.2.2	Recopilación de nueva información	127
7.2.3	Recomendaciones complementarias	128
<b>VII.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	129
<b>ANEXOS</b>		
1.	<b>Resumen de la normativa ambiental asociada</b>	
2.1	<b>Antecedentes de calidad de los sistemas.</b>	
2.1.1	Agua Potable.	
2.1.2	Agua Servida	
	a.- Afluentes	
	b.- Efluentes	
2.1.3	Lodos	
2.1.4	Ruidos	
2.1.5	Olores	
2.2	<b>Gráficos.</b>	
3.	<b>Análisis de las actividades industriales relevantes de la región</b>	



## INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de Lagunas Aireadas	11
Figura 2. Esquema simplificado de la simbiosis algas – bacterias en una Laguna Facultativa	12
Figura 3. Fundamentos de una Laguna Facultativa.	13
Figura 4. Mapa de la región	17
Figura 5. Esquema simplificado PTAS Copiapó	21
Figura 6. Esquema simplificado de la PTAS Vallenar	23
Figura 7. Esquema simplificado de la PTAS de Tierra Amarilla	24
Figura 8. Esquema simplificado de la PTAS Freirina	26
Figura 9. Esquema simplificado de la PTAS de Diego de Almagro	27
Figura 10. Esquema de PTAS de El Salado	29
Figura 11. Esquema simplificado de la PTAS de Caldera	30
Figura 12. Variación diaria de caudal de los afluentes de la Región	56
Figura 13. Comparación entre caudal de entrada y salida de la PTAS de Copiapó	57
Figura 14. Estimación de la estacionalidad del consumo de Agua Potable en la Región	60
Figura 15. Estimación de Estacionalidad comparando el caudal afluente teórico y real	62
Figura 16. Estimación de la tendencia de infiltración mensual del afluente de Vallenar	64
Figura 17. Variación diaria de temperatura para el semestre de primavera de los afluentes	67
Figura 18. Variación diaria de temperatura para el semestre invierno de los afluentes	67
Figura 19. Comportamiento del pH en los afluentes de la Región	70
Figura 20. Variación diaria de DBO de los afluentes de la Región	72
Figura 21. Comportamiento de la DBO en el tiempo en el afluente de Copiapó	74
Figura 22. Variación diaria de DQO de los afluentes de la Región	75
Figura 23. Variación diaria de Turbiedad de los afluentes de la Región	77
Figura 24. Comportamiento diario de SST de los afluentes de la Región	78
Figura 25. Variación diaria de NTK en los afluentes de la Región	80
Figura 26. Variación diaria de Nitrógeno Amoniacal en los afluentes de la Región	80
Figura 27. Concentración v/s carga de NTK afluente de Vallenar	81
Figura 28. Concentración v/s carga de Nitrógeno Amoniacal afluente de Vallenar	82
Figura 29. Carga de NTK afluente de Copiapó comparando entre un día hábil y un fin de semana	83
Figura 30. Variación diaria de nutrientes en los efluentes de los Sistemas Aireados	84
Figura 31. Análisis del comportamiento diario de Fósforo para la Región	85
Figura 32. Concentración v/s carga de Fósforo Total afluente de Vallenar	86
Figura 33. Carga de Fósforo total en el afluente de Copiapó de un día hábil y un fin de semana.	87
Figura 34. Conductividad afluentes de la Región	94
Figura 35. Relación de Turbiedad y SST para el afluente de Copiapó.	98

## INDICE DE FIGURAS



Figura 36. Relación de Turbiedad y DBO para el afluente de Copiapó.	99
Figura 37. Relación de Turbiedad y DBO en el afluente de Copiapó (98-00)	100
Figura 38. Relación entre DQO y DBO para el afluente de Copiapó.	101

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características principales de las Lagunas Aireados.	11
Tabla 2. Tabla resumen de las condiciones de la región para año 2000.	20
Tabla 3. Características Lagunas de la planta de tratamiento de Copiapó.	21
Tabla 4. Características Lagunas de planta de tratamiento de Vallenar.	23
Tabla 5. Características Lagunas de planta de tratamiento de Tierra Amarilla.	25
Tabla 6. Características Lagunas de planta de tratamiento de Freirina.	26
Tabla 7. Características Lagunas de planta de tratamiento de Diego de Almagro.	28
Tabla 8. Características Lagunas de planta de tratamiento de El Salado.	29
Tabla 9. Características Lagunas de planta de tratamiento de Caldera.	30
Tabla 10. Resumen del efluente de la planta de tratamiento de Copiapó.	32
Tabla 11. Resumen del efluente de la planta de tratamiento de Vallenar.	33
Tabla 12. Antecedentes de la situación actual de los lodos.	34
Tabla 13. Frecuencia del muestreo de autocontrol de EMSSAT	52
Tabla 14. Factores de ponderación máximos y mínimos para caudal	56
Tabla 15. Promedios anuales corregido de caudal para la Región expresado en L/s	59
Tabla 16. Resumen facturación promedio parametrizada respecto al medio	61
Tabla 17. Cobertura de agua potable para las diferentes localidades de la Región	62
Tabla 18. Cobertura de alcantarillado para las diferentes localidades de la Región	63
Tabla 19. Estimación de la infiltración media en la planta de tratamiento de Vallenar	64
Tabla 20. Corrección de los parámetros sin el efecto de dilución	65
Tabla 21. Valores promedios de los parámetros de terreno	66
Tabla 22. Promedios de la temperatura de los afluentes según estación	68
Tabla 23. Efecto de los sistemas sobre la temperatura de los afluentes	68
Tabla 24. Efecto de los sistemas sobre el pH de los afluentes y de los efluentes	70
Tabla 25. Factores de ponderación máximos y mínimos para DBO	72
Tabla 26. Promedios anuales de DBO para la Región expresado en mg/L	73
Tabla 27. Factores de ponderación máximos y mínimos para DQO	75
Tabla 28. Promedios anuales de DQO para la Región expresado en mg/L	76
Tabla 29. Factores de ponderación máximos y mínimos para Turbiedad	77
Tabla 30. Promedios anuales de Turbiedad para toda la Región expresada en NTU.	78
Tabla 31. Factores de ponderación máximos y mínimos para SST	78
Tabla 32. Promedios anuales de SST para la Región expresado en mg/L.	79
Tabla 33. Promedios ponderados de Nitrógeno en el año 2000 en los afluentes de la Región	82
Tabla 34. Resumen de las Cargas medias de Nitrógeno	83
Tabla 35. Estimación del porcentaje de remoción de NTK en los Sistemas Aireados	84

## INDICE DE TABLAS

Tabla 36. Resumen de los promedios de Fósforo en el año 2000 en los afluentes de la Región	86
Tabla 37. Resumen de las Cargas medias de Fósforo	87
Tabla 38. Estimación del porcentaje de remoción de Fósforo en los Sistemas Aireados	88
Tabla 39. Concentración de metales pesados en los afluentes de la Región	90
Tabla 40. Registro promedio de sulfuro en mg/L para el año 2000 en los afluentes de la Región	91
Tabla 41. Otros compuestos analizados en los afluentes de la Región	93
Tabla 42. Estimación del aumento de la conductividad por el uso de las aguas	94
Tabla 43. Estimación de cargas diarias por habitante de las aguas servidas de EMSSAT	95
Tabla 44. Estimación de las relaciones típicas de aguas servidas en la Región	96
Tabla 45. Estimación de la eficiencia de remoción de los Sistemas Aireados	104
Tabla 46. Monitoreo de los Sistemas de Lagunas Aireadas	113
Tabla 47. Programa de monitoreo de lodos	116
Tabla 48. Estimación de costos para el monitoreo de los residuos líquidos.	119
Tabla 49. Resumen de la estimación de costos	120
Tabla 50. Costos anuales por m <sup>3</sup> de agua servida tratada	121

## **INDICE DE ABREVIATURAS**

**CIU:** Clasificación Industrial Uniforme de Todas las Actividades Económicas

**DBO:** Demanda Bioquímica de Oxígeno

**DQO:** Demanda Química de Oxígeno

**D.S.:** Decreto Supremo

**NCh :** Norma Chilena

**NTK :** Nitrógeno Total Kjeldhal

**P-Total:** Fósforo Total

**PTAS:** Planta de Tratamiento de Aguas Servidas.

**RILES:** Residuos Líquidos Industriales

**SISS:** Superintendencia de Servicios Sanitarios

**s/n :** Sin número

**SST:** Sólidos Suspendidos Totales

**v/s:** versus

## GLOSARIO

Es necesario nombrar algunas definiciones importantes para una mejor comprensión del tema que trata este seminario, se entiende por:

**Aerobio:** Dícese del ser microscópicos que necesita de oxígeno para subsistir.

**Afluente:** Corriente de agua que desemboca en otra.

**Anaerobio:** Dícese de los seres microscópicos que no necesitan para vivir el oxígeno.

**Anóxico:** Ausencia de oxígeno.

**Aguas Negras:** Aguas provenientes de la población compuesta por excretas humanas.

**Aguas Residuales:** Aguas que se descargan después de haber sido usadas en un proceso, o producidas por éste, y que no tienen ningún valor inmediato en el proceso.

**Aguas Servidas Domésticas:** Aguas residuales que contienen los desechos de una comunidad, compuesta principalmente por aguas negras.

**Aguas Servidas Crudas:** Aguas que no han sido tratadas.

**Aguas Servidas Tratadas:** Aguas que han recibido tratamiento parcial o total para la remoción y mineralización de la materia orgánica u otras materias.

**Atracción de vectores:** Característica de los residuos que los hacen atractivos para roedores, moscas, mosquitos u otros organismos capaces de transportar y transmitir agentes infecciosos.

**Cloración:** Proceso en el cual se agrega como agente desinfectante cloro, con el objetivo de destruir e inhibir el crecimiento de bacterias y algas, oxidar la materia orgánica degradable y también para el control de olores.

**Contenido natural:** Es la concentración de un contaminante en el cuerpo y/o curso receptor, determinada por la Dirección General de Aguas, que corresponde a la situación original sin intervención antrópica del curso de agua y/o cuerpo de agua más las situaciones permanentes, irreversibles o inmodificables de origen antrópico. Corresponderá a la Dirección General de Territorio Marítimo y Marina Mercante determinar el contenido natural cuando el cuerpo y/o curso receptor está bajo su jurisdicción.

**Decibel (dB):** Unidad adimensional usada para expresar el logaritmo de la razón entre una cantidad medida y una cantidad de referencia. De esta manera el decibel es usado para describir niveles de presión, potencia o intensidad sonora.

**Decibel (dB(A)):** Es el nivel de presión sonora medido con el filtro de ponderación A.

**Desbaste de gruesos:** Pretratamiento que consiste en rejas gruesas que eliminan los residuos de gran tamaño, como plásticos, piedras, trapos, etc., que pueden ser arrastrados al interior del sistema de tratamiento produciendo obstrucciones y averías.

**Desarenado:** Es un pretratamiento que eliminación los sólidos en suspensión, principalmente arenas, escorias y objetos metálicos, que pasan por las rejas. Para ello, se hace pasar el agua por unos tanques donde, por decantación o sedimentación, se depositan en el fondo, siendo retirados mecánica o manualmente.

## GLOSARIO

**Desengrasado:** Es un pretratamiento que eliminación la mayor parte de las grasas, aceites y detergentes, que pueden interferir en los procesos posteriores. Para ello, se inyecta aire en los tanques, formándose burbujas a las que se adhieren las gotas de aceite y las partículas de espuma, de manera que ascienden a la superficie donde forman una capa, que es extraída de forma mecánica o manual.

Detectabilidad de un olor: **es el número de diluciones requeridos para reducir un olor a su concentración de olor umbral mínimo detectable (CUOMD).**

**Establecimiento industrial:** Aquel en el que se realiza una actividad económica donde se produce una transformación de la materia prima o materiales empleados, dando origen a nuevos productos, o bien en que sus operaciones de fraccionamiento, manipulación o limpieza, no produce ningún tipo de transformación en su esencia.

**Facultativos:** Dícese de microorganismos que se desenvuelven tanto en ambientes aeróbicos como anaeróbicos.

**Fuente emisora de ruido:** Toda actividad, proceso, operación o dispositivo que genere, o pueda generar, emisiones de ruido hacia la comunidad.

**Lodo:** Acumulación de sólidos orgánicos sedimentables separados en los distintos procesos de tratamiento de aguas.

**Lodo Clase A:** Aquellos lodos aptos para uso agrícola sin restricciones por razones sanitarias.

**Lodo Clase B:** Aquellos lodos aptos para uso agrícola, con restricciones de aplicación según tipo y localización de los suelos o cultivos.

**Lodo crudo:** Aquellos lodos removidos durante las distintas etapas de tratamiento de aguas y que no han sido objeto de procesos de estabilización. (No aptos para uso agrícola)

**Lodo deshidratado:** Aquellos lodos sometidos a procesos de secado, logrando un porcentaje de humedad igual o inferior al 70% por peso.

**Lodo estabilizado:** Aquellos lodos sometidos a procesos de tratamiento para evitar la putrefacción y la atracción de vectores.

**Lodo higienizado:** Aquellos lodos sometidos a un proceso para eliminar gérmenes patógenos.

**Lodo no peligroso:** Aquellos lodos que no presentan ninguna característica de toxicidad, toxicidad por lixiviación, reactividad, inflamabilidad o corrosividad.

**Precipitación:** Eliminación de un contaminante determinado mediante la adición de un producto químico y su transformación en un compuesto insoluble, siendo eliminado posteriormente por decantación.

**Residuo Industrial Líquido (RIL-RILES):** Residuo(s) industrial(les) líquido(s) efluente residual evacuado de las instalaciones de un establecimiento industrial, con destino directo a los sistemas de recolección de aguas servidas o a sistemas de tratamiento.

## GLOSARIO

**Ruido de fondo:** Es aquel ruido que prevalece en ausencia del ruido generado por la fuente fija a medir.

**Tratamiento de Aguas Servidas:** El tratamiento de las aguas servidas es un proceso de depuración que consiste en obtener un agua residual cuya contaminación se elimine a un grado tal, que su vertido no ocasione ningún perjuicio a la fauna y flora del medio receptor a través de los siguientes tratamientos:

**Pretratamiento:** Etapa que permite eliminar los sólidos gruesos de gran tamaño y finos, cuyo paso a los tratamientos posteriores dificultaría su acción.

**Tratamiento Primario:** Durante esta etapa se produce la separación, por medios físicos, de las partículas en suspensión no retenidas en el pretratamiento ( materia coloidal sedimentable, materia en suspensión y materia orgánica, ya sea coloidal o sedimentable).

**Tratamiento Secundario:** Esta etapa consiste en reducir la DBO de las aguas residuales a través de la oxidación biológica. Los rendimientos de eliminación dependen de la materia orgánica disuelta y de la materia orgánica en suspensión.

**Tratamiento Terciario:** Esta etapa es un complemento de las etapas anteriores y se realiza para eliminar las sustancias nutrientes, bacterias patógenas, y ciertos metales y pesticidas.

**Zona I:** Aquella zona cuyos usos de suelo permitidos de acuerdo a los instrumentos de planificación territorial corresponden a: habitacional y equipamiento a escala vecinal.

**Zona II:** Aquella zona cuyos usos de suelo permitidos de acuerdo a los instrumentos de planificación territorial corresponden a los indicados para la zona I, y además se permite equipamiento a escala comunal y/o regional.

**Zona III:** Aquella zona cuyos usos de suelo permitidos de acuerdo a los instrumentos de planificación territorial corresponden a los indicados para la Zona II, y además se permite industrias inofensiva.

**Zona IV:** Aquella zona cuyos usos de suelo permitidos de acuerdo a los instrumentos de planificación territorial corresponden a industrias, con industrias inofensivas y/o molesta.

## RESUMEN

El trabajo expuesto se desarrolla en la III Región de Chile y consiste en evaluar los Sistemas de Tratamiento Aguas Servidas, desde el punto de vista ambiental y conocer las características más relevantes de las Aguas Residuales de la Región.

El objetivo principal es establecer tendencias de variación diaria, estacional y/o anual, para la mayoría de los contaminantes, sin embargo, se presenta mayor atención en los contaminantes de tipo orgánicos, que representan la base de los tratamientos.

Como objetivos secundarios se busca establecer una base de datos, además de las recomendaciones para crear un plan de monitoreo ambiental y al mismo tiempo determinar la calidad de las aguas y su cumplimiento ambiental.

En la Región, la Empresa de Servicios Sanitarios de Atacama, EMSSAT, es quien presta los servicios de agua potable y alcantarillado. Las ciudades de la Región que fueron estudiadas son: Chañaral, Huasco, Caldera, Diego de Almagro, El Salado, Freirina, Tierra Amarilla, Copiapó y Vallenar, de las cuales sólo Chañaral y Huasco no poseen Sistemas de Tratamiento de Aguas Servidas.

En la Región se dispone de dos tipos de tratamientos; Aireados y Facultativos. En las localidades de Copiapó y Vallenar se utilizan Sistemas de Lagunas Aireadas, seguidas de Lagunas de Decantación y Desinfección final con Cloro, en el resto de las localidades mencionadas, los Sistemas son basados en Lagunas Facultativas o de Estabilización.

Las Lagunas Aireadas operan en forma eficiente, entregando un efluente que cumple con las normas actuales, sin embargo, las Lagunas Facultativas por diversos motivos, no han operado con la eficacia requerida presentando en diversas ocasiones, problemas serios en sus funcionamientos, lo que ha derivado en que la calidad del efluente, no cumpla con la normativa, además de lo cual, se han presentado emanaciones de olores desagradables, generados por la materia orgánica de las aguas servidas.

EMSSAT, contempla en su planificación a corto plazo, disponer y tratar las aguas servidas de todas las comunas de Atacama. En una primera etapa, transformará las Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas correspondientes al tipo facultativo a Sistema de Lagunas Aireadas y Desinfección final, donde se espera solucionar las serias deficiencias de funcionamiento, cumplir con la normativa y eliminar definitivamente los malos olores.

A continuación se presenta una propuesta para cumplir con el objetivo principal, de acuerdo a la siguiente metodología:

- Recopilar la información existente en las campañas de muestreo, muestras de autocontrol periódicas, etc.
- Registrar la información en una base de datos.
- Tratar estadísticamente los datos obtenidos.
- Analizar la información y lograr una evaluación.

Dentro de los resultados obtenidos, se establece que la información actual presenta insuficiencias para la obtención de conclusiones sólidas, sin embargo, permite un análisis

cuantitativo que nos entrega estimaciones de las variaciones diarias, por lo tanto, el primer paso a seguir, es la planificación sistemática de nuevas campañas, para lograr disponer de una base de datos lo suficientemente confiable para obtener una estadística sólida.

En relación con el comportamiento de los contaminantes de origen orgánico y el caudal de los afluentes, éstos presentan una variación diaria determinada por la actividad de la población con mínimos en la madrugada y máximos en horas del día cuando la actividad urbana es importante, no obstante, existen localidades y contaminantes que tienen comportamientos particulares y específicos, presentando mayores variaciones diarias los afluentes de las localidades pequeñas, donde no se amortiguan las descargas producto del escaso caudal de las aguas servidas.

La cantidad y concentración de las aguas residuales, es función de su origen y de sus componentes, por ello las cargas varían de una ciudad a otra y de un país a otro. Es importante destacar que las aguas servidas de la región no presentan problemas de contaminación industrial, correspondiendo ésta, a aportes principalmente orgánicos. En general se observa que no hay gran concentración de metales, pero el riesgo del aumento de éste es latente, debido a que una de las actividades más importantes de la Región es la minería, y por consiguiente, se debe tomar la suficiente atención frente a los efectos o descargas puntuales.

En este trabajo se entregan las herramientas de evaluación, dentro de los programas de monitoreo, para analizar los efectos ambientales que producirá el cambio de tecnología desde Lagunas Facultativas a Lagunas Aireadas, considerando toda la Normativa Ambiental correspondiente, dicha evaluación deberá realizarse en la medida que los sistemas sean reacondicionados con los nuevos proyectos. Además con los programas se podrán establecer medidas de control y operación como también lograr validar o descartar las conclusiones finales del presente trabajo.

# CAPITULO 1

## INTRODUCCION

La generación de aguas residuales es un producto inevitable de la actividad humana. Para evacuar los residuos líquidos se han creado los sistemas de alcantarillados, los que contienen desechos orgánicos e inorgánicos de variada naturaleza, conformando una mezcla de gran complejidad. En las aguas servidas se encuentra materia orgánica a concentraciones elevadas, que consumen oxígeno y empobrecen las aguas de dicho elemento. También pueden estar presentes diversos compuestos orgánicos como grasas, aceites, detergentes, etc. Dichas aguas a través del alcantarillado, han sido vertidas directamente a ríos y mares, con el fin de diluirlos o dispersarlos, práctica que aun no ha sido eliminada del todo. Ello ha traído como consecuencia la contaminación de los cursos de agua superficiales. La prevención de la contaminación del agua es solamente posible, si se definen y desarrollan técnicas apropiadas para el tratamiento y disposición de las aguas residuales. Sin embargo, ningún programa será exitoso, si no se cuenta con los recursos financieros para su implantación, operación y mantenimiento, producto de que, cualquier descuido en la operación, puede traer consigo nuevas problemáticas ambientales, tales como la generación de lodos, olores, ruidos, vectores, etc.

El deterioro de la calidad del medio ambiente, ha ido aumentando progresivamente en el país, llegando a despertar una gran preocupación por la compatibilidad entre los procesos de desarrollo y la protección ambiental. Esta afinidad requiere conocer el estado de la calidad del agua, para determinar el uso que se le puede dar al cause receptor aguas abajo de las descargas. La definición de la calidad del agua para los diferentes usos y la utilización que tiene cada curso de agua, permitirá tomar las medidas de protección correspondientes.

La contaminación de recursos hídricos y su efecto en el medio ambiente, a traído como consecuencia, una preocupación social y política y con ello la generación de una nueva normativa, de modo de minimizar los efectos negativos y lograr un saneamiento de las aguas.

El presente trabajo es desarrollado en el norte de nuestro país, lugar en el cual el agua es un recurso primordial y escaso, es por esta razón, que los tratamientos de aguas servidas son una alternativa concreta al saneamiento de las cuencas, como también abren una posible ventana de reutilización y nuevas perspectivas de diversificación económicas.

Las aguas residuales de la mayoría de los centros urbanos de la Tercera Región son tratadas por la Empresa de Servicios Sanitarios de Atacama S.A., EMSSAT, que cuenta con sistemas de tratamientos de acuerdo al siguiente detalle;

- En las localidades de Diego de Almagro, El Salado, Freirina, Caldera y Tierra Amarilla, funcionan sobre la base de Lagunas Facultativas, las cuales se encuentran sobrecargadas o no operan en propiedad, entregando un efluente que no cumple la Norma Chilena NChN°1333 (Requisitos para calidad del agua para diferentes usos)
- En las localidades de Copiapó y Vallenar, se cuenta con sistemas basados en Lagunas Aireadas, con equipos de aireación, Laguna de Decantación y desinfección final, las aguas mencionadas son aptas para riego agrícola, de acuerdo a la Norma Chilena NChN°1333.
- En las localidades de Huasco y Chañaral existen descargas a orillas de mar, sin tratamiento.

Es importante caracterizar las aguas servidas de la región para comprender los comportamientos temporales de éstas. Este punto se basa en la creación de una base de datos estadística, que al mismo tiempo permita enfocar el análisis a efectos inesperados. El estudio proporcionará entonces, elementos de predicción y evaluación de las situaciones fortuitas, a través de un programa de monitoreo o muestreo.

La empresa se encuentra consciente de las deficiencias de los tratamientos de las localidades donde actualmente existen Lagunas Facultativas, es por esta razón que como una solución de mejoramiento, han decidido implantar sistemas de Lagunas Aireadas, considerando tanto la experiencia adquirida, como los buenos resultados obtenidos en ellas.

Los cambios surgidos en la legislación durante la última década, como consecuencia del dictamen de la Ley General de Bases de Medio Ambiente, sus reglamentos y normas asociadas, requieren un análisis desde una perspectiva distinta sobre los sistemas de tratamiento, cuya planificación original se ajustó a la Norma NChN°1333.

En consecuencia se requiere incluir los actuales sistemas, con cada una de las consideraciones y restricciones que impone la legislación y normativa vigente, además de las que están en trámite de promulgación.

## OBJETIVO GENERAL

La necesidad de procesar la información de las aguas servidas, nace producto de que cada parámetro posee un comportamiento temporal, que es necesario considerar para la planificación del tratamiento.

La recopilación de la información y el posterior trabajo estadístico, lograrán establecer tendencias de variación diaria, estacional y/o anual, valores medios, cargas contaminantes, etc.

Se requiere caracterizar las aguas servidas para establecer dichos comportamientos y así lograr estimar la cantidad y calidad de los afluentes y efluentes de cada Planta de Tratamiento. La caracterización se logra a través de una serie de muestreos de calidad, cuyos resultados son esenciales para la operación y control de los mismos.

## OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- **Generar un programa de monitoreo ambiental.**

A través del estudio de los sistemas, se logrará llegar a establecer un comportamiento de la calidad de las aguas servidas de cada localidad, su incidencia en el sistema de tratamiento propuesto y las calidades esperadas en efluentes y lodos, de manera de establecer acciones de monitoreo, control y manejo requeridos por cada sistema, para el mejor desempeño ambiental posible, al menor costo.

- **Determinación de los estándares de calidad de las aguas servidas para los sistemas de tratamiento de acuerdo a la normativa actual y en estudio.**

Actualmente, las aguas residuales de la Región, son descargadas a los cuerpos de agua superficiales adyacentes a las plantas de tratamiento. Por lo tanto, estas descargas deben cumplir con las exigencias que la normativa chilena impone a los vertidos a en los cuerpos de aguas superficiales.

- **Determinar el cumplimiento de la normativa vigente por parte de los sistemas de tratamiento**

Los sistemas actuales y los que están en proyecto tienen, asociadas nuevas interrogantes, relacionadas con impactos tanto positivos como negativos sobre el ambiente, los que serán analizados según la normativa, utilizando los antecedentes disponibles.

- **Generar una base de datos computacional para el análisis y manejo estadístico de la información de calidad del agua.**

Se procesará la información existente, de modo que permita un acceso cómodo para su manejo y posterior análisis estadístico.

## CAPÍTULO 2

### DEFINICIONES Y TEORIA DE LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE LAS AGUAS SERVIDAS

#### 2.1 GENERALIDADES

Las aguas servidas o residuales tienen su origen en los hogares e industrias y son conocidas popularmente como "aguas negras". Son aguas que contienen residuos como fecas, restos de comida, sustancias de diversas naturalezas.

Los sistemas de tratamiento surgen de la necesidad de modificar las características físico – químicas y biológicas de aguas residuales, según criterios y parámetros de calidad establecidos por la ley. Estas leyes también deberán establecer un uso determinado de las aguas ya recuperadas.

Existen diversos sistemas de tratamiento que permiten la recuperación de las aguas residuales. Los más conocidos son los sistemas de lagunas de estabilización u oxidación, donde se biodegradan las aguas de manera natural; y el sistema de lodos activados, a través del cual se remueve la carga orgánica con la adición mecánica de aire y se desinfectan con ayuda de compuestos químicos apropiados. En ambos sistemas se aplican procesos que permiten eliminar de las aguas servidas, microorganismos patógenos que pudieran generar enfermedades y materia orgánica descompuesta que disminuye el oxígeno disuelto en las aguas naturales afectando la vida acuática.

#### 2.2 CAUDAL

El caudal es una de las variables relevantes a la hora de proyectar, operar y monitorear un sistema de tratamiento. Es la cantidad de vertido por unidad de tiempo que deben soportar las instalaciones. La composición de los caudales de aguas residuales de una comunidad depende del contenido de:

**Agua residual doméstica (o sanitaria):** Procedente de zonas residenciales, instalaciones comerciales , públicas y similares.

**Agua residual industrial (RIL):** Es agua residual en la cual predominan vertidos industriales.

**Infiltración y aportes incontrolados:** Agua que entra tanto de manera directa como indirecta en la red de alcantarillado. La infiltración hace referencia al agua que penetra en el sistema a través de uniones defectuosas, fracturas y grietas, paredes porosas en sectores con presencias de napas. Los aportes incontrolados

corresponden a aguas pluviales que se descargan a la red de alcantarillado o aguas ajenas al sistema de agua potable que por diversos motivos llegan a las alcantarillas.

En la composición de las aguas residuales los porcentajes atribuibles a cada uno de los componentes depende de las características particulares de la zona.

El caudal no es constante durante el día, sino una sumatoria de pulsos de descarga de agua, causados por diversas fuentes como escusados, lavaderos, etc. Esta sumatoria produce un flujo continuo de caudal.

El caudal del agua residual se suele estimar en función del caudal de agua potable consumida por la población, sin embargo existen una serie de pérdidas. Dichas pérdidas tienen como consecuencia que el caudal del agua residual sea inferior al agua potable suministrada, entre las que se puede mencionar los usos del agua que no tienen reincorporación al alcantarillado como su uso en lavados de los autos, riego de jardines, etc. En general se considera que solo entre un 80-90% del agua potable se transforma en agua residual. Además, la infiltración y los aportes incontrolados pueden aumentar el caudal total de agua servidas.

El caudal, presenta variaciones en el corto plazo que siguen aproximadamente una tendencia de variación diaria, encontrándose un mínimo en horas de la noche donde el consumo de agua potable es aproximadamente nulo y un máximo en horas de la tarde. Además, presentan variaciones estacionales, especialmente en zonas turísticas y en zonas en las que las actividades tanto comercial como industrial se concentran en diferentes épocas del año. La variación que cabe esperar depende tanto de la actividad que se desarrolla como del tamaño de la comunidad.

### **2.3 AGUAS SERVIDAS DOMÉSTICAS**

Las agua servidas domésticas son generadas por las diversas actividades humanas entre las que se encuentran las aguas de cocinas y baños que corresponden a una mezcla de sales, grasa, jabones, aguas que proceden de la defecación del ser humano, etc.

Debido a la diversidad de compuestos, la composición de las aguas servidas domésticas es muy variable dependiendo además de la procedencia del suministro, consumo de agua, régimen alimenticio, hábitos, etc. Por lo tanto, para estimar la calidad de las aguas residuales domésticas es necesario considerar la región, el clima y el rubro ocupacional de sus pobladores por que son muy variables de un lugar respecto a otro.

## 2.4 AGUAS SERVIDAS INDUSTRIALES

En las aguas servidas industriales predominan los vertidos industriales, se les denomina como RILES, sigla que significa Residuo Industrial Líquido.

La naturaleza de un RIL dependen del tipo y tamaño del centro industrial. Las industrias pueden tener descargas continuas y discontinuas. Prácticamente todas las actividades producen y descargan residuos líquidos desde alguna etapa o punto en el proceso.

Según referencia, se describen principalmente dos categorías de RILES:

- Sustancias que por sus propias características son directamente tóxicas o nocivas.
- Sustancias cuyos efectos contaminantes se deben no tanto a sus propiedades tóxicas como a los resultados que se originan de su descomposición u oxidación por acción química o biológica.

La contaminación de un cuerpo receptor puede afectar seriamente los usos benéficos del mismo, en la medida que las consecuencias de recibir materia orgánica putrescible superen su capacidad autopurificadora, o materias tóxicas que puedan afectar adversamente tal capacidad.

Por lo tanto la necesidad y grado de tratamiento de un RIL dado, estará determinado por las condiciones específicas de sus características en términos de aportes contaminantes y del cuerpo receptor al que se evacue.

## 2.5 OBJETIVOS DEL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES

En la concepción de un sistema de tratamiento se pueden considerar diferentes objetivos, teniendo en cuenta la disponibilidad de recursos económicos y técnicos, así como los criterios establecidos para descargas de efluentes. El objetivo principal es la conservación de las fuentes de aguas naturales, con la preservación de la vida acuática y la prevención de enfermedades y molestias, por estas razones se modifica la composición de las aguas servidas para ajustarlas a un uso particular.

La complejidad del sistema de tratamiento, esta en función de los objetivos propuestos según el tipo de contaminante que se desee remover. Se debe tener en cuenta la gran cantidad de operaciones y procesos disponibles para tratamiento de aguas.

En todo sistema de tratamiento de aguas existen dos líneas de tratamiento; la hídrica y la fracción sólida. Esta separación no es completa: por una parte la fracción de agua mantiene ciertos niveles de sólidos suspendidos y sustancias disueltas; por otra parte los sólidos se caracterizan por un alto contenido de agua, esta última fracción se denomina **lodos**.

## 2.6 SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS

Un sistema de tratamiento en general consiste en procesos unitarios de una o varias operaciones en combinación, las que pueden ser físicas, químicas o biológicas, diseñados para ejecutar una función particular, planteado con equilibrio entre eficiencia y costos. Durante un tratamiento de aguas residuales se acelera la acción de la naturaleza, bajo condiciones controladas dentro de una instalación removiendo el material suspendido, coloidal o disuelto de las aguas.

En un sistema de tratamiento de aguas es común hablar de pretratamiento, tratamiento primario, tratamiento secundario y tratamiento terciario.

El pretratamiento o tratamiento físico es aquel proceso de depuración cuyo principio es netamente físico, para acondicionar el agua para los tratamientos posteriores a través de procesos como desbaste gruesos, desarenado, desengrasado, etc. Por lo tanto su objetivo principal es remover del agua residual aquellos constituyentes que pueden causar dificultades de operación.

El tratamiento primario o químico es el proceso o conjunto de procesos para separar las partículas en suspensión no retenidas en el pretratamiento. Esta referido comúnmente a la remoción parcial de sólidos en suspensión, materia orgánica, u organismos patógenos, mediante sedimentación, se incluyen tratamientos que requieren la utilización de productos químicos o coagulantes. Entre estos procesos se encuentran la coagulación–floculación, neutralización, precipitación, oxidaciones y reducciones. Constituye un método de preparación para un tratamiento secundario.

El tratamiento secundario o biológico es el encargado de reducir y remover la materia orgánica y los sólidos en suspensión de las aguas residuales, empleando la oxidación biológica. Este mecanismo consiste en la asimilación de la materia orgánica degradable biológicamente por los microorganismos, en presencia de oxígeno y nutrientes, para ello se utiliza una gran variedad de microorganismos, principalmente bacterias, que convierten la materia orgánica carbonosa en diferentes gases y tejido celular, que es fácilmente separable por decantación. Los procesos biológicos más utilizados se pueden agrupar en procesos aerobios; procesos anaerobios y procesos facultativos.

Un tratamiento terciario es usado generalmente en la remoción de nutrientes con precipitación química y también considera a los procesos de desinfección como la cloración, ozonización o radiación ultravioleta.

El agua residual que llega a los sistemas de tratamiento debe pasar por la serie de tratamientos mencionados para poder eliminar o disminuir la contaminación. La secuencia del tratamiento viene definida por el grado de depuración a alcanzar, las características del agua a tratar y los costos de las instalaciones.

## 2.6.1 TRATAMIENTO BIOLÓGICO DE AGUAS SERVIDAS

Un tratamiento biológico de aguas residuales consiste básicamente en aclimatar una flora bacteriana (biomasa) que utilice la materia orgánica como alimento (sustrato), convirtiéndola en gases que escapan a la atmósfera y en tejido celular de las bacterias, que puede ser removido por sedimentación. Dependiendo del tipo de bacterias que se aclimaten, se define el proceso:

- **Procesos aerobios.** Se dan en presencia de oxígeno, se llevan a cabo en estanques en los que se mantiene una concentración adecuada de oxígeno, mediante sistemas mecánicos, como agitación, o mediante inyección de oxígeno puro o aire. Los principales procesos empleados para la eliminación de la materia orgánica son: el proceso de fangos activados, las Lagunas Aireadas, el reactor de flujo discontinuo secuencial y el proceso de digestión aerobia.
- **Procesos anaerobios.** Se dan en ausencia de oxígeno disuelto y las bacterias utilizan oxígeno de otros compuestos como nitratos, nitritos, sulfato y el CO<sub>2</sub> como fuente de oxígeno para la respiración. En general se lleva a cabo en reactores cerrados, generándose gases de reacción ricos en metano, que pueden ser aprovechados para producir energía, dado su alto poder calorífico.
- **Procesos facultativos.** Son la combinación de la actividad bacteriana aerobia y anaerobia, esta combinación da origen al tipo de lagunas más comunes en el tratamiento de aguas residuales conocidas como Lagunas de Estabilización Facultativas o simplemente Lagunas Facultativas. El proceso produce la eliminación de la materia carbonosa, nitrificación, desnitrificación y eliminación del fósforo.

Los sistemas de tratamiento en la medida que se incorpora tecnología pueden ser convencionales como no convencionales.

Los sistemas de tratamiento convencionales involucran mecanización, consumiendo energía y productos químicos, presentando la ventaja que ocupan poco espacio. La extracción del material que se desea eliminar se realiza mediante procedimientos de ingeniería. Los tratamientos no convencionales o tecnologías blandas no involucran mecanización, se basan en utilizar la naturaleza o en adaptaciones de ella para procesar el agua residual mediante procesos naturales, requieren grandes áreas de terreno y están enfocadas mayoritariamente al tratamiento de aguas domésticas. Entre estos sistemas se cuentan las Lagunas Facultativas y Lagunas Anaeróbicas. El diseño de estas unidades está en general basado en el tiempo de retención y la carga orgánica aplicada por unidad de superficie.

Es importante profundizar en los sistemas que se encuentran en la región para una mejor comprensión del trabajo que se realiza. En relación con este aspecto EMSSAT posee sistemas de Lagunas Aireadas y Lagunas Facultativas.

## 2.6.2 LAGUNAS AIREADAS

Las Lagunas Aireadas se consideran como un tratamiento convencional, las que si bien contemplan componentes unitarios del tipo no convencionales (Lagunas Facultativas), incorporan elementos mecanizados para la transferencia de oxígeno.

Una Laguna Aireada es un depósito en el que el agua residual se trata en la modalidad de flujo continuo sin recirculación de sólidos. La principal función de este proceso es la conversión de la materia orgánica. Normalmente se suele aportar oxígeno con aireadores superficiales o con sistemas de difusión de aire los que pueden ser de diversos tipo, siendo los más comunes los aireadores flotantes de alta o baja rotación. En la elección del aireador, no solo se debe considerar la potencia necesaria para suplir los requerimientos de oxígeno, sino también la potencia necesaria para proveer la mezcla requerida (mantención de los sólidos en suspensión).

Dependiendo del tiempo de retención, el efluente de una Laguna Aireada puede contener entre un tercio y la mitad de la DBO afluente, en forma de tejido celular. La mayor parte de estos sólidos se deben eliminar por sedimentación antes de la descarga del efluente en una laguna de decantación que suele ser un elemento habitual en la mayoría de estos tipos de sistemas.

Los factores que son tomados en cuenta en el diseño de una Laguna Aireada son la eliminación de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), características del efluente, demanda de oxígeno, efecto de la temperatura, separación de los sólidos, tiempo de residencia, tipo de aireador necesario.

La eliminación de DBO se encuentra determinada por la elección del tiempo medio de retención celular, se debe llevar a cabo asegurando que los microorganismos en suspensión bioflocularán haciendo sencilla su eliminación por sedimentación, y la consideración de un factor de seguridad adecuado en relación con el tiempo de retención celular límite que produce la pérdida de sólidos.

Las características del efluente en especial de la concentración de DBO y los Sólidos Suspendidos Totales (SST) permiten estimar la eficiencia de cada sistema. Los SST del efluente están constituidos por una fracción de los sólidos entrantes, sólidos biológicos generados en la conversión de los residuos, y ocasionalmente pequeñas cantidades de algas. La eficiencia del tratamiento se ve determinado por los cambios de temperatura, ya que a bajas temperaturas se produce una reducción de la actividad biológica.

Con respecto a las **Lagunas de Decantación** es necesario establecer claramente el tiempo de retención adecuado para conseguir el grado de eliminación necesario de los sólidos, se debe disponer de espacio suficiente para instalar los lodos, el que debe ser purgado con alguna regularidad para no acumular más de lo que se dispone para dicho efecto, se debe minimizar el crecimiento de algas y se deben

controlar los olores que se puedan producir como resultado de la descomposición anaerobia del lodo. En general las Lagunas de Decantación se diseñan esperando almacenar los lodos por 1 o 2 años para su estabilización.

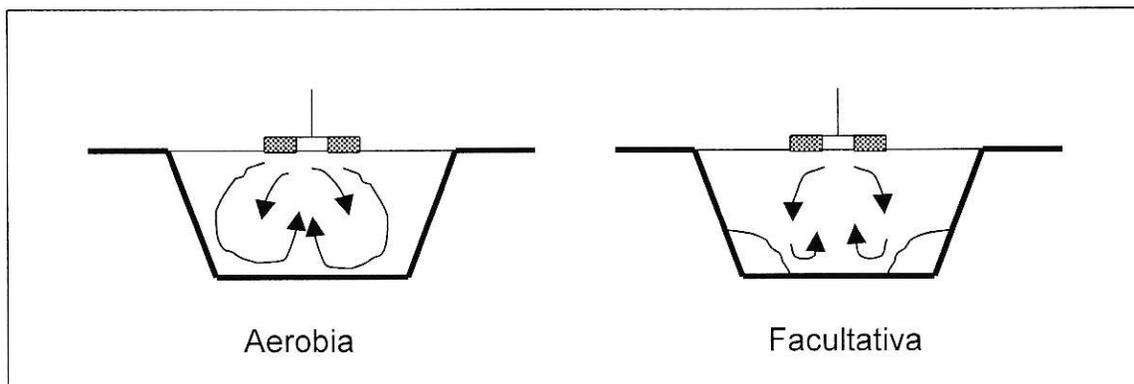
Encontramos dos tipos de las Lagunas Aireadas las **Aireadas de mezcla completa** y las **Aireadas Facultativa**. Las características más importantes y principales diferencias se describen y presentan en la Tabla y Figura 1:

Tabla 1:  
Características principales de las Lagunas Aireadas

Características	Laguna Aireada de Mezcla Completa	Laguna Aireada Facultativa
Control de sólidos	Todos los sólidos quedan en suspensión por lo tanto necesita separación posterior	Una porción de sólidos sedimenta y la otra parte sale con el efluente.
Concentración de SS	100-360	50-150
Tiempo de retención	< 5 días	5 a 12 días
Eficiencia de remoción de DBO	50-60 % Laguna Aireada; 90% con separación posterior de sólidos	70-80%
Nitrificación	Prácticamente nula	Prácticamente nula
Remoción de coliformes	Muy pobre	Pobre
Profundidad de la laguna	2,5 a 5,0 m	2,5 a 5,0 m
Densidad de potencia mínimo	> 3 W/m de laguna para impedir la sedimentación de los sólidos en suspensión	> 0,75 W/m <sup>3</sup> para garantizar la difusión uniforme de O <sub>2</sub> en la laguna

Fuente: Referencia 1

Figura 1:  
Esquema de Lagunas Aireadas



Fuente: Referencia 1

Las principales diferencias entre ambos sistemas radican en los tiempos de retención y los requerimientos de oxígeno. En una Laguna Aireada a mezcla completa la potencia requerida debe ser lo suficientemente alta para introducir el oxígeno necesario en toda la laguna, para suplir las necesidades de las bacterias y mantener todos los sólidos en suspensión. En una Laguna Aireada Facultativa el nivel de

potencia instalado cumple los requerimientos de oxígeno necesario para las bacterias y agitación parcial presentando decantación y acumulación de sólidos en las zonas de menor turbulencia, además de generación de algas.

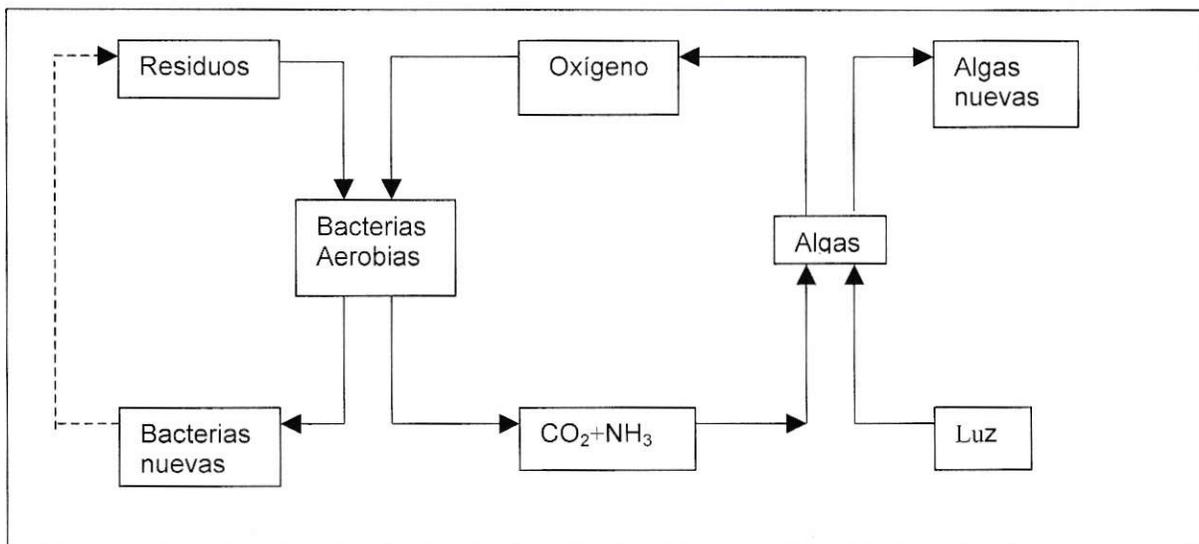
### 2.6.3 LAGUNAS FACULTATIVAS:

Las Lagunas Facultativas son un tratamiento no convencional, utiliza la naturaleza para procesar el agua residual mediante procesos naturales y no requiere un equipo de aireación. Contienen principalmente algas y bacterias en suspensión. El oxígeno necesario se obtiene de la superficie natural de aireación y del liberado por las algas, a través del metabolismo fotosintético. El oxígeno liberado por las algas es usado por las bacterias en la descomposición aerobia de la materia orgánica. A la vez, los nutrientes y el  $\text{CO}_2$  producidos por la actividad bacteriana son usados por las algas, es un proceso de simbiosis cíclica. El proceso produce la eliminación de la DBO carbonosa, nitrificación, desnitrificación y eliminación del fósforo.

En la siguiente figura se presenta un esquema simplificado de la estabilización de la materia orgánica por vía aerobia y la simbiosis entre las algas y las bacterias.

Figura 2:

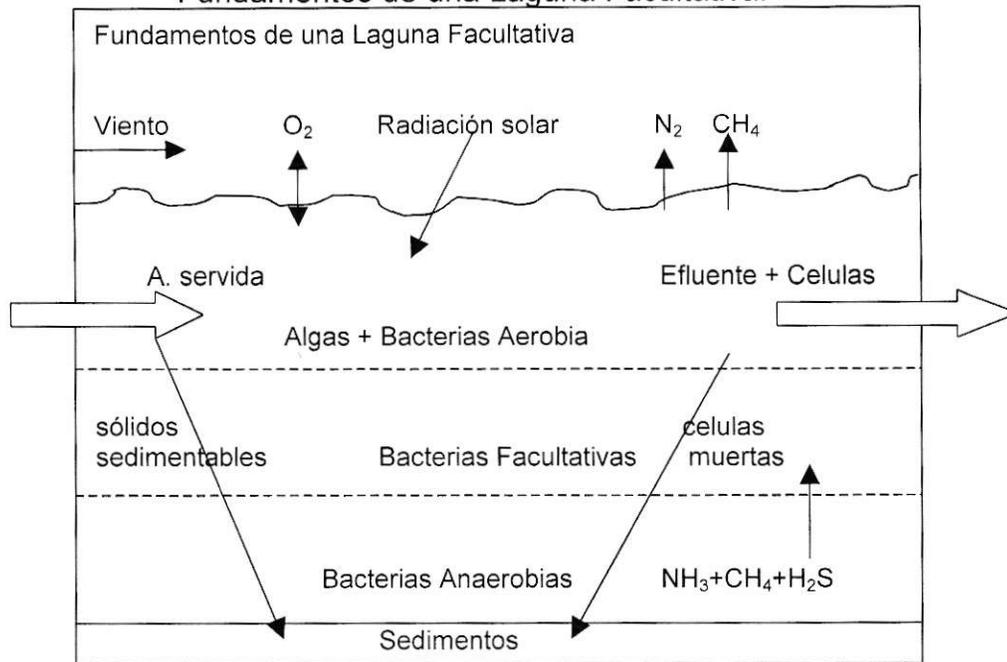
Esquema simplificado de la simbiosis algas – bacterias en una Laguna Facultativa



Fuente: Adaptación Referencia 26.

En una Laguna Facultativa los fundamentos de los procesos que ocurren se pueden representar como se indica en la Figura 3. Se puede considerar que una Laguna Facultativa está dividida en regiones: la región inferior anaerobia; una zona intermedia en donde la descomposición de los residuos orgánicos es llevada a cabo por bacterias facultativas, y una zona superior donde se produce descomposición aerobia, realizada por bacterias aerobias.

Figura 3:  
Fundamentos de una Laguna Facultativa.



Fuente: Adaptación Referenciaa 26.

Otras características de un Sistema Facultativo son que presentan una profundidad de entre 1 a 2,5 metros, requieren de una amplia superficie para el desarrollo de las instalaciones y se encuentran tiempos de retención elevados generalmente de entre 1 a 2 meses, este último factor determina un sistema donde ocurre la acumulación de sedimentos en el fondo de la laguna. Los sedimentos o lodos tienen una fermentación anaeróbica, como se observa en Figura 3, este punto es fundamental en la estimación de las reservas de oxígeno y para el funcionamiento global.

En una Laguna Facultativa la capa superior debe ser predominantemente aerobia y actuar como una barrera contra los gases reducidos que se producen en el fondo. Cuando la laguna se transforma en anaerobia el contenido de sulfuro de hidrógeno ( $H_2S$ ) provoca emanaciones de olores molestos.

En general, un tratamiento Facultativo tiene la ventaja de ser un sistema de bajo costo de operación.

## 2.7 SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE LODOS

### 2.7.1 GENERALIDADES

Los sistemas de depuración y/o tratamiento de aguas residuales surgen con el objetivo de disminuir su grado de contaminación. Como resultado del tratamiento del agua residual, se generan lodos que concentran los contaminantes originalmente

presentes en el agua transformados o combinados con otros compuestos y que por sus características pueden afectar o no al medio ambiente.

Todos los sistemas de tratamiento de aguas producen una cierta cantidad de residuos sólidos en alguna parte de sus procesos. Los lodos producidos en la depuración de aguas residuales tienen un contenido de agua importante, entre un 94 a 99%, que hay que reducir por diversas razones antes de ser dispuestos en forma adecuada. La eliminación mecánica de parte de dicho agua es práctica habitual, pero si se quiere llegar a contenidos más bajos, hay que entrar en la deshidratación térmica.

Para tratar y evacuar los lodos generados en la planta de tratamiento de una forma eficiente, es importante conocer sus características, las que están en función del origen, edad y tipo de proceso a los que haya sido sometido el lodo.

Los lodos, pueden contener sustancias relevantes desde el punto de vista ambiental y sanitario. Entre ellas se pueden mencionar sustancias orgánicas putrescibles que constituyen fuente de atracción de vectores y emisión de olores, metales pesados y microorganismos patógenos. Además, el volumen de lodos que se produce depende del tipo de tratamiento de las aguas residuales y de factores externos como la climatología o el volumen agua residual tratada.

Existen 5 tipos de lodos según referencia que se producen en un proceso de tratamiento:

1. Lodos primarios de la sedimentación del agua residual.
2. Lodos secundarios del tratamiento biológico del agua residual.
3. Formas digeridas de los dos anteriores en forma separada o mezclada.
4. Lodos de hidróxidos por la coagulación y sedimentación de las aguas y desechos industriales.
5. Lodos de precipitación de las plantas de ablandamiento y del tratamiento de desechos industriales.

Los lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas residuales poseen características muy diversas. Algunos lodos denominados biosólidos son susceptibles de ser reusados o revalorizados como mejoradores de suelos como fuente de materia orgánica y de nutrientes, si el contenido químico y ecotoxicológico lo permite. Otros lodos pueden destinarse a la recuperación y reciclaje de los elementos presentes en ellos o a una reutilización posterior. Así también hay otro tipo de lodos que deben ser destinados a sitios especiales de confinamiento como vertedero y en ocasiones, de acuerdo a sus características de peligrosidad deben ser manejados como desechos peligrosos.

Por lo tanto si se conoce la composición de los lodos se puede decidir sobre su eventual aprovechamiento, para lograr establecer las limitaciones a las cuales pueden verse sometidos, cuando se debe elegir su tratamiento o disposición final.

## 2.7.2 TRATAMIENTO DE LODOS

Las instalaciones para el tratamiento de los lodos, en general son parte integral de una planta de tratamiento, es fundamental definir los parámetros básicos de diseño de los sistemas de almacenamiento, transporte, tratamiento, y disposición final.

Los lodos que se generan durante un tratamiento se deben inertizar o higienizar antes de su disposición final, este corresponde a un proceso que conduce a la mineralización y a una reducción importante de patógenos y vectores.

Para lograr manejar un lodo sin peligro es necesario realizarles procesos de acondicionamiento que los homogeneicen y los espesen, algunos de los cuales son:

- Acondicionamiento: Proceso donde se produce la concentración de la materia sólida mediante deshidratación, eliminación parcial del agua, etc.
- Mineralización: Proceso donde se produce la destrucción de la materia orgánica mediante reducción biológica de la materia orgánica, incineración, etc.
- Desinfección: reducción de patógenos y virus.

Dependiendo del tratamiento se obtiene resultados diferentes en relación con la inertización de los lodos.

## CAPÍTULO 3

### SITUACIÓN ACTUAL SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS SERVIDAS REGIÓN DE ATACAMA

#### 3.1 GENERALIDADES

La población de la Tercera Región, según el último Censo Nacional de Población de 1992, era de 230.873 habitantes, lo que representa el 1,73% del total del país. Su distribución poblacional es de aproximadamente 90,5% urbano y 9,5% rural.

Actualmente la población total, estimada (1999) es de 269.000 habitantes (el 1,8% del total nacional), con una densidad de 3,7 habitantes por km<sup>2</sup>. La población vive principalmente en ciudades cercanas a la costa o adosadas a los valles transversales. Los valles determinan la división político administrativa, la que está constituida por tres provincias: Chañaral, Copiapó y Huasco, además de nueve comunas: Chañaral, Diego de Almagro, Copiapó, Caldera, Tierra Amarilla, Vallenar, Huasco, Freirina y Alto del Carmen. En la página a continuación se presenta un mapa regional.

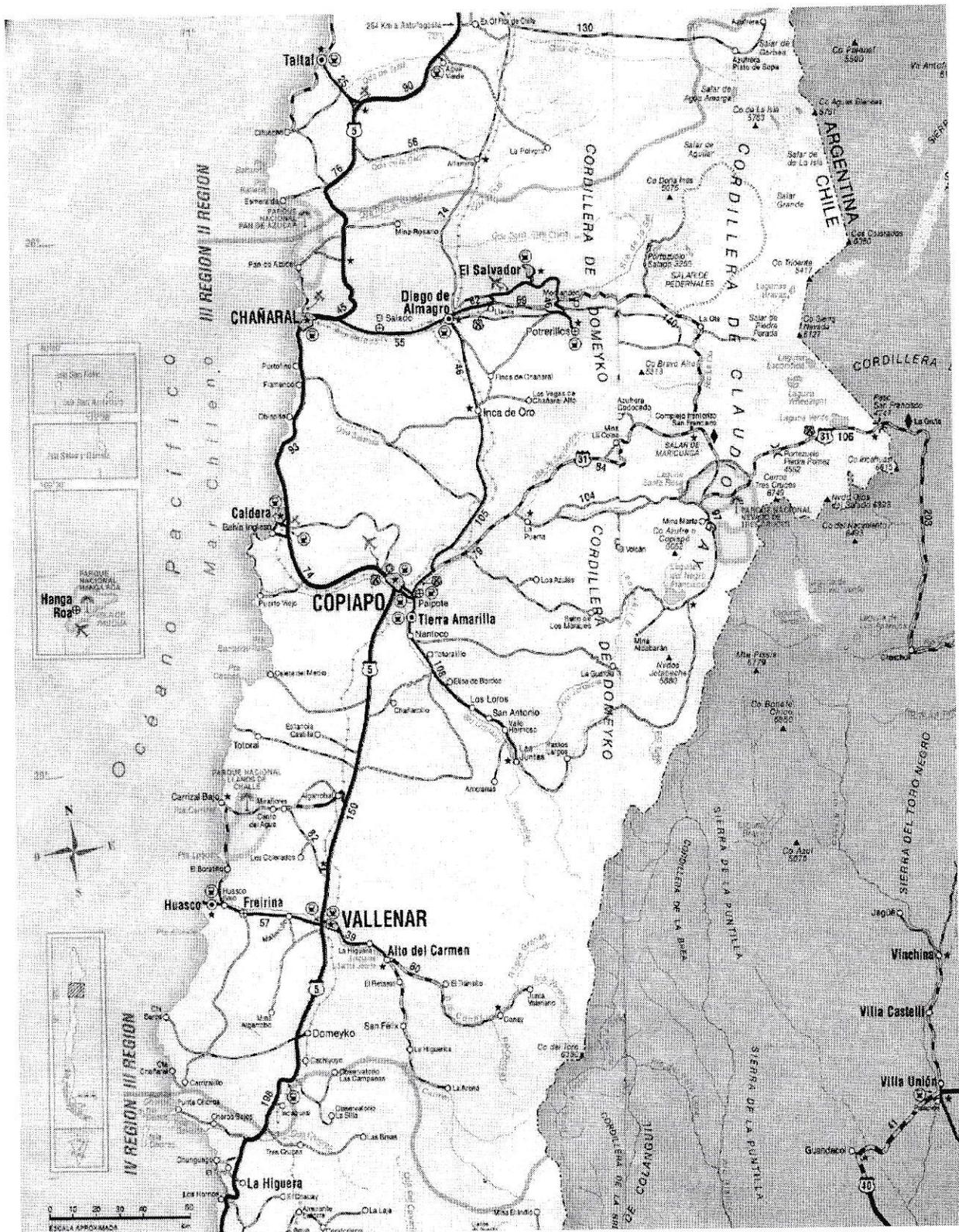
#### a. Hidrología de la región

En la región el aumento de precipitaciones invernales, la presencia de nieves en la alta cordillera andina, la irregularidad de la topografía y la altura de los relieves cordilleranos, permiten el desarrollo de cursos de alimentación mixtos, es decir pluvionival. Este hecho asegura el escurrimiento de las aguas durante todo el año. Los factores que condicionan la escorrentía superficial son la cantidad de nieve y la cantidad, intensidad y frecuencia de tormentas con precipitaciones.

En la región encontramos tres ríos de importancia, los ríos Salado, Copiapó y Huasco, los dos últimos corresponden a una misma agrupación, en atención a la similitud formal de las redes de drenaje y su comportamiento hidrográfico. Ambos ríos tienen regímenes de escurrimiento muy variado a lo largo del tiempo, con prolongadas épocas de sequías, alternadas con pocos años de mayor escurrimiento. El río Huasco presenta crecidas más acentuadas. El río Copiapó, sin embargo, suele presentar crecidas de mucha envergadura, y muy baja recurrencia, cuando la quebrada de Paipote logra captar lluvias altiplánicas de importancia.

El **río Copiapó** posee una hoya hidrográfica de 18.400 km<sup>2</sup>. Sus tributarios son el Pulido, Jorquera y Manflas. La presencia de terrazas fluviales y sectores de vegas con abundante humedad permite que el valle sea intensamente utilizado en faenas agrícolas. El río atraviesa la ciudad de Tierra Amarilla y Copiapó, pero su cauce

se encuentra seco producto que la totalidad de sus aguas son desviadas en canales para ser utilizadas en agricultura.



El **río Huasco** posee una hoya hidrográfica de 9.850 km<sup>2</sup>. Esta formado por dos ríos, El Tránsito y el Carmen. El río Huasco se desarrolla en 90 km de longitud hasta desembocar en el mar, al norte de la ciudad del mismo nombre. Sus aguas, se utilizan para el riego del valle en las ciudades de Vallenar, Freirina y Huasco, ciudades por las cuales el río pasa con un caudal constante.

El **río Salado** tiene como tributarios principales a las quebradas de Asientos y Chañaral Alto. Sus aguas son desviadas del cauce natural para ser usadas principalmente para evacuar relaves mineros, en la División Salvador de Codelco Chile, en forma posterior al uso, las aguas son transportadas hasta el tranque Pampa Austral en el cual las aguas claras son encausadas en un canal hasta llegar a lo que correspondía a su curso natural a la salida de la ciudad de Diego de Almagro. A partir de Diego de Almagro, el río atraviesa El Salado y desembocando en el mar a unos 30 km. al norte de la bahía de Chañaral.

## b. Clima

El medio geográfico y en particular el clima de la región es predominantemente desértico. Las escasas precipitaciones se concentran en el invierno, y varían de acuerdo al relieve y cercanía con el mar. Durante el invierno se experimentan grandes variaciones diarias de temperatura. El verano recibe cierta humedad proveniente principalmente del área nordeste de la región, la que se genera por el desplazamiento del invierno altiplánico desde la Región de Antofagasta hacia la zona cordillerana y precordillerana de Atacama. El promedio de precipitaciones en la región es de 100 mm.

Las precipitaciones invernales aumentan paulatinamente de norte a sur, distinguiendo en la región, cuatro subtipos climáticos:

**Desértico litoral**; localizado en la franja costera de la región, penetrando al interior de los valles de Copiapó y Huasco y la quebrada del Salado, cuyas principales características son la abundante nubosidad matinal, las precipitaciones aumentan hacia el sur alcanzando 18 mm anual y las temperaturas anuales son de 16,1°C con una humedad relativa de 74%.

**Desértico de interior**; ubicado en la franja intermedia especialmente en los relieves de las Pampas, el límite sur de este clima es el río Copiapó y sus principales características son las elevadas temperaturas durante el día, ausencia de nubosidad y precipitaciones muy escasas.

**Desértico marginal o semiárido** se extiende desde el sur del valle del río Copiapó hasta el límite meridional de la región. Este clima se caracteriza por presentar cantidad de precipitaciones anuales, aumentando hacia el sur, la temperatura media corresponde a 15 °C y la humedad tiende a desaparecer en la medida que penetra hacia el interior de los valles y cordones de cerros

transversales. Las condiciones desérticas son atenuadas, debido al aumento de las precipitaciones caracterizando a esta zona como un semidesierto.

**Desértico marginal de altura** se localiza en la zona andina por sobre los 2.000 m de altura, las precipitaciones son más abundantes, sobre los 250 mm anuales, en las cumbres más altas predominan las precipitaciones sólidas. La presencia de nieve en esta región permite el desarrollo de ríos de alimentación pluvionival de cursos permanentes durante todo el año y de carácter exorreicos, las temperaturas son bajas y la amplitud térmica entre el día y la noche es acentuada.

### **c. Economía**

Su principal actividad es la minería, presentando una gran diversidad en los recursos minerales, encontrando la explotación de hierro, cobre, oro, plata, cuarzo, azufre y mármol (Blanco y Rojo).

Por otra parte, la región también cuenta con recursos agropecuarios tales como cebada, trigo, maíz; con hortalizas como cebollas y tomates. La uva que se produce en esta zona es muy requerida tanto para la exportación como para la industria del pisco, además se producen aceitunas para consumo local.

La actividad turística es otra fuente importante de ingresos a la región desarrollándose principalmente entre Chañaral y Puerto Viejo, pasando por los balnearios de Caldera y Bahía Inglesa.

En la región, los servicios de agua potable y alcantarillado están a cargo de la Empresa de Servicios Sanitarios de Atacama S.A., EMSSAT, que desde su constitución como Sociedad Anónima, ha dirigido sus esfuerzos entre otros objetivos en lograr una mayor cobertura en el tratamiento de las aguas servidas, alcanzando un 67,9%, cobertura importante en relación con otras Empresas Sanitarias del país.

Ha implantado sistemas de tratamiento de aguas servidas basados en Lagunas Aireadas, cuya tecnología permite obtener como producto final agua apta para riego agrícola. Estos sistemas se construyeron para las Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas de Copiapó y Vallenar, lo cual permitió solucionar las serias deficiencias de funcionamiento que presentaban las Lagunas Facultativas eliminando definitivamente los desagradables olores generados por la materia orgánica de las aguas servidas. Esta misma tecnología se desea introducir en el resto de la región. A continuación se presenta en Tabla 2 un resumen de las condiciones típicas de cada localidad a cargo de la empresa, los valores indicados corresponden a una estimación de la Superintendencia de Servicios Sanitarios, desde ahora SISS, los cuales servirán para tener una idea general de la situación actual de los sistemas como de sus funcionamientos, permitiendo a lector dimensionar cada localidad y su importancia a escala regional.

Tabla 2:  
Tabla resumen de las condiciones de la región para año 2000

Parámetro	Unidad	Copiapó	Vallenar	T.Amarilla	Freirina	D.Almagro	El Salado	Caldera	Chañaral	Huasco
Población	Hab.	119.170	46.760	10.959	3.871	9.193	1.324	17.962	13.223	7.094
Población con Agua Potable	Hab.	117.262	46.666	10.006	3.797	9.092	1.298	17.908	13.170	6.966
Población con alcantarillado	Hab.	112.734	46.012	9.085	2.508	7.869	1.200	13.472	12.205	5.618
Cobertura Agua Potable	%	98,4	99,8	91,3	98,1	98,9	98,0	99,7	99,6	98,2
Cobertura Alcantarillado	%	94,6	98,4	82,9	64,8	85,6	90,6	75,0	92,3	79,2
Cobertura de tratamiento de A.servidas	%	94,6	98,4	0	0	0	0	0	0	0

Fuente: Archivos EMSSAT S.A,  
La población fue la estimada para el año 1999.  
Las coberturas corresponden al año 2000.

## 3.2 DESCRIPCIÓN DE LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO

### 3.2.1 SITUACIÓN ACTUAL DE COPIAPÓ

La planta de tratamiento de aguas servidas (PTAS) se encuentra ubicada a la salida norte de la ciudad específicamente en Callejón Bodega s/n.

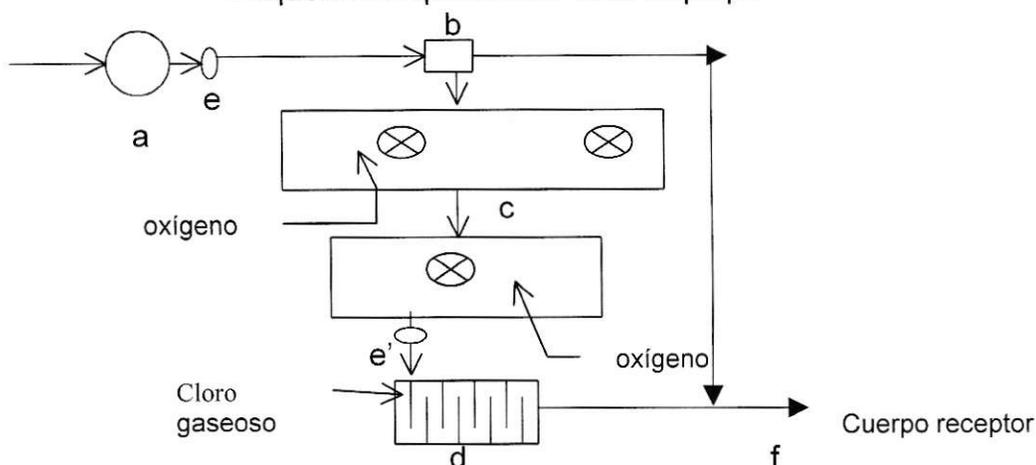
La planta fue construida en 1977, inicialmente el sistema estaba basado en Lagunas Facultativas, éstas no fueron capaces de absorber la carga orgánica del afluente, llegado al límite de su capacidad, por lo tanto EMSSAT encargó a la oficina consultora Kristal Ltda. la evaluación de la transformación a un sistema de mayor eficiencia, la cual propuso la utilización de un sistema de Lagunas Aireadas con Desinfección.

La nueva instalación comenzó su operación en 1996, trabajando como Laguna Aireada de mezcla completa durante cuatro meses y a partir de está fecha a funcionado como Laguna Aireada Facultativa seguida de una Laguna de Decantación y Desinfección con cloro, no mostrando problemas de operación.

A continuación se muestra la Figura 4, en la cual se describe el sistema desde aguas arriba, cada una de sus componentes se explican a continuación.

- a) Cámara de Rejas; es el tratamiento preliminar, está formada por barrotes separados entre sí por 15 mm, reteniendo principalmente sólidos, como trapos, plásticos, etc. La planta no cuenta con desarenador ni desgrasador.
- b) Cámara de "By-Pass"; permite la posibilidad de desviar el caudal sin hacerlo ingresar a la planta, frente a posibles eventos inesperados como aumentos de caudal (por lluvia) con o sin arrastre de material, mal funcionamiento, etc.

Figura 5:  
Esquema simplificado PTAS Copiapó



Fuente: Archivos EMSSAT S.A.

- c) Lagunas; las dos lagunas operan en serie y se encuentran impermeabilizadas con geomembranas de polietileno de bajo densidad (Low density polyethylene; LDPE) de 1mm de espesor. Se necesita un aireador en la Laguna de Decantación para minimizar la generación de sulfuros en ambientes anóxicos los cuales producen malos olores e interferencias en la desinfección con cloro. Las especificaciones de cada laguna se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3:  
Características Lagunas de PTAS Copiapó

Laguna	Unidad	Aireada	Decantación
Superficie	Hás	2,7	1,3
Profundidad	m	3,2	4,5
Capacidad total	m <sup>3</sup>	73.000	47.800
Tipo de aireador	Mecánico	Superficial de rotación lenta	
Marca aireador		Dregrémont	
Potencia aireadores	HP	25	
Número de aireadores		17	1

Fuente : Archivos EMSSAT S.A.

- d) Sistema de Desinfección; como ya se mencionó es con gas Cloro, con una dosis media de 5 ppm. Está formado por un Clorador V-500,W&T; seis contenedores de 1000 kg de capacidad, una alarma de gas cloro y una cámara de contacto. La cámara de contacto para el cloro, tiene una longitud de 620 m en una superficie de 620 m<sup>2</sup>, con una configuración serpenteante que permite un tiempo de contacto de 30-45 minutos, tiempo suficiente para permitir la acción del cloro, asegurando la eliminación de

microorganismos los que pueden o no ser dañinos. De la desinfección, se obtiene un efluente con calidad de riego que cumple con norma NCh 1.333.

- e) Medidor de Caudal; En la entrada es del tipo canaleta Parshall, donde la medición de la altura del agua determina el caudal, esta se realiza con un medidor ultrasónico Maddalena, que registra el caudal que ingresa a la planta en forma continua, ubicado en el punto (e). En la salida (e'), el medidor es un caudalímetro ultrasónico "Ultraflux", el que tiene como objetivo permitir la cloración en forma proporcional al caudal, mejorando la eficiencia en el uso del gas cloro.
- f) Emisario de descarga; el efluente final es dirigido hacia el río Copiapó. Se encuentra en buenas condiciones y corresponde a una tubería de cemento comprimido de 800 mm de diámetro y 717 m de longitud.

Actualmente, la planta opera con un caudal aproximado de 200 L/s y con un promedio de 13 aireadores encendidos que entregan una potencia de  $2.9 \text{ W /m}^3$  en la Laguna Aireada y 1 aireador en la Laguna de Decantación con  $0.4 \text{ W /m}^3$  de potencia, el que funciona en forma intermitente cada una hora. Presenta un buen funcionamiento no mostrando episodios de mal funcionamiento, entregando un efluente que cumple con la norma NCh N° 1.333, mayores antecedentes se presentan en Anexo 2.1.2-b.

### 3.2.1 SITUACIÓN ACTUAL VALLENAR

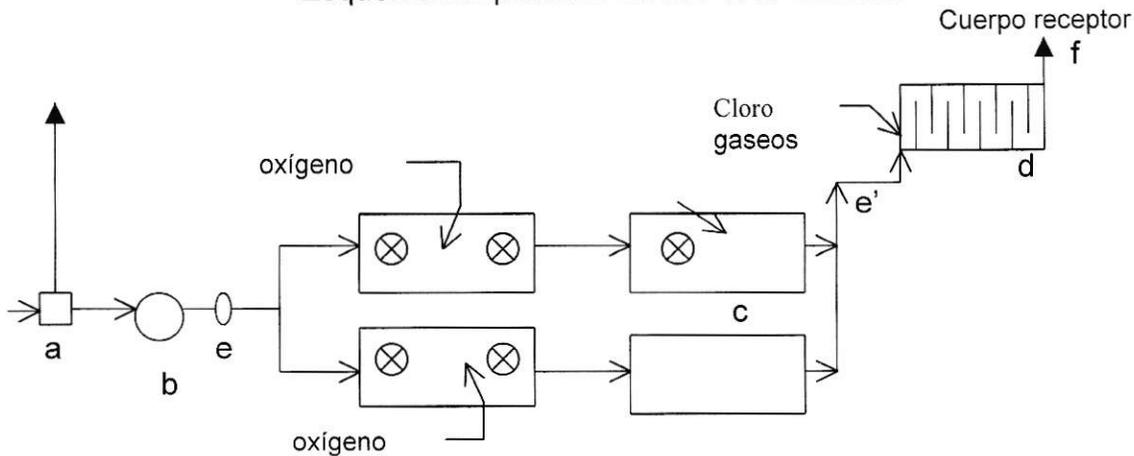
La planta de tratamiento se encuentra localizada en el sector Poniente de la ciudad de Vallenar, específicamente en el Camino Hacienda Ventanas s/n.

La planta terminó de ser construida y comenzó las operaciones Mayo de 1997, siendo interrumpida entre Diciembre de 1997 y Octubre de 1998, debido a la rotura del emisario de aguas servidas provocado por la crecida del río Huasco. Se reiniciaron las operaciones en Octubre de 1998, a partir de esta fecha la operación ha sido constante.

La planta de tratamiento de Vallenar corresponde a un proceso biológico consistente en Lagunas Aireadas a mezcla completa, seguida de Lagunas de Decantación, en dos canales paralelos y desinfección final con cloro. A continuación se muestra la Figura 5 en la cual se describe el sistema desde aguas arriba, cada uno de sus componentes se explican a continuación.

- a) Cámara de "By-Pass"; permite la posibilidad de desviar el caudal sin hacerlo ingresar a la planta.
- b) Cámara de Rejas; similar a la de Copiapó. Tampoco incluye desarenador y desgrasador.

Figura 6:  
Esquema simplificado de la PTAS Vallenar



Fuente: Archivos EMSSAT S.A.

- c) Lagunas; las Lagunas Aireadas entre sí operan en paralelo, al igual que las Lagunas de Decantación, todas encuentran impermeabilizadas con geomembranas de polietileno de baja densidad (LDPE) de 1 mm de espesor. Las especificaciones de cada una de ellas se muestran en la Tabla a continuación:

Tabla 4:  
Características Lagunas de PTAS Vallenar

Laguna	Unidad	Aireada	Decantación
Superficie	Hás	0,52	0,32
Profundidad	m	4	3,8
Capacidad total	m <sup>3</sup>	13.8	7.9
Tipo de aireador	Mecánico	Horizontales de aspiración	Verticales de rotación rápida
Marca aireador		Aeromix	Aqua Jet
Potencia aireadores	HP	25	3
Número de aireadores		7	1

Fuente : Archivos EMSSAT S.A.

- d) Sistema de Desinfección; como ya se mencionó es con Cloro gaseoso, con una dosis media de 3 ppm. Está formado por un Clorador V-10K, W&T; cuatro contenedores de 1.000 kg de capacidad, una alarma de gas cloro y finalmente con una cámara de contacto. La cámara de contacto para el cloro, tiene una longitud de 300 m en una superficie de 300 m<sup>2</sup>, con una configuración serpenteante que permite un tiempo de contacto de 30-45 minutos, con los mismos cumplimientos y objetivos que la planta de Copiapó.
- e) Medidor de Caudal; El caudal que entra a la planta es registrado con un medidor ultrasónico "Ultraflux", ubicado en (e) justo después de la cámara de

rejas. Con él, se mantiene un registro cada dos horas. El medidor de salida (e') se encuentra fuera de servicio.

- f) Emisario de descarga; es dirigido hacia el río Huasco. Se encuentra en buenas condiciones y corresponde a una tubería de Asbesto- cemento CA, AU-10 de 600 mm de diámetro y 292,6 m de longitud.

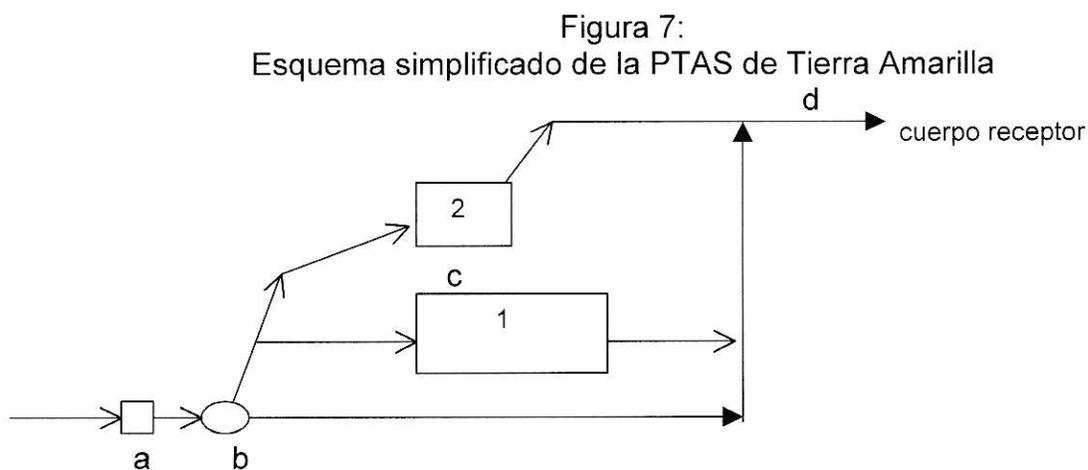
Actualmente la planta opera con un promedio de 5 aireadores encendidos en cada Laguna Aireada que entregan una potencia de  $5,5 \text{ W/m}^3$  y 1 aireador permanentemente encendido en la Laguna de Decantación N°1 con una potencia de  $0,3 \text{ W/m}^3$ . El caudal afluente que ingresa a la planta es de alrededor de 190 L/s muy superior al caudal teórico (aprox. 80 L/s) producto de que en la zona se encuentran presentes numerosas napas subterráneas que aportan una importante proporción de aguas de infiltración.

La planta presenta un buen funcionamiento no mostrando episodios de mal funcionamiento, entregando un efluente que cumple con la norma NCh N° 1.333, de acuerdo a los antecedentes recopilados, más información en Anexo 2.1.2-b.

### 3.2.3 SITUACIÓN ACTUAL TIERRA AMARILLA

La planta de tratamiento se encuentra ubicada a unos 2 km al oeste de la ciudad de Tierra Amarilla específicamente en la Carretera C-35 s/n.

La planta comenzó las operaciones el año 1986. Desde 1994 presentó problemas de operación los cuales obligaron a vaciar las lagunas en su totalidad, sin embargo, desde 1996 reinició las operaciones hasta la fecha. El sistema se basa en Lagunas Facultativas. A continuación se muestra la Figura 6, en la cual se describe el sistema desde aguas arriba, cada uno de sus componentes se explican a continuación.



Fuente: Archivos EMSSAT S.A.

- a) Cámara de Rejas; es el tratamiento preliminar, no consta con desarenador ni desgrasador. Formada por barrotes separados entre sí por 40 mm.
- b) Cámara de "By-Pass", permite la posibilidad de desviar el caudal sin hacerlo ingresar a la planta.
- c) Lagunas; se encuentran impermeabilizadas con arcilla compactada. Pueden ser conectadas en serie o en paralelo según se requiera para mejorar el funcionamiento del sistema. Las especificaciones de cada una de ellas se muestran en la tabla siguiente.

Tabla 5:  
Características Lagunas de PTAS Tierra Amarilla

Laguna			
N° de Lagunas Facultativas		2 unidades	
	Unidad	1	2
Superficie	Hás	1,35	0,5
Profundidad	M	3	1
Capacidad total	m <sup>3</sup>	33.489	4.600

Fuente: Archivos EMSAT S.A.

- d) Emisario de descarga; es dirigido hacia el río Copiapó. Se encuentra en buenas condiciones y corresponde a una tubería de Cemento comprimido de 350 mm de diámetro y 510 m de longitud.

En la planta de tratamiento, la Laguna 1 comenzó a funcionar en 1994, mientras que la Laguna 2 inicio operaciones en 1986.

La Planta se encuentra funcionando en el límite de su capacidad de tratamiento facultativo presentando episodios de deterioro de la calidad del tratamiento, debido a la elevada carga orgánica, induciendo cambios de color en las lagunas y emanaciones de olores desagradables.

Actualmente, las lagunas funcionan en paralelo, recibiendo en forma parcial el agua servida de la ciudad. La Laguna 1 y la 2 son cargadas cuatro y dos horas diarias respectivamente de Lunes a Viernes y el resto del tiempo se usa el "by-pass". Aproximadamente la planta trata cerca de un tercio de la carga contaminante del afluente, pero en promedio el efluente no cumple con la NCh N°1333, mas antecedentes en se acompañan en Anexo 2.1.2-a.

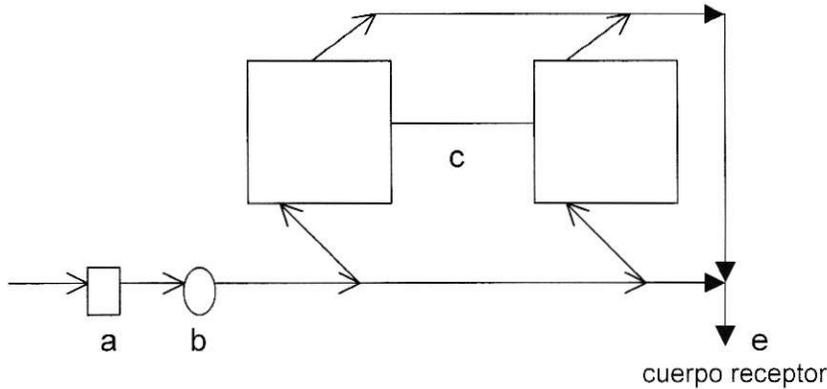
### 3.2.4 SITUACIÓN ACTUAL FREIRINA

La PTAS al oeste de la ciudad de Freirina y a 15 km del puerto de Huasco.

La planta fue construida en la década de los setenta y ha operado desde esa fecha. En 1993 la planta tuvo un último acondicionamiento, en donde fue impermeabilizada.

El sistema es basado en Lagunas Facultativas. A continuación se muestra la Figura 7, en la cual se describe el sistema desde aguas arriba, donde cada uno de sus componentes se explican a continuación.

Figura 8:  
Esquema simplificado de la PTAS Freirina



Fuente: Archivos EMSSAT S.A.

- a) Cámara de Rejas; sistema igual al de Tierra Amarilla, no consta con desarenador ni desgrasador.
- b) Cámara de "By-Pass", permite la posibilidad de desviar el caudal sin hacerlo ingresar a la planta.
- c) Lagunas; se encuentran impermeabilizadas con polietileno de muy baja densidad, VLDFE, de 1 mm de espesor. Las especificaciones de cada una de ellas se muestran en la Tabla 6

Tabla 6:  
Características Lagunas de PTAS Freirina

Laguna			
N° de Lagunas Facultativas		2 unidades	
	Unidad	N°1	N°2
Superficie	Hás	0,39	0,43
Profundidad	m	1,5	1,5
Capacidad total	m <sup>3</sup>	3.360	3.860

Fuente: Archivos EMSSAT S.A.

Las lagunas están interconectadas (mediante una cámara de válvulas), lo que permite el funcionamiento en serie o en paralelo, dependiendo de las exigencias requeridas.

- d) Emisario de descarga; es dirigido hacia el río Huasco y corresponde a una tubería de acero de 350 mm de diámetro y 51 m de longitud. Se encuentra en mal estado estructural, pero esta operativo

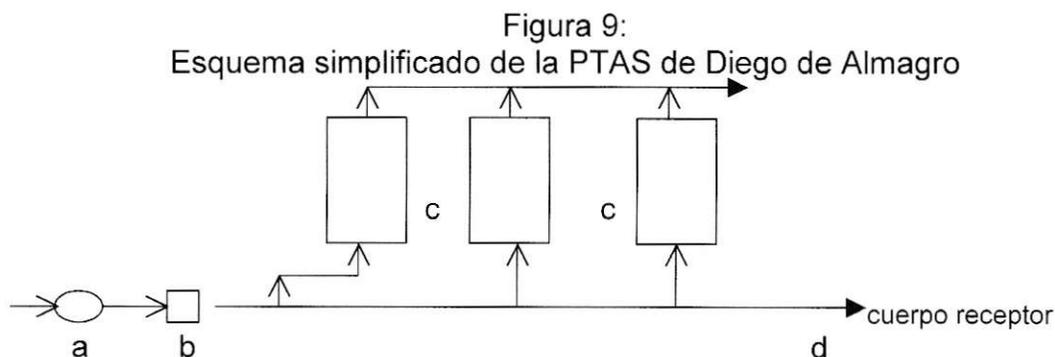
La planta presenta frecuentes fallas de funcionamiento debido a que se encuentra sobrepasada su capacidad de tratamiento. Por lo tanto, el sistema recibe actualmente solo una parte del caudal de aguas servidas de la ciudad y el resto es desviado directo al río.

Las lagunas funcionan en paralelo y son cargadas 12 horas diarias, en la noche durante toda la semana y el resto del tiempo se usa el "by-pass". Aproximadamente la planta trata cerca de un tercio de la carga contaminante del afluente, por lo que en promedio el efluente no cumple con la NCh N°1333, más antecedentes se presentan en Anexo 2.1.2-a.

### 3.2.5 SITUACIÓN ACTUAL DE DIEGO DE ALMAGRO

La planta se encuentra ubicada a salida poniente de la ciudad de Diego de Almagro. Se termino de construir en 1997, entrando en operación en Noviembre de 1998.

El sistema esta basado en Lagunas Facultativas. A continuación se muestra la Figura 8, en la cual se describe el sistema desde aguas arriba, cada uno de sus componentes se explican a continuación.



Fuente: Archivos EMSSAT S.A.

- a) Cámara de Rejas; es tratamiento preliminar, no consta con desarenador ni desgrasador. La cámara de rejas esta formada por barrotes separados entre sí por 20 mm.
- b) Cámara de "By-pass", permite la posibilidad de desviar el caudal sin hacerlo ingresar a la planta.
- c) Lagunas; se encuentran impermeabilizadas con polietileno de baja densidad, LDPE, de 1 mm de espesor. Las lagunas pueden ser conectadas en serie o en paralelo y son cargadas por dos partes de manera de asegurar una

distribución homogénea. Las 3 lagunas tienen iguales características, según se muestra en la Tabla 7

Tabla 7:  
Características Lagunas de PTAS Diego de Almagro

Laguna Facultativas		
N° de Lagunas Facultativas		3 unidades
	Unidad	
Superficie	Hás	1,06
Profundidad	m <sup>3</sup>	1,5
Capacidad total	m <sup>3</sup>	14.348

Fuente: Archivos EMSSAT S.A.

- d) Emisario de descarga; es dirigido hacia una quebrada que desemboca en el río Salado. Se encuentra en buenas condiciones y corresponde a una tubería de PVC CL4, de 350 mm de diámetro y 73.5 m de longitud.

La planta se comenzó a llenar 1998, descargando su primer efluente en Abril de 1999, durante el primer año de operación se generaron problemas en el funcionamiento, como malos olores y cambio de color, obligando a evacuar la totalidad de las aguas de las lagunas, el problema radica en alta evaporación de la zona, que altera la concentración de los sólidos orgánicos y la de los restantes elementos modificando los equilibrios biológicos que son los causantes de las emanaciones de olores desagradables. Durante un año las aguas servidas fueron vertidas directamente al río Salado.

Los episodios de mal funcionamiento desaparecieron desde que se comenzó a diluir el afluente con aguas del canal de Aguas Claras, el que es descargado por Codelco Chile en el Río Salado pasando a un costado de la planta de tratamiento. Con la adición de estas aguas se diluye la carga orgánica y se repone el agua que se pierde por la excesiva evaporación de las lagunas lo que ha derivado en un mejor funcionamiento.

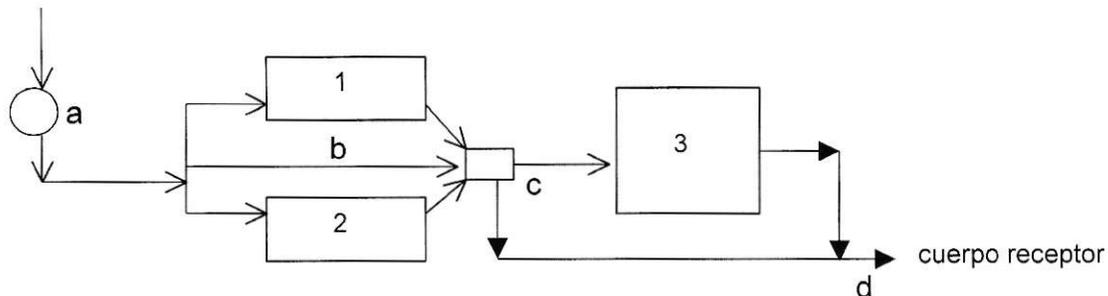
Las lagunas se encuentran operando en paralelo continuamente todos los días de la semana, recibiendo la totalidad de las aguas servidas de la ciudad más un volumen aproximadamente igual de aguas del canal, por lo tanto se diluye la carga afluente alrededor de un 50%. Bajo estas condiciones el efluente promedio, igualmente, no cumple con norma, dado de que no se realiza desinfección, pero se evitan las molestias de los olores. La norma en cuestión es la NCh N° 1.333 mayores antecedentes se presentan en Anexo 2.1.2.-b.

### 3.2.6 SITUACIÓN ACTUAL DE EL SALADO

La planta de tratamiento esta ubicada en la salida noroeste de la ciudad de El Salado y fue construida 1994, actualmente se encuentra sin utilización.

El sistema se basa en Lagunas Facultativas. A continuación se muestra la Figura 9, en la cual se describe el sistema desde aguas arriba, cada uno de sus componentes se explican a continuación.

Figura 10:  
Esquema de PTAS de El Salado



Fuente: Archivos EMSSAT S.A.

- a) Cámara de Rejas; sistema de iguales características que los anteriores.
- b) Lagunas; son dos Lagunas Facultativas primarias en paralelo seguidas de una Laguna Facultativa Secundaria, las cuales se encuentran impermeabilizadas con arcilla compactada. Las especificaciones de cada una de ellas se muestran en la Tabla 8

Tabla 8:  
Características Lagunas de PTAS El Salado

Laguna Facultativas	Unidad	3 unidades	
N° de Lagunas		3 unidades	
Tipo de Laguna		2 primarias	1 secundaria
Nomenclatura		N°1yN°2	N°3
Superficie	Hás	0,08	0,405
Profundidad	m	1,5	2
Capacidad total	m <sup>3</sup>	825	6825

Fuente: Archivos EMSSAT S.A.

- c) Cámara de "By-Pass"; permite la posibilidad de desviar el caudal sin hacerlo ingresar a la planta.
- d) Emisario de descarga; es dirigido hacia el río Salado. Se encuentra en buenas condiciones y corresponde a una tubería de Cemento comprimido de 250 mm de diámetro y aproximadamente 1540 m de longitud.

La planta no ha entrado en operación, principalmente por la infiltración salina a la que se encuentra sometido el emisario, que altera la calidad de las aguas servidas, otros factores que influyen directamente el funcionamiento son la alta evaporación y los fuertes vientos del lugar. La disposición final de las aguas se efectúa directamente al

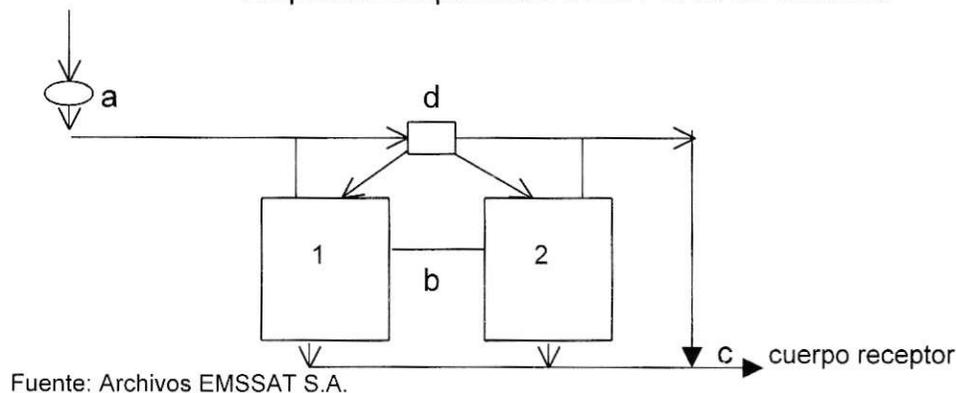
Río Salado, haciendo uso del "by-pass", por lo que el efluente no cumple las normas vigentes.

### 3.2.7 SITUACIÓN ACTUAL DE CALDERA

La planta de tratamiento de aguas servidas se encuentra ubicada en la ciudad de Caldera, específicamente en el sector noroeste de esta, fue construida en 1986, a partir desde esta fecha se encuentra en operación.

El sistema es en base de Lagunas Facultativas. A continuación se muestra la Figura 10, en la cual se describe el sistema desde aguas arriba, cada uno de sus componentes se explican a continuación.

Figura 11:  
Esquema simplificado de la PTAS de Caldera



Fuente: Archivos EMSSAT S.A.

- a) Cámara de Rejas; sistema preliminar de similares características que el de Diego de Almagro.
- b) Lagunas; se encuentran impermeabilizadas con arcilla compactada. Pueden ser conectadas en serie o en paralelo según se requiera para mejorar el funcionamiento del sistema. Las especificaciones de cada una de ellas se muestran en la Tabla 9

Tabla 9 :  
Características Lagunas de PTAS Caldera

Lagunas Facultativas	Unidades	
N° de Lagunas		2
Nomenclatura		1 y 2
Superficie	Hás	0,55
Profundidad	m	1
Capacidad total	m <sup>3</sup>	5350

Fuente: Archivos EMSSAT S.A.

- c) Emisario de descarga; es dirigido hacia el mar en la Bahía de Caldera. Se encuentra en buenas condiciones y corresponde a una tubería de Acero de 400 mm de diámetro y 51 m de longitud, recientemente se han agregado 40 m de una tubería de HDPE. El agua servida, tratada o no, es descargada en el mar, en la playa Escorial.
- d) Cámara de "By-Pass"; permite la posibilidad de desviar el caudal sin hacerlo ingresar a la planta.

Actualmente las lagunas se encuentran saturadas y su operación es intermitente presentando episodios de mal funcionamiento debido al fuerte crecimiento de la ciudad y, principalmente, el vertido de residuos industriales líquidos provenientes de la industria pesquera, sobrepasando la capacidad de tratamiento. Producto de las deficiencias, los parámetros de origen orgánicos, no cumplen las normativas vigentes, encontrándose DBO, SST, fósforo total, nitrógeno total y sulfuros, dentro de los parámetros más críticos. Mayores antecedentes se presentan en Anexo 2.1.2-a.

### **3.2.8 SITUACIÓN ACTUAL DE CHAÑARAL**

Chañaral no posee planta de tratamiento de aguas servidas. El caudal recolectado es elevado mediante una bomba en la planta elevadora para ser descargado en el borde costero de la bahía de Chañaral, en una descarga de orilla a unos 300 m de la planta.

En relación con el cumplimiento de la normativa de las descargas de Chañaral se encuentra en una situación semejante a la que se encuentra la localidad de Caldera.

### **3.2.9 SITUACIÓN ACTUAL DE HUASCO**

Huasco no posee planta de tratamiento de aguas servidas, sino cuatro descargas de orilla. Las descargas son cuatro, Endesa, Nueva, Huasco y Conchería siendo esta última el lugar donde se han tomado las muestras puntuales de análisis ya que corresponde entre un 75-80% de la totalidad de las descargas de la ciudad. Las aguas servidas sin tratar se descargan en el borde costero de la bahía de Huasco, estas aguas se encuentran en una situación normativa similar a la de Chañaral, sin embargo para esta localidad faltan antecedentes en lo que ha nutrientes se refiere.

Actualmente, se encuentra en construcción un proyecto para dotar a Huasco de un emisario submarino. Las aguas servidas, serán bombeadas a la planta elevadora para ser descargadas en el borde costero de la bahía, a unos 600 m de la costa donde se aprovecha el potencial autodepurador del mar. El emisario submarino, consta de un emisario propiamente tal y difusores, diseñados apropiadamente. Su objetivo es utilizar toda la capacidad natural de que dispone el océano para asimilar los desechos crudos.

El emisario comenzará su funcionamiento en el transcurso del año 2003, el punto de descarga asegura una buena mezcla y dilución.

### 3.3 SITUACIÓN CON RESPECTO A LOS EFLUENTES DE LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO

Actualmente la situación en cuanto a efluentes es buena tanto en la planta de Copiapó y Vallenar, sin embargo, como ya se ha mencionado el resto de las localidades operan en forma deficiente, como consecuencia de las fallas del tratamiento el caudal entrante es vertido directamente sin tratamiento en un porcentaje considerable como se ha indicado anteriormente, por lo que los límites se ven sobrepasados.

Se comentara en forma exclusiva de las plantas de Copiapó y Vallenar por presentar tratamiento continuo y sin problemas.

Un resumen de la calidad del efluente en la planta de Copiapó se presenta en la Tabla 10

Tabla 10:  
Resumen del efluente de la planta de tratamiento de Copiapó

Parámetro	UNIDAD	NCh1.333	NCh90 <sup>2</sup>	1996	1997	1998	1999	2000
Caudal <sup>1</sup>	L/s					153,5	155,9	196,7
DBO <sup>1</sup>	mg/L		35	31,5	32,5	49,7	46,9	51,8
DQO <sup>1</sup>	mg/L			183,4	165,6	182	220,2	211,2
Turbiedad <sup>1</sup>	NTU			174,9	161,8	185,4	222,2	251,4
PH <sup>1</sup>	Unidad	5,5-9	6-8,5	7,51	7,68	7,57	7,52	7,44
SST <sup>1</sup>	mg/L		80	65,1	56,7	54,7	63,4	61
Temperatura <sup>1</sup>	°C		35	19,1	21,7		21,3	
Coliformes fecales <sup>3</sup>	NMP/100ml	1000	1000	317,9	275,6	49	3,67	3,94
Sulfuro <sup>2</sup>	mg/L		1	5,31	6,92	0,28	0,26	0,30
N-Total <sup>4</sup>	mg/L		50					49,8
Fósforo <sup>4</sup>	mg/L		10					11,3

<sup>1</sup> Valor calculado usando la media aritmética.

<sup>2</sup> Referencia 18, sin capacidad de dilución.

<sup>3</sup> El valor fue calculado usando la media geométrica.

<sup>4</sup> El valor fue obtenido usando el promedio ponderado (compuestas proporcional al caudal).

De la tabla anterior se puede observar que el efluente cumplen la NCh N° 1.333. Los parámetros de pH, SST, temperatura, coliformes fecales y sulfuros cumplen sin ningún problema los valores que serán exigidos por la futura normativa encontrándose por bajo de los límites, destacando que los tres primeros se han mantenido relativamente constantes en el tiempo, mientras que los dos últimos han mostrado una disminución, lo que puede ser atribuido a una mayor eficiencia del sistema de cloración entregada por la experiencia adquirida.

En el caso de la concentración de DBO se muestran valores superiores al límite indicado y con aumento en el tiempo, sin embargo el valor en la norma se obtiene al restar la cantidad de algas, lo que no ha sido realizado por lo tanto el valor de DBO de los efluentes se encuentra sobrestimado en el análisis al no realizar esta parte del procedimiento, este punto deberá ser corregido antes que empiece a regir el D.S. 90. Es importante destacar que la presencia de algas en la planta no es constante en el tiempo, solo se encuentran entre los siguientes períodos de tiempo Diciembre – Enero y Marzo –Abril.

Para los casos de Turbiedad, DQO y caudal, aunque no son exigidos por la normativa, es importante mantener sus registros de modo de referencias, se puede observar un pequeño aumento de dichos parámetros en el tiempo que puede indicar una baja en la eficiencia del sistema.

En relación con los nutrientes, Nitrógeno Total Kjeldahl y Fósforo Total los valores determinados se encuentran muy al límite de lo indicado en la normativa, por lo tanto será necesario implantar algún sistema o alguna metodología de disminuir la concentración de estos contaminantes en el efluente.

Para el caso de la planta de Vallendar, se presenta un resumen de la calidad del efluente en la Tabla 11

Tabla 11:  
Resumen del efluente de la planta de tratamiento de Vallendar

Parámetro	UNIDAD	NCh1.333	NCh90 <sup>2</sup>	1999	2000
Caudal <sup>1</sup>	L/s			200,6	
DBO <sup>1</sup>	mg/L		300	30,5	34
DQO <sup>1</sup>	mg/L			81,4	84,4
Turbiedad <sup>1</sup>	NTU			41,4	43
PH <sup>1</sup>	Unidad	5,5-9	6-8,5	7,23	7,1
SST <sup>1</sup>	mg/L		300	28,3	29,9
Temperatura <sup>1</sup>	°C		35		18,3
Coliformes fecales <sup>3</sup>	NMP/100ml	1000	1000	6,17	7.09
Sulfuro <sup>1</sup>	mg/L		10	0,1	0,07
N-Total <sup>4</sup>	mg/L		75		22.2
Fósforo <sup>4</sup>	mg/L		15		4,86

<sup>1</sup> Valor calculado usando la media aritmética.

<sup>2</sup> Referencia 18, con capacidad de dilución.

<sup>3</sup> Valor fue calculado usando la media geométrica.

<sup>4</sup> Valor fue obtenido usando el promedio ponderado (compuestas proporcional al caudal).

Se desprende de la tabla que en la planta de Vallendar todos los parámetros quedan muy por bajo de los límites indicado por la normativa, sin presentar algún contaminante en situación crítica, dado principalmente por la infiltración en el sector que diluye las concentraciones de los contaminantes, como también por el aumento del valor límite por tratarse de descargas a un cuerpo de agua con capacidad de dilución.

La información de los afluentes en el resto de las localidades es usada como referencia de efluentes producto del limitado tratamiento que estas aguas alcanzan a tener. La información se presenta en anexo 2.2-a en Tabla 2, en la cual se observa que los parámetros más altos, son principalmente los de carácter orgánicos.

### 3.4 SITUACIÓN CON RESPECTO A LODOS

La situación actual de los lodos producidos en las plantas de tratamientos de la región es deficiente, se han realizado extracciones de lodos en limitadas ocasiones y en relación con los análisis los antecedentes son menores. Los antecedentes de la empresa se ilustran en la siguiente Tabla:

Tabla 12:  
Antecedentes de la situación actual de los lodos

Localidad	Edad del lodo aprox.	Tiempo de residencia teórico	Tiempo de permanencia actual	Extracciones	Análisis	Disposición o usos
Copiapó	5 años	2-3 años	5 años	No*	No	No definido
Vallenar	3 años	2-3 años	3 años	1 vez*	Si	No definido
T.Amarilla	Indefinido	3-6 años	5 años 4 años L2	1 vez*	No	Agricultura
Freirina	Indefinido	3-6 años	1 año L1	1 vez*	No	Cancha de arena
D.Almagro	1 año	3-6 años	1 año 4 años L1	No	No	No
Caldera	4 años	3-6 años	1 año L2	2 veces*	Si	Agricultura

\*Mayores antecedentes se presentan en Anexo 2.3

Según los antecedentes de los lodos analizados en la región cumplen con las características químicas y biológicas según lo estipulado en el anteproyecto de lodos no peligrosos. Los valores de los contaminantes en todas las ocasiones se han encontrado bajo los límites máximos permitidos.

Es importante destacar que los lodos tienen características distintas según el origen de las aguas y el tipo de tratamiento. Para nuestro caso específico, se trata de procesos biológicos que producen un lodo secundario el cual se acumula en el fondo de las lagunas logrando una estabilización parcial, los que bajo estas condiciones pueden ser aptos para la agricultura luego de ser sanitizados.

Es posible predecir la composición de los lodos generados basándose en los procesos unitarios utilizados en el tratamiento y por las características de los afluentes. En la región como ya se ha mencionado existen dos tipos de tratamiento:

- Lagunas Aireadas; permite estabilizar los lodos primarios y secundarios en la etapa del tratamiento biológico. El producto es un lodo estabilizado, parcialmente higienizado.

- **Lagunas Facultativas;** en las cuales la sedimentación y el tratamiento biológico ocurren simultáneamente, las que tienen la capacidad de almacenar los lodos primarios y secundarios durante varios años. El producto es un lodo estabilizado, prácticamente mineralizado.

Cada una de las plantas tienen diferentes tiempos de residencias de los lodos, lo que determina en cierta manera las características de estabilización de estos, a mayor tiempo de residencia mayor será su estabilización.

El caso más reciente corresponde a Vallenar, con extracción de lodo en Febrero del 2001. En esta oportunidad se han tomado las precauciones correspondientes en la planificación de la extracción y los muestreos. El lodo fue dispuesto en una cancha de secado a un costado de la planta de tratamiento aprovechando las condiciones climáticas de la zona para el secado. Se han realizado mediciones de los parámetros biológicos, pH y humedad aproximadamente cada un mes. Los resultados obtenidos han sido muy satisfactorios y se propone sean una pauta a seguir en las posteriores extracciones. A continuación se muestran los porcentajes de reducción después de transcurrido aproximadamente 3 meses.

Humedad	23,2%
Coliformes fecales	99,7%
Salmonella sp	88,5%
Fagos MS2	97,5%
Huevos de Helmintos	81,5%

El período de secado aun no ha terminado y aunque la reducción contaminante presenta una disminución importante, el tiempo de secado se debe extender si se desea lograr los límites permitidos para un lodo tipo A, sin restricción de uso agrícola, bajo cualquier otra condición el lodo podrá ser tipo B.

Otro punto importante destacar son los residuos de las cámaras de rejillas. Los sólidos removidos, corresponden a lodos no estabilizados, por lo tanto son enterrados en algún lugar de la planta que este destinado a este propósito o dispuestos en rellenos sanitarios. Para los casos de Vallenar, Caldera y Diego de Almagro los desechos son llevados a botaderos municipales en el resto de las localidades son enterrados en el interior de la planta.

### **3.5 SITUACIÓN CON RESPECTO A RUIDOS Y OLORES**

La información existente es deficiente, no obstante, se puede realizar un pequeño diagnóstico según tipo de tratamiento como información proporcionada por la población cercana a las plantas.

### 3.5.1 SITUACIÓN ACTUAL RUIDOS

Se define el sonido como cualquier variación de presión en el aire, agua o cualquier otro medio, que pueda ser detectado por el oído humano. El ruido es el sonido indeseado que molesta, perturba o es dañino.

Dentro de los impactos indirectos a la implantación de una planta de tratamiento se encuentran los ruidos molestos que se puedan provocar.

Es importante destacar que para ruidos se debe cumplir dos normativas que protegen tanto a la población como a los trabajadores de cada planta. La normativa en cuestión son: D.S. N°146/97 del MINSEGPRES "Norma de Emisión sobre Niveles Máximos Permisibles de Ruidos Molestos Generados por Fuentes Fijas" y el D.S. N°594 del MINSAL "Reglamento sobre condiciones sanitarias y ambientales básicas en los lugares de trabajo".

Para D.S. N°146/97, los valores máximos son determinados por la zona donde esta emplazada la planta, según la clasificación zonal que le corresponda, como también por el horario ya que en la noche desde las 19:00 horas los límites son más severos como se indica en Anexo 1.

En Freirina y Diego de Almagro, la ubicación de las plantas de tratamiento son clasificadas como zona I, con límites máximos de 55 y 45 de nivel de presión sonora corregido en dB(A) lento, para el día y la noche respectivamente. Para Copiapó, Vallenar, Tierra Amarilla, El Salado y Caldera son clasificados como zona III, con límites máximos de 65 y 55 dB(A) lento para el día y la noche respectivamente. De lo anterior se desprende que a mayor lejanía de las plantas con los centros urbanos más permisibles son los límites de emisión.

Para D.S. N°594, los valores están definidos sobre el tipo de ruido que se genere en la planta como por el tiempo de exposición de los trabajadores. En las plantas de Copiapó y Vallenar el tipo de ruido es estable con una jornada laboral de 8 horas diarias, para estas condiciones el trabajador no deberá ser expuesto a un nivel de presión sonora continuo equivalente superior a 85 dB(A) lento.

Se otorgará como un parámetro de referencia y comparación el tipo de sistema de tratamiento. De este modo se definirá la situación actual de los ruidos, por lo que se obtienen la siguiente clasificación:

**Con sistemas mecánicos generadores de sonido:** dentro de esta clasificación se encuentran las plantas de Vallenar y Copiapó, las cuales en sus sistemas incorporan el uso de aireadores que en su funcionamiento poseen producción de ruidos. Además otra fuente de sonido es el equipo generador de energía, ambas plantas mencionadas cuentan con un grupo electrógeno.

**Sin sistemas mecánicos generadores de sonido:** se agrupan en esta categoría las plantas de Diego de Almagro, Tierra Amarilla, Freirina, El Salado y Caldera, para las cuales los tipos de sistemas facultativos empleados no poseen aireadores que emitan ruidos.

Esta clasificación podrá cambiar según el desarrollo de los proyectos de mejoramiento que sean adoptados por EMSSAT, los cuales serán analizados mas adelante.

Se han realizado mediciones de presión sonora en el equipo generador de la planta de tratamiento de Copiapó y en la planta elevadora de aguas servidas de la ciudad de Caldera, en ambos lugares los resultados han cumplido con los límites establecidos por el D.S. 146/97, con un valor inferior a 85 d(A). Los certificados que muestran los resultados se presentan en Anexo 2.1.4. La medición efectuada en Caldera sirve como parámetro de comparación para evaluar los ruidos producidas por los motores de los aireadores.

### **3.5.2 SITUACIÓN ACTUAL OLORES**

El olor es una emanación que producen ciertas sustancias e impresión percibida por el olfato, estas impresiones pueden ser agradables como es el caso de los perfumes o desagradable como es el caso de material en descomposición. Se centrará la atención en estos últimos.

Cuando se instalan dispositivos de tratamiento de aguas servidas, a menudo se enfocan sólo en el manejo de los líquidos. Es después del inicio de las operaciones cuando la septicidad de las aguas servidas, vinculados a problemas de sobrecarga, causa fuertes olores a través de la ciudad, provocando la queja de los residentes.

Los olores de las aguas residuales constituyen una de las principales objeciones ambientales y su control es muy importante. Entre los problemas que son atribuidos a los olores ofensivos se señalan perdida del apetito, dificultades respiratorias, náuseas, vómitos, perdida del valor de la propiedad, entre muchos otros más.

Las aguas servidas crudas tienen un olor característico y desagradable, producido generalmente por  $H_2S$  proveniente de la descomposición anaerobia donde se reducen los sulfatos y sulfitos. Aun cuando el  $H_2S$  es el principal compuesto causante del mal olor, también son causantes de olores ofensivos las aminas, el amoníaco, los mercaptanos, los sulfuros orgánicos, etc. Dichos compuestos corresponden a la mezcla de olores primarios, para los cuales la región olfativa humana es muy sensible.

En los sistemas de alcantarillado y en las plantas de tratamiento es importante el control de los olores y en particular el control de la generación de  $H_2S$ . En el sistema de alcantarillado el  $H_2S$  reacciona con los metales existentes en las aguas residuales formando sulfuros metálicos, la liberación del exceso de  $H_2S$  ha conducido a una

importante aceleración de los procesos de corrosión y deterioro de los sistemas, junto a un incremento de la generación de olores.

En Chile la normativa para olores existente es muy específica referida a la industria papelera no extrapolable a las empresas sanitarias, sin embargo, se debe cumplir el D.S. N°594 del MINSAL "Reglamento sobre condiciones sanitarias y ambientales básicas en los lugares de trabajo", cuyo límite permisible ponderado de H<sub>2</sub>S es de 8 ppm. No obstante, en la literatura consideran como indeseable una concentración de 3 ppm.

La situación actual de los sistemas de la región es diversa. Tomando como parámetro de referencia las quejas de los pobladores, podemos hacer la siguiente clasificación:

**Bueno:** dentro de esta clasificación se encuentran las plantas de Vallenar y Copiapó, las cuales en el último período de tiempo no han presentado grandes dificultades. Algunas emanaciones de olores han sido eliminados con cambios operacionales en las Lagunas de Decantación con la aplicación de aireadores como se mencionó anteriormente.

**Regular:** dentro de esta clasificación se encuentra la planta de Diego de Almagro, presentando el último período muy pocas dificultades. Las emanaciones de olores han sido disminuidas en gran medida con la dilución de la carga del sistema para todas las lagunas del sistema como se menciona en sección 3.2.5.

**Malo:** dentro de esta clasificación se encuentran las plantas de Tierra Amarilla, Freirina y Caldera, presentando el último período diversas dificultades ya mencionadas anteriormente. Las emanaciones de olores ofensivos han generado reclamos de los habitantes por la cercanía de las PTAS a las correspondientes ciudades. El mayor problema se produce en las propias lagunas por predominio de condiciones anaeróbicas y en las descargas donde afluentes descargados sin tratamiento producen emanaciones de los malos olores.

**Nulo;** dentro de esta clasificación se encuentra la planta de El Salado, donde la totalidad del afluente se descarga al río, el lugar de la descarga se encuentra suficientemente lejos de la ciudad, por lo tanto la población no advierte los malos olores que se puedan producir en esta. Además, es necesario incluir a las descargas de Chañaral y Huasco que no han presentado malos olores, ni quejas de los pobladores.

Los olores son producidos en las plantas de tratamiento principalmente en la zona de desbaste (cámara de rejillas) como en los sólidos removidos de ésta; en la superficie de las lagunas obstruidas por sólidos flotantes como natas, grasa o aceites, papeles, etc. los cuales se deben extraer y al igual que los sólidos de la

cámara deben tener una disposición adecuada, pero básicamente los olores se producen por periodos de mal funcionamiento de la planta.

Se realizaron mediciones de H<sub>2</sub>S en la planta de Copiapó,

<u>Instrumento:</u>	<u>Condiciones Particulares:</u>
Contains Nomspillabla, sensor cell	Día : 13 de Diciembre 2000
Rango : 0-100 % de O <sub>2</sub>	Hora : 12:00
Tiempo de respuesta: 30 segundos.	Viento: Norte
Temperatura : -10°C a 40°C	
Humedad : 15 a 90 %	

Se realizó la calibración del cero del equipo, según las indicaciones del fabricante en un ambiente con una concentración menor a 5 ppm de H<sub>2</sub>S y se procedió a medir en el costado de la cámara de rejillas(1), laguna de decantación(2) y en las proximidades de la caseta del plantero(3), como lo indica la Figura 1 del Anexo 2.1.5.

Toda medición realizada registro cero concentración, sin embargo en las primeras dos mediciones se pudo sentir el olor característico a H<sub>2</sub>S (huevo podrido). Una limitante del equipo utilizado en la medición es el alto límite de cuantificación, si se tiene como referencia que el límite umbral de detección del olfato es de 0,0002 ppm y se considera desagradable sobre 3 ppm, además el equipo solo entrega números enteros en sus medidas.

Se puede comentar que se realizó una medición de verificación, en el interior de un lisímetro, el cual tenía un evidente olor desagradable, se registro un valor de 10 ppm. Se puede tener como referencia que el valor indicado en la normativa laboral es un valor muy alto que presenta evidentes molestias en los trabajadores.

En el extranjero frente a casos muy extremos de emanaciones de olores, se ha incorporado un procedimiento de control diseñado sobre la base de carbón catalítico, otra manera de minimizarlos es controlando el pH de las Laguna Facultativa o de Decantación, o la inyección de aire, oxígeno u ozono.

### **3.6 SITUACIÓN CON RESPECTO A LOS RESIDUOS INDUSTRIALES LIQUIDOS**

Un residuo industrial líquido, RILES, es prácticamente producido por toda actividad económica desde alguna etapa o punto del proceso como ya se mencionó en la Sección 2.4( pág.7)

Es necesario recalcar que según la normativa no toda actividad industrial es considerada como generadora de RILES. Existe un instructivo elaborado por la SISS denominado "Procedimiento de Calificación de Establecimientos Industriales", el cual proporciona las herramientas de diagnóstico para determinar si la actividad económica es o no un establecimiento industrial y si queda afecto a la Ley 3.133 sobre "Neutralización de Residuos Industriales Líquidos"

El procedimiento a aplicar podrá ser exigido por EMSSAT, a todo cliente potencial generador de RILES, para ello se deberá utilizar como base el D.S. N°609, en dicha norma se realiza la comparación de la carga contaminante generada por la actividad industrial con la carga de una población de 100.000 Hab/día y 200.000 Hab/día.

Si una actividad califica como establecimiento industrial, entonces queda bajo la Ley N°3.133, ya sea por descargar a cuerpos de aguas superficiales o al alcantarillado y además a la D.S.N°609, por lo tanto se debe solicitar la aprobación de un Sistema de tratamiento de RILES. Si la actividad económica no califica como establecimiento industrial queda bajo las disposiciones de la Ley General de Servicios Sanitarios, D.F.L.N°382/89.

Las plantas de los establecimientos industriales están sujetas al control de las empresas sanitarias y un autocontrol. La ausencia de cumplimiento de los límites establecidos deriva en sanciones económicas expresadas en UTM y puede implicar además la suspensión del servicio de alcantarillado o cierre de las instalaciones.

Las actividades económicas se encuentran bajo una clasificación internacional llamada, Clasificación Industrial Uniforme de Todas las Actividades Económicas (CIIU), que asigna un código y un set de parámetros a los cuales se les realiza el control.

La obligatoriedad a la que han sometido las sanitarias a los establecimientos industriales de tratar previamente sus aguas residuales, tiene como objetivo velar por el cumplimiento de las leyes y regulaciones existentes, además de proteger el sistema de alcantarillado y las plantas de tratamientos.

Una vez definida como se produce la clasificación, se establece las operaciones que EMSSAT esta realizando. EMSSAT posee un catastro de todas las actividades económicas que son potenciales generadoras de RILES, existen aproximadamente 21 actividades. Los catastros de los recintos industriales y de las simples actividades económicas están en una retroalimentación permanente y pueden ir variando en función del cumplimiento de la normativa. Un aporte al control es la inspección visual de los recintos que no están en el catastro, donde se dan recomendaciones más que exigencias.

Las actividades industriales de la región, en general no esta muy desarrollada pero se concentran en las siguientes localidades Caldera, Copiapó, Vallenar, El Salado y Chañaral.

Las industrias o actividades son controladas una vez por semestre, esta frecuencia es establecida por la SISS. Los análisis realizados son costeados por la empresa en cuestión, además EMSSAT puede realizar controles paralelos con mayor continuidad por iniciativa propia y costeados por ella.

El control de EMSSAT debe ser avisado a las empresas o industrias que poseen el tipo de faenas discontinuas o "batch", dado que por el tipo de descargas es necesario coordinar las visitas. En cambio, para las faenas continuas no es necesario informar la fecha exacta del control, sino más bien una fecha aproximada.

Los muestreos y análisis de los controles son licitados anualmente por EMSSAT, invitando a participar a laboratorios tanto de la región como fuera de ella. Los resultados de los análisis deben avisarse a la SISS los fines de semestres, el día 31 de Julio y el 31 de Enero.

Dentro de las exigencias que EMSSAT propone se encuentran dispositivo complementario como lo son las cámaras desgrasadoras, desarenadoras o decantadora. En general no más de una de las alternativas mencionadas por unidad domiciliaria(UD). En las inspecciones se controla el estado de los dispositivos además de las muestras necesarias.

El D.S. N°609 fue dictada en Julio de 1998, entrando en vigencia un año después, dada esta razón los plazos de exigencias en el cumplimiento son distintos para los establecimientos nuevos y antiguos. La información existente es escasa producto de lo reciente de la norma, se comenzó a muestrear desde el segundo semestre de 1999, por lo tanto, a la fecha se han realizado 3 muestreos, para los cuales se han obtenido resultados satisfactorios tanto en la protección del sistema de alcantarillado como en los sistemas de tratamiento.

En la región se encuentran los siguientes rubros controlados, Matanza de ganado, Destilación y rectificación de bioalcoholes, Elaboración de pescados, crustáceos y otros productos del mar, Lavanderías y tintorerías. Actualmente se ha comenzado a controlar los Hospitales y a los grandes supermercados, pero no se han considerado Fotograbado, Imprentas a tinta, Litografía y Editoriales. Una actividad muy masiva en Huasco y Freirina es la preparación de aceitunas de preparación doméstica cuyas descargas son imposibles de controlar. La minería es una actividad muy importante en la región, sin embargo el riesgo no se encuentra asociado a las descargas que la industria pueda hacer, ya que no descargan sus aguas al alcantarillado, no obstante se debe prestar atención en las actividades que se relacionan a ella como la pequeña minería, laboratorios entre otros.

Como ejemplo de las exigencias y recomendaciones propuestas para cada industria, EMSSAT plantea para los servicios de combustible, disponer de un colector de aguas del lavado de los automóviles, definir un tratamiento y disposición de hidrocarburos; además de eliminar la salida del aceite de la estación mediante cámaras decantadoras o desgrasadoras. Para el caso de los hospitales y clínicas, establece un control cuantitativo de indicadores microbiológicos como: coliformes totales, coliformes fecales y el cólera.

Actualmente si una empresa que califica como establecimiento industrial excede la norma en los parámetros de tipo orgánicos (DBO, SST, NTK Y P-Total) puede

solicitar a la empresa de servicios sanitarios el tratamiento de sus residuos previo acuerdo de una tarifa de tratamiento. Esta práctica se está realizando en la actualidad.

### **3.7 CONCLUSIONES**

En general las plantas se encuentran en un buen estado desde el punto de vista estructural, con un cierre perimetral que impide la entrada de personas extrañas y con el cuidado de un plantero en forma permanente.

Para el caso de los efluentes se ha informado que solo las plantas de Copiapó y Vallenar cumplen con la normativa, es decir, tienen calidad de riego según la NCh N°1.333, el resto de las localidades por diferentes razones, entre las que encontramos aumento de la carga orgánica afluente, tipo de clima, etc, se encuentran sobrecargadas o no operan en propiedad, es por esta razón que EMSSAT llevará a cabo las inversiones necesarias para mejorar el tratamiento.

Las transformaciones de los Sistemas Facultativos de Tierra Amarilla, Freirina, Diego de Almagro y El Salado se han encargado a la empresa consultora "Alpha, Ingeniería de proyectos", los cuales han incorporado la experiencia adquirida por EMSSAT en las Lagunas Aireadas para proponer la utilización de la misma tecnología en el mejoramiento de dichas plantas.

Las transformaciones permitirán una operación segura que cumpla en todo momento con la normativa ambiental vigente, además se tomará en cuenta la disposición de los lodos que en estos momentos en la empresa no se encuentra 100% definida cerrando el ciclo de los residuos.

Por lo anterior, la descripción de los sistemas actuales tanto para Copiapó, Vallenar y Chañaral son hasta el momento definitivas, sin embargo para el resto de los sistemas de tratamientos se han propuesto modificaciones que deriven en la entrega de un efluente que cumpla con la normativa. Para el caso de Huasco la construcción de un emisario submarino, desde fines de 1999, ha sido la mejor solución encontrada, sin embargo la situación de la planta de Caldera no se encuentra aun definida.

En los cuerpos marinos, como son los casos de Huasco, Chañaral y Caldera, los efectos de la disposición de aguas servidas son más bien locales, concentrándose en los entornos de las descargas. Los principales efectos se refieren al riesgo sanitario. En los casos de los cuerpos fluviales, dependiendo de la calidad del cuerpo receptor, así como del caudal de dilución, los efectos pueden ser locales o abarcar mayores extensiones.

Las variaciones industriales pueden alterar ampliamente las concentraciones de los contaminantes a lo largo del día. Los problemas de las cargas contaminantes con fuerte variación a corto plazo suelen presentarse en plantas de tratamiento pequeñas que no tienen la capacidad de almacenamiento suficiente para hacer frente a las

llamadas cargas de choque, este es el caso de la planta de Caldera que se ha enfrentado largos períodos de mal funcionamiento por dicha causa. La industria pesquera, es la principal causante de dichos efectos producto de que esta actividad tiene un carácter estacional. En Freirina la fabricación artesanal de aceitunas, cuyas descargas son consideradas como aportes incontrolados han causado los problemas en la operación del sistema.

Con relación a los ruidos, los antecedentes se encuentra con valores bajo los límites indicados en la normativa, aunque la escasa información es la limitante para obtener una visión más completa.

Con relación a la situación de los olores, es de esperar que en la medida que se desarrollen los nuevos proyectos, los episodios de mal funcionamiento causantes de los malos olores desaparezcan. Lo anterior será especialmente válido, con los sistemas bajo un estricto control de operación que permita un buen funcionamiento.

## CAPÍTULO 4

### ANÁLISIS DE LA CALIDAD DE LAS AGUAS SERVIDAS DE LOS SISTEMAS CONCESIONADOS POR EMSSAT S.A.

#### 4.1 GENERALIDADES

El conocimiento de las características de las aguas residuales es fundamental para el desarrollo del proyecto y explotación de la infraestructura relacionada con su recolección, su tratamiento y evacuación, así como para la gestión de la calidad del medio ambiente. Las aguas residuales, tienen una serie de propiedades físicas, así como constituyentes químicos y biológicos, por lo tanto es necesario proporcionar y analizar la información sobre:

- características físicas
- características químicas
- características biológicas

Dentro de la normativa vigente se indican una serie de elementos y compuestos tanto orgánicos como inorgánicos, en esta ocasión se centrará la atención en los contaminantes que tienen interés en el tratamiento de las aguas residuales.

Los sistemas públicos de tratamiento de aguas servidas están basados en la eliminación de la materia orgánica, sólidos en suspensión, patógenos, nutrientes y contaminantes inorgánicos.

Para la caracterización del agua residual, se emplean métodos de análisis cuantitativo para la determinación precisa y exacta de la composición química del agua, y análisis cualitativos para el conocimiento de las características físicas y biológicas. La metodología para los diversos análisis están descritos en las Normas correspondientes. Los componentes de las aguas servidas poseen las siguientes características.

#### 4.1.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

Las características físicas más importantes del agua residual se resumen a continuación:

##### **Sólidos Totales**

Se define el contenido de ST como la materia que se obtiene como residuo después de someter el agua a un proceso de evaporación entre 103-105°C. No se define como sólida aquella materia que se pierde durante la evaporación debido a su alta presión de vapor.

Existen los **sólidos sedimentables**; que corresponden a los sólidos que sedimentan en el transcurso de un período de 60 minutos en el fondo de un

recipiente de forma cónica (cono imhooff). Se expresan en mm/L/1h y constituye una medida aproximada de la cantidad de lodo que se obtendrá en la decantación primaria del agua residual.

Los **sólidos totales** se pueden clasificar en **filtrables** o **no filtrables** (en suspensión o SST) haciendo pasar un volumen conocido de líquido por un filtro de tamaño de poro de 1,2  $\mu\text{m}$ .

Los sólidos filtrables corresponden a sólidos coloidales y disueltos. La fracción coloidal ésta compuesta por partículas de materia de tamaños entre 0,001 y 1  $\mu\text{m}$ . Los sólidos disueltos están compuestos de moléculas orgánicas, inorgánicas e iones en disolución en el agua.

Cada una de las categorías se pueden dividir en función de la volatilidad a  $550 \pm 50^\circ\text{C}$ . A esta temperatura la fracción orgánica se oxidará y desaparecerá en forma de gas, ( $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$ ) quedando la fracción inorgánica en forma de cenizas. Para lo que se emplean los términos de "**sólidos volátiles**" y "**sólidos fijos**".

Para aguas residuales domésticas típicas el valor considerado como representativo de la concentración de los SST es 220 mg/L.

### **Temperatura**

La temperatura del agua es un parámetro muy importante dada su influencia, tanto sobre el desarrollo de la vida acuática como sobre las reacciones químicas y velocidades de reacción. Un cambio brusco de temperatura puede conducir a un fuerte aumento de la mortalidad de la vida acuática, además que puede dar lugar a una indeseada proliferación de plantas acuáticas y hongos.

En función de la situación geográfica y la época del año la temperatura media anual presenta variaciones.

La dependencia de las constantes de la velocidad de la reacción biológica con la temperatura, es muy importante a fin de asegurar la eficiencia conjunta de un proceso de tratamiento biológico, además influye sobre factores tales como la velocidad de transferencia de gases y sobre las características de sedimentación de los sólidos biológicos.

La temperatura del agua residual suele ser siempre más elevada que la del agua de suministro, hecho principalmente debido a la incorporación de agua caliente procedente de las casas y los diferentes usos industriales. En relación con el comportamiento diario se puede mencionar que es relativamente constante, sin embargo presenta una cierta variación estacional.

### **Turbiedad o turbidez**

La turbiedad, como medida de transmisión de luz de un agua, es otro parámetro que se emplea para indicar la calidad de las aguas en relación con la materia

coloidal y residual en suspensión. La medición se lleva a cabo mediante la comparación entre la intensidad de la luz dispersada en la muestra y la intensidad registrada en una suspensión de referencia en las mismas condiciones.

#### **4.1.2 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS**

##### **Materia Orgánica**

Los compuestos orgánicos están formados normalmente por combinaciones de carbono, hidrógeno y oxígeno, con la presencia, en determinados casos, de nitrógeno, azufre, fósforo o hierro. Los principales grupos de sustancias orgánicas presentes en el agua residual son las proteínas (40-60%), hidratos de carbono (25-50%), y grasas y aceites (10%). También contiene pequeñas cantidades de un gran número de moléculas orgánicas sintéticas cuya estructura puede ser desde muy simple a extremadamente compleja.

El contenido orgánico se determina bajo el desarrollo de ensayos de laboratorio como la DBO, demanda química de oxígeno (DQO), carbono orgánico total (COT).

##### **Demanda Bioquímica de Oxígeno**

El parámetro de contaminación orgánica más empleado, aplicable tanto a aguas residuales como en aguas naturales, es la DBO con un período de incubación normal de 5 días a 20°C (DBO<sub>5</sub>), aunque también se pueden adoptar diferentes períodos de tiempo y temperatura. Su determinación está relacionada con la medición del oxígeno disuelto que consumen los microorganismos en el proceso de oxidación bioquímica de la materia orgánica.

La DBO entrega la cantidad aproximada de oxígeno que se utiliza para estabilizar biológicamente la materia orgánica presente, dimensionar las instalaciones de tratamiento de aguas residuales, medir la eficacia de algunos procesos de tratamiento y controlar el cumplimiento de los límites a los que están sujetos los vertidos. Para aguas residuales domésticas típicas, un valor representativo de la concentración de DBO 250 mg/L.

##### **Demanda Química de Oxígeno**

Ciertas sustancias presentes en las aguas residuales, al ser vertidas en un curso de agua, captan parte del oxígeno existente. Estas necesidades de oxígeno, al margen de todo proceso biológico, se denomina DQO. El ensayo de la DQO se emplea para medir el contenido de las materias oxidables presentes en el agua, cualquiera sea su origen orgánico o mineral, usado tanto en aguas naturales como en las residuales. En el ensayo, se emplea un agente químico fuertemente oxidante en medio ácido para la determinación del equivalente en oxígeno de la materia orgánica e inorgánica que se puede oxidar. El ensayo debe realizarse a elevadas temperaturas y para facilitar la

oxidación de determinados tipos de compuestos orgánicos es preciso emplear un catalizador, además puesto que algunos compuestos interfieren con el normal desarrollo del ensayo, deben tomarse medidas adecuadas para eliminarlos antes del ensayo. Para aguas residuales domésticas típicas un valor representativo es de 500 mg/L.

### **Carbono Orgánico Total**

Este ensayo es especialmente indicado para pequeñas concentraciones de materia orgánica. El ensayo se lleva a cabo inyectando una cantidad conocida de la muestra en un horno a alta temperatura o en un medio químicamente oxidante. En presencia de un catalizador, el carbono orgánico se oxida a anhídrido carbónico, la producción del cual se mide cuantitativamente con un analizador infrarrojo. El ensayo puede realizarse en muy poco tiempo, y su uso se está extendiendo rápidamente. Para aguas residuales domésticas típicas como un valor representativo es 200 mg/L.

### **Materia Inorgánica**

Son varios los componentes inorgánicos de las aguas residuales y naturales que tienen importancia para la determinación y control de la calidad del agua. El contenido de las sustancias inorgánicas en las aguas naturales, dependen del contacto del agua con las diferentes formaciones geológicas, como es el caso de algunas sales como  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ , etc. En las aguas residuales, tratadas o sin tratar, la presencia de este tipo de compuestos es producto del uso doméstico o industrial del agua, que incorpora algunas sales como sulfatos y cloruros y algunos metales como Hg, Cu, Cr, Cd, etc.. Estos últimos pueden interferir o tener consecuencias tóxicas en el tratamiento de las aguas servidas.

### **pH**

La concentración de ion hidrógeno es un parámetro de calidad de gran importancia tanto para el caso de aguas naturales como residuales. El intervalo de concentración adecuado para la proliferación y desarrollo de la mayor parte de la vida biológica es bastante estrecho y crítico.

La actividad biológica normalmente se desarrolla entre pH 6 a 8. Las aguas muy ácidas o muy alcalinas son indeseables debido a su alta corrosividad y difícil tratamiento. Para aguas residuales domésticas típicas los valores de pH varían entre 6,5 a 8,5.

### **Nutrientes**

El nitrógeno y el fósforo son esenciales para el crecimiento de plantas y organismos, razón por la cual reciben el nombre de nutrientes. No obstante, es el aporte de nutriente (N y P y su relación), además de las condiciones del cuerpo receptor lo que da pie a eventos de proliferación de algas.

**Nitrógeno:** El nitrógeno es absolutamente básico para la síntesis de proteínas y está presente en las aguas residuales en diversas formas como el nitrógeno orgánico, amoníaco, nitrito y nitrato.

- **Nitrógeno Orgánico;** Es el nitrógeno en forma de proteínas, aminoácidos y urea. Se determina con el método Kjeldahl e incluye el nitrógeno amoniacal y el orgánico pero no los compuestos nitrogenados de origen industrial como la hidrazina o la piridina, ya que son especialmente resistentes a la descomposición por este método.
- **Nitrógeno Amoniacal;** Se encuentra en solución acuosa, en forma de sales amoniacales o como amoníaco libre, lo que está determinado por el pH de la solución. Para aguas residuales domésticas típicas los valores de la concentración del nitrógeno amoniacal se encuentran entre 40 a 50 mg/L.
- **Nitritos;** Son una etapa intermedia de oxidación, normalmente no se presenta en grandes cantidades debido a su inestabilidad. Es un indicador de contaminación anterior al proceso de estabilización y raramente excede la cantidad de 1 mg/L en las aguas residuales. Presenta una alta toxicidad para especies acuáticas por lo que su estudio no debe olvidarse.
- **Nitratos;** Es el producto final de la oxidación del nitrógeno. Para aguas residuales domésticas típicas los valores de la concentración de nitratos no sobrepasan 1 mg/L, debido al carácter reductor de estas.

**Fósforo:** Las formas más frecuentes en las que se presenta el fósforo en solución acuosa incluye a los compuestos de fósforo inorgánico como al ortofosfato, polifosfato y los compuestos orgánicos, siendo este último de muy poca importancia en los residuos municipales del orden de 2 a 3 veces menor que los compuestos inorgánicos. Alta presencia de fósforo puede indicar la presencia de vertidos industriales. En las aguas residuales domésticas típicas, el contenido de fósforo puede variar entre 4 y 15 mg/L.

## **Compuestos Tóxicos**

### **Iones Inorgánicos**

Algunos cationes son de gran importancia de cara al tratamiento y evacuación de aguas residuales. Algunos de ellos son Cu, Pb, Ag, Cr, As, Ni, Na, K y  $\text{NH}_4^+$  los que son tóxicos en mayor o menor grado para los microorganismos, razón por lo que deben ser controlados en los RILES que aportan este tipo de contaminantes. Dichos contaminantes, pueden afectar el funcionamiento de los tratamientos biológicos hasta el extremo de verse en la obligación de detenerlos.

Algunos aniones tóxicos, entre los que se incluyen los cianuros y los cromatos, están presentes en vertidos industriales provocando efectos similares a los producidos por los cationes.

### **Metales Pesados**

Como constituyentes de muchas aguas, en general se encuentran a nivel de trazas. Entre ellos podemos destacar Ni, Mn, Pb, Cr, Cd, Zn, Cu, Fe y Hg. Algunos son esenciales para el desarrollo de la vida, pero debido a su alta toxicidad, en cantidades excesivas interfiere con un gran número de usos del agua. Mucho de dichos compuestos están clasificados como contaminantes prioritarios.

### **Orgánicos**

En general este tipo de compuestos no son de origen natural, siendo los más comunes los pesticidas, herbicidas, compuestos clorados, bifenilospoliclorados (PCB's), etc. En general son compuestos de cloro, organofosforados y carbamatos, poco solubles en agua, bioacumulables, difíciles de biodegradar y trasmisibles a través de la cadena alimenticia.

### **Gases**

Los gases que con mayor frecuencia se encuentran en aguas residuales brutas son el nitrógeno ( $N_2$ ), oxígeno ( $O_2$ ), dióxido de carbono ( $CO_2$ ),  $H_2S$ , amoníaco ( $NH_3$ ), y metano ( $CH_4$ ). Los tres primeros son gases de común presencia en la atmósfera, y se encuentran en todas las aguas en contacto con la misma. Los tres últimos proceden de la descomposición anaerobia de la materia orgánica presente en el agua residual.

### **Oxígeno disuelto**

El  $O_2$  es un elemento muy importante en el control de la calidad de las aguas. Sin embargo, el  $O_2$  es solo ligeramente soluble en agua. La cantidad real de  $O_2$  y otros gases que pueden estar presente en la solución, viene condicionada por la solubilidad del gas, presión parcial del gas en la atmósfera, temperatura y pureza del agua (salinidad, sólidos en suspensión, etc).

Las aguas sin contaminación orgánica normalmente están saturadas de  $O_2$ , sin embargo los desechos orgánicos pueden consumirlo rápidamente. Los peces no pueden sobrevivir por debajo de 4 mg/L de oxígeno.

Dado que evita la formación de olores desagradables en las aguas residuales, es deseable y conveniente disponer de cantidades suficientes de oxígeno disuelto.

### **Sulfuro de hidrógeno**

Se forma durante el procesos de descomposición de la materia orgánica que contiene azufre, o en la reducción de sulfitos y sulfatos minerales, mientras

que su formación queda inhibida en presencia de grandes cantidades de oxígeno. Es un gas incoloro, inflamable, con un olor que recuerda a los huevos podridos.

### 4.1.3 CARACTERÍSTICAS BIOLÓGICAS

En las aguas residuales y superficiales están presentes una serie de organismos los que se clasifican en eucariota (algas y protozoos), eubacterias, arqueobacterias y virus, muchos de los cuales presentan características patógenas para la salud humana.

Los **organismos patógenos** que se encuentran en las aguas residuales pueden proceder de desechos humanos que estén infectados o sean portadores de una determinada enfermedad. Las principales clases de organismos patógenos son las bacterias, los virus, los protozoos y un grupo de parásitos intestinales como los helmintos. Debido a la infecciosidad de estos organismos son causantes de una alta morbilidad en países con escasos recursos sanitarios, donde están presentes enfermedades tales como la fiebre tifoidea, hepatitis, cólera, etc.

Los organismos patógenos se presentan en las aguas residuales en muy pequeñas cantidades y además son difíciles de aislar e identificar, por ello se emplea el organismo coliforme como indicador, puesto que su presencia es numerosa y fácilmente comprobable. Cada ser humano en su tracto intestinal contiene innumerables bacterias, conocidas como coliformes y evacua entre 100.000 a 400.000 millones de coliformes por día. Por ello, se considera que la presencia de coliformes puede ser un indicador de la posible presencia de organismos patógenos.

## 4.2 INFORMACIÓN DISPONIBLE

### 4.2.1 CONCEPTOS BÁSICOS

Los estudios de caracterización del agua residual están encaminados a determinar las características físicas, químicas y biológicas del agua, las concentraciones de los constituyentes del agua residual y los medios óptimos para reducir sus concentraciones. Sin embargo, las características del agua servida no son constantes y varían según hora, el día, la estación y otros elementos locales no manejables. Por ello, al caracterizar las aguas se pretende indicar rangos de variación y no valores exactos.

Con la finalidad de conocer las condiciones mencionadas en sus plantas de tratamiento de aguas servidas, EMSSAT S.A. ha realizado campañas de aforo y medición, además del análisis periódico de muestras puntuales tanto de los afluentes como los efluentes de cada una de ellas. La necesidad de realizar el aforo en conjunto con el muestreo tiene tres objetivos principales, primero es obtener un registro del caudal de las aguas servidas que entran a la planta, de

esta manera, cuando la planta cuenta con registro continuo sirve de parámetro comparativo y en las plantas que no, es una forma de controlar el caudal estimado o teórico. En segundo lugar permite la realización de muestras compuestas o proporcionales al caudal y como finalidad última permite calcular la carga orgánica afluyente, importante para definir si la planta esta funcionando sobrecargada o no.

Es necesario presentar algunos conceptos usados en el estudio referido a este tema específico:

El **muestreo** es un estudio que entrega una caracterización de las aguas residuales, en el cual se debe asegurar la obtención de muestras representativas, ya que los datos que se deriven de los análisis de dichas muestras serán en definitiva, la base para concluir en que condiciones se encuentra el sistema de tratamiento.

Existen dos **tipos de muestras**, las simples o puntuales y las compuestas. Las primeras entregan características del agua residual en el momento en que la muestra es tomada. La compuesta (conocida como promedio ponderado) son aquellas formadas por mezclas de muestras individuales tomadas en diferentes momentos. La cantidad de cada muestra individual que se añade a la mezcla compuesta debe ser proporcional al flujo de caudal en el momento en que la muestra fue tomada. La frecuencia para las muestras individuales que formarán la compuesta proporcional al caudal es generalmente de dos horas, durante 24 horas, lo que permite tener un valor representativo del promedio diario. Otro tipo de muestra compuesta es de gabinete, que consiste en la misma operación de la compuesta pero es un cálculo netamente teórico, en que se ponderan los resultados de concentraciones obtenidos en las muestras puntuales. En la mayoría de los casos es conveniente emplear valores compuestos, ya que constituyen una metodología de muestreo más representativa. La utilización de medias simples puede conducir a conclusiones erróneas.

Las **estaciones de muestreo** estarán situadas en puntos en los que las características del flujo sean tales que favorezcan al máximo las condiciones de mezclas de las aguas y en general se ubican al inicio o final de una etapa del proceso.

Los **intervalos de muestreo** están condicionados por el grado de variación del caudal y concentración del contaminante. Debe ser un tiempo lo suficientemente corto como para que la representatividad de las muestras sea la máxima. Aun en los casos en los que la variación de los caudales sea muy pequeña, la concentración de los constituyentes pueda presentar grandes variaciones.

En la toma de muestras se debe controlar de manera minuciosa la **conservación de la muestra**; ya que su descuido lleva a obtener información

que puede carecer de todo valor. La conservación está destinada a proteger las condiciones físicas, químicas y biológicas de las muestras durante los períodos de tiempo entre la toma de las muestras y su análisis. La mejor manera de eliminar los errores debido al deterioro de las muestras es, indudablemente, realizar los análisis con la mayor prontitud posible. Cuando las condiciones analíticas y de muestreo obligan al transcurso de cierto tiempo entre ambas etapas, como en los casos en los que se toman muestras compuestas de 24 horas, es necesario tomar ciertas precauciones para prevenir la degradación de la muestra, el caso más típico es la refrigeración a una temperatura menor o igual que las 4°C. Se deben emplear los métodos usuales de preservación de muestras para el análisis de aquellas propiedades que se puedan ver afectadas por el deterioro de la muestra.

#### 4.2.2 MUESTRAS PUNTUALES

EMSSAT S.A. efectúa un control permanente a los sistemas de tratamiento, consisten en muestras puntuales de acuerdo a pautas entregadas por la SISS. Este muestreo corresponde al monitoreo de autocontrol. La frecuencia de las muestras depende del tipo de planta de tratamiento, y se encuentra en función del caudal descargado o en determinadas excepciones por algún interés particular de investigación de todos o algunos parámetros. La frecuencia de control para cada sistema se indica en Tabla 13

Tabla 13:  
Frecuencia del muestreo de autocontrol de EMSSAT S.A.

CIUDAD	NºMUESTRA	FRECUENCIA
COPIAPÓ	1	SEMANTAL
VALLENAR	1	SEMANTAL
TIERRA AMARILLA	1	QUINCENAL
FREIRÍNA	1	MENSUAL
DIEGO DE ALMAGRO	1	SEMANTAL
EL SALADO	1	MENSUAL
CALDERA	1	MENSUAL
CHAÑARAL	1	MENSUAL
HUASCO	1	MENSUAL

Fuente: Archivos EMSSAT S.A.

En los análisis realizados, los parámetros controlados en la frecuencia mencionada son; DBO5, DQO, turbiedad, SST, pH, temperatura, sulfuro y coliformes fecales.

Adicionalmente y para fines de investigación y control, EMSSAT S.A., programa campañas de muestreo donde se recolectan muestras puntuales de algún(os) parámetro(s) de interés.

Los puntos de muestreo, para todas las plantas, son básicamente los mismos. Las muestras son tomadas; Inmediatamente después de la cámara de rejillas; A la

salida de cada una de las lagunas de la planta; Antes de la descarga; En el cuerpo receptor a 100 m de la descarga aguas abajo y a 20 m aguas arriba de la descarga.

### **4.2.3 CAMPAÑAS DE MEDICIONES**

Las campañas de muestreo y aforo de la empresa son usadas para caracterizar las aguas servidas. Son realizadas en forma esporádica dado la cantidad de tiempo y recursos que demandan.

Durante las campañas efectuadas, se tomaron muestras de aguas paralelamente al aforo con el fin de construir una muestra compuesta representativa del día de medición. Además, se miden algunos parámetros en terreno como pH, conductividad, oxígeno disuelto y temperatura con igual frecuencia que las muestras. Las temperaturas que se registran son del agua y la del aire.

Los puntos de muestreo para las campañas son los mismos que para las muestras puntuales descritos en la sección 4.2.2.

## **4.3 METODOLOGÍA DE ANÁLISIS**

### **4.3.1 RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN**

Para proceder a realizar el análisis, en primer lugar fue necesario la recopilación de la información existente tanto en campañas de muestreo, como en las muestras puntuales. Dicha información se encontraba en los certificados entregados por los laboratorios, en informes y proyectos de la empresa. EMSSAT ha registrado la caracterización de sus aguas servidas en forma periódica desde 1996.

### **4.3.2 ORGANIZACIÓN DE LA INFORMACIÓN**

El objetivo propuesto para el manejo de la información consistió en generar un sistema tal que permitiera registrar la información existente e incorporar a futuro los nuevos resultados que se obtengan de manera de ir completando una base de datos completa y actualizada.

Las bases de datos permitirán un trabajo estadístico, logrando establecer comparaciones de la información en el tiempo, entregando una herramienta para interpretar, por ejemplo cambios de población o costumbres. Además, es posible realizar comparaciones entre los diferentes sistemas de las localidades, con relación a su comportamiento tipo, identificando cuales presentan un comportamiento distinto.

Otro de los objetivos es poder establecer correlaciones de los distintos parámetros, curvas típicas de comportamiento de cada uno de ellos y compararlos de manera de lograr superposiciones o desfase si existieran.

Para cumplir con los objetivos, la información fue transferida a planillas de EXCEL, separadas por año, localidad y parámetro, donde se desarrollará un trabajo estadístico. En las planillas, una forma de hacerlas más operativas, se dividió el día en intervalos de tiempo de cada dos horas, tomando como supuesto, que el valor puntual registrado es representativo de todo el intervalo.

Se creó un código de colores con la finalidad de reconocer ciertos valores con características particulares como los siguientes casos:

**Color rojo:** Identifica a valores informados bajo el límite de cuantificación de la técnica usada por el laboratorio que los analizó, esto es válido para todos los parámetros. Por lo tanto el valor real podría ser menor o igual al valor mencionado en el informe.

**Color azul:** Identifica a muestras ponderadas en gabinete. Este tipo de muestra fue explicado en sección 5.2.1 del presente capítulo.

**Color fucsia:** Corresponde a valores que se encuentran fuera del rango o orden numérico de sus pares, realizados bajo iguales condiciones.

Para los valores informados que se encuentran bajo el límite de cuantificación, se utilizará este valor para la realización de algún tipo de análisis, esto no es exacto pero nos permite poder trabajarlos sin olvidar su origen.

Con el desarrollo de las planillas para las distintas ciudades, se podrán comparar los comportamientos y tendencias de los parámetros en los afluentes y efluentes de ser posible. Para desarrollar este punto fue necesario parametrizar respecto al promedio, donde se divide los valores puntuales obtenidos en cada campaña por el valor promedio correspondiente al día en cuestión, de esta manera se obtiene un factor adimensional e independiente del número de pobladores.

Se compara el comportamiento de las distintas localidades para los siguientes parámetros; DBO5, DQO, turbiedad, SST, pH, temperatura, sulfuro, coliformes fecales, cobre total, hierro disuelto y nutrientes, aunque existe una normativa completa, los parámetros restantes no son considerados con la misma frecuencia dadas las características sociales y económicas de la región.

## **4.4 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN**

### **4.4.1 INTRODUCCIÓN**

Para caracterizar las aguas servidas se utilizan los parámetros físicos químicos y biológicos anteriormente mencionados. Además según los antecedentes

recopilados, se describirán las observaciones y conclusiones que entreguen los análisis estadísticos, destacando tendencias diarias y variaciones a largo plazo.

La metodología permitirá evaluar no solo los efectos particulares de cada ciudad, sino que asociarlos o compararlos con el resto de las ciudades en términos similares. Se realiza un diagnóstico lo más representativo de la realidad de manera de lograr estimaciones de las variaciones que experimentan los tratamientos.

#### 4.4.2 CAUDAL

a) **Variación diaria;** La variación diaria del caudal es analizada según la información obtenida en las campañas de aforo para todas las localidades, además de las mediciones puntuales registradas. La localidad con mayor información al respecto es Copiapó, con registros desde 1996 hasta la fecha, destacando que desde comienzos del 2000 los registros comenzaron a realizarse en forma continua. La planta de Vallenar posee registros desde 1997, mientras que las demás localidades tienen en promedio 2 campañas y algunas mediciones puntuales.

Se analizan los valores promedio y el comportamiento tipo de las aguas servidas crudas de cada una de las ciudades y para realizar la comparación entre ellas fue necesario parametrizar con respecto al medio dado sus diferencias de caudal. Con respecto a lo anterior, la hipótesis que se propone es que el caudal presenta una variación diaria típica como la mencionada en punto 2.1, la cual se mantiene en las demás localidades analizadas en forma similar; con un mínimo en la madrugada y un máximo en horas de la tarde, relacionado con la actividad de la ciudad.

El análisis anterior y los que se harán en adelante para los restantes apartados serán solo cualitativo producto de que por el tipo de información, segregada, puntual y sin repeticiones no permite la realización de alguna prueba estadística que lo demuestre.

Para la realización del análisis se obtuvo una curva parametrizada en relación con el medio, para los **afluentes** de cada localidad como se muestra a continuación en Figura 12:

De modo de sintetizar y relacionar los resultados obtenidos a través de la parametrización se destacan los valores máximos, mínimos de cada localidad en Tabla 14. La importancia de obtener una curva unitaria es que nos permitirá realizar comparaciones entre localidades y lograr estimaciones de valores medios a partir de valores puntuales, dividiendo el valor de la muestra individual por el valor unitario a la hora correspondiente, se denominará a este procedimiento "factor de ponderación" (FP).

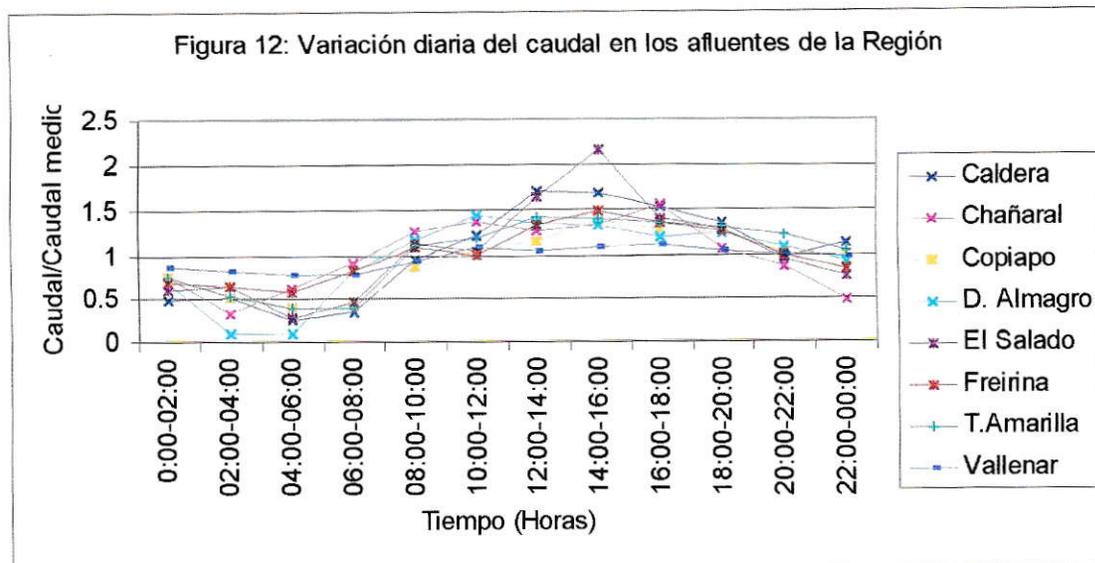


Tabla 14:  
Factores de ponderación máximos y mínimos para caudal.

HORAS	Copiapó	Vallenar	T.Amarilla	Freirina	D.Almagro	El Salado	Caldera	Chañaral
Qmax/Qmedio	1,378	1,105	1,422	1,486	1,452	2,153	1,703	1,549
Qmin/Qmedio	0,389	0,761	0,372	0,573	0,089	0,262	0,249	0,326

Como se muestra en la Figura 12, los afluentes presentan un caudal promedio mínimo alrededor de las 4:00 AM con un rango de  $\pm 2$  horas.

El máximo se alcanza en torno a las 14:00  $\pm 2$  horas. Diego de Almagro, muestra un adelanto al horario señalado atribuible posiblemente a las costumbres de los pobladores de la ciudad, reconocida como una zona minera que los obliga a levantarse más temprano por efectos de traslados.

El caudal medio de las plantas se presenta dos veces al día. En la mañana a las 8:30  $\pm 2$  horas y en la noche a las 21:00  $\pm 2$  horas. Sin embargo es posible destacar que el caudal promedio diario alcanzado en horas de la mañana es más tarde en las ciudades más grandes.

Se puede concluir que en general el mínimo varía entre un 20-50% del caudal medio diario, mientras el máximo entre un 140-150%. Exceptúa este comportamiento, Vallenar producto de presentar una gran infiltración que amortigua las variaciones haciéndolas menores y las localidades de Caldera, Diego de Almagro y El Salado que presentan valores extremos.

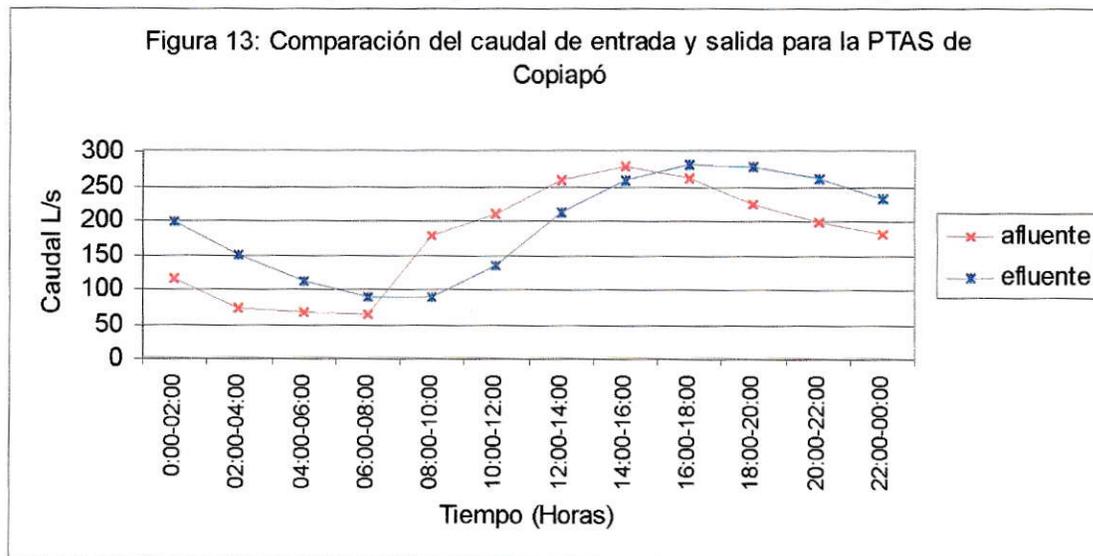
Diego de Almagro y El Salado por ser localidades pequeñas presentan la mayor variabilidad, con máximos y mínimos, muy marcados. Además la primera ciudad se encontraba sometida a restricciones en el suministro de

agua potable hasta Diciembre del 2000 por lo que sus pobladores tienen costumbres de consumo irregulares durante el día.

Dada las irregularidades de comportamiento del caudal a escala regional no es confiable la utilización de una curva promedio que represente la región en su totalidad, por esta razón se recomienda el uso de las curvas individuales para cada localidad.

Esta información deberá ser validada posteriormente con la realización de más campañas de medición, esta mención no es válida para Copiapó y Vallenar que cuentan con información suficiente para tener conclusiones sólidas.

Se ha realizado la estimación de variación diaria de caudal a las entradas de las plantas de tratamientos, sin embargo también existe una variación diaria de caudal en el **efluente**, las que se encuentran relacionadas con las variaciones de entrada es por este motivo que se realiza una comparación. Para este punto se utiliza la información de la planta de Copiapó que es la única que cuenta con medidores de caudal tanto a la salida como a la entrada del tratamiento, se usa la información de cuatro días hábiles del año 2000, considerados en forma aleatoria del registro continuo, a los cuales se les determinó el promedio y se les gráfico como se muestra en Figura 13.



De la figura se desprende que el caudal de salida tiene un comportamiento muy similar al afluente, sin embargo, presenta un desfase de aproximadamente 2 horas en relación con el caudal de entrada atribuido al tiempo de retención de las lagunas. El tiempo de retención está determinado por el volumen de lodo almacenado durante la operación, sin embargo es una variable que no es manejada para obtener aumento en la eficiencia. Además, si se considera un valor promedio de caudal afluente de 166 L/s y un promedio del caudal efluente de 196 L/s, se logra apreciar que el caudal de

entrada es inferior al caudal de salida de la planta, lo que es imposible dado que no existe generación de materia, esto nos indica la posibilidad de una descalibración de uno de los dos equipos de medición, se cree que el equipo de entrada esta más susceptible de sufrirla, por esto se considera más confiable los resultados entregados por el equipo de salida. Si esto es correcto se esta en presencia de una subestimación del volumen total tratado ya que el valor considerado es solo el 85% del valor de caudal efluente.

Es de esperar que cada planta de tratamiento presente variaciones en el comportamiento diario tanto de entrada como salida muy similares al caso de Copiapó, es decir, con el desfase de unas horas pero como ya se menciona depende del tiempo de residencia de las aguas en el sistema y los valores de caudal efluente dependerán de factores externos como evaporación, viento, fugas e infiltración.

Para obtener una estimación de un valor **promedio anual** para cada uno de los años de los cuales se tienen registros se realiza el siguiente ejercicio; a partir de los datos puntuales se aplica el factor de ponderación determinado anteriormente como lo indica la ecuación 1, luego una vez ponderado cada dato puntual se aplica la ecuación 2 obteniéndose un valor medio anual para cada caso.

Cálculo:

$$Q_i / FP_i = Q_{pi} \quad (1)$$

$$Q_p = \sum Q_{pi} / n \quad (2)$$

- i = intervalo de tiempo
- $Q_i$  = valor puntual de caudal
- $FP_i$  = factor de ponderación
- $Q_{pi}$  = valor de caudal ponderado
- $Q_p$  = valor promedio corregido
- n = número de medidas

Los valores obtenidos a través de este ejercicio se representan en la Tabla 15 y corresponden a un valor corregido con el factor de ponderación, el cual es obtenido de los valores reales puntuales de caudal.

De la tabla se desprende que ha mayor tamaño de la ciudad aumenta el caudal, los registros más altos son alcanzados por Copiapó y los más bajos por El Salado. El caudal ha ido en aumento a lo largo del tiempo en toda la región, sin embargo Freirina y El Salado rompen la tendencia.

Para el caso de Freirina el posible motivo podría ser un error en alguna de las dos mediciones, dada las marcadas diferencias que sobrepasan el 50%. Una causa podría ser, las características del sistema de alcantarillado de esta ciudad que presenta una pendiente muy baja lo que determina que una gran

cantidad de sedimentos se depositen, esta condición puede afectar al equipo tanto a su sensibilidad como a la integración del aérea que pasa dicho caudal

Tabla 15:

Promedios anuales corregidos de caudal para la Región expresado en L/s

Localidad	Habitantes	1996	1997	1998	1999	2000
Copiapó	112.734	161	188	208	224	186*   215
Vallenar	46.012	SI	157	180	197	204
Tierra Amarilla	9.085	SI	SI	SI	13,1	18,6
Freirina	2.508	SI	SI	SI	15,7	6,5
Diego de Almagro	7.869	SI	SI	SI	5,79	8,83
El Salado	1.200	SI	SI	SI	1,27	1,17
Caldera	13.472	SI	SI	11,2	SI	15,5   32**
Chañaral	12.205	SI	SI	12,6	SI	13,5   18,3**
Huasco	5.618	SI	SI	SI	SI	SI

SI; sin información.

\*Caudal determinado tanto por la estimación total del volumen tratado en el año 2000, como por ponderación

\*\*Caudal registrado en temporada de Verano

Para el caso de El Salado la situación es distinta, los valores registrados son del mismo orden y se puede interpretar que se encuentra dentro de la variabilidad propia del sistema de medición ( $\pm 10\%$ ), además esto nos puede indicar que el caudal no presenta un aumento en el tiempo o que se puede estar en presencia de una disminución del caudal por motivos externos como lo sería la migración de la población, por tratarse de una localidad tan pequeña cualquier variación en ella refleja efectos en el caudal de agua servidas.

Es necesario mencionar el punto de Copiapó, indicado con \* en la Tabla 15, el valor de 186 L/s corresponde a la estimación promedio del volumen real tratado que entrega el registro continuo de la planta de tratamiento, además en forma paralela se usaron los valores puntuales a los cuales se les aplico el factor de ponderación para lo se obtuvo igual resultado, demostrando que este trabajo matemático es una buena aproximación de la realidad.

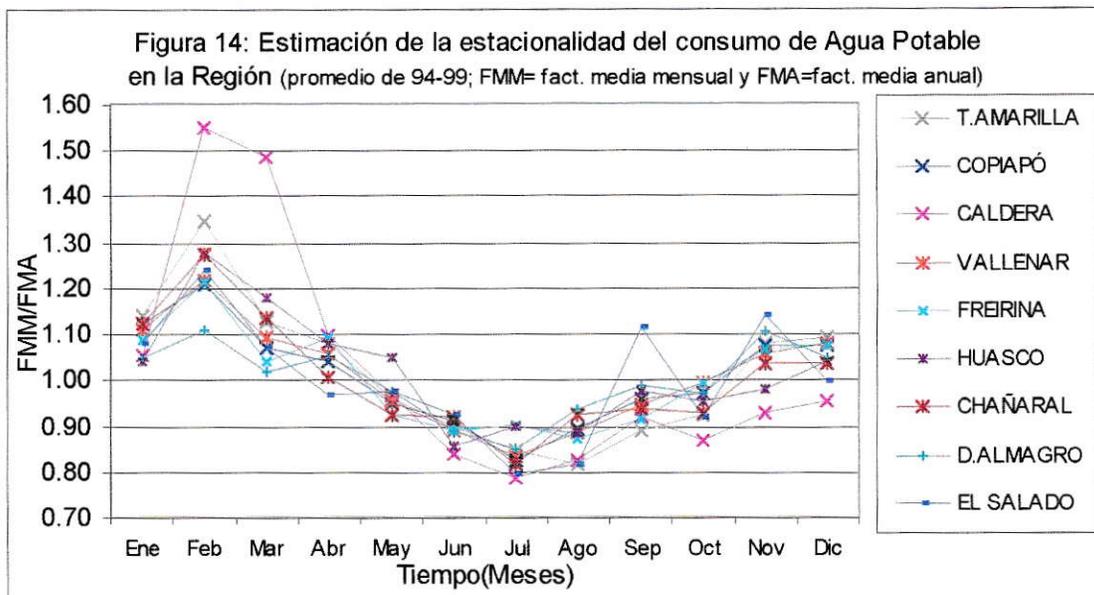
No obstante, sin olvidar el punto de la posible descalibración del medidor de entrada se utilizan los valores entregados por el equipo de salida para estimar un valor promedio de entrada, corrigiendo en primer lugar el desfase de las curvas, adelantando los valores en un intervalo de dos horas para hacer calzar el valor punta del efluente con el valor punta del afluente, luego de esto es usado el factor de ponderación, en este ejercicio se desprecia la evaporación y las infiltraciones entregando como resultado los 215 L/s expresados en la Tabla 15, este resultado confirma lo anteriormente señalado que se esta en presencia de una subestimación del caudal afluente considerando solo un 87% del valor estimado como real.

Es necesario mencionar los casos de Caldera y Chañaral en donde los valores identificados en la Tabla 15 con \*\* corresponden a información de

caudal en época de Verano, estos datos son un 147% y 126% respectivamente, indicando un estacionalidad, casos que se discutirán en el siguiente apartado.

b) **Estacionalidad;** En este punto se analiza la estacionalidad del consumo de agua potable para relacionarla con la cantidad de agua afluente que llega a cada una de las plantas, aplicando el factor de recuperación mencionado en capítulo 2. Para este caso, el valor del factor de recuperación usado será de 0,85 lo que nos indica que solo el 85% del agua potable se convierte en agua servida que llega al alcantarillado.

Para el análisis se utilizó la facturación de agua potable de EMSSAT, desde Agosto de 1994 a Diciembre de 1999. La facturación nos entrega un valor de consumo mensual el cual es parametrizado por la media anual, de este modo se obtiene una curva media parametrizada promedio para cada localidad única par todo el período mencionado. Como resultado de este trabajo, presenta un resumen en Tabla 16, además una representación gráfica se presenta a continuación en Figura 14:



De manera de sintetizar y relacionar los resultados obtenidos a través de la parametrización se destacan los valores máximos, mínimos de cada localidad en Tabla 16.

Se observa que el mes de mayor consumo de agua es Febrero y el de menor consumo Julio con algunas excepciones, lo que se podría atribuir al desfase que existe en la facturación, la cual no se realiza en forma simultánea en un mismo día para toda una ciudad, sino por sectores.

Tabla 16:  
Resumen facturación promedio parametrizada respecto al medio

LOCALIDAD	MÁXIMO		MÍNIMO	
	FMM máx./FMM	MES	FMM mín./FMM	MES
Copiapó	1,21	Feb	0,83	Julio
Vallenar	1,22	Feb	0,83	Julio
Tierra Amarilla	1,35	Feb	0,82	Agosto
Freirina	1,21	Feb	0,87	Agosto
Diego de Almagro	1,11	Feb-Nov	0,85	Julio
El Salado	1,24	Feb	0,80	Julio
Caldera	1,55	Feb	0,79	Julio
Chañaral	1,27	Feb	0,82	Julio
Huasco	1,28	Feb	0,86	Junio

FFM= Facturación media mensual

Los resultados muestran una evidente baja de consumo en Invierno, los motivos pueden ser múltiples, por ejemplo: menor riego, disminución de la frecuencia de lavado de ropas, etc.

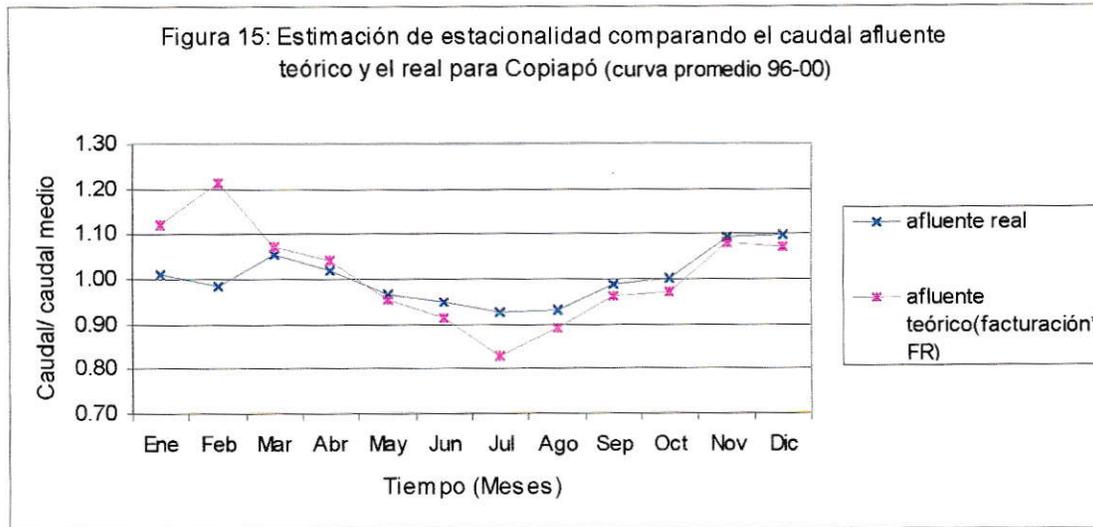
Concluyendo al respecto se observa que las ciudades ubicadas en la costa, Chañaral, Huasco y Caldera presentan mayor estacionalidad siendo sin lugar a dudas esta última la más afectada, aumentando el consumo medio sobre un 50% producto de una gran población flotante de turistas en los meses de Verano. Otra excepción es Diego de Almagro que presenta dos máximos de consumo, posiblemente por alguna variación en las fechas de lecturas o por la presencia de alguna actividad particular de la ciudad, como fiestas populares, eventos, etc.

Cada planta de tratamiento o sistema de recolección tienen incorporado en su diseño las variaciones estacionales, siendo capaces de admitir sin problemas estos cambios, sin embargo el mayor problema lo presenta la ciudad de Caldera que con su alta estacionalidad tienen múltiples problemas en el tratamiento lo que trae como consecuencia la toma de medidas técnicas.

Como una manera de comprobar la veracidad del análisis anterior, se utiliza la información disponible en Copiapó. La planta de Copiapó tiene un registro de las aguas que ingresan a la planta las que se compararan con la estimación realizada por la facturación de agua potable, los resultados se muestran en Figura 15

De la figura se desprende que existen diferencias entre el caudal ingreso real y teórico. Ambos siguen la misma tendencia, pero esta se rompe en el mes de Febrero que se había supuesto como el mes de mayor cantidad de agua afluente de la planta, esta diferencia se pueden atribuir a que si bien el consumo de agua se ve aumentado, el retorno de las aguas al sistema de alcantarillado se ve disminuido ejemplos de esto podría ser uso de agua en

piscinas, mayor riego, etc. Es evidente que el mes de menor consumo y menor cantidad de aguas afluentes a la planta es Julio.



Una explicación a las diferencias encontradas en la Figura 15, es que el factor de recuperación no es constante durante el año, sin embargo pese a que existen diferencias entre las curvas es una buena aproximación de la realidad.

**c) Crecimiento de las coberturas;**

**1. Agua potable:**

Para tener como referencia se presenta una tabla con la cobertura de agua potable de los últimos 6 años.

Tabla 17;  
Cobertura de agua potable para las diferentes localidades de la Región

Localidad	1995	1996	1997	1998	1999	2.000
Copiapó	98,0	98,0	97,8	97,3	98,4	98,4
Vallenar	99,0	99,0	99,3	99,6	99,8	99,8
Tierra Amarilla	95,7	93,8	95,7	89,0	90,6	91,3
Freirina	98,6	96,8	97,7	97,7	97,9	98,1
Diego de Almagro	98,5	98,1	99,7	97,2	98,8	98,9
El Salado	97,4	99,5	96,5	99,4	93,0	98,0
Caldera	98,7	98,7	99,7	97,3	99,7	99,7
Chañaral	99,3	100	100	97,4	99,3	99,6
Huasco	97,5	98,1	97,6	96,0	98,1	98,2

Fuente: Archivos EMSSAT S.A.

Se debe destacar que la metodología de estimación de cobertura del agua potable cambio a partir de año 1997, lo que puede explicar algunas de las diferencias. De la tabla se desprende que la cobertura de agua potable no tiene cambios significativos en el tiempo.

## 2. Agua servida

Un análisis aparte es lo que pasa con la cobertura de alcantarillado que es determinante en la cantidad de caudal de aguas servidas recolectadas. Con relación a lo anterior se presenta un resumen las coberturas de los últimos 6 años.

Tabla 18;  
Cobertura de alcantarillado para las diferentes localidades de la Región

Localidad	1995	1996	1997	1998	1999	2000
Copiapó	90,5	89,2	90,9	92,9	94,4	94,6
Vallenar	94,2	95,5	93,3	93,6	95,6	98,4
Tierra Amarilla	63,2	67,4	82,7	79,8	79,9	82,9
Freirina	60,0	60,8	60,4	63,7	60,6	64,8
Diego de Almagro	38,1	50,7	57,0	62,3	71,1	85,6
El Salado	5,0	73,1	87,8	40,4	24,0	90,6
Caldera	54,7	60,0	63,8	67,8	72,5	75,0
Chañaral	95,0	94,0	93,2	95,1	96,1	92,3
Huasco	65,0	73,8	79,3	70,7	75,7	79,2

Fuente: Archivos EMSSAT S.A.

De la tabla se desprende que la localidad que más alcantarillado ha implantado en orden decreciente son Diego de Almagro, Tierra Amarilla y Huasco. Sin embargo la ciudad de El Salado registra valores de cobertura muy irregulares en el tiempo, una posible causa es que halla existido una subestimación del valor real de cobertura.

d) **Análisis especiales;** En este punto se comentaran las localidades que están sujetas a alguna particularidad especial.

**Vallenar:** El sistema de alcantarillado de esta ciudad sufre de una gran infiltración desde napas subterráneas, circunstancia que aumenta la cantidad de agua residual y las cargas contaminantes se ven diluidas. En un ejercicio de corrección, se estima la infiltración y las concentraciones que existirían sin este efecto de dilución.

La infiltración se expresa en L/día/m lineal de alcantarillado, y la ciudad de Vallenar posee 102.563 metros lineales de alcantarillado.

El ejercicio fue realizado para los dos últimos años usando la información disponible en cada caso, los que se explican a continuación.

Se uso la facturación de agua potable corregidas con el factor de recuperación. Estas facturaciones entregan un caudal que corresponde a un promedio mensual, por lo tanto el caudal teórico que ingresa a la planta. Además se tiene información de la medición de agua servida tratada que corresponde al caudal real, de esta forma se consigue el caudal anual que

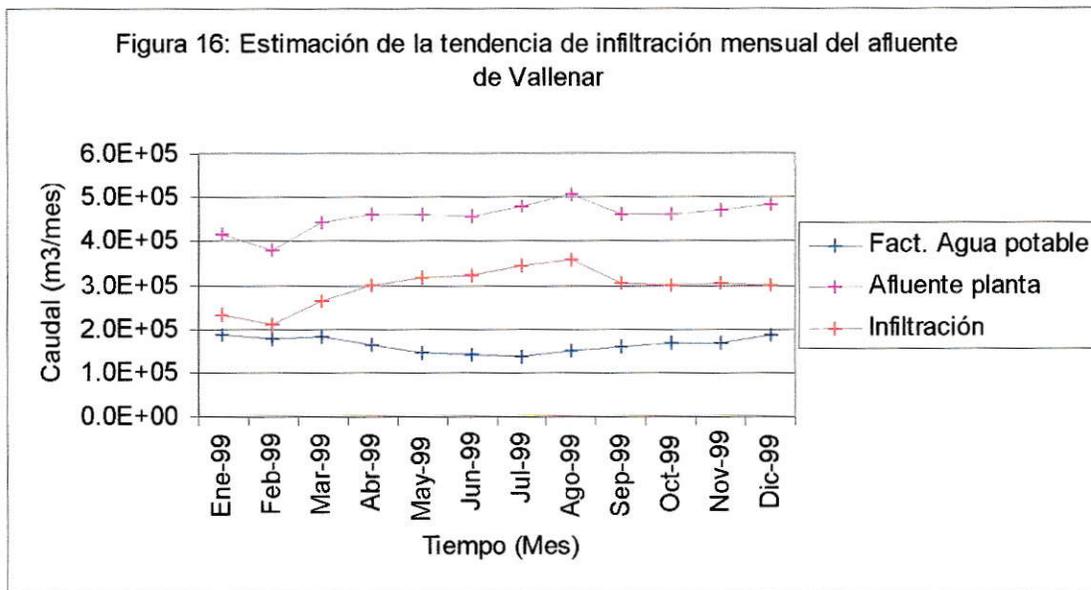
ingresa a la planta, la diferencia del caudal de entrada real y el teórico determinan la infiltración media. Los resultados se presentan en la Tabla 19.

Tabla 19:  
Estimación de la infiltración media en la planta de tratamiento de Vallenar

Año	Unidad	A.potable*FR (FR=0,85)	A.servida afluente	Infiltración	Infiltración L/día/m lineal alcantarillado
1999	L/s	61,70	173,43	111,73	94,00
2000	L/s	62,61	194,53	131,92	112,20
%		1,015	1,121	1,181	1,19

En la tabla se desprende que el aporte de agua de infiltración al sistema ha ido en aumento siendo aproximadamente un 64% para el año 1999 y de un 68% para el año 2000. Los caudales en general han aumentado en una proporción similar de alrededor de un 1%.

La figura que representan lo anterior se muestran a continuación, mayores antecedentes en Anexo 2.2.



Para estimar las concentraciones de algunos parámetros sin el efecto de dilución, las concentraciones que ingresan a la planta tienen el mismo tratamiento matemático que el caudal en el punto "a" de este capítulo, en las mediciones realizadas, por tratarse de un valor puntual, se aplica el factor de ponderación para llevarlo a un valor representativo del medio, luego se obtiene el valor medio mensual del promedio de los valores ponderados. Las concentraciones son modificadas según el principio de conservación de la masa, ecuación 3;

$$C_{\text{teórica}} * V_{\text{teórico}} = C_{\text{real}} * V_{\text{real}} \quad (3)$$

- $C_{\text{teórica}}$  = concentración promedio anual teórico  
 $V_{\text{teórico}}$  = caudal promedio teórico entregado por la facturación de agua potable.  
 $C_{\text{real}}$  = concentración real promedio del año.  
 $V_{\text{real}}$  = caudal promedio real entregado por la medición de agua servida tratada a la entrada a la planta.

Tabla 20:  
Corrección de los parámetros sin el efecto de dilución

Parámetro	Unidad	Real	Teórico
Estimación año 1999			
DBO	mg/L	222	624
DQO	mg/L	357	1003
Turbiedad	NTU	168	472
SST	mg/L	163	458
Estimación año 2000			
DBO	mg/L	207	643
DQO	mg/L	285	885
Turbiedad	NTU	131	407
SST	mg/L	122	379

La dilución de las concentraciones reales es de aproximadamente 180% en el año 1999 y superan el 210% en el año 2000, siguiendo la tendencia que a mayor agua de infiltración mayor es la dilución.

Aunque la infiltración no ha causado problemas de operación en la planta de tratamiento es importante destacar que al aumentar el agua infiltración también lo hace la cantidad de agua residual a tratar, el costo de evacuación y los costos de desinfección de las mismas. Además, a mayor caudal disminuye el tiempo de residencia del agua servida en las lagunas, esto puede ser un problema si el tiempo de residencia baja mucho más de dos días, que es límite inferior de tiempo para las Lagunas Aireadas, lo que puede provocar una disminución en la eficiencia de tratamiento.

**Diego de Almagro:** Las aguas servidas crudas se diluyen con aguas del canal Aguas Claras lo que produce un aumento del caudal en un 100%.

El caudal que ingresa desde el canal esta determinado por el diámetro de la tubería que conecta al canal con el emisario de aguas servidas, como por la velocidad que lleve, también influye la altura de agua del canal. Las dos últimas variables son externas a EMSSAT y son manejadas por Codelco.

#### 4.4.3 TEMPERATURA

Se posee información de terreno puntual de los años 1996, 1997, 1998 y en las campañas de muestreo realizadas en las cuales se registro la temperatura a lo largo de toda la jornada de medición. La temperatura influye directamente en la actividad biológica, si la temperatura disminuye se reduce la capacidad de remover la carga orgánica.

El tratamiento matemático realizado a los datos fue la media aritmética por tratarse de propiedades intensiva de la materia, dado que es independiente de la cantidad de esta. Un resumen de la información recopilada se muestra en la Tabla 21.

Tabla 21:  
Valores promedios de los parámetros de terreno

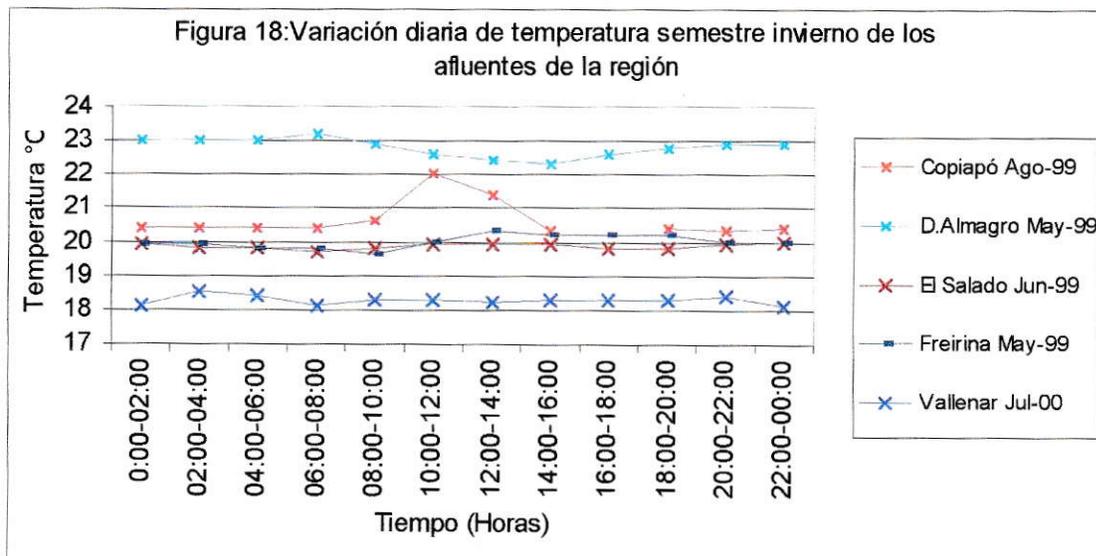
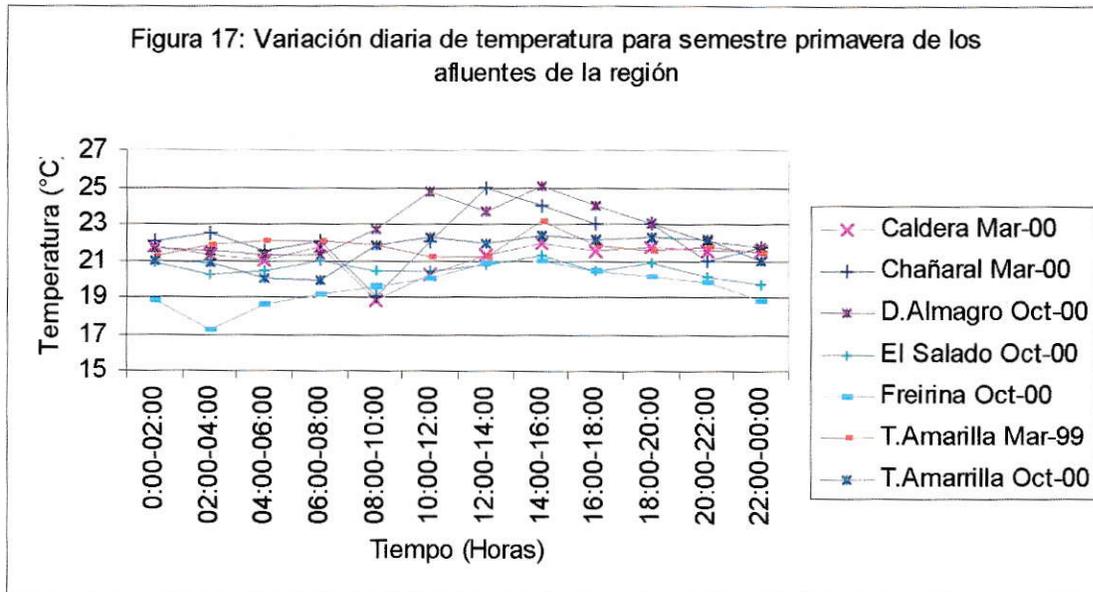
Localidad	PH		Conductividad mS/cm		Temperatura °C		Fecha
	valor representativo	rango	valor representativo	rango	valor representativo	rango	
Copiapó	7,73	7,71-7,91	2,46	2,29-2,61	20,6	20,3-22,0	Ago-99
Vallenar	7,31	7,17-7,67	1,36	1,24-1,49	18,3	18,1-18,5	Jul-00
T.Amarilla	7,49	7,28-7,96	2,06	2,27-1,80	21,7	21,1-23,2	Mar-99
	7,77	7,00-8,51			21,5	19,9-22,4	Oct-00
Freirina	7,70	7,41-8,04			20,0	19,6-20,3	May-99
	7,52	6,37-8,31			19,5	17,2-20,9	Oct-00
D.Almagro A. crudas	7,66	7,35-8,24	2,50	2,40-2,60	22,8	22,3-23,2	May-99
	7,74	7,41-8,07			22,7	21,3-25,1	Oct-00
A. canal	7,86		8,17		18,4		Anual
A. diluidas	7,71		4,83		18,1		Anual
El Salado	7,93	7,11-8,34-	32(*)	18-49(*)	19,9	19,7-21,3	Jun-99
	7,89	7,21-8,52			20,5	19,6-21,3	Oct-00
Caldera	7,87	7,56-8,19			21,2		Mar-00
Chañaral	7,89	7,78-8,01			22,2		Mar-00
Huasco	7,75	7,38-8,14					Anual

(\*) Conductividades S/cm.  
Anual (2000)

Las localidades que registran menores valores son Vallenar, El Salado y Freirina, posiblemente producto que los sistemas de alcantarillado de las dos primeras están en presencia de infiltración que es más fría que el agua del afluente, para el caso de Freirina los aportes de aguas externas, principalmente de canales, pueden ser la causa. Los valores máximos lo presenta la ciudad de Diego de Almagro.

La temperatura del agua residual es relativamente homogénea durante el día, pero cada localidad muestra diferentes rangos, se puede estimar que la temperatura varia entre 18-23 °C, tomando como valor representativo los 21 °C para todo el año. Sin embargo en el semestre de primavera se logra apreciar

una tendencia de variación diaria, con mínimo en horas de la madrugada y máximos cercanos al medio día, en cambio en invierno la variación diaria se encuentra muy disminuida como se ilustra en las figuras siguientes, mayores antecedentes en Anexo 2.2.



Se puede concluir tanto para Tierra Amarilla, Freirina, Diego de Almagro y El Salado, en donde las campañas de muestreo fueron realizadas en diferentes épocas del año que la temperatura no varía substancialmente según los valores entregados en Tabla 22, mostrando variaciones de solo una décima de grado entre los promedios de las correspondientes campañas.

Tabla 22:  
Promedios de temperaturas en los afluentes según estación

Temporada	Temperatura °C	Desviación Estándar
Anual	20.9	1,53
Semestre Primavera	21.3	1,32
Semestre Invierno	20.3	1,68
Semestre Invierno**	19,7	1,02

\*\* Análisis descontando los valores entregados por Diego de Almagro, por ser superiores a la media de las demás mediciones.

Aunque la información es muy puntual se estima que las diferencias diarias de temperatura son más marcadas en el semestre de primavera, disminuyendo en el semestre de invierno, lo anterior se ve reflejado en los valores de las desviaciones estándar.

Con la Tabla 22, se demuestra que el valor medio del año es aproximadamente los 21°C como se había mencionado anteriormente.

Es importante destacar que las variaciones durante el año no superan los 2°C. En esta zona, la temperatura ambiente, presenta diferencias significativas entre el día y la noche, más que entre invierno y verano, cuyos promedios varían entre 12,4°C a 21,8°C. Se presume que la temperatura ambiente no influye directamente en la temperatura de los afluentes ya que los sistemas de alcantarillado se encuentran en forma subterránea entre 1,5 a 4 metros de profundidad.

Una manera de evaluar el comportamiento de la temperatura de los sistemas se analizaron cuatro campañas donde se contaba con la información suficiente en cada un de sus unidades de la planta. Las ciudades en cuestión son Copiapó (campaña de Ago-99), Vallenar (campaña de Jul-00), Freirina (campaña de May-99) y Diego de Almagro (campaña de May-99).

Se determino el promedio aritmético del afluente y el efluente, estimando el porcentaje de reducción de la temperatura a lo largo de los sistemas.

Tabla 23:  
Efecto de los sistemas sobre la temperatura de los afluentes

Lagunas Aireadas					
Localidad	Unidad	Afluente	Efluente	% reducción	Tiempo de residencia
Copiapó	°C	20,4	17,9	12,2	7 días*
Vallenar	°C	18,3	17,0	6,7	3 días*
Lagunas Facultativas					
Localidad	Unidad	Afluente	Efluente	% reducción	Tiempo de residencia
Freirina	°C	19,9	15,5	22,2	14 días*
Diego de Almagro	°C	22,8	16,7	26,6	30 días*

(\*) Valor aproximado

De la tabla se observa que los sistemas enfrían las aguas residuales. Se muestra los dos tipos de sistema de tratamiento, se observa una mayor disminución en los sistemas Facultativos, una posible explicación de este fenómeno se relaciona con el alto tiempo de residencia de estos. En el sistema Aireado la planta de Copiapó muestra un porcentaje de reducción mayor posiblemente por el mismo motivo anteriormente señalado, sin embargo entre las Lagunas Facultativas la reducción es del mismo orden.

Se debe destacar que la reducción de temperatura se ve favorecido por la temperatura ambiente y por los vientos predominantes.

El análisis anterior esta realizado bajo el supuesto que las lagunas funcionen como cajas negras porque en especial para las lagunas del tipo facultativas, definir una temperatura promedio para los efluentes presenta dificultades ya que la temperatura presenta un perfil, gradiente o termoclina, hacia el fondo de las lagunas, especialmente en Primavera y Verano, provocado por el aumento de temperatura en la superficie consecuencia del calentamiento superficial, en Invierno este efecto se ve muy disminuido y casi no es observable. En teoría los gradientes de temperaturas horizontales son homogéneos, pero es valido solo en ausencia de vientos. En presencia de vientos, se generan gradientes superficiales de temperaturas, pH y oxígeno, que alteran la medición de dichos parámetros en el efluente.

#### 4.4.4 pH

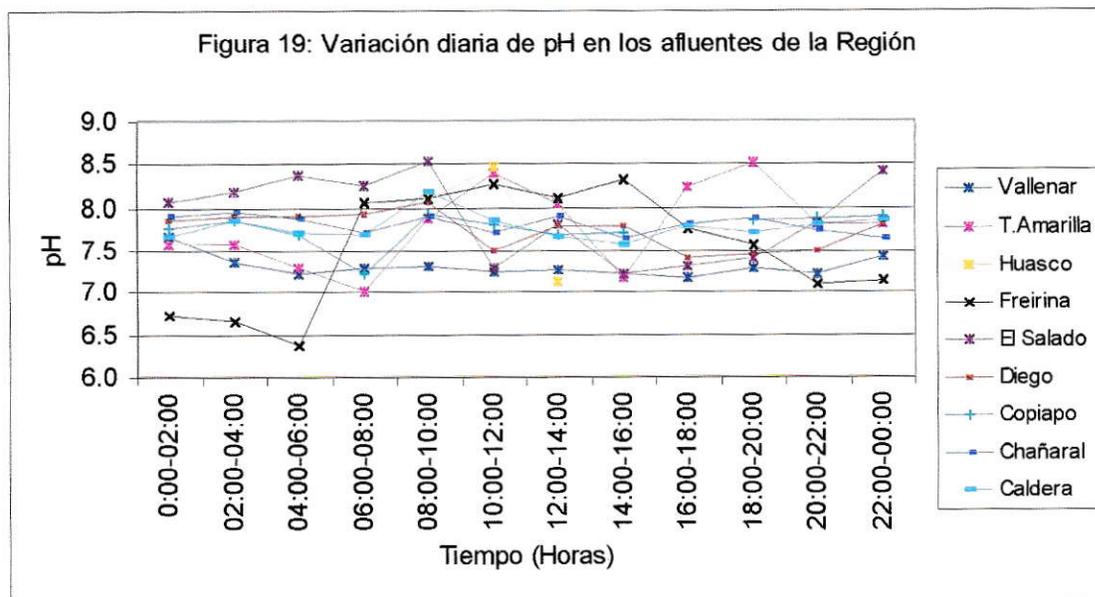
Se posee información de terreno puntual de los años 1996, 1997, 1998, en las campañas de muestreo realizadas en las cuales se registro pH a lo largo toda la jornada de medición y desde 1999 el pH de las muestras puntuales es registrado en el laboratorio por encontrarse los equipos de terreno fuera de servicio, estos últimos resultados aunque no son medidos in situ como lo indica la normativa, pueden ser usados como una medida de control y referencia.

El tratamiento matemático realizado a los datos fue la media aritmética por tratarse de propiedades intensiva de la materia, al igual que la temperatura. Un resumen de la información recopilada se mostró en la Tabla 21 y un resumen del comportamiento diario de pH en cada localidad se muestra en Figura 19.

De la figura es posible apreciar una leve tendencia diaria, con un máximo en horas cercanas al medio día, si embargo las localidades de El Salado y Diego de Almagro presentan el mínimo a la hora mencionada. Además la ciudad de Vallenar es quien muestra la menor variabilidad diaria siendo su curva más bien una línea recta manteniéndose relativamente constante durante todo el día.

En la Tabla 21, es posible apreciar que las plantas presentan un rango de entre 7 a 8,5, siendo la planta de Diego de Almagro quien presenta los valores más altos. Vallenar reúne los valores inferiores, lo que se podría explicar por el gran

aporte de las aguas de infiltración que diluyen las aguas servidas que ingresan a la planta, otra causa podría ser la mejor calidad del agua potable de esta ciudad.



El valor promedio de pH tanto en el afluente y el efluente, se estimó bajo los mismos supuestos que para temperatura, lo que permite visualizar el efecto de las lagunas en el pH de las aguas servidas, un resumen de los resultados se presentan a continuación en Tabla 24.

Tabla 24:  
Efecto de los sistemas sobre el pH de los afluentes y de los efluentes

Lagunas Aireadas				
Localidad	Unidad	Afluente	Efluente	% reducción
Copiapó	Unidad	7,80	7,58	2,8
Vallenar	Unidad	7,30	6,98	4,4
Lagunas Facultativas				
Localidad	Unidad	Afluente	Efluente	% reducción
Freirina	Unidad	7,70	8,11	-5,3
Diego de Almagro	Unidad	8,16	8,77	-7,5

Las diferencias entre un sistema y otro son evidentes, mientras las Lagunas Aireadas acidifican las aguas disminuyendo el pH, las Lagunas Facultativas lo aumentan, sin embargo el pH se mantiene en los rangos exigidos por la norma NCh N°1.333 que es de 5,5 a 9.

En los Sistemas Aireadas, el agua se acidifica finalmente con la cloración que entrega HOCl y HCl. En las Lagunas Facultativas el aumento de pH es producto de la actividad de las microalgas las cuales al realizar fotosíntesis consumen el CO<sub>2</sub> desplazando los equilibrios químicos (CO<sub>2</sub>+H<sub>2</sub>O↔H<sup>+</sup> +HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> +CO<sub>3</sub><sup>-2</sup>). Sin embargo se debe destacar que la determinación del pH en los efluentes de las

Lagunas Facultativas se ven afectadas por las mismas restricciones que la determinación de la temperatura. Mientras el pH efluente de las Lagunas Aireadas es relativamente constante, en las Lagunas Facultativas tiene una variación diaria producto de la actividad de las microalgas.

Casos especiales:

Diego de Almagro presenta la mezcla de sus aguas con las del canal anteriormente mencionado, las que provocan un aumento en el rango de pH, por tratarse de aguas de origen industrial, como se muestra en Tabla 21.

#### 4.4.5 DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO)

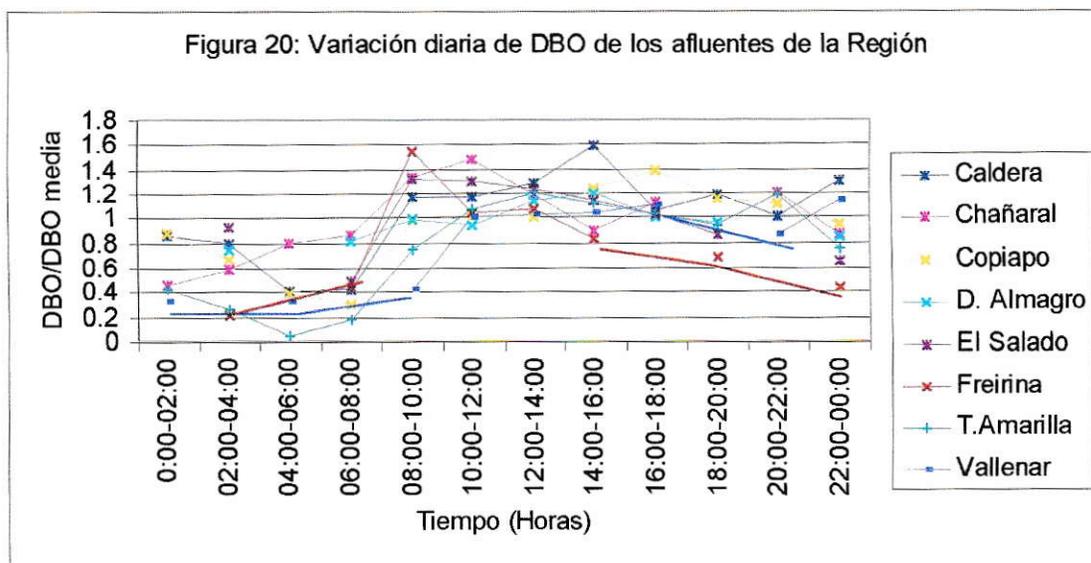
a) **Variación diaria:** Se analiza la variación diaria de la concentración de DBO, según la información obtenida en las campañas de muestreo para todas las localidades, además se incorporan al análisis las mediciones puntuales registradas. La localidad con mayor información al respecto es Copiapó, con una mayor cantidad de campañas y la información que se obtenga de su análisis es la base para las demás ciudades. El resto de las localidades tienen la información descrita en el punto 4.4.2-a (pág. 56).

Para todas las localidades se analizó el comportamiento tipo de las aguas servidas crudas y los valores promedios. Para realizar la comparación entre ellas se parametrizo respecto al promedio dado sus diferencias de población. Con respecto a lo anterior, la hipótesis que se propone es que la DBO presenta una variación diaria con un mínimo en la madrugada y un máximo en horas de la tarde en función de la actividad de la ciudad. Como se mencionó en el caso de caudal, el análisis es solo cualitativo. Este comentario es válido para los siguientes parámetros; DQO, Turbiedad y SST.

Para la representación de la variación diaria se muestra la Figura 20 y un resumen con los resultados obtenidos a través de la parametrización donde se destacan los valores máximos, mínimos de cada localidad se presentan en Tabla 25.

En la figura se ilustra la variación horaria de la concentración de DBO en las aguas servidas, la concentración punta suele presentarse en horas de la tarde. Esto es especialmente válido para las ciudades más grandes, sin embargo en el resto de las localidades la tendencia es muy similar.

Tanto Copiapó, Vallenar, Diego de Almagro, Tierra Amarilla y Caldera presentan un máximo en horas de la tarde mientras que el resto de las localidades presentan las concentraciones máximas en horas de la mañana.



**Tabla 25:  
Factores de ponderación máximos y mínimos para DBO.**

HORAS	Copiapó	Vallenar	T.Amarilla	Freirina	D.Almagro	El Salado	Caldera	Chañaral
Qmax/Qmedio	1,376	1,133	1,192	1,538	1,202	1,538	1,582	1,468
Qmin/Qmedio	0,296	0,325	0,043	0,216	0,816	0,489	0,408	0,447

La variación del máximo con respecto al medio esta entre 10-40%, sin embargo Caldera y Freirina sobrepasan en casi un 50% la concentración media, atribuible a la cantidad orgánica de sus aguas residuales que además de transportar las aguas servidas transportan aguas de la industria pesquera y de la preparación artesanal de aceitunas respectivamente.

Evaluando el mínimo respecto al promedio diario, se encuentran los valores entre un 20-50%, con la excepción de Tierra Amarilla que solo alcanza el 5% y en Diego de Almagro donde el valor alcanza un 80% del promedio.

La concentración media durante la mañana, para toda la región es alrededor de las 9:00 horas con un delta de  $\pm 2$  horas. La concentración media en la tarde es difícil establecer una hora estándar ya que cada localidad presenta horarios particulares.

Es importante mencionar que no existe información que permita establecer tendencias claras desde este parámetro en adelante para las localidades de Caldera, Chañaral y Huasco, la información actual es la limitante tanto para este parámetro como para los restantes.

Las concentraciones medias anuales de DBO para los últimos cinco años se muestran en Tabla 26, los cuales fueron obtenidos usando el procedimiento de ponderación de igual forma que se trabajo en caudal.

Tabla 26:  
Promedios anuales de DBO para la Región expresado en mg/L

Localidad	1996	1997	1998	1999	2000
Copiapó <sup>1</sup>	242	287	302	333	293
Vallenar <sup>1</sup>	146	190	219	222	207
Tierra Amarilla <sup>1</sup>	223	250	340	313	263
Freirina <sup>1</sup>	141	215	231	202	244
Diego de Almagro <sup>1</sup>	250	349	302	409	351
El Salado <sup>1</sup>	SI	211	243	185	310
Caldera <sup>1</sup>	SI	SI	SI	SI	309
Chañaral <sup>1</sup>	SI	SI	SI	SI	313
Huasco <sup>2</sup>	SI	378	349	374	357

<sup>1</sup>valor obtenido desde nuestras puntuales utilizando ponderación

<sup>2</sup>valor obtenido con el promedio aritmético de las muestras puntuales de autocontrol

SI= sin información

Los demás valores fueron obtenidos de igual forma que caudal en Tabla 15

La concentración promedio de DBO es menor en el afluente de Vallenar, mientras que los valores más altos los encontramos en Diego de Almagro y en Huasco, este último puede presentar variaciones si se ponderaran sus concentraciones ya que las diferencias pueden ser significativas y se estaría frente a una subestimación de la concentración real, esto es válido para todos los comentarios que se relacionen con Huasco

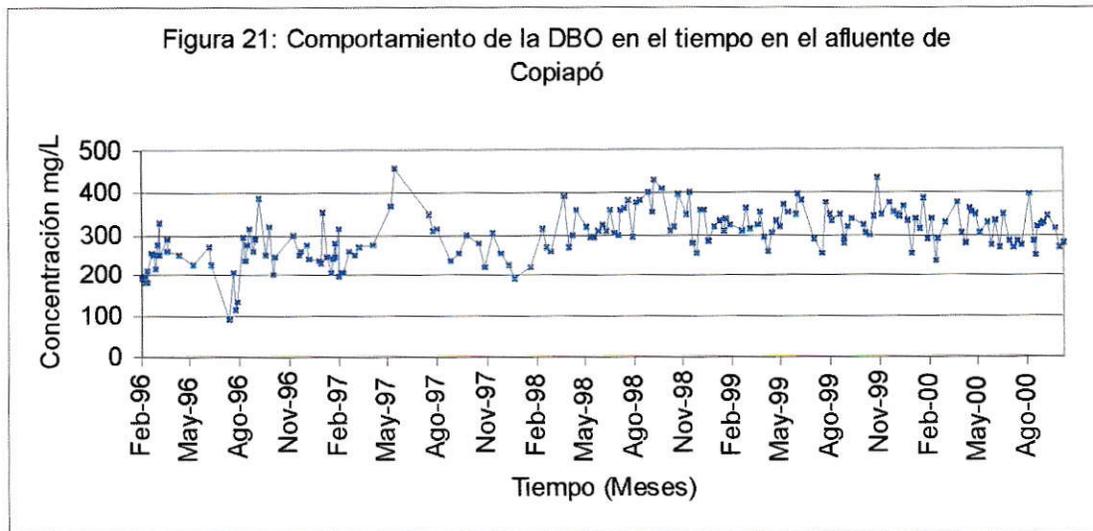
Se observa que no existe un aumento permanente en el tiempo, sin embargo, se puede justificar con que de igual manera los valores se encuentran dentro de la variabilidad propia del ensayo de DBO, se cree que la concentración de DBO aumenta al hacerlo la calidad de vida de las personas.

- b) **Estacionalidad:** Por ser la DBO el parámetro más importante dentro del tratamiento dado que en su función están estimadas los valores de cargas orgánicas que se tratarán en cada uno de los sistemas se busca algún tipo de tendencia de variación estacional. Para el siguiente análisis se usó el afluente de Copiapó, por presentar mayor cantidad de información.

Se determinó una concentración media mensual para cada uno de los años con registro (96-00). Cada valor se determinó usando la información obtenida entre el intervalo de las 10:00 y 12:00 horas, por encontrarse en este intervalo de tiempo la concentración media del día como se observa en la Figura 20, de esta manera se obtuvo un valor medio mensual representativo.

Al analizar la DBO durante cada uno de los años, en forma cualitativa, se observa que no se encuentra una tendencia de variación anual como la esperada con un máximo en la época estival. Además se observó la variación de la DBO en el tiempo mostrando un pequeño aumento durante los años 96 hasta comienzos del 98, sin embargo desde este período se observa que se ha mantenido relativamente constante, esto se complementa con lo anterior donde se compararon los medios anuales. Una figura que muestra lo

anteriormente explicado se muestra a continuación, mayores antecedentes en Anexo 2.2.



#### 4.4.6 DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO)

El análisis de la variación diaria de la DQO, es realizado con la información obtenida en las campañas de muestreo y las mediciones puntuales registradas, al igual que el análisis de la DBO.

Para todas las localidades se analizaron los valores promedios y el comportamiento tipo de las aguas servidas crudas de cada una de las ciudades. Para realizar la comparación se realizó igual trabajo que en la DBO el cual será válido en adelante hasta que se indique lo contrario.

La hipótesis que se propone es que el DQO presenta una variación diaria con un mínimo en la madrugada y un máximo en horas de la tarde.

Para la realización del análisis se obtuvieron las curvas parametrizadas en relación con el medio, para los **afluentes** de cada localidad. Una representación de lo anterior es la Figura 22. Una síntesis de dicha figura se muestra en Tabla 27.

En la figura se ilustra la tendencia de variación horaria de la concentración de DQO en las aguas servidas, la concentración punta suele presentarse en horas de la tarde y el valor mínimo en horas de la madrugada. La concentración de la DQO muestra igual tendencia de comportamiento que la DBO y presenta valores horarios similares. Sin embargo, aunque las curvas no se superponen unas a otras mantienen el comportamiento.

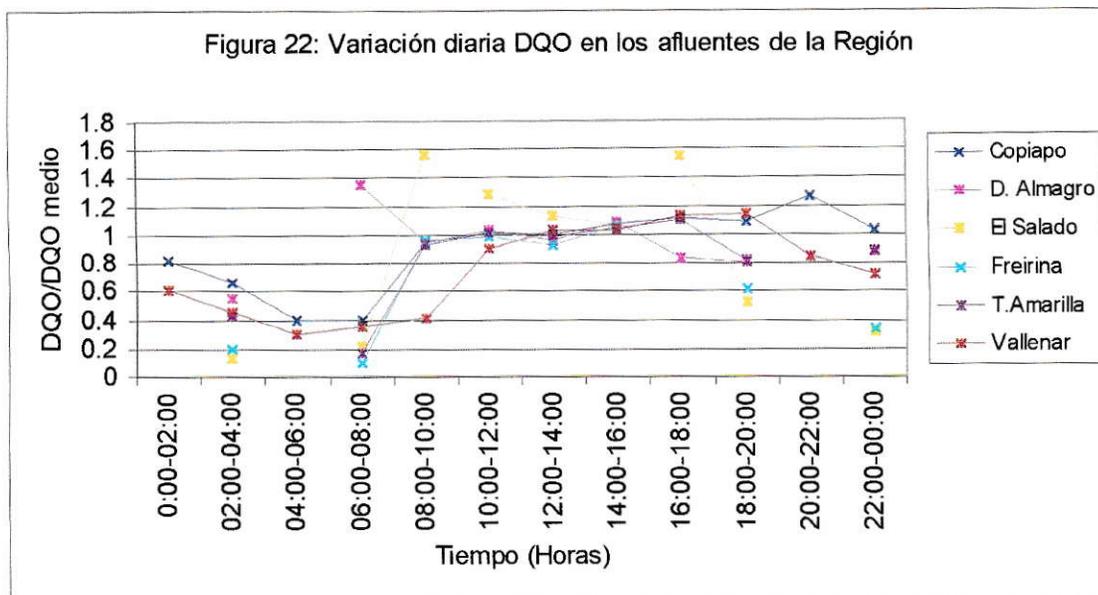


Tabla 27:  
Factores de ponderación máximos y mínimos para DQO.

HORAS	Copiapó	Vallenar	T. Amarilla	Freirina	D. Almagro	El Salado
Qmax/Qmedio	1,269	1,143	1,103	1,059	1,352	1,562
Qmin/Qmedio	0,387	0,294	0,172	0,092	0,550	0,133

Igualmente las localidades muestran dos puntas una en la mañana y otra en la tarde, exceptuando Vallenar y Freirina que solo presentan una en horas de la tarde. Se observa que Copiapó, Vallenar, Tierra Amarilla y Freirina presentan sus máximos en horas de la tarde, mientras que El Salado y Diego de Almagro tienen el máximo en horas de la mañana sobrepasando el promedio en 60% y 30% respectivamente, posiblemente por que el consumo de noche disminuye a tal punto que provoca que el material quede sedimentado en el sistema de alcantarillado, el que es posteriormente arrastrado cuando comienza a aumentar el caudal del agua.

La variación respecto al promedio es particular para cada localidad no se encuentra un rango típico que identifique a la totalidad de las ciudades. Sin embargo se destaca El Salado como la localidad que presenta mayor variación diaria y Diego de Almagro como la que muestra la menor variación con respecto al promedio.

Los valores promedios obtenidos para el quinquenio de análisis tienen el tratamiento matemático ya mencionado para este punto como se muestra en la Tabla 28.

De la tabla se observa que los valores de DQO en promedio bordean los 600 mg/L, pero cada lugar presenta diferentes rangos, por lo tanto un valor que promedio no es representativo de la región.

Tabla 28:  
Promedios anuales del DQO para la Región expresado en mg/L

Localidad	1996	1997	1998	1999	2000
Copiapó <sup>1</sup>	580	628	566	642	634
Vallenar <sup>1</sup>	445	455	392	357	285
Tierra Amarilla <sup>1</sup>	602	509	576	617	692
Freirina <sup>1</sup>	529	492	290	440	721
Diego de Almagro <sup>1</sup>	643	699	700	828	873
El Salado <sup>1</sup>	Si	671	551	671	1194
Caldera <sup>2</sup>	Si	Si	Si	Si	684
Chañaral <sup>2</sup>	Si	Si	Si	Si	861
Huasco <sup>2</sup>	Si	931	706	705	690

<sup>1</sup>valor obtenido desde nuestras puntuales utilizando ponderación

<sup>2</sup>valor obtenido con el promedio aritmético de las muestras puntuales de autocontrol

Si= sin información

Los demás valores fueron obtenidos de igual forma que caudal en tabla 15

Existe una tendencia de aumento de la DQO a lo largo del tiempo en las aguas servidas de la región, sin embargo en Huasco y Vallenar se muestra una tendencia decreciente. En Huasco los valores de los últimos 3 años aunque han ido disminuyendo, no presentan una variación significativa, por lo tanto, se puede inferir que se ha mantenido relativamente constante en el tiempo y que las diferencias se encuentran dentro de la variabilidad del análisis. Para el caso de Vallenar estamos en presencia de la infiltración que ha ido aumentando en el tiempo lo que provoca la dilución, encontrándose en sus aguas cada año concentraciones menores, inferiores 500 mg/L. Sin embargo, la variación de DQO en Freirina se puede deber a la llegada en forma esporádica de descargas de RILES producto del procesamiento de aceitunas.

La localidad de Tierra Amarilla muestra las menores variaciones en el tiempo, mientras el caso opuesto lo encontramos en El Salado, lo que se puede atribuir a la alta concentración de sales dada la infiltración salina que presentan las aguas servidas, es sabido que las sales producen interferencias en el análisis de DQO.

#### 4.4.7 TURBIEDAD

La información de Turbiedad es la recopilada en las campañas ya mencionadas y en las muestras puntuales correspondiente. Se realiza igual tratamiento matemático anteriormente señalado. La curva que identifica los comportamientos diarios de la turbiedad se muestran a continuación en Figura 23. En Tabla 29 se resumen los valores más relevantes.

De la Figura se observa que en general la concentración máxima se encuentra en horas de la tarde sin poder precisar una hora representativa. La concentración mínima se presenta en horas de la madrugada aproximadamente a las 6:00 horas, exceptuando a Diego de Almagro y Vallenar.

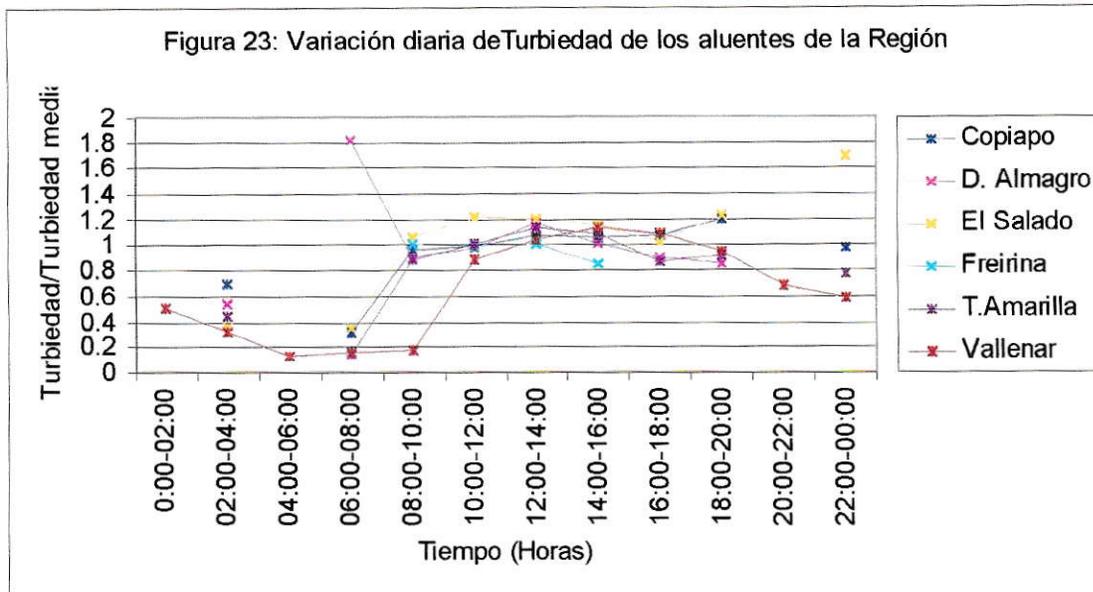


Tabla 29:  
Factores de ponderación máximos y mínimos para Turbiedad.

HORAS	Copiapó	Vallenar	T. Amarilla	D. Almagro	El Salado
Qmax/Qmedio	1,204	1,130	1,141	1,807	1,691
Qmin/Qmedio	0,313	0,129	0,141	0,533	0,354

La variación del máximo con respecto a la media tanto para Copiapó, Vallenar y Tierra Amarilla es entre 10-20% del promedio, mientras que en Diego de Almagro y El Salado es aproximadamente un 70%. Se distingue a El Salado como la localidad que presenta mayor variación diaria y Copiapó con la menor variación.

La variación del mínimo en relación con el promedio presenta un rango entre 10-50% sin un valor específico que pueda caracterizar la variación diaria de las aguas servidas en la región.

El valor medio es alcanzado en horas de la mañana entre las 10:00 horas con un rango de  $\pm 2$  horas, pero en horas de la tarde no se encuentra una hora representativa.

Los valores promedios de la turbiedad para los últimos 5 años se muestra a continuación en Tabla 30;

El promedio anual de Turbiedad es menor en el afluente de Vallenar, en tanto que los mayores valores los encontramos en Diego de Almagro, lo anterior se podría justificar por que en Vallenar la infiltración diluye el material en suspensión disminuyendo la turbiedad, en cambio para el caso de Diego, posiblemente la alta concentración orgánica de sus aguas la aumenta.

Tabla 30:  
Promedios anuales de Turbiedad para toda la Región expresados en NTU.

Localidad	1996	1997	1998	1999	2000
Copiapó <sup>1</sup>	329	328	297	299	297
Vallenar <sup>1</sup>	200	243	Si	168	131
Tierra Amarilla <sup>1</sup>	275	280	305	274	252
Freirina <sup>2</sup>	251	267	199	208	177
Diego de Almagro <sup>1</sup>	321	384	386	404	353
El Salado <sup>1</sup>	Si	241	291	171	174
Caldera <sup>2</sup>	Si	Si	Si	Si	293
Chañaral <sup>2</sup>	Si	Si	Si	Si	322
Huasco <sup>2</sup>	Si	354	362	331	338

<sup>1</sup>valor obtenido desde nuestras puntuales utilizando ponderación

<sup>2</sup>valor obtenido con el promedio aritmético de las muestras puntuales de autocontrol

Si= sin información

Los demás valores fueron obtenidos de igual forma que caudal en tabla 15

#### 4.4.8 SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES

La información de SST utilizada es producto de la recolección en las campañas ya mencionadas y en las muestras puntuales correspondiente.

La curva que identifica el comportamiento diario de los SST se muestra en Figura 24 y la tabla que la resume es la Tabla 31:

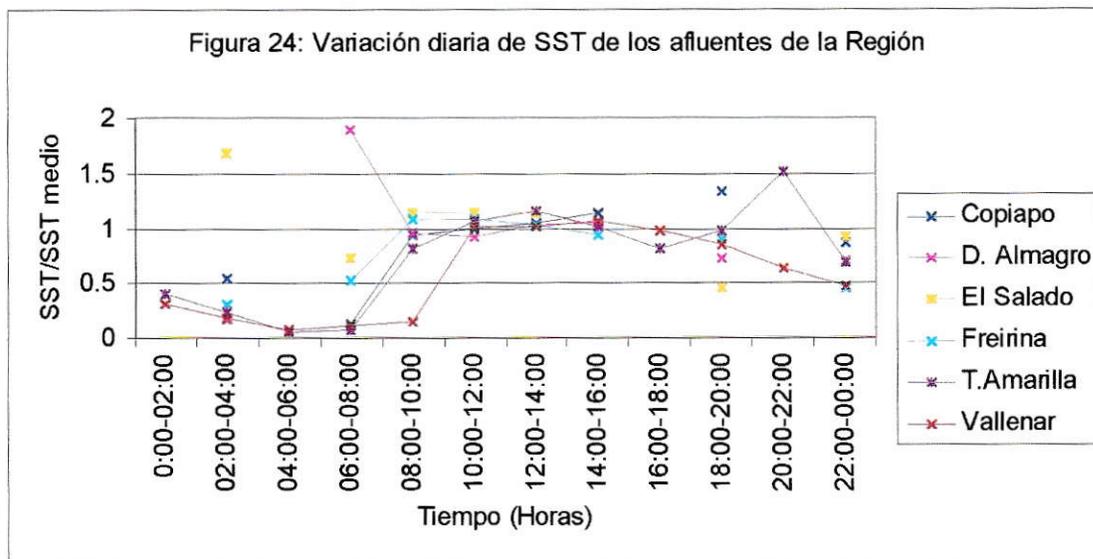


Tabla 31:  
Factores de ponderación máximos y mínimos para SST.

HORAS	Copiapó	Vallenar	T. Amarilla	Freirina	D. Almagro	El Salado
Qmax/Qmedio	1,336	1,059	1,514	1,086	1,890	1,679
Qmin/Qmedio	0,134	0,081	0,060	0,313	0,700	0,313

De la tabla y la figura se observa que en general la concentración máxima se encuentra en horas de la tarde para Copiapó, Vallenar y Tierra Amarilla y en la mañana para el resto de las localidades, sin embargo no es posible precisar horas representativas. La concentración mínima se presenta en horas de la madrugada, exceptuando Diego de Almagro y El Salado.

La variación diaria no presenta un rango específico que pueda caracterizar la variación diaria de las aguas servidas en la región. Se distingue a Diego de Almagro como la localidad que presenta mayor variación y Freirina como la que muestra la menor variación diaria.

Los valores promedios anuales de los SST para los últimos 5 años donde se han registrado, se muestran a continuación en Tabla 32;

Tabla 32;  
Promedios anuales de SST para toda la Región expresados en mg/L.

Localidad	1996	1997	1998	1999	2000
Copiapó <sup>1</sup>	312	319	262	275	292
Vallenar <sup>1</sup>	171	205	159	163	122
Tierra Amarilla <sup>1</sup>	250	245	244	263	238
Freirina <sup>1</sup>	223	225	187	140	193
Diego de Almagro <sup>1</sup>	318	339	322	390	368
El Salado <sup>1</sup>	Si	257	285	231	196
Caldera <sup>2</sup>	Si	Si	Si	Si	290
Chañaral <sup>2</sup>	Si	Si	Si	Si	324
Huasco <sup>2</sup>	Si	305	Si	278	398

<sup>1</sup>valor obtenido desde nuestras puntuales utilizando ponderación

<sup>2</sup>valor obtenido con el promedio aritmético de las muestras puntuales de autocontrol

Si= sin información

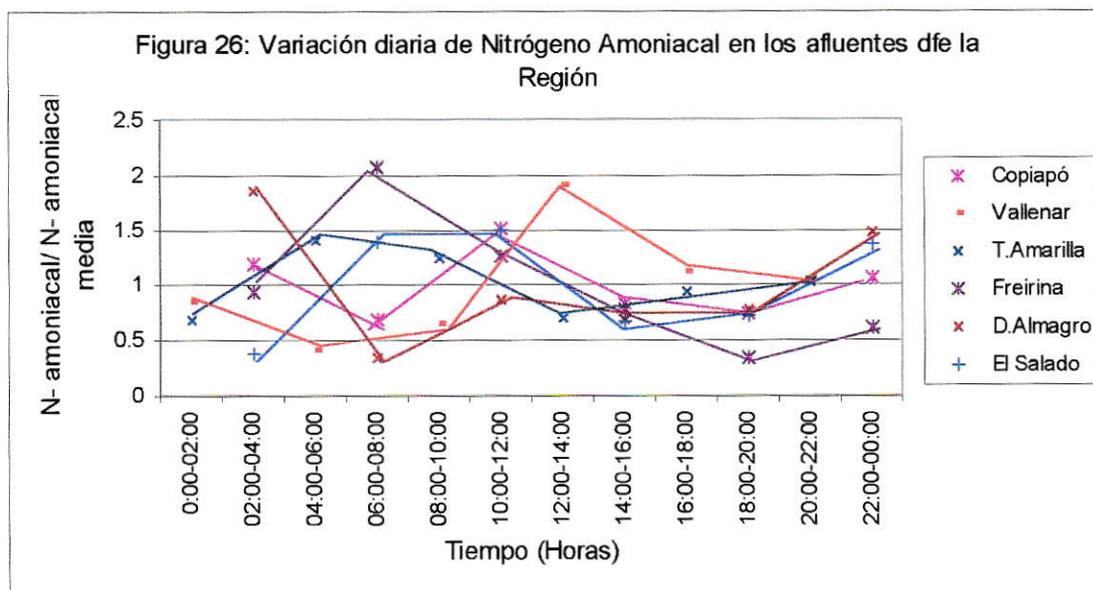
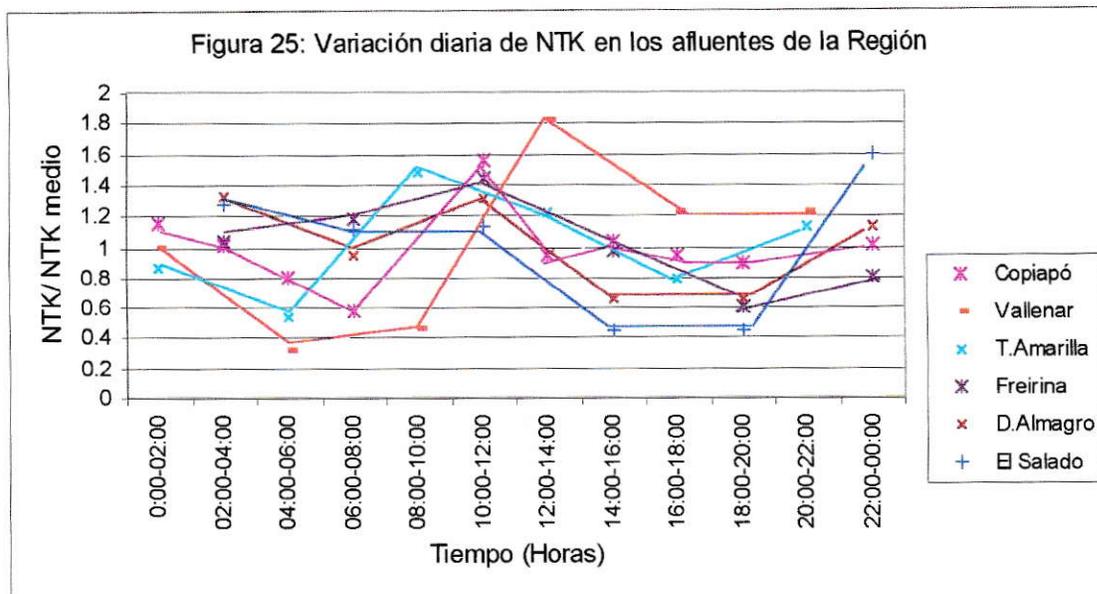
Los demás valores fueron obtenidos de igual forma que caudal en tabla 15

El promedio anual de SST es menor en el afluente de Vallenar, en tanto que los mayores valores los encontramos en Diego de Almagro, por la misma razón que se explica para la turbiedad. Los SST no muestran una tendencia de aumento en el tiempo.

#### 5.4.9 NITRÓGENO

Existen diversas formas de nitrógeno en las aguas servidas, se analizaron el Nitrógeno Total Kjeldahl (NTK) y el Nitrógeno Amoniacal. Se han realizado en promedio dos campañas para cada localidad además de algunas mediciones puntuales. Es importante comenzar a establecer tendencias para controlar las emisiones de nitrógeno por la entrada en vigencia del D.S. 90.

Se analiza el comportamiento diario de la concentración de NTK y de Nitrógeno amoniacal, se parametriza con relación al valor promedio de modo de realizar comparación entre localidades por las mismas razones explicadas anteriormente en los otros parámetros. Se muestra en la Figuras 25 y 26.

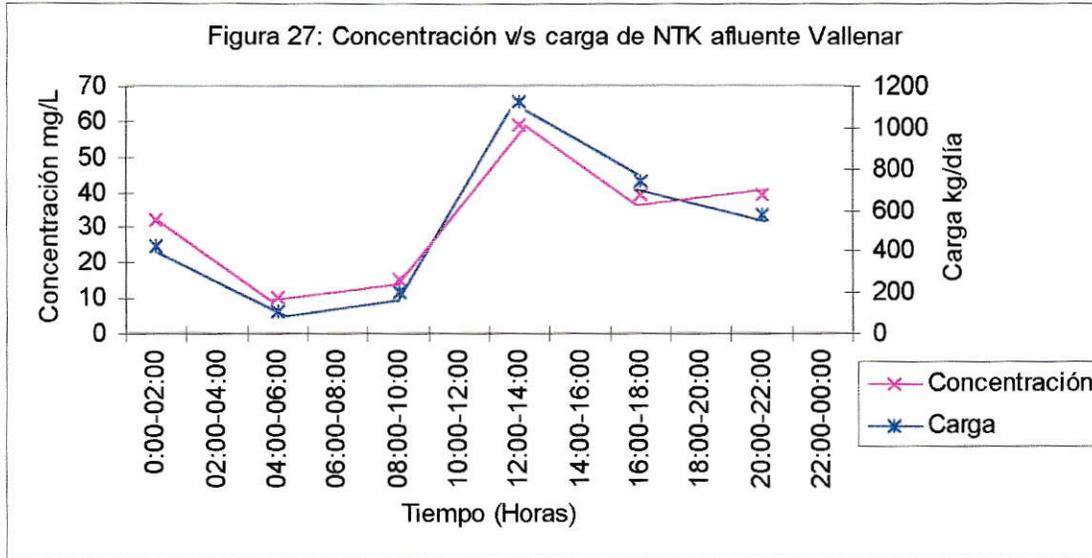


Como se observa en las figuras una tendencia que englobe a toda la región no es posible dado que cada lugar posee un comportamiento particular. Por esta razón se agruparon para el estudio las localidades de comportamientos similares:

a) Nitrógeno total Kjeldhal: Para analizar las variaciones diarias se incorporan en una misma figura la carga orgánica y la concentración, de modo de comparar comportamientos.

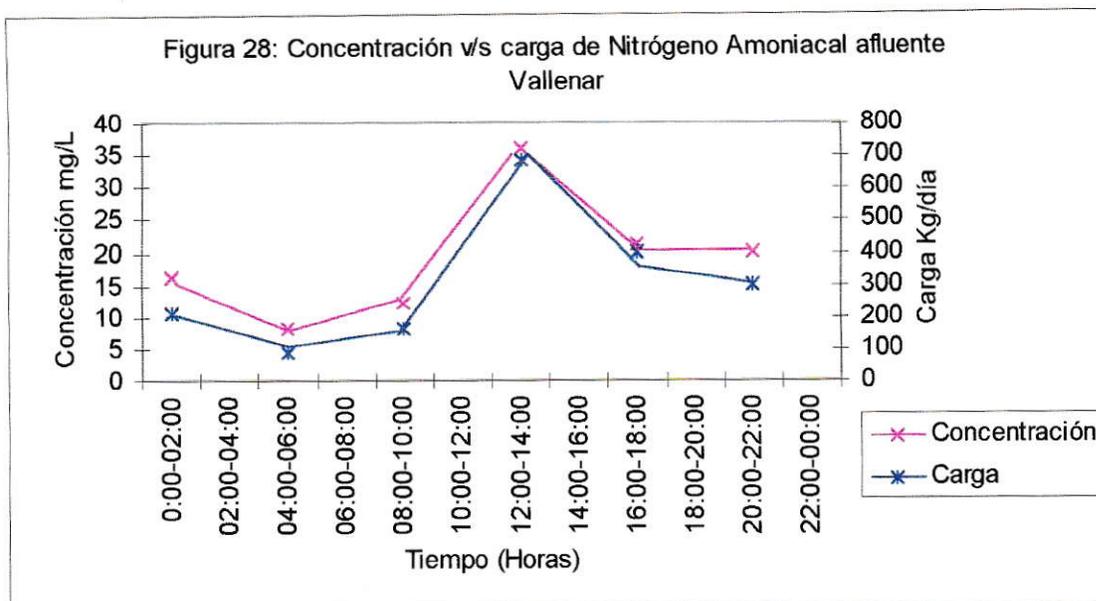
Las localidades que se pueden agrupar son Copiapó, Vallenar y Tierra Amarilla, sin embargo el resto de las ciudades muestran comportamientos

muy dispares. Se observa que tanto la carga como la concentración de NTK presentan igual comportamiento diario con un mínimo en horas de la noche y máximos durante el día, lo que es atribuible a la actividad de la población, considerando que el nitrógeno en las aguas servidas es aportado principalmente por las proteínas de los alimentos y por la urea. Una Figura que representa lo mencionado se muestra a continuación, mayores antecedentes se encuentran en Anexo 2.2.



b) Nitrógeno Amoniacal: Al igual que para el NTK se analiza carga y concentración en el afluente de las campañas existentes.

Es posible agrupar a los afluentes de Copiapó, Freirina y Vallenar, no obstante las demás localidades muestran comportamientos muy heterogéneo. En el comportamiento diario se desprende la siguiente observación, tanto la carga como la concentración de Nitrógeno Amoniacal presentan igual comportamiento, lo que era de esperarse porque se relacionan con actividad de la población, se encuentra los valores máximos próximos al medio día y los valores mínimos a primera hora de la mañana, considerando que el Nitrógeno Amoniacal es aportado principalmente por la urea el valor punta se presenta cuando las aguas servidas ocupadas en las primeras horas de la mañana, llegan a la planta. Una figura representativa se muestra a continuación, mayores antecedentes en Anexo 2.2.



Al comparar los valores encontrados en los **afuentes** de cada localidad, se estudió la concentración promedio de NTK y Nitrógeno Amoniaco. A continuación se presenta una tabla resumen:

Tabla 33:  
Promedios ponderados para las campañas realizadas en el año 2000 para Nitrógeno en los afluentes de la Región

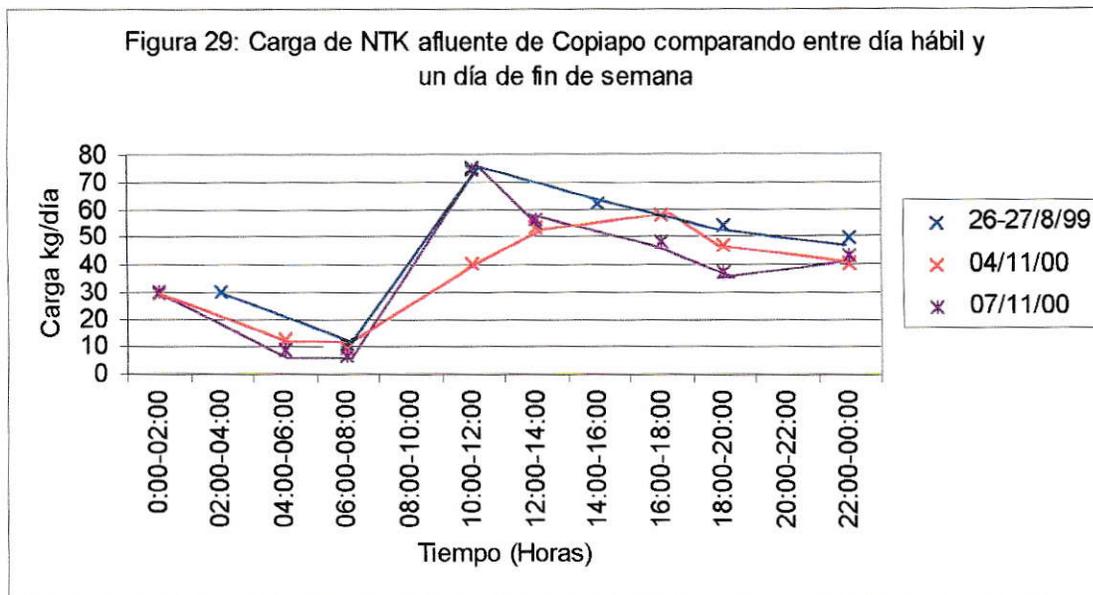
LOCALIDAD	CONCENTRACIÓN mg/L	
	Nitrógeno Amoniaco	NTK
Copiapo	44,6	59,5
Vallenar	18,8	32,3
Tierra Amarilla	44,1	68,4
Freirna	31,1	50,1
Diego de Almagro	40,6	83,5
El Salado	45,5	58,8

los valores registrados son promedios ponderados en gabinete

De la tabla se desprende que los valores de NTK siempre son superiores a los de Nitrógeno Amoniaco dado que este último es considerado como parte del primero.

El valor más alto de NTK se encuentra en Diego de Almagro no así el más alto de Nitrógeno Amoniaco que lo tiene El Salado, sin embargo es Vallenar quien presenta los menores valores para los dos parámetros.

Para **comparar entre un día de semana típico y un fin de semana** se utilizaron las campañas de Copiapó realizadas en el año 2000 para el día Martes 7 de Noviembre y el día Sábado 4 del mismo mes. Se graficaron las cargas de ambos días como se muestra en la siguiente figura.



Las diferencias más marcadas son que en los fines de semana la curva típica de variación es reemplazada por una curva más suavizada con un máximo entre las 14:00 y 16:00 horas, una explicación a lo anterior es que este comportamiento se deba que los fines de semanas la población se levante más tarde, cambiando sus hábitos típicos de la semana.

Se comparan las cargas de ambos días, de modo de estimar los aportes reales al sistema. Los resultados se presentan en la tabla siguiente:

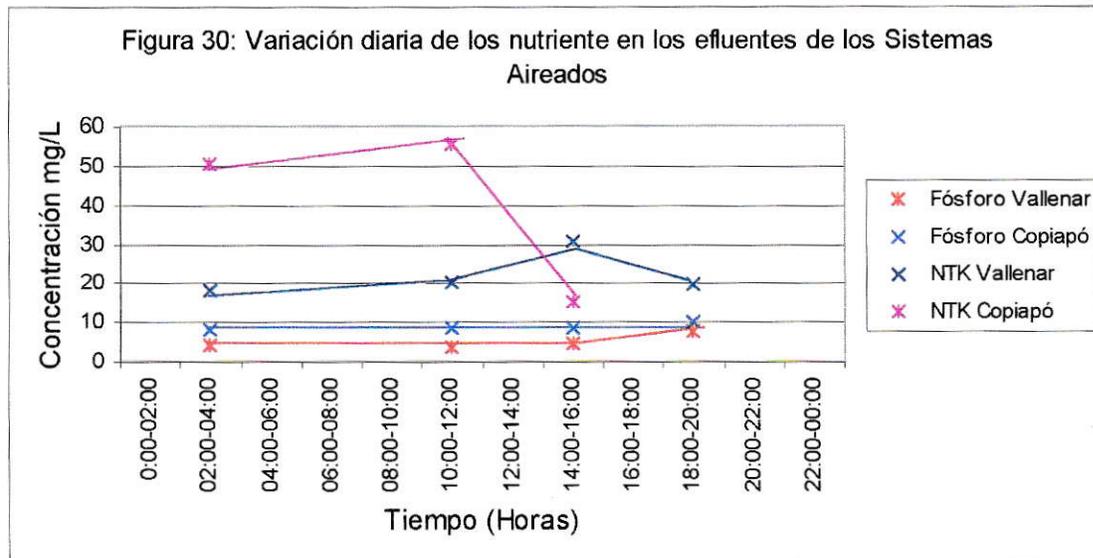
Tabla 34;  
Tabla resumen de las Cargas promedio

Día	Carga kg/día
Martes	909
Sabado	864

De la tabla se desprende que los valores son superiores el día Martes, aunque la diferencia es de solo de un 5%, lo que no es muy significativo, se puede considerar dentro de un mismo orden y concluir que no existen diferencias entre las cargas de ambos días, sin embargo para concluir más al respecto es necesario la realización de un mayor número de campañas que refuercen este análisis.

Analizando los efluentes y el **porcentaje de remoción nitrógeno** de las plantas que cuentan con sistemas de Lagunas Aireadas, Copiapó y Vallenar. Ambas se encuentran funcionando sin dificultades, es por esta razón que es de interés estimar la eficiencia de remoción de las lagunas de los parámetros en mención. Se realizaron en las campañas mediciones tanto a la salida como a la entrada de la planta, el análisis del afluente fue realizado en el punto anterior.

En las tomas de muestra del efluente se tenía como supuesto que la concentración no presentaba una tendencia de variación diaria, y que las lagunas entregaban una mezcla homogénea durante el día, pese a esto se realizaron entre 3 a 4 mediciones en ambos efluentes a diferentes horarios, los resultados se muestran en Figura 30.



La figura nos muestra que existe alguna tendencia de variación diaria que se puede atribuir a la actividad de las bacterias, no obstante no es posible definirla con la información actual y será necesario la realización de un mayor número de campañas.

De los resultados obtenidos es posible establecer un porcentaje de reducción estimado, para esto se usa el promedio ponderado tanto para los valores del efluente como afluente, los resultados han sido resumidos en la tabla siguiente:

Tabla 35:  
Estimación de remoción de NTK de los Sistema Aireado

Localidad	Afluente	Efluente	% de Reducción
Copiapó	59,5	46,8	21
Vallenar	32,3	22,2*	31

los valores registrados son promedios ponderados en gabinete

\*media aritmética, no hay registro de valores de caudal para el efluente

De la tabla se desprende que aunque los valores de la planta de Vallenar son menores, el porcentaje de remoción de NTK es mayor, la reducción ocurre principalmente porque las bacterias usan el nitrógeno para la generación de nuevo tejido celular, además una proporción de este se pierde por intercambio con la atmósfera. Con respecto a los valores indicados en la futura norma de descarga para los efluentes la planta de Copiapó, que tiene mayor restricción

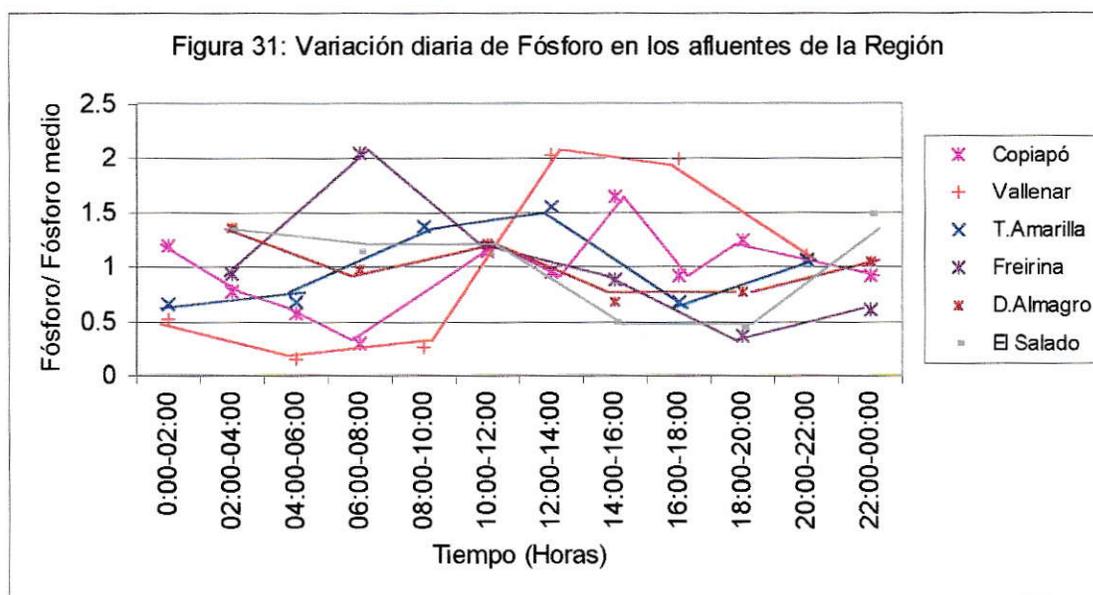
por descargar a un cuerpo sin capacidad de dilución con un valor límite de 50 mg/L, los valores son próximos, lo que se deberán realizar trabajos de inversión de manera de reducir la emisión, en cambio Vallenar se encuentra muy por bajo del valor indicado por la norma para su caso (75 mg/L).

Algunas formas más comunes de reducción de nitrógeno son: arrastre de aire, sobresalto ("stripping") y cloración al punto crítico("break point").

#### 5.4.10 FÓSFORO

Se realizaron en promedio dos campañas para cada localidad además de algunas mediciones puntuales, al igual que para nitrógeno. Es importante comenzar a establecer tendencias para controlar las emisiones de fósforo por la entrada en vigencia del D.S 90.

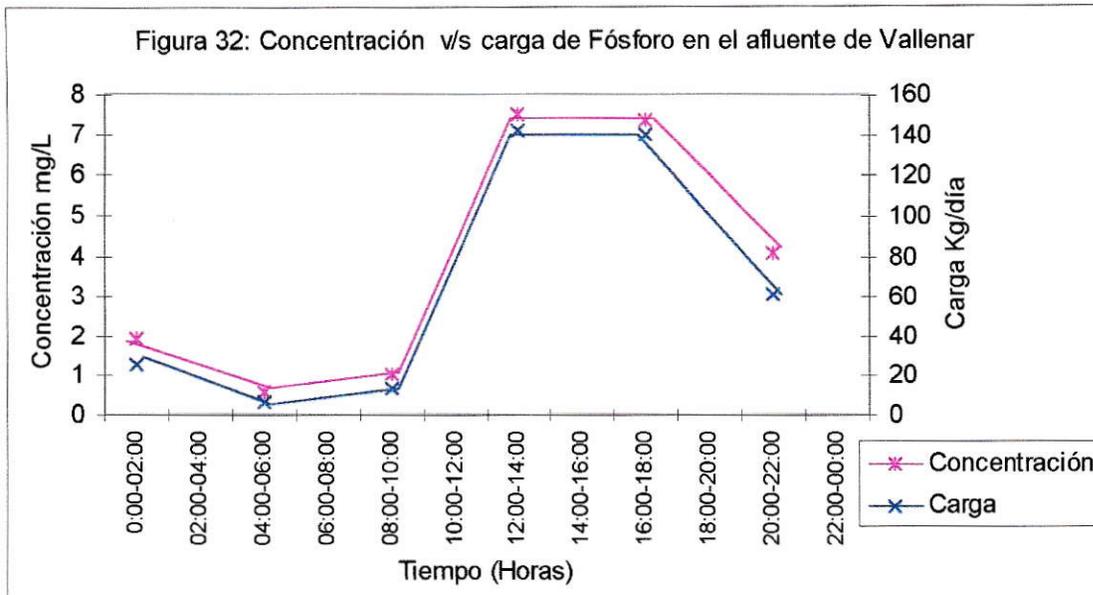
Se analiza el **comportamiento diario** de la concentración de fósforo total parametrizado con relación al valor promedio de modo de realizar comparación entre localidades por las mismas razones explicadas anteriormente y mencionadas en los otros parámetros. En la siguiente figura se resumen los resultados:



Como se observa en la figura no es posible establecer una tendencia estándar para la región, dado que cada lugar posee un comportamiento particular. Por esta razón se estudiara agrupando las localidades con tendencias similares:

Se agruparon los afluentes de Copiapó, Vallenar y Tierra Amarilla donde tanto carga como concentración presentan iguales tendencias diarias de variación, ambas aumentan en el día para ser muy baja en horas de la noche, lo que puede ser razonable porque aumenta al comenzar la actividad de la población,

considerando que el fósforo es aportado a las aguas servidas principalmente por los detergentes y en menor proporción, por las proteínas de los alimentos, lo anterior se encuentra en Figura 32. Más antecedentes en el Anexo 2.2.



Al graficar los resultados obtenidos en las campañas de Copiapó se encuentran dificultades para concluir sobre el comportamiento tipo en el afluente, por que ambas campañas presentan diferentes comportamientos diarios especialmente después de las 8 horas, presentando horarios máximos distintos, siendo los valores de la campaña del año 1999 superiores con diferencias de hasta 60% para un mismo horario, como se muestra en Anexo 2.2.

Al comparar los valores encontrados en los afluentes de cada localidad, se analiza la concentración ponderada promedio de Fósforo. Un resumen de los resultados se presenta en la siguiente Tabla:

Tabla 36:

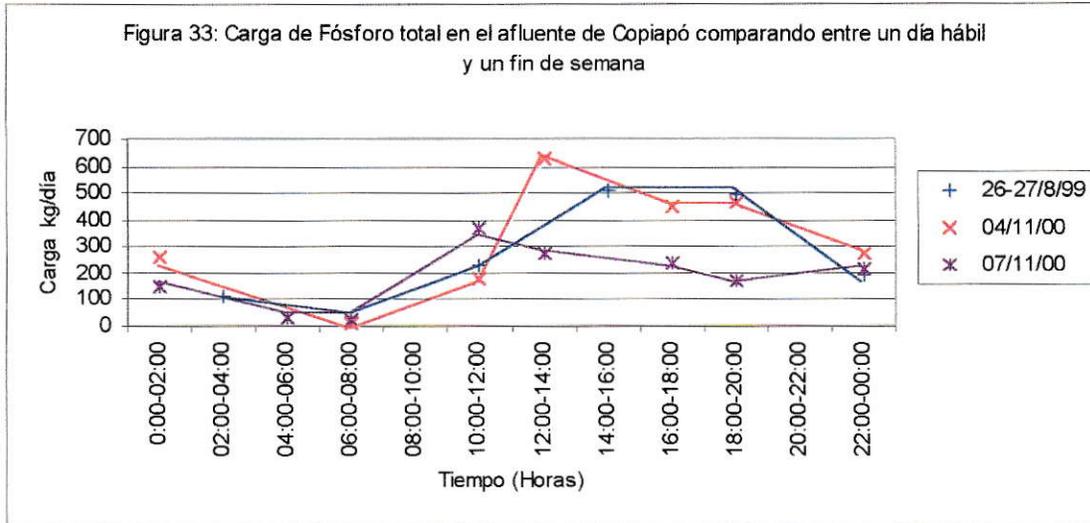
Tabla resumen de los promedios ponderados para las campañas realizadas en el año 2000 en los afluentes de la región

Localidad	Fósforo Total ( mg/L)
Copiapó	11,96
Vallenar	3,71
Tierra Amarilla	14,52
Freirna	10,16
Diego de Almagro	16,43
El Salado	11,64

1) los valores registrados son promedios ponderados en gabinete

De la tabla se desprende que los valores de fósforo más alto se registran en Diego de Almagro, mientras Vallenar presenta valores más bajos.

Al **comparar entre un día de semana típico y un fin de semana**, se usan las campañas de Copiapó realizadas en el año 2000 para el día **Martes 7 de Noviembre** y el día **Sábado 4 del mismo mes**. Se graficaron las cargas de ambos días como se muestra en la siguiente Figura.



Se aprecia que las curvas de concentración tienen similar comportamiento, las diferencias son que en los fines de semana la curva muestra un desfase de 2 horas donde el valor punta del medio día para un día hábil, se desplaza a las 14:00 horas, también se observa que el valor punta es mayor con un mínimo más pronunciado una posible explicación es que los fines de semanas la población se levante más tarde, cambiando sus hábitos típicos.

Las cargas de un día Sábado muestra valores muy superiores a los de un día típico de semana, como se muestra en la siguiente tabla

Tabla 37;  
Tabla resumen de las Cargas promedio diaria

Día	Carga kg/día
Martes	183
Sabado	286

Como se puede observar los valores de la carga del día Sábado superan en un 64% el valor del Martes, una explicación a estas diferencias se puede deber que los fines de semanas la población generalmente lava sus ropas, produciendo un aumento significativo de fósforo provenientes de los detergentes utilizados.

Al realizar la comparación de los efluentes de las plantas que cuentan con sistemas de Lagunas Aireadas, Copiapó y Vallenar. Se estima, además, la **eficiencia de remoción fósforo** de las lagunas. Se realizaron en las campañas del 2000 mencionadas anteriormente con mediciones tanto a la salida como a la entrada de la planta el análisis de esta última fue realizado en el punto anterior.

En las tomas de muestra del efluente se tenía como supuesto que la concentración no presentaba una tendencia de variación diaria, y que las lagunas entregaban una mezcla homogénea durante el día, pese a esto se realizaron entre 3 a 4 mediciones en ambos efluentes a diferentes horarios, los resultados se muestran en la Figura 30.

La figura nos muestra que existe alguna tendencia de variación diaria muy leve y se puede asumir que es relativamente constante, no obstante no es posible definir con precisión la información actual y será necesario realizar un mayor número de campañas.

De los resultados obtenidos es posible establecer un porcentaje de reducción estimado, para esto se usa el promedio ponderado tanto para los valores del efluente como afluente, los resultados han sido resumidos en la tabla siguiente:

Tabla 38:  
Estimación de remoción de Fósforo de los sistemas Aireados

Localidad	Afluente	Efluente	% de Reducción
Copiapo	11,96	11,3	5,52
Vallenar	3,71	4,86	-31,0

1) los valores registrados son promedios ponderados en gabinete

\*media aritmética, no hay registro de valores de caudal para el efluente

La reducción de fósforo ocurre principalmente porque es usado en la generación de nuevas bacterias. Además de la tabla se desprende que para Copiapó el porcentaje de reducción no es suficiente para cumplir con la normativa asociada para descargar a un cuerpo sin capacidad de dilución con un valor límite de 10 mg/L, por lo tanto se deberán realizar trabajos de inversión de manera de reducir la emisión, para el caso de Vallenar se encuentra con la limitante que los valores del efluente son superiores a los valores de entrada posiblemente por las diferencias en los cálculos, sin embargo ambos valores se encuentran muy por debajo del valor indicado por la norma para el caso de descarga en cuerpo con capacidad de dilución con un valor límite de 15 mg/L, por lo tanto es presumible que no deberían existir problemas al respecto. La razón por la cual se reducen los nutrientes en los sistemas es que son consumidos por las bacterias que los utilizan como sustrato para la síntesis de nuevos tejidos.

Algunas formas de remoción de fósforo son: métodos de precipitación química por adición de sales metálicas, coagulación y sedimentación con cal o eliminación biológica.

#### 4.4.11 METALES

Dado que la III Región es reconocida por su actividad minera es importante mantener un control de la presencia de metales en las aguas servidas. Los

metales pesados, en altas concentraciones, son tóxicos. Entre los que se incluyen Ag, Ba, Cd, Cr, Cu, Co, Ni, Pb, Zn, Hg, Ti, V, Mo y Mn.

Algunos residuos industriales pueden contener concentraciones apreciables de metales y requerir de algún tipo de pretratamiento para permitir su descarga al alcantarillado. Se tienen referencias de toxicidad para el tratamiento biológico con una concentración de los metales pesados superior a 2 mg/L. Sin embargo, en algunos ensayos realizados según referencia 26, se ha demostrado que soportan concentraciones de los metales pesados, en los afluentes hasta 12 mg/L de Cd, Cr, Cu, Ni y Zn.

Para poder estudiar y analizar la concentración de los metales de los afluentes de la región se utilizarán las muestras compuestas, para dicho análisis los metales se separarán en grupos, los que estarán determinados por detección y cuantificación de las técnicas de laboratorios utilizadas en las aguas afluentes:

- a) Grupo 1: Se encuentran en este grupo todos los metales y metaloides que han sido medidos y cuantificados como son Al, As, Cu, Fe disuelto, Mn y Zn.
- b) Grupo 2: Encontramos los metales que han sido medidos y detectados pero no se ha entregado una cuantificación precisa, como son el Cd, Cr (VI), Hg, Mo, Ni, Pb.
- c) Grupo 3: Son metales que su medición se incorpora en ambos grupos, tal es el caso del Pb que para los afluentes de Copiapó, Vallenar, Diego y El Salado si fue cuantificado. Otro es el caso de Caldera y Chañaral que dentro de las mediciones realizadas en el tiempo, el Pb, presentan muestras donde si ha habido detección como cuantificación. Otro caso particular ocurre en Caldera donde As y Al fueron detectados en una oportunidad y cuantificados en otra, sin embargo se puede atribuir dichos cambios a la dilución, dado que ambas medidas fueron realizadas en períodos muy próximos entre sí, porque cuando no fue posible cuantificar la medición había sido realizada en época de Verano y como ya se ha mencionado anteriormente dicha época presenta una fuerte estacionalidad.

Los valores que dieron origen a esta clasificación se encuentran en Anexo 2.1.2a.

En los efluentes se posee muy poca información en relación con los metales, sin embargo si usamos los valores de los afluentes es una aproximación que permitirá un análisis estimado, a continuación se resumen los valores obtenidos en las campañas en la siguiente tabla:

De la tabla se confirma la clasificación anteriormente entregada. Se destaca que los valores máximos de concentración para algunos metales como: Cu, Fe, Mn y Pb, se encuentran en el afluente de El Salado, esto puede tener su origen en la actividad minera de ENAMI, especialmente en el laboratorio de la planta Osvaldo Martínez que descarga sus aguas al sistema de alcantarillado, otra

posible causa podría ser la alta infiltración salina que lava los suelos incorporando cationes y aniones a las aguas servidas, por tratarse de suelos ricos en minerales.

Tabla 39:  
Concentración de metales pesados en los afluentes de la región en mg/L

Parámetro	LOCALIDAD											
	S/d	C/d	Mar	D.S 609	Copiapó	Vallenar	T.Amarilla	Freirina	D.Almagro	El Salado	Caldera	Chañaral
Aluminio	5	10	1	10			0,09	0,17	0,76	0,55	0,24	0,17
Arsénico	0,5	1	0,2	0,05	0,0033	0,0044 <sup>1</sup>	0,0044	0,0065	0,0057	0,0034	0,006	0,008
Cadmio	0,01	0,3	0,02	0,5	0,005	0,005 <sup>1</sup>	0,002	0,002	0,002	0,002	0,01	0,01
Cobre Total	1	3	1	3	0,154	0,090	0,07	0,06	0,12	0,42	0,1	0,12
Cr (VI)	0,05	0,2	0,2	0,5	0,1(*)	0,1(*) <sup>1</sup>	0,006	0,006	0,006	0,006	0,01	0,01
Hierro	5	10	10		1,62	0,337	0,28	0,49	0,88	1,82	0,01	0,53
Manganeso	0,3	3	2	4	0,11	0,06 <sup>1</sup>	0,033	0,14	0,055	0,13	0,04	0,07
Mercurio	0,001	0,01	0,005	0,02	0,002	0,0002	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,001	0,001
Molibdeno	1	2,5	0,1				0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Níquel	0,2	3	2	4			0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Plomo	0,05	0,5	0,2	1	0,012	0,013 <sup>1</sup>	0,03	0,03	0,04	0,05	0,03	0,03
Zinc	3	20	5	5	0,017	0,219 <sup>1</sup>		0,08	0,19	0,18	0,14	0,26

1: muestra puntual realizada entre Dic-98 y Ene-99.

(\*) menor al valor indicado

(\*) muestra compuesta en gabinete

(\*) Análisis de Cromo total

S/d: Descarga a un cuerpo sin capacidad de dilución, Referencia 18

C/d: Descarga a un cuerpo con capacidad de dilución, Referencia 18

Mar: Descarga a un cuerpo marino dentro de la protección litoral, Referencia 18

Además se debe señalar que casi el 50% de los metales exigidos por la norma se encuentran bajo los límites de cuantificación de las técnicas analíticas estipuladas y el 100% de los metales cumplen la norma sin tratamiento. No obstante, no se debe olvidar que las descargas se registrarán por el tipo de cuerpo receptor y cada afluente por separado se encuentra por bajo los límites que establecerá el D.S.90.

Se analizó la incorporación de metales con el uso del agua comparando los resultados de calidad de agua potable y las aguas servidas crudas. Para determinar la concentración promedio de los metales en el agua potable se presume que cada pozo de extracción de agua aporta en igual proporción al abastecimiento total, aunque esto no es 100% válido nos permite establecer un parámetro de comparación. Los principales metales incorporados son Cu, Fe y Zn, esencialmente por la alimentación rica en estos metales. En el caso del cobre la presencia de innumerables cañerías de dicho metal puede aumentar su concentración en las aguas.

Algunos de los metales mencionados se encuentran incorporados en el anteproyecto de manejo de lodos no peligrosos, es por esta razón, que es importante comenzar su seguimiento para un posterior diagnóstico y posible acumulación de dichos metales en los lodos de cada laguna. Los ejercicios de

balances de masas son una buena aproximación de la concentración que tendrán los lodos de algún lugar en particular, pero se presentan dificultades cuando no se cuenta con la información suficiente de caudales y concentración tanto de entrada y salida, además la estimación no es posible con información donde los valores entregados por los informes de laboratorios indican que se encuentran bajo el límite de cuantificación.

Es posible que la baja concentración de metales este determinada por las condiciones anaeróbicas de los sistemas de alcantarillado donde se enlazan químicamente con los sulfuros y precipitan, alcanzando importancia cuando el análisis químico aplicado para los metales mide solo la parte libre, como es el caso del Fe.

#### 4.4.12 SULFURO

Es un parámetro que es de vital importancia controlar, producto que tiene directa relación con la salud de la planta de tratamiento, las bacterias y las algas presentan inhibiciones en su presencia causando disminución de la productividad o la muerte, algunos estudios han indicado toxicidad para las algas con valores de concentración de 6 a 7 mg/L.

En el análisis de sulfuros en las plantas de tratamiento de la región se han encontrado los siguientes valores los cuales se representan en la Tabla 40.

Tabla 40:  
Registro promedio de sulfuro en mg/L para el año 2000 en los afluentes de la región

Localidad	Promedio*		Máximo registrado	
	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente
Copiapó	0,77	0,31	1,14	0,46
Vallenar	0,36	0,09	0,64	0,15
Tierra Amarilla	2,07		5,75	
Freirina	1,08		1,83	
Diego de Almagro	3,33(**)		10,6(**)	
El Salado	4,30		13,6	
Caldera	1,95		3,71	

\*Promedio aritmético

(\*\*) Valores antes de comenzar a diluir el afluente con aguas del canal

En general, las concentraciones de sulfuro en las aguas servidas se encuentran relacionada con la concentración de sulfatos del agua potable, que en un ambiente adecuado se reducen a sulfuros. En la región las aguas tienen diferentes orígenes y calidades lo que podría explicar las diferencias entre un lugar a otro, no obstante otra explicación puede surgir si se analiza la cantidad de sedimento acumulado en la red de alcantarillado, provocado por un deficiente autolavado de la red, los sedimentos dan la oportunidad a la fermentación

anaerobica en los sistemas provocando un aumento en la concentración de los sulfuros.

Los valores máximos en los afluentes superan en un 100% el valor promedio registrado, sin embargo para Tierra Amarilla, Diego de Almagro y El Salado es mayor la diferencia y cabe destacar que las dos primeras han presentado en algún momento deficiencias fuertes de tratamiento, no obstante, de El Salado no es posible afirmarlo ya que la planta no se ha encontrado en funcionamiento.

En la literatura se informa que los sulfuros en general no superan 1mg/L, pero este valor no corresponde a la realidad de la región.

En presencia de un exceso de sulfuros se comienzan apreciar olores molestos o desagradables que en general implican malestar a los vecinos de las plantas. La emisión de  $H_2S$ , en el aire, está asociado con olores, es por esta razón que este punto fue analizado en la sección 3.5.2. Sin embargo, en una Laguna Facultativa o de Decantación, los problemas de olores surgen a valores de pH menores a 8 cuando la forma predominante del sulfuro es la no ionizada  $H_2S$ . A mayor pH no se deberían presentar problemas de olores por que las formas  $HS^-$  y  $S^{2-}$  son inodoras.

#### **4.4.13 COLIFORMES FECALES**

Los coliformes fecales son arrojados por los habitantes de una población a través de sus excretas con un promedio de  $10^6$  a  $10^{11}$  NMP, sin embargo para la región se encontró como rango representativo entre  $10^7$  a  $10^8$  coliformes/100ml.

En los efluentes los coliformes fecales, según la norma NCh N°1.333, para calidad de riego determina una concentración de 1.000 NMP/100ml, esta condición se cumple solamente en las plantas de Vallenar y Copiapó. Como se mencionó en el Capítulo 3, específicamente en Tablas 10 y 11.

#### **4.4.14 OTROS COMPUESTOS**

Consideran todos los compuestos que son mencionados en la norma y han sido monitoreados con una regularidad menor. Tanto en los afluentes como efluente se dispone de información escasa, no obstante se usaran los valores de los afluentes para estimar el cumplimiento de la futura normativa, a continuación se resumen los valores obtenidos en las campañas en la Tabla 41.

Se observa que casi el 85% de los compuestos exigidos por la norma se cumplen sin tratamiento considerando los límites de las descargas según el tipo de cuerpo receptor.

Los problemas se presentan en Caldera donde no se cumple el límite de descarga para aceites y grasa de 20 mg/L y en Tierra Amarilla donde se

sobrepasan los valores de descarga de B y Aceites y Grasas con límites de 0,75 mg/L y 20 mg/L respectivamente. Para el caso del Boro, el problema radica en el origen del agua potable, que contiene altos niveles de dicho elemento, para este tipo de casos la normativa permite usar como límite máximo permisible el valor de captación natura de las aguas.

Tabla 41:  
Otros compuestos analizados en los afluentes de la región en mg/L

Parámetros	S/d	C/d	Mar	Copiapó	T.Amarilla	Freirina	D.Almagro	El Salado	Caldera	Chañaral
Aceites y Grasas	20	50	20		29,3	21,4	9,2	24,2	31,3	19,0
Boro	0,75	3			1,23	0,81	1,16	1,94	--	--
Cianuro	0,20	1	0,500		0,02	0,02	0,02	0,02	0,05	0,05
Cloruros	400	2.000			156	373	176	514	--	--
Índice de Fenol	0,5	1	0,5		0,002	0,002	0,002	0,002	0,055	0,002
Flúor	1,5	5	1,5		0,57	0,40	0,44	0,45	0,4	0,41
Hidrocarburos Fijos	10	50	10		5	5	5	5	5	5
Pentaclorofenol	0,009	0,01			n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	2	6
Poder										
Espumógeno	7	7			4	4	4	4	--	--
Selenio	0,01	0,1	0,010	0,0004	0,002	0,002	0,002	0,006	0,001	0,003
Sulfatos	1.000	2.000			556	449	782	646	--	--
Tetracloroetano	0,04	0,4			n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	--	--
Tolueno	0,7	7			n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	--	--
Triclorometano	0,2	0,5			n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	--	--
Xileno	0,5	5			n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	--	--

--No exigido por la norma para descargas a cuerpos de aguas marinos.

n.d. No detectado

\*menor al valor indicado

Copiapó y Vallenar sin antecedentes

S/d: Descarga a un cuerpo sin capacidad de dilución, Referencia 18

C/d: Descarga a un cuerpo con capacidad de dilución, Referencia 18

Mar: Descarga a un cuerpo marino dentro de la protección litoral, Referencia 18

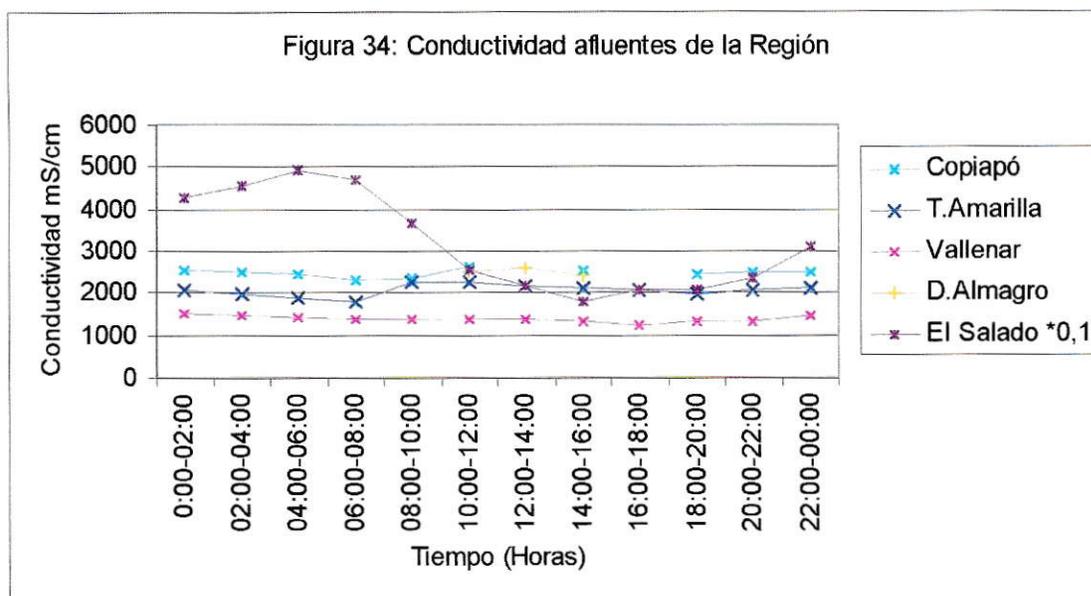
Los valores más altos, independiente de los límites indicados por la normativa, se encuentran dispersos para en la región, sin embargo la ciudad de El Salado registra el 25% de los valores máximos.

En general, y hasta donde se dispone de información, las aguas servidas evacuadas no presentan concentraciones significativas de contaminantes tóxicos y/o acumulativos en el medio, durante las mediciones no se han encontrado valores que superen los límites indicados por la normativa. Mayores antecedentes se encuentran en Anexo 2.1.2.

#### 4.4.15 CONDUCTIVIDAD:

Se posee información de terreno puntual de los años 1996, 1997, 1998 y en las campañas de muestreo realizadas en las cuales se registro la conductividad a lo largo de toda la jornada de medición.

El tratamiento matemático realizado a los datos fue la media aritmética por tratarse de propiedades intensiva de la materia. Un resumen de la información recopilada se presenta en la Tabla 21 y una representación gráfica de la variación diaria de la conductividad es la Figura 34:



La información con la que se cuenta es una campaña para cada localidad con excepción de Freirina, en general se define como un valor típico de las aguas servidas 2 mS/cm, en la región los valores se encuentran entre 2-2,5 mS/cm, con la exclusión de las aguas servidas de Vallenar que tienen un valor menor atribuible a su alta infiltración.

Un análisis importante de realizar y de modo informativo es comparar cuanto aumenta la conductividad del agua potable al ser utilizada y trasformada agua residual, se tiene como valor de referencia que el agua potable de la región varia entre 1,4-1,6 mS/cm, sin embargo se estudiará cada caso en forma individual. A continuación se presenta una tabla resumen de los valores por localidad.

Tabla 42:  
Estimación del aumento de la conductividad por el uso de las aguas

Ciudad	Unidad	Copiapó	Vallenar	T. Amarilla	Freirina	D. Almagro	El Salado
A. potable	mS/cm.	2,00	1,00	1,60	1,20	1,60	1,40
A. servida	mS/cm.	2,46	1,36	2,06		2,50	32
% de incorporación		23	36	29		56	2186

Con los valores mencionados se observa que la conductividad de las aguas aumentan en todos los lugares, producto de la incorporación de sales provenientes de los alimentos, la orina y los excrementos. La localidad de El Salado, presenta un aumento muy significativo, producto de la infiltración salina

que aumenta la conductividad en un orden de magnitud. La conductividad y los cloruros muestran igual tendencia de comportamiento diario como era de esperarse por la alta interdependencia de ambos, los antecedentes se presentan en Anexo 2.2. En el afluente de El Salado se ha encontrado una concentración promedio de cloruros de 7.500 mg/L, es destacable tal concentración porque la actividad biológica se inhibe a concentraciones mayores de 15.000 mg/L.

Otro caso especial, corresponde a Diego de Almagro donde las aguas crudas son mezcladas con aguas del canal, las que presentan una conductividad de aproximadamente 8 mS/cm, la dilución entrega una conductividad de 4.8 mS/cm, como se mostró en Tabla 21.

## 4.5 ANALISIS DE RESULTADOS

### 4.5.1 ESTIMACIÓN DE CARGAS DIARIAS POR HABITANTE

Con los caudales medios aforados y las concentraciones obtenidas se calculó la carga diaria por habitante referida a la población servida asociada. El valor de concentración corresponde a un valor compuesto lo que se considera más representativo, tales resultados se indican en la tabla siguiente.

Tabla 43;  
Estimación de cargas diarias por habitante de las aguas servidas de EMSSAT

Localidad	CARGAS g/día/HAB								
	VT <sub>(R16)</sub>	VT <sub>(R12)</sub>	VT <sub>(R22)</sub>	Copiapó	Vallenar	T.Amarilla	Freirina	D.Almagro	El Salado
DBO5	90	33,1	40	50	61	33	48	36	24
DQO				94	102	76	101	46	56
SST	100	98,1	35	41	27	43	37	42	16
N-Amoniacal	3,5			6,7	6,6	8,4	7,2	4,4	4,5
NTK	13,5	9,0	8	8,1	11,4	13,0	11,6	9,1	5,8
P-Total	4	2,3	1,6	1,6	1,3	2,8	2,3	1,8	1,1

VT= Valor típico, es un valor obtenido como promedio luego de un tratamiento estadístico.

Se tienen referencias, dado la experiencia de consultores, que los valores entregados por Metcalf y Eddy, no representan adecuadamente la realidad nacional, en relación con las cargas por habitantes, es por esta razón que se incorporo de modo comparativo los valores típicos obtenidos para aguas servidas, sin influencia de industrias, del estudio de la región del Bío- Bío. Con relación a lo anterior, se calculo el promedio regional de la carga diaria por habitante para DBO, DQO, SST, NTK y Fósforo, obteniéndose los siguientes resultados

DBO	41,8 g/hab/ día
DQO	79,1 g/hab/ día
SST	34,4 g/hab/ día
N- Amoniacal	6,29 g/hab/ día
NTK	9,83 g/hab/ día
P- Total	1,84 g/hab/ día

Comparando los valores promedios de la región con las referencias nombradas se encuentra que los valores del Metcalf no representan en absoluto la realidad regional, no obstante los valores de la VIII región son más próximos en lo que a nutrientes se refiere, mientras que para la DBO los valores de Atacama son un 26% mayores, los valores de SST son solo un 35% del valor indicado. De lo anterior se puede concluir que los valores de las cargas dependen de las costumbres de la población, los hábitos alimenticios como de la calidad de vida de las personas que ocupan el servicio de alcantarillado, por lo tanto encontrar un valor estándar o universal no es representativo. No obstante los valores entregados por el D.S.609 son los que más se aproximan a la realidad regional.

#### 4.5.2 ESTIMACIÓN DE RELACIONES ENTRE PARÁMETROS ORGÁNICOS

La búsqueda de relaciones que nos permitan estimar con cierta aproximación un valor de un contaminante en particular a través de una forma sencilla y rápida, es el objetivo de este análisis. Se ha tenido en cuenta las relaciones ya estudiadas por investigadores que han entregado como resultado un valor estimado. Actualmente, en el laboratorio de calidad de aguas de EMSSAT se utilizan habitualmente las relaciones informadas en la literatura, como método de aproximación.

Con este ejercicio se establecerá si dichas relaciones concuerdan con la realidad de la región y de no ser así, buscar los valores típicos de esta zona.

A continuación se presenta una tabla donde se resumen los valores promedios, los cuales fueron obtenidos para cada localidad de la región.

Tabla 44:  
Estimación de las relaciones típicas de aguas servidas en la región

Localidad	DBO/NTK	NTK/ P- Total	N-Amoniacal/ NTK	SST/DBO	DQO/DBO
Copiapo	6,17	5,06	0,83	0,82	1,88
Vallenar	5,48	8,50	0,58	0,44	1,67
T. Amarilla	2,52	4,66	0,64	1,32	2,32
Freirina	4,11	4,96	0,62	0,78	2,11
D. Almagro	3,91	5,00	0,48	1,16	1,29
El Salado	4,11	5,09	0,77	0,69	2,34
Caldera	5,92	9,08	--	0,93	2,21
Chañaral	4,75	8,53	--	1,04	2,75
Huasco	--	--	--	1,11	1,93
Referencia 12	3,70	3,90	--	2,96	--
Referencia 16	5,00	5,00	0,75	0,70	2,00

Las relaciones fueron estimadas a partir de los valores de la Tabla 43.

La relación DBO/NTK presenta valores muy variables con un valor promedio de 4,1 que no se puede considerar como representativo de la región.

La relación NTK/P-Total presenta valores variables, no obstante en cinco localidades se ven sobrepasados los valores de referencia, esta información nos muestra que las aguas regionales presentan alta concentración de Nitrógeno en comparación con el Fósforo, lo que se puede atribuir a los hábitos alimenticios de la zona ya que en el grueso de las localidades no existe agricultura que pueda incorporar nitrógeno a las aguas a través de la infiltración.

Se espera que el N- Amoniacal sea un 75% del NTK según los valores indicados en la literatura, sin embargo las aguas de la región presentan valores muy diversos, las aguas de Copiapó, Tierra Amarilla y El Salado muestran valores próximos a la referencia, no obstante el resto de las localidades encuentran porcentajes inferiores, una posible razón es que los sistemas de alcantarillado de estas ciudades den condiciones desnitrificantes y en equilibrio químico en las aguas se encuentre un menor contenido de Nitrógeno Amoniacal, principalmente por la pérdida de  $\text{NH}_3$  en la fermentación anaeróbica en el interior del alcantarillado.

De la tabla se desprende que la relación que puede ser considerada estándar para la región es DQO/DBO, un valor promedio de 2,05, por lo que se puede decir que el valor entregado por la referencia (16) es representativo de la región. Sin embargo, las demás relaciones no concuerdan con los valores de establecidos.

Un caso al cual se le debe prestar atención es Vallenar, el control de las relaciones DBO/NTK y NTK/P- total, puede evidenciar aportes externos de nitrógeno, producto de que es una localidad agrícola y posiblemente los fertilizantes lleguen a las aguas servidas por la infiltración de la zona, además existen los aportes un matadero donde las descargas realizadas al sistema de alcantarillado es fundamentalmente la sangre diluida, siendo esta de un importante contenido de nitrógeno. No obstante, estas no son las únicas fuentes de nitrógeno, pueden existir actividades artesanales que generen desechos nitrogenados que no han sido controlados.

Se debe señalar la gran semejanza que existen entre los valores de las relaciones de Copiapó y Tierra Amarilla, posiblemente por tratarse de ciudades muy próximas entre sí con costumbres muy similares.

Es importante destacar que las relaciones mencionadas no tienen valores constantes durante el día sino que presentan algún tipo de variación diaria, sin embargo se hace mención a un valor promedio para hacerlo más representativo. La variación diaria es diferente para el agua servida de cada localidad sin dar con algunas similitudes.

#### 4.5.3 ESTIMACIÓN DE RELACIONES MATEMÁTICAS ENTRE PARÁMETROS ORGÁNICOS:

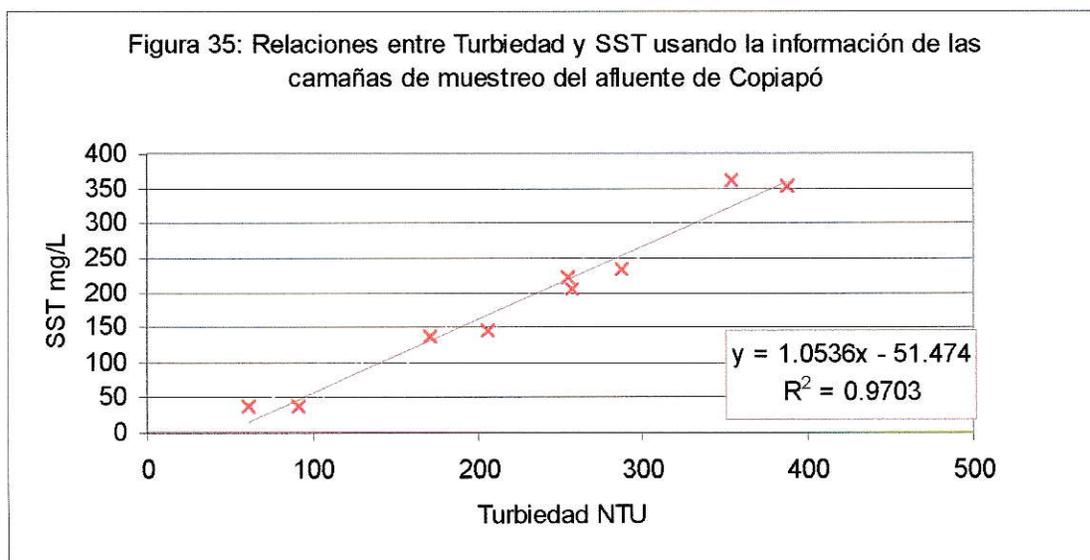
Dado que la DBO es el parámetro mas usado para medir la calidad de las aguas, tanto para diseñar las unidades de tratamiento biológico como para la evaluación de la eficiencia de los procesos de tratamiento, se ha tratado de interrelacionar con algún parámetro específico de manera de establecer correlaciones que entreguen la información en forma más inmediata, en comparación con los 5 días que demora la determinación de la DBO. De ser posible, una correlación permitirá emplear dicha información en la toma de decisiones y medidas en el funcionamiento y control de las plantas de tratamiento.

En relación con lo anterior se ha analizado la información existente de la localidad de Copiapó, por ser esta ciudad la de mayor antecedentes disponible de manera tal de buscar alguna relación matemática que nos permita relacionar turbiedad o DQO con DBO.

Se han realizado estudios donde se relaciona la DBO con los SST, es por esta razón y dada la correlación lineal de los SST con turbiedad que se busca relacionar esta última con la DBO. La correlación de los SST con la turbiedad, ha mostrado especial validez en las campañas de mediciones, presentando las siguientes ecuaciones

$$[ \text{SST} ] = 1,0536 * \text{Turbiedad} - 51,4 \quad R^2=0,9716$$

La figura que muestra el comportamiento anteriormente señalado se indican a continuación.

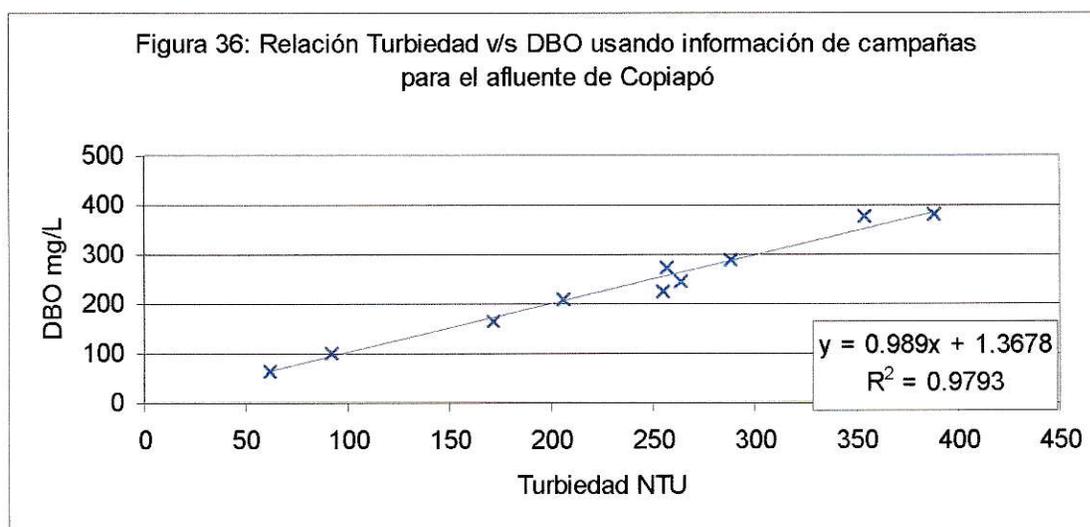


Sin embargo, dicha relación se ve alterada al utilizar toda la información existente a lo largo del tiempo disminuyendo la correlación, mayores antecedentes en Anexo 2.2.

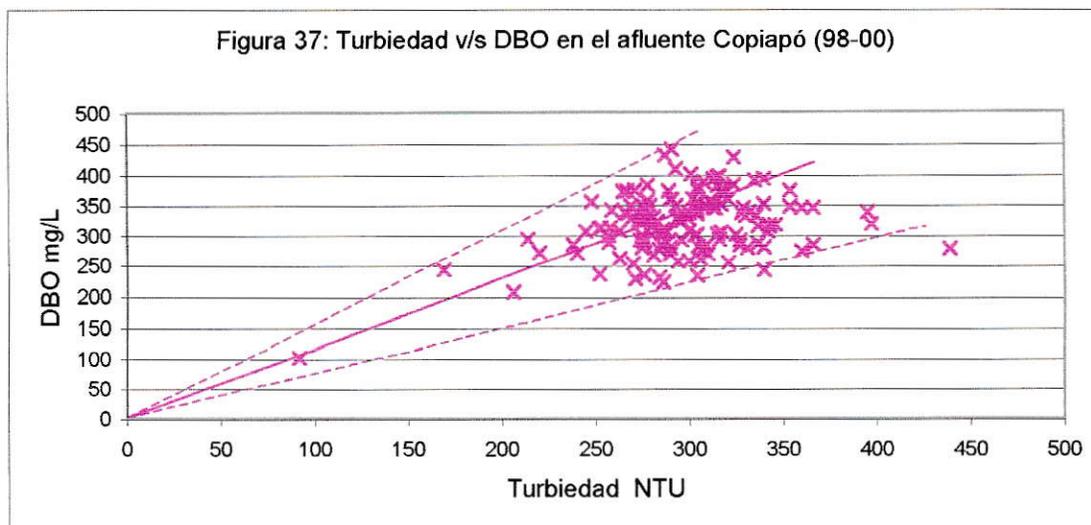
La utilización de este tipo de relaciones permiten tener una aproximación de la realidad con un cierto grado de incerteza. Dicha relación se cumple no solo para el afluente de Copiapó sino para todos con la excepción de Freirina, Huasco, Caldera y Chañaral donde no se han realizado campañas de mediciones en forma continua de dichos parámetros y no fue posible determinar si existe algún tipo de correlación.

Bajo los supuestos anteriores se analizó la DBO con la turbiedad, ambos parámetros se relacionan bajo la siguiente correlación.

$$[ \text{DBO} ] = 0,989 * \text{Turbiedad} + 1,3678 \quad R^2=0,9793$$



Sin embargo, al igual que en el caso anterior, dicha relación se ve alterada al utilizar toda la información existente a lo largo del tiempo disminuyendo la correlación. En este caso, es importante destacar que se dividió el período de tiempo en dos, 96-97 y 98-00 producto que han sido realizados por diferentes analistas, considerando las diversas limitaciones y dificultades del ensayo de la DBO, de esta forma se pudo visualizar mejor la tendencia. Además la exactitud del ensayo de la DBO es relativamente baja, según el Standard Methods tiene rango de variación de  $\pm 18\%$ , mientras que otras referencias entregan como rango  $\pm 15\%$ . La figura que se muestra a continuación esquematiza una dispersión propia del ensayo de la DBO, a mayores valores de DBO mayor es la dispersión esperada.



De la figura se observa que la relación al aumentar el valor de DBO se comienza a parecer a un cono, lo que era de esperar producto de la dispersión mencionada anteriormente.

La relación lineal mencionada con pendiente próxima a 1, debe tener como consecuencia que tanto DBO y turbiedad aumenten en similar proporción, no obstante se piensa que a altas concentraciones de DBO la turbiedad pierde su linealidad, debido a que la turbiedad constituye una medida óptica del material suspendido en el agua. Existe un punto donde la obstrucción del paso de luz entrega resultados poco confiables, por lo tanto las relaciones son especialmente validas para bajas concentraciones.

En muchos tipos de aguas residuales ha sido posible establecer una relación entre los valores DBO y la DQO, utilizando la información de las campañas se encontraron para el afluente de Copiapó las siguientes correlaciones:

$$[ \text{DBO} ] = 0,5401[ \text{DQO} ] - 29,257 \quad R^2=0,9692$$

La Figura 38 muestra la función anterior. La relación que se ha encontrado es lineal, pero de igual forma que para los casos anteriores, al utilizar toda la información disponible, dicha linealidad se pierde, mas referencias en Anexo 2.2.

#### Copiapó

[ SST ] = 1,054*	Turbiedad - 51,40	R <sup>2</sup> =0,9703; curva promedio.
[ DBO ] = 0,989*	Turbiedad + 1,368	R <sup>2</sup> =0,9793; curva promedio.
[ DBO ] = 0,540*	[ DQO ] - 29,26	R <sup>2</sup> =0,9692; curva promedio.

#### Vallenar:

[ SST ] = 0,889*	Turbiedad - 7,588	R <sup>2</sup> =0,9790; campaña de Julio-00
[ DBO ] = 1,057*	Turbiedad + 44,47	R <sup>2</sup> =0,9705; campaña de Julio-00
[ DBO ] = 0,581*	[ DQO ] + 19,37	R <sup>2</sup> =0,9709; campaña de Julio-00

#### Tierra Amarilla

[ SST ] = 1,081*	Turbiedad - 41,74	R <sup>2</sup> =0,9706; campaña de Mar-99
[ DBO ] = 1,076*	Turbiedad - 4,356	R <sup>2</sup> =0,9529; campaña de Mar-99
[ DBO ] = 0,552*	[ DQO ] - 22,23	R <sup>2</sup> =0,9271; campaña de Mar-99

#### Freirina

[ SST ] v/s [ Turbiedad ];	sin información de turbiedad	
[ DBO ] v/s [ Turbiedad ];	sin información de turbiedad	
[ DBO ] = 0,5642*	[ DQO ] - 1,095	R <sup>2</sup> =0,9569; campaña de May-99

#### Diego de Almagro

[ SST ] = 0,672*	Turbiedad + 57,95	R <sup>2</sup> =0,9174; campaña de May-99
[ DBO ] = 0,849*	Turbiedad + 91,20	R <sup>2</sup> =0,9705; campaña de May-99
[ DBO ] = 0,259*	[ DQO ] + 185,1	R <sup>2</sup> =0,9098; campaña de May-99

#### El Salado

[ SST ] = 0,615*	Turbiedad + 93,18	R <sup>2</sup> =0,6913; campaña de Jun-99
[ DBO ] = 0,607*	Turbiedad - 14,44	R <sup>2</sup> =0,9094; campaña de Jun-99
[ DBO ] = 0,594*	[ DQO ] - 32,36	R <sup>2</sup> =0,8528; campaña de Jun-99

Se propone su uso como una medida de estimación, sin embargo se vuelve a señalar que es muy importante la validación de cada correlación para usar con una mayor confiabilidad.

#### 4.5.4 ESTIMACIÓN COMPARATIVA DE LA VARIACIÓN DIARIA DE LOS PARÁMETROS EN LOS DIFERENTES AFLUENTES DE LA REGIÓN.

Se realizan comparaciones para un mismo afluente del comportamiento diario de los siguientes parámetros; caudal, DBO, DQO, turbiedad y SST

El objetivo principal de este análisis es visualizar si dichos parámetros tienen un comportamiento diario similar, para este estudio se utilizan los valores obtenidos en las campañas de mediciones parametrizados con relación al valor promedio diario. Aunque no es posible un análisis cuantitativo de igual manera se

comentará bajo la base de estimar la tendencia. El estudio se realizará en forma agrupada según las tendencias visualizadas.

- a) Tendencia 1: En este grupo encontramos a los afluentes de Copiapó y Tierra Amarilla, las curvas de los parámetros analizados se encuentran en gran parte del día superpuestas y alcanzan aproximadamente a la misma hora el valor medio diario. Lo anterior se encuentra ilustrado en Anexo 2.2.
- b) Tendencia 2: Se encuentran a los afluentes de Freirina y Vallenar, para dicho caso todas las curvas muestran una tendencia muy similar durante el día y en períodos se superponen, sin embargo la curva de caudal no presenta máximos ni mínimos tan marcados como el resto de los parámetros, por lo tanto esta menor variabilidad se refleja en que durante de gran parte del día este sobre las demás. Lo anterior se encuentra ilustrado en Anexo 2.2.
- c) Tendencia 3: Se encuentran a los afluentes de El Salado y Diego de Almagro, para estos casos las curvas muestran una tendencia muy similar durante el día, sin embargo las curvas de DQO, turbiedad y SST presentan máximos muy marcados en horas diferentes al resto de los parámetros. Lo anterior se encuentra Anexo 2.2.

Establecer las curvas unitarias de variación diaria es una herramienta que permite una estimación de la concentración media diaria en forma independiente de la hora que se realice la muestra, un ejemplo de ello es el ejercicio que se realizó para obtener valores representativos de cada uno de los parámetros mencionados. El caso más representativo de lo anterior fue la estimación realizada de caudal en la planta de Copiapó, donde se estimo el valor de caudal medio por este método y luego se comparó con los registros reales encontrándose valores muy similares entre si, concluyendo que este sistema de ponderación es una buena aproximación a la realidad.

#### **4.5.5 ESTIMACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL TRATAMIENTO**

La estimación de la eficiencia de la remoción de los contaminates es una medida de control de los rendimientos de las plantas de aguas servida. Este análisis solo se realizará para las plantas de tratamiento que se encuentran operando en forma continua con el tratamiento del 100% del afluente, es decir, Copiapó, Vallenar y Diego de Almagro.

Los rendimientos de los sistemas de tratamiento se acostumbra evaluar en relación de la concentración de entrada y salida de la DBO, los SST y los coliformes fecales. A continuación en Tabla 45 se presentan los rendimientos encontrados para el período de funcionamiento.

Se observa que tanto para el caso de Copiapó como Vallenar la eficiencia de remoción de DBO, se ha mantenido en valores superiores al 80%, sin embargo se puede apreciar una leve disminución de la eficiencia en el tiempo para DBO y SST.

Tabla 45:  
Estimación de la eficiencia de remoción de los Sistemas

Parámetro	Planta de tratamiento de Copiapó				
	1996	1997	1998	1999	2000
DBO	0,87	0,89	0,84	0,86	0,82
SST	0,80	0,82	0,79	0,77	0,79
C. fecales	318 <sup>1</sup>	276 <sup>1</sup>	49 <sup>1</sup>	4 <sup>1</sup>	4 <sup>1</sup>
Parámetro	Planta de tratamiento de Vallenar				
	1996	1997	1998	1999	2000
DBO				0,86	0,84
SST				0,83	0,75
C. fecales				6 <sup>1</sup>	7 <sup>1</sup>
Parámetro	Planta de tratamiento de Diego de Almagro				
	1996	1997	1998	1999	2000
DBO					0,49 <sup>2</sup>
SST					0,48 <sup>2</sup>
C. fecales					1.00E+05 <sup>1</sup>

<sup>1</sup>valor de promedio de coliformes/100ml

<sup>2</sup>valores usando las concentraciones diluidas con agua del canal.

La eficiencia de remoción de DBO siempre ha sido superior a la de los SST, en relación con este punto se debe destacar que la DBO analizada en el efluente hasta el año 2000 es una DBO total, por lo tanto esta en función de la DBO soluble y de la concentración de SST del efluente, es importante minimizar los sólidos suspendidos excluyendo las algas del efluente para lograr una estimación verdadera de la eficiencia de los sistemas, al implantar dicha medición se puede llegar a eficiencias mayores.

En relación con los coliformes fecales se ha mantenido una eficiencia óptima y se podría mencionar un 100% de remoción, sin olvidar que los valores de ingreso de las aguas servidas crudas son del orden de  $10^7$  y los de salida no superan los 1.000 NMP/100ml, cumpliendo en todo momento la normativa actual.

El caso de Diego de Almagro es muy particular, es el único Sistema Facultativo que se encuentra funcionando en forma continua en la región, se observa una reducción de SST y DBO de aproximadamente un 50%. Los SST y la DBO en el efluente alcanzan valores promedio de 144 mg/L y 147 mg/L respectivamente, con lo que se cumple la norma de descarga que indica 300 mg/L. Sin embargo, al no contar con un sistema de cloración los coliformes fecales exceden los límites permitidos.

#### 4.6 CONCLUSIONES

La información existente no es buena, en el sentido que no permite sacar conclusiones sólidas, por lo tanto un primer paso a seguir es la planificación sistemática de nuevas campañas para lograr disponer de una base estadística de datos lo suficientemente confiable.

La hipótesis que se formuló, en general, fue que el comportamiento de los contaminantes de origen orgánico y el caudal tenían una variación diaria que se encuentra determinada por la actividad de la población con mínimos en la madrugada y máximos en horas del día cuando la actividad urbana es más importante, por lo tanto aunque no fue posible demostrar en forma cuantitativa dicha hipótesis se observa dicho comportamiento en el grueso de los contaminantes y en los afluentes de la región. Sin embargo existen comportamientos particulares y específicos como es el caso de los nutrientes, para estos casos la realización de campañas que aclaren las tendencias es un primer paso que se deberá seguir.

El análisis esta basado en muestras puntuales en la mayoría de los casos, con hipótesis simplificadoras y algunas estimaciones, sería conveniente, que en aquellas localidades donde se tengan ciertas reservas, se efectuaran campañas de mediciones más extensas.

Los caudales y las características de las aguas en localidades pequeñas presentan diferencias más notorias que en los sistemas de mayores envergadura debido a la menor capacidad de amortiguar las grandes descargas o efectos inesperados, esto se muestra en los diferentes análisis donde en muchos casos el comportamiento esperado muestra tendencias muy dispares e incluso sin explicaciones satisfactorias.

Cada localidad tiene sus particularidades, por lo tanto, no es posible sin mucho sustento extrapolar información de una localidad a otra, no obstante se debe tener por lo menos algún punto de comparación para verificar que la localidad tiene un comportamiento similar a la anterior.

La facturación de agua potable puede llegar a ser una efectiva herramienta de aproximación para estimar el caudal a tratar de un sistema, siempre que se establezcan los factores de recuperación correspondientes.

Las aguas servidas de la región no presentan problemas de contaminación industrial, y no hay presencia de sustancias tóxicas, correspondiendo los principales aportes industriales a carga orgánica. En general se observa que no hay gran concentración de metales pero existe el riesgo por lo tanto se debe tomar la atención suficiente frente a los efectos o descargas puntuales.

La tendencia de variación diaria bajo la presencia de agua de infiltración y/o aportes incontrolados se mantiene, sin embargo las cargas contaminantes se ven alteradas obedeciendo a las características y la calidad del agua que penetra a la red. La infiltración no ha causado problemas de operación, pero se debe destacar que aumentan los costos de evacuación y de desinfección de las mismas.

La cantidad y concentración de las aguas residuales es función de su origen y de sus componentes, por ello las cargas varían de una ciudad a otra y de un país a otro. Es posible que cuando las aguas de una ciudad son predominantemente domésticas las cargas sean más fácilmente comparables con un valor de referencia típico, cuando hay descargas de actividades industriales, estas pueden hacer variar las cargas medidas y presentar características propias muy diferentes del valor típico.

La importancia de obtener una curva unitaria es que nos permitirá realizar comparaciones entre localidades y lograr estimaciones de valores medios a partir de valores puntuales y de esta forma evaluar las condiciones de cada sistema. Además, establecer relaciones entre los parámetros puede resultar de gran utilidad dado que es posible determinar por ejemplo la DQO en un tiempo de 3 horas y la turbiedad tiene medición instantánea, frente a los 5 días necesarios para la determinación de la DBO. Una vez establecidas las relaciones se pueden emplear las medidas de DQO o turbiedad para la operación y control de las plantas de tratamiento.

Las relaciones entre los parámetros pueden ser una herramienta para poder tomar acciones adecuadas en caso de deficiencias en el tratamiento, como podría ser por ejemplo determinar a que hora se requiere de mayor aireación en las lagunas, o a que hora es posible detener algunos aireadores, permitiendo un mejor rendimiento operacional y económico de cada planta.

Los resultados presentados, permite tener una aproximación de la realidad con un cierto grado de incerteza, sin embargo, es muy importante que se verifiquen y validen, para alcanzar menor error en las estimaciones.

## CAPITULO 5

### PROYECTO DE MEJORAMIENTO ADOPTADO POR EMSSAT S.A.

#### 5.1 GENERALIDADES

Producto de las deficiencias permanentes en el tratamiento de las plantas de Diego de Almagro, El Salado, Freirina y Tierra Amarilla, EMSSAT llevará a cabo las inversiones necesarias para mejorar el tratamiento, con el fin de lograr una operación segura que permita cumplir en todo momento con la normativa.

EMSSAT a encargado los proyectos de mejoramiento a la Empresa Consultora Alpha, Ingeniería de Proyectos. Las mejoras propuestas estan definidas para garantizar la calidad del efluente ajustando el diseño para cumplir la Norma D.S.90, que esta en función el tipo de cuerpo receptor que recibirá la descarga. Según las características hidrológicas, Tierra Amarilla considera la descarga a un cuerpo de agua sin capacidad de dilución, mientras que las demás ciudades descargan a cuerpos de agua con capacidad de dilución.

Alpha considera, el análisis de la geometría de las lagunas existentes de modo de aprovechar al máximo la infraestructura y la información registrada sobre la caracterización de los afluentes.

En general el sistema que se adoptará, es la transformación de los Sistemas Facultativos en Lagunas Aireadas Facultativas – Laguna Facultativas – Desinfección final con cloro.

Las prioridades de mejoramiento, para EMSSAT son Tierra Amarilla, Freirina, Diego de Almagro y El Salado. Actualmente está en tramite la Declaración de Impacto Ambiental para la realización del proyecto de mejoramiento de Tierra Amarilla, el proyecto tiene contemplado el inicio de las operaciones a comienzos del año 2002.

Cada uno de los proyectos considera un período de previsión de 25 años en el cual se programan y dimensionan cada una de las variables y las posibles mejoras que se deberán realizar en el tiempo, para los casos analizar el período corresponde desde 2000-2025.

#### 5.2 PROYECTOS DE MEJORAMIENTOS

El análisis realizado a continuación tiene como objetivo mostrar los cambios que se deberán realizar en cada una de las plantas, que son básicamente los mismos para cada localidad, y dimensionar las implicancias ambientales que tendrían los proyectos. A continuación se describe en forma general las soluciones propuestas por el consultor:

Se incorporará un tratamiento preliminar en base a cámara de rejas y un sistema desarenador y desengrasador. De esta forma se permitirá obtener una reducción de los parámetros de interés.

Los sistemas se pretenden cambiar a Lagunas Aireadas Facultativas seguido de Lagunas Facultativas. Para la Laguna Aireada es necesario proveer el grado de aireación y agitación, para lo que se consideran aereadores superficiales de alta rotación.

Para cumplir con los parámetros bacteriológicos se incorporará un sistema de cloración del efluente, el que será a base de gas cloro y una cámara de contacto que deberá ser construida.

Se prescindirá de una de las lagunas para efectos del tratamiento de la línea hídrica y se contempló destinarla a la deshidratación de lodos.

Para el caso exclusivo de Tierra Amarilla, de modo de asegurar el cumplimiento los nutrientes se tomaran las siguientes medidas;

- En relación al NTK, es necesario la incorporación de una componente unitaria de “stripping” a la salida de la Laguna Facultativa, la que permite la volatilización del Nitrógeno Amoniacal. El “stripping” consiste en un resalto de caída libre.
- En relación al Fósforo, en caso de ser sobrepasados los límites indicados en la norma se adicionarán químicos como sulfato de aluminio o cloruro férrico los que reducen los valores de fósforo por bajo de 1 mg/L, la aplicación puede ser continua o intermitente, será necesario la incorporación de una cámara de contacto para realizar dicha precipitación o la aplicación en la Laguna Facultativa.

## **5.3 CUMPLIMIENTO AMBIENTAL**

### **5.3.1 LODOS**

Para cada sistema analizado se ha considerado con una componente de deshidratación de lodos, se acondicionará alguna unidad o se emplazarán lechos de secado. La elección estará determinada por ventajas operativas y económicas.

Para el tratamiento y la disposición de los lodos, en forma adicional se necesitan bombas de extracción de lodos y se utilizaran las condiciones climáticas preponderante en la zona como medio de secado.

El secado al aire es un proceso de secado sobre una cama de arena o en piscinas de poca profundidad. El proceso comprende un tiempo mínimo de tres meses,

durante dos de los cuales, la temperatura ambiente debe ser superior a 0°C, se recomendó utilizar los meses de Verano. Para efectos de adoptar lechos de secados serán pareados con espacio periférico de 4 metros, de manera de permitir el acceso de vehículos livianos para la remoción de los lodos.

### **5.3.2 RUIDOS**

Con la incorporación de aireadores y equipos generadores de energía, en los sistemas se produzcan ruidos, sin embargo es de esperar que se encuentren dentro de la normativa considerando los antecedentes de las plantas de Copiapó y Caldera, en donde las mediciones realizadas, con equipos similares, han estado por bajo los límites exigidos por la normativa, extrapolando esta situación a las demás localidades en estudio, no se deberían presentar problemas al respecto.

Es importante destacar que los equipos mecánicos como los aireadores y los equipos electrógenos tienen bajas emisiones de ruido con una mantención periódica que los conserve en óptimas condiciones.

### **5.3.3 OLORES**

Los olores aparecen en una planta de tratamiento fundamentalmente por tres motivos, un funcionamiento deficiente de las lagunas, malas condiciones en el secado de los lodos que liberan gases o por una disposición ineficiente de los residuos sólidos que se generan en la planta, si estos se mantienen bajo control es de esperar que el funcionamiento de las plantas no presenten dificultades.

De los motivos anteriormente señalado el que representa mayores problemas son los episodios que puedan presentar las lagunas provocando de inmediato un mal funcionamiento, en general se producen por motivos externos como son la descargas de agentes tóxicos o contaminantes de origen principalmente industriales, esto es posible evitarlo con efectivo control de riles.

## CAPITULO 6

### PROGRAMA DE MONITOREO

#### 6.1 GENERALIDADES

Las bases y los objetivos para el diseño de un programa de monitoreo tiene como acciones principales el control de la calidad y eficiencia de operación, verificar el cumplir con la normativa, determinar la influencia, el orden de gravedad, riesgo y frecuencia de algún parámetro determinado y establecer correlaciones o tendencias de algunos parámetros que permitan predecir algún comportamiento particular en los sistemas.

En un sistema de tratamiento de aguas servidas como los encontrados en la región, es importante establecer cuales serán los factores que deben ser analizados, dentro de los residuos líquidos se encuentran los afluentes y los efluentes, dentro de los residuos sólidos encontramos a los lodos, además existe la emisión de ruidos y olores.

Dentro de un programa de monitoreo se debe considerar previamente a la elección del tipo y frecuencia de muestreo otros factores como son;

- La disponibilidad y costo de los equipos usados tanto en el muestreo como en el análisis,
- Material utilizado en el procedimiento analítico,
- El personal que tome las muestras,
- La precisión y exactitud de los métodos de análisis.

No obstante, la mayor dificultad es la escasez de recursos con los que se pueda contar, en especial en la realización de algún análisis con fines de investigación.

#### 6.2 DISPONIBILIDAD DE LABORATORIO EMSSAT S.A.

El Laboratorio de Calidad de Aguas de EMSSAT, sección aguas servidas, esta siendo acreditado por el Instituto de Nacional de Normalización según la Guía ISO 25. La acreditación consiste en certificar los análisis efectuados a través de uniformar las metodologías de acuerdo a las Normas Chilenas vigentes, además de los procedimientos, condiciones ambientales, estructura y equipamiento de los laboratorios. EMSSAT acreditará su Laboratorio de Calidad de Aguas para los parámetros de  $DBO_5$ , pH, SST, Temperatura y Coliformes fecales durante el año 2001.

El Laboratorio de EMSSAT actualmente cuenta con el equipamiento adecuado para realizar los análisis de los cinco parámetros para los que esta siendo acreditado. Sin embargo, cualquier otro parámetro que necesite ser analizado

con la técnica indicada en la normativa, deberá ser enviado a un laboratorio externo que entregue a la empresa la confiabilidad necesaria. Dentro del proyecto de equipamiento del Laboratorio para el año 2002 se encuentra la incorporación de nuevas tecnologías de análisis los cuales están en proceso de definición.

Con el objetivo de verificar el cumplimiento de las normativas, los análisis deberán realizarse de acuerdo al D.S.90. La realización de un análisis con alguna técnica alternativa no da la seguridad ni confiabilidad de resultados representativos, sin embargo, es factible su utilización en forma interna con el objetivo de controlar la operación de las Plantas. Con relación a este aspecto el Laboratorio de EMSSAT realiza análisis de Cobre, Hierro, Sulfuros, Turbiedad y DQO con técnicas alternativas.

El laboratorio posee un espectrofotómetro el cual permitiría la realización de técnicas alternativas de algunos parámetros adicionales de manera de establecer principalmente tendencias o alertar de algún comportamiento anormal a un bajo costo y alta eficiencia.

### **6.3 PROGRAMA DE MONITOREO PARA LOS DIFERENTES PARÁMETROS DEL AFLUENTE y EFLUENTES**

El programa de monitoreo esta dirigido en forma fundamental a controlar la eficiencia y eficacia de la operación de los sistemas, sobre esta base el principal control corresponde a la carga orgánica que el sistema es capaz de tratar, las condiciones óptimas necesarias para mejorar la eficiencia operativa y el cumplimiento de la normativa en el efluente final como también en tratar de predecir eventos inesperados tales como la descarga de RILES.

Los programas están hechos sobre la base del control de los Sistemas Aireados y las mejoras que se realizarán en un futuro a los demás sistemas, de esta forma se deberán ir implantando en la medida que los proyectos se comiencen a realizar.

En un programa de monitoreo es necesario definir a que tipo de contaminantes se les debe prestar mayor atención, esto es función de las condiciones de cada lugar, así el programa tomará como fundamento los siguientes puntos;

- Antecedentes de la Calidad del Agua potable.
- Antecedentes de las mediciones realizadas en los afluentes.
- Actividades económicas de la región y su proyección en el futuro.
- D.S.N°609/98 DEL MOP, "Norma de Emisión para la Regulación de Contaminantes Asociados a las Descargas de Residuos Líquidos a sistemas de Alcantarillado".

Los procedimientos para el muestreo se deben ceñir a lo indicado en la normativa independiente del tipo de técnica a usar, para mantener la representatividad.

Existen parámetros básicos que deben ser controlados en función del tipo de proceso. Para los Sistemas Aireados es básico conocer la carga orgánica entrante para establecer la relación con la cantidad de oxígeno necesario para oxidar la materia orgánica.

En un efluente con cloración, es de vital importancia conocer el volumen descargado para la aplicación del cloro, como también la concentración de los sulfuros que interfieren en ella, además de las concentraciones orgánicas para establecer la eficiencia de los sistemas y llegar a encontrar un óptimo funcionamiento obteniendo un máximo aprovechamiento de la infraestructura.

Por otro lado, están los parámetros que no se tienen contemplado en el diseño del sistema, pero pueden influir en el funcionamiento global de la planta, estos son por ejemplo los metales, considerados compuestos tóxicos inorgánicos sin olvidar a los tóxicos orgánicos. Es por esta razón que se señalan en Anexo 3 las actividades que se presumen importantes para cada localidad, se consideran en el monitoreo los contaminantes que se cree que tienen una alta probabilidad de estar presentes en descargas puntuales. Estos contaminantes son Hidrocarburos, A y G, PE, Cu y metales asociados a la minería.

Además, existen una serie de contaminantes que aparecen en las normas los que están asociados a industrias que no existen y no tienen probabilidad de existir en la región, como por ejemplo refinerías de petróleo, papeleras, etc. más antecedentes se encuentran en Anexo 3.

Para los efluentes, se consideraran las frecuencias mínimas de muestreo indicadas en el D.S.90, con 24 días de control para Copiapó y Vallenar y 12 días para las restantes localidades. Además los parámetros que se presume serán exigidos por la SISS son los indicados en un comienzo en el anteproyecto de dicho decreto (SAAM, PE, DBO, SST, A y G, Temperatura, pH, NTK, P- Total y Coliformes fecales).

Según la información que se posee se determinó un programa de monitoreo para cada localidad atendiendo los antecedentes recopilados sobre los afluentes de cada una y las actividades económicas de la zona en particular, una lista de las actividades de la región especificada para cada localidad se presenta en Anexo 3.

El programa de monitoreo se agrupara para las localidades con contaminates en común, como se señala en la Tabla a continuación:

Tabla 46:  
Monitoreo de los Sistemas de Lagunas Aireadas

Parámetros	Tipo de muestra	Frecuencia
Afluentes		
Copiapó, Tierra Amarilla, Diego de Almagro, El Salado		
Temperatura, pH, Caudal, O <sub>2</sub>	Puntual	Diario
Turbiedad, Cobre	Puntual	Semanal
DBO, DQO, Fósforo, Nitrógeno, SST, Sulfuros	Puntual	Quincenal
DBO, Turbiedad, DQO, Fósforo, Nitrógeno, SST	Compuesta*	Semestral
Aceites y grasas, Hidrocarburos, Poder Espumógeno <sup>1</sup>	Puntual	Mensual
Arsénico, Cadmio, Cianuro, Cromo, Manganeso, Mercurio, Níquel, Zinc	Puntual	**
Vallenar y Freirina		
Temperatura, pH, Caudal, O <sub>2</sub>	Puntual	Diario
Turbiedad	Puntual	Semanal
DBO, DQO, SST, Fósforo, Nitrógeno, Sulfuros	Puntual	Quincenal
DBO, DQO, Turbiedad, SST, Fósforo, Nitrógeno	Compuesta*	Semestral
Aceites y grasas, Poder espumógeno <sup>2</sup> , Hidrocarburos <sup>4</sup>	Puntual	Trimestral
Hidrocarburos, Zinc	Puntual	Semestral
Laguna Aireada		
SST, Sulfuros	Puntual	Quincenal
Fósforo, Nitrógeno +	Puntual	Mensual
Temperatura, pH	Puntual	Diario
Laguna de Decantación o Facultativa		
SST, Sulfuros	Puntual	Quincenal
Fósforo, Nitrógeno +	Puntual	Mensual
Fósforo <sup>3</sup> , Nitrógeno <sup>3+</sup>	Puntual	Semanal
Temperatura, pH	Puntual	Diario
Efluente		
Cloro residual, Caudal, temperatura y pH	puntual	4 veces al día
Coliformes fecales, Clorofila, Turbiedad	Puntual	Quincenal
SST, DBO, Nitrógeno, Fósforo	Puntual	Mensual
SST, DBO, Nitrógeno, Fósforo, Aceites y grasas, Coliformes fecales, pH, Poder espumógeno, Temperatura, SAAM, Turbiedad, Huevos de Helmintos <sup>5</sup> , Triclorometano <sup>5</sup> , Tetracloroetano <sup>5</sup> , Clorofila, Sulfuro	Compuesta	24 veces al año 1 vez al año <sup>5</sup>

\*Campaña de medición continua con análisis cada dos horas

\*\*Solo se realiza en caso de detectar Cobre

+ Se podrá reducir la frecuencia después de un año de medición

<sup>1</sup>Soló Copiapó

<sup>2</sup>Soló Vallenar

<sup>3</sup>Soló Tierra Amarilla

<sup>4</sup>Soló Freirina

Los programas de monitoreo para las localidades de Tierra Amarilla, Diego de Almagro, Freirina y El Salado se deberán implantar en la medida que se realicen los proyectos de mejoramiento de los sistemas.

De los programas se desprende que las diferencias se encuentran en los afluentes de cada sistema producto principalmente en las diferentes actividades económicas.

En el programa de monitoreo, se consideran muestras puntuales, por el menor costo asociado, además de que demandan menor tiempo y mano de obra, sin embargo, se puede aproximar a un valor promedio diario con el procedimiento mencionado en pág. 60 (factor de ponderación). Sin embargo, de igual manera se proponen muestras compuestas y muestras proporcionales al caudal para lograr la validación de los resultados entregados con el presente trabajo.

En los afluentes, usando las mediciones de turbiedad se puede estimar la carga orgánica que esta entrando al sistema, utilizando la relación Turbiedad v/s DBO que se encuentra en Capítulo 5, de esta manera la estimación permitirá la toma de decisiones rápidas en la operación del sistema. Sí se encuentran alzas de los valores de turbiedad se recomienda la realización simultánea de DBO, de manera de verificar alguna anomalía o descarga inesperada que implique un aumento en la aireación.

Este mismo fundamente es usado en la medición de cobre en las lagunas de Copiapó, T. Amarilla, D. Almagro y El Salado según las actividades económicas de los lugares, son factible descargas relacionadas con la actividad minera, de esta manera al encontrar valores que no corresponden a las tendencias o que presenten alzas significativas se recomienda el muestreo simultáneo del resto de los metales mencionados en el programa.

Los objetivos de las mediciones de Nitrógeno y Fósforo entre las lagunas son establecer porcentajes de remoción y para encontrar la máxima eficiencia y las mediciones de SST permiten estimar la cantidad de lodos que están siendo acumulando en el fondo de la Laguna de Decantación o Facultativa en cada caso. El control de la temperatura, en las lagunas, es primordial por su efecto sobre la actividad bacteriana, la cual disminuye a bajas temperaturas, se deberán registrar un mayor número de veces al día para las Lagunas Aireadas. La medición de sulfuros antes de la cloración es una medida de estimar o determinar el grado de interferencias que puedan causar en la desinfección.

El control del pH en la Laguna Facultativa permitirá estimar la volatilización de nitrógeno como amoniaco, además para el caso de Tierra Amarilla las mediciones de nutrientes para evaluar la precipitación química de fósforo y la remoción de nitrógeno por el "stripping" permitirá evaluar la eficiencia de la remoción por estos sistemas. La frecuencia de los nutrientes es mayor en Tierra Amarilla por tratarse de parámetros críticos, por lo tanto se debe buscar los antecedentes necesarios para obtener los elementos que permitan tomar medidas oportunas.

La medición en el efluente, tiene como condición además del control, el cumplimiento de la normativa, de esta forma se podrán establecer tendencias que deriven en la toma de decisiones al verse sobrepasados algunos de los límites. Con relación a la concentración de coliformes fecales máximas que deben contener los efluentes es consecuencia de la eficiencia de la cloración, es por esta razón que se recomienda controlar varias veces al día, se mencionan como horas preferentes, cuando el equipo de cloración se encuentra más exigido, es decir en el momento de máximo y mínimo caudal más dos mediciones entre estas horas.

Cuando la SISS establezca los parámetros el programa en la parte de los efluentes, deberá ser modificado aunque presumiblemente no debería ser muy diferente a los parámetros destacados en esta oportunidad.

Los programas de monitoreos que fueron establecidos en esta oportunidad se enfocaron a los sistemas de Copiapó, Vallenar, T. Amarilla, Freirina, D. Almagro y El Salado, por presentar como organismo fiscalizador a la SISS, el resto de las localidades por descargar en el mar se encuentran bajo la jurisdicción de la DIRECTEMAR y como lo indica la normativa es función del organismo fiscalizador establecer los parámetros y frecuencias que serán exigidos, por lo tanto no se diseñó un programa de monitoreo para estos casos.

## **6.4 PROGRAMA DE MONITOREO PARA LOS LODOS**

### **6.4.1 GENERALIDADES**

La operación de una planta de tratamiento de aguas servidas genera una cantidad de lodos que deben ser dispuesto en forma adecuada de modo de prevenir los eventuales impactos negativos que puedan provocar. Se necesita establecer las condiciones de tratamiento y disposición.

Para la utilización de los lodos deben cumplir con criterios sanitarios, contenidos de metales pesados y la evaluación ecotoxicológica. Para establecerlos es necesario un procedimiento de muestreo y análisis.

Existen dos posibles destinos de los lodos; el uso agrícola o la disposición en un relleno disposición final, deberán contar con los requisitos mencionados en el Anteproyecto.

### **6.4.2 PROGRAMA DE LODOS**

La producción de lodos en sistemas basados en lagunas es tipo "batch" o discontinuo, con frecuencias de extracción muy baja. La extracción de los lodos depende de los siguientes factores: carga contaminante ingresada, eficiencia de la decantación, tamaño de la laguna lo cual determina el tiempo de almacenamiento de los lodos. Estos factores determinarán la frecuencia de extracción, que en general se recomienda cuando la acumulación de lodos

comienza a perjudicar el funcionamiento de la laguna. Sin embargo es importante mantener un control de la calidad y de posibles usos comerciales que se les puedan dar.

En la región el bajo volumen de producción de lodos determina que la extracción sea con una regularidad de entre 3 a 4 años, como se presento en Tabla 12. En promedio no hay más de una extracción de lodos por año, por esta razón seguir el número de frecuencias mínimas de monitoreo estipuladas en el anteproyecto de manejo de lodos no peligrosos no es representativo de las condiciones de la región ya que las frecuencias están estipuladas para plantas con producción y extracción continua de lodos.

Atendiendo a los antecedentes y aprovechando las condiciones climáticas predominantes de la zona, en general el tratamiento de secado usado ha sido el acondicionamiento de un sector de la planta como lechos de secados extrayendo los lodos húmedos por medio de una bomba. Las experiencias anteriores han mostrado que el proceso de secado, a demorado en general, aproximadamente tres meses. Se plantea el siguiente programa:

Tabla 47:  
Programa de monitoreo de lodos

Parámetros	Tipo de muestra	Frecuencia
Primer período		
Coliformes fecales	Compuesta	1 vez al mes hasta alcanzar Humedad $\leq 75\%$
Sólidos volátiles	Compuesta	
Humedad	Compuesta	
pH	Compuesta	
Segundo período		
Aluminio*	Compuesta	1 vez alcanzada la Humedad $\leq 75\%$ (aprox. 3 meses)
Arsénico	Compuesta	
Cadmio	Compuesta	
Cobre	Compuesta	
Hierro	Compuesta	
Huevos de helmintos	Compuesta	
Mercurio	Compuesta	
Níquel	Compuesta	
Plomo	Compuesta	
Salmonella spp	Compuesta	
Selenio	Compuesta	
Virus MS-2	Compuesta	
Zinc	Compuesta	

\*Soló para Tierra Amarilla

Los primeros 4 parámetros deberán ser muestreados como mínimo una vez al mes durante el período de secado de manera de estimar la reducción de los contaminantes y poder usar la información en muestreos posteriores. Una vez seco el lodo se estudiarán los parámetros indicados en el segundo período para establecer el cumplimiento de la normativa. Se incorpora la medición de Hierro por el alto contenido natural en las aguas de la región y la medición en Tierra

Amarilla de Aluminio por las posibles aplicaciones de sulfato de aluminio para precipitar fósforo.

Las concentraciones finales de los contaminantes en un lodo determinarán el tipo de lodo a que corresponde y luego se puede tomar la decisión de la disposición final que se le dará. Las pretensiones de utilización posterior de los lodos deben estar acompañadas de la autorización de la autoridad competente para su comercialización.

Los parámetros biológicos tienen límites diferentes según el tipo de lodo que sea, sin embargo la restricción de los parámetros químicos es indistinta. El análisis de los contaminantes se debe efectuar de acuerdo a los métodos que se indican en el anteproyecto y deberán ser realizados por laboratorios externos producto que el laboratorio de calidad de EMSSAT no cuenta con el equipamiento necesario.

## **6.5 MONITOREO DE RUIDOS Y OLORES**

### **6.5.1 PROGRAMA DE MONITOREO DE RUIDOS**

Los objetivos de analizar los ruidos son lograr una evaluación ambiental de ellos, analizar y cuantificar en forma precisa y científica y que se transforme en una herramienta de diagnóstico de la situación.

Para un monitoreo de ruidos las mediciones se realizan con un decibelímetro (también conocido como sonómetro o medidor de nivel de presión sonora), el cual da una indicación objetiva y reproducible del nivel sonoro.

Es importante tener presente las siguientes consideraciones generales del procedimiento de medición: las mediciones deberán ser efectuadas con filtro de ponderación "A" con respuesta lenta, registrar condiciones del lugar de medición, número de mediciones, procedimiento de cálculos involucrados, además se deben recoger los datos suficientes y en forma adecuada para un posterior análisis y evaluación.

Se realizan las siguientes recomendaciones para las mediciones de ruidos en las plantas de Copiapó y Vallenar que podrán hacerse extensivos a las demás plantas de la región en la medida que se vaya desarrollando la incorporación de las mejoras planteadas en el Capítulo 5.

- Se debe aclarar el objetivo de la medición si corresponde a la medición de los ruidos en ambientes laborales o la evaluación de los ruidos molestos generado por las fuentes fijas.
- Se plantea realizar mediciones a 5, 20 y 100 m desde la fuente fija, en la oficina del plantero y en la casa más cercana.

Al registrar en forma sistemática y ordenada la información se podrá obtener una evaluación general de cada sistema.

Se recomiendan mediciones cada 3 o 4 años, dado los tiempos de vida útil de los equipos emisores de ruidos, los equipos emiten más ruidos al pasar los años o al sufrir desperfectos, por lo tanto una buena mantención puede evitar molestias posteriores.

Para las nuevas instalaciones se sugiere las mediciones antes de que comiencen a funcionar los equipos de aireación, para establecer una línea base en cada sistemas y luego una medición después de entrar en marcha los proyectos, para posteriormente tomar la frecuencia mencionada en el parrafo anterior.

### **6.5.2 PROGRAMA DE MONITOREO DE OLORES**

Los olores producen una molestia generalizada en los habitantes de zonas próximas a las plantas de aguas servidas, una laguna maloliente es característica de alguna ruptura en los equilibrios del tratamiento sin embargo se propone que bajo dichas condiciones se realicen muestreo de modo de poder generar información al respecto, producto que en este tema tanto los antecedentes disponibles como la legislación chilena es deficiente.

El olor más característico del agua residual es debido a la presencia de sulfuro de hidrógeno y en general en este compuesto se centrará nuestra atención.

La problemática de los olores esta considerada como la principal causa de rechazo a los sistemas de tratamiento de aguas residuales. Con el objetivo de mejorar la opinión publica el control de los olores ha pasado a tener un lugar de importancia dentro de la planificación de cada sistema.

Como se ha mencionado la normativa en relación con los olores es deficiente en nuestro país, sin embargo considerando antecedentes extranjeros el único factor que se ha tomado en cuenta en el desarrollo de normativas ha sido la detectabilidad. Sin embargo se considerará el "Reglamento sobre Condiciones Sanitarias y Ambientales Básicas en los Lugares de Trabajo", como referencia.

Se recomienda el monitoreo de H<sub>2</sub>S en episodios de malos olores y en el inicio de las operaciones de cada nuevo sistema.

Se propone la utilización del sistema de celdas específicas, este equipo deberá ser arrendado en caso de ser necesario. Se plantea la medición simultánea de varias muestras puntuales para lograr la obtención de un valor representativo del momento de medición aprovechando la ventaja que presenta este equipo de poder realizar mediciones cada 30 segundos.

Es fundamental leer atentamente el instructivo de operación del equipo de manera de obtener resultados confiables para posteriormente poder analizar la información.

La información debe ser registrada en forma sistemática para facilitar la evaluación posterior, además se debe anexar a las mediciones un croquis que indique los puntos donde se realizan las mediciones.

Una problemática nueva surgirá con el "stripping", en la ciudad de Tierra Amarilla, usado para asegurar el cumplimiento en el efluente de nitrógeno total, el sistema se basa en volatilizar el amoniaco, por esta razón que será necesario incorporarlo en el monitoreo. La normativa establece como límite 20 ppm, pero es detectable al olfato desde los 17 ppm.

## 6.6 ESTIMACIÓN DE LOS COSTOS RELACIONADOS CON LOS DIVERSOS MONITOREOS

La estimación de costos se realiza bajo el supuesto que todo análisis a realizar deba ser enviado a un laboratorio externo a la empresa. Los valores son expresados en UF por ser considerada una medida atemporal. Los costos fueron estimados bajo cotizaciones entregadas a la empresa, más antecedentes al respecto en Anexo 3. Se presenta una estimación de los costos en Tabla 48.

Tabla 48:  
Estimación de costos anuales para el monitoreo de los residuos líquidos.

Parámetros	Copiapó	Vallenar	Tierra Amarilla	Freirina	D. Alamgro	El Salado	Total	Costo* unidad	Costos total
C. Fecales	48	48	36	36	36	36	240	0.27	64.8
DBO	96	96	84	84	84	84	528	0.36	190.1
DQO	48	48	48	48	48	48	288	0.35	100.8
H. Helminfos	1	1	1	1	1	1	6	3.00	18.0
NTK	120	120	172	108	108	108	696	0.25	184.0
P- Total	120	120	172	108	108	108	696	0.15	110.4
Clorofila	48	48	36	36	36	36	240	0.15	35.3
P.E.	36	28	12	12	12	12	112	0.28	31.4
SAAM	24	24	12	12	12	12	96	0.28	26.9
HC	12	2	12	4	12	12	54	0.38	20.5
A y G	36	28	24	16	24	24	152	0.38	57.8
Zinc	0	2	0	2	0	0	4	0.15	0.6
Cobre Total	52	0	52	0	52	52	208	0.15	31.2
SST	144	144	132	132	132	132	816	0.11	89.8
Tetracloroteno	1	1	1	1	1	1	6	0.93	5.6
Triclorometano	1	1	1	1	1	1	6	0.93	5.6
Sulfuros	96	96	84	84	84	84	528	0.15	79.2
Turbiedad	100	100	88	88	88	88	552	0.03	16.6
UF:\$ 16.000							UF Totales		1051.8
							Precio aproximado \$		16828800

Para el monitoreo de los lodos se cuenta con la cotización de un solo laboratorio, en el cual solo se incluyen los análisis de tipo sanitarios, es por esta razón que se utilizan para los parámetros químicos los valores entregados para los análisis de los laboratorios de aguas, de esta manera se tiene una aproximación real de los costos en un período completo de muestreo. Un resumen se presenta a continuación:

Programa primer período:	4,50
Programa segundo período:	<u>9,45</u>
	13,95 UF

El monitoreo de ruidos se debe realizar en las ocasiones mencionadas para este efecto, el equipo con el cual se realizan este tipo de medidas puede ser arrendado con un valor aproximado de 0,94 UF por día, considerando un monitoreo una vez al año para cualquiera de los sistemas.

A continuación se presenta una Tabla resumen de los costos asociados a los programas mencionados.

Tabla 49:  
Tabla resumen de la estimación de costos

	Valor UF
Afluente y Efluentes	1051,8
Lodos	13,95
Ruidos	0,94
Transporte y toma de muestra	213,15
Total	1279,84

Si se considera la inversión total necesaria para los programas recomendados serían aproximadamente 1279,8 UF, lo que significa una inversión de alrededor de \$20.000.000. Sin embargo, no se debe olvidar que solo dos de los sistemas están actualmente en funcionamiento, considerando este punto la inversión sería de aproximadamente 500 UF.

Además, las mediciones de control (sin considerar las mediciones del efluente) se esperan que sean realizadas en su totalidad en el laboratorio de la empresa, tanto con técnicas normadas como alternativas dependiendo del objetivo de la medición, para lo cual estimar un costo aproximado es muy complicado producto de que la utilización de las cotizaciones de técnicas normadas entregan una sobreestimación de los costos.

Para lograr una estimación de los costos en relación con el volumen de agua servida a tratar, se utilizó la estimación de caudal del año 2000, obteniéndose los siguientes resultados presentados en Tabla 50:

Tabla 50:  
Costos anuales por m<sup>3</sup> de agua servida tratada

Parámetros	Unidad	Copiapó	Vallenar	Tierra Amarilla	Freirina	Diego de Almagro	El Salado
Costo total	UF/año	983	907	967	773	839	839
Volumen tratado	m <sup>3</sup> /año	6559488	6338736	599184	208137	315360	40996
costo/volumen	UF/m <sup>3</sup> tratado	0,0002	0,0001	0,002	0,004	0,003	0,020
	\$/m <sup>3</sup> tratado	2,40	2,29	25,8	59,4	42,6	327,4

Es posible apreciar que los costos del monitoreo son mayores en las localidades pequeñas, es decir es mayor el costo de muestreo y control en proporción al volumen de agua tratada por año. Es de esperar que en la medida que se desarrollen los programas y la información sea validada, los costos se reduzcan significativamente.

El monitoreo de olores (H<sub>2</sub>S) será realizado solo en condiciones extremas, es por esta razón que el análisis de costos no está incorporado en la estimación total, sin embargo el arriendo del equipo es de aproximadamente 0,75 UF por día, un valor bajo para la cantidad de muestras que se pueden realizar con este equipo.

## 6.7 CONCLUSIONES

La realización de un programa de monitoreo permite conocer la eficiencia en la operación, prevenir y controlar cada sistema de tratamiento. Además, en la medida que se logran validar los antecedentes y que la nueva información es procesada, las correlaciones o tendencias se transforman en una herramienta efectiva de trabajo.

Las frecuencias estimadas de monitoreo buscan encontrar los antecedentes que puedan entregar el máximo de información para predecir y tomar acciones seguras de trabajo operativo. Es posible que el monitoreo no sea necesariamente parejo en el tiempo se pueden establecer frecuencias mayores o menores dependiendo de los resultados, es por esta razón que se recomienda hacerlo más intensivo en un comienzo para establecer los patrones que permitan trabajar después.

Las diferencias entre los programas de las diferentes localidades se presenta fundamentalmente porque en cada lugar donde el sistema de tratamiento se encuentra o encontrará operando tienen actividades económicas diferentes cuyas descargas líquidas puedan provocar diversos efectos en las aguas residuales. Además, los parámetros que se encuentran en la proximidad de los límites exigidos necesitan una mayor frecuencia para lograr establecer acciones seguras en sus reducciones y posterior cumplimiento de la normativa.

Es fundamental el monitoreo de las fuentes industriales, dirigido principalmente a las empresas que generan problemas con sus descargas de RILES que puedan interferir con el tratamiento de las aguas servidas crudas. Es reconocido que las descargas de origen industrial, alteran la calidad de las aguas que ingresan a las plantas de tratamiento.

Las áreas de mejoramiento corresponden a las zonas más deterioradas ambientalmente. En los cauces y puntos de descarga de las plantas, deben realizarse estudios específicos dirigidos al diagnóstico de la zona y llevar un control sistemático de los posibles efectos para lo que se realizan y deberán seguir realizándose muestreo tanto río arriba como abajo, esta información permite la estimación de las líneas bases de las diferentes zonas y los efectos que en ellos tiene la mejora de las descargas.

Se pueden considerar dentro del programa de monitoreo dos partes primordiales, la primera encargada fundamentalmente en una operación efectiva, mientras que el resto toma como función verificar el cumplimiento de la normativa, en este segundo punto para obtener resultados con validez se deben tomar todas las medidas técnicas recomendadas en la legislación chilena.

## CAPITULO 7

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 7.1 CONCLUSIONES FINALES

Para efectos de desarrollar las conclusiones se agruparan en términos genéricos, como se muestra a continuación

##### 7.1.1 SITUACIÓN ACTUAL

Los sistemas de tratamiento en la región se encuentran en buen estado estructural, sin embargo desde el punto de vista operacional y de eficiencia se han presentado irregularidades en el funcionamiento de los Sistemas Facultativos. Los sistemas Aireados presentan actualmente un óptimo funcionamiento.

Los factores externos, son muy importantes a la hora de evaluar un sistema de tratamiento, porque puede ser que se tomen todas las medidas necesarias tanto técnicas como ingenieriles, no obstante, la existencia de factores climáticos, tales como evaporación y viento, están fuera de los alcances operacionales. Cada sistema analizado es muy particular en todas las características difícilmente se pueden usar extrapolación de un lugar a otro. Una de las principales fallas de los sistemas Facultativos actuales fue que no se incluyeron factores externos en la planificación del proyecto, lo que tuvo como consecuencia deficiencias en los tratamientos correspondientes, y la posterior planificación de nuevos proyectos que permitan un óptimo funcionamiento.

##### 7.1.2 CALIDAD DE LA INFORMACIÓN

El trabajo desarrollado si bien es acotado en cuanto a los objetivos, representa un adelanto, respecto a la situación existente, transformándose en una herramienta de planificación futura, tanto en términos de monitoreo, control y tratamiento. Sin embargo, el nivel de información actual no permite la obtención de mayores conclusiones.

La caracterización de las aguas servidas implica un muestreo apropiado, en la mayoría de los casos es conveniente emplear valores compuestos, ya que constituyen una metodología de muestreo más representativa. La utilización de medias simples puede conducir a conclusiones erróneas, es por esta razón que se utilizo el factor de ponderación explicado en las páginas 60 y 61 para poder trabajar con la información a partir de este tipo de muestras.

En relación con la información que se ha recopilado no fue posible trabajar con desviación estándar o varianza, producto que la información no es uniforme para todos los intervalos de tiempo estudiados, varían en cantidad desde 1 muestra a más

de 100, se encuentran concentradas en las horas cercanas al medio día, lo que no permite un trabajo estadístico equitativo.

La recopilación efectuada permitió la generación de una base de datos completa y actualizada de las calidades de las aguas de la Región. Si bien, el análisis esta basado en muestras puntuales, con simplificaciones y estimaciones en la mayoría de los casos, sería conveniente, que se efectuaran campañas de mediciones más extensas, con la finalidad de verificar y validar los resultados y así disponer de una base de datos lo suficientemente confiable.

Retomando el punto anterior se deben tener en atención los riesgos en la utilización de las correlaciones encontradas en este trabajo, ya que fueron obtenidas con pocos datos ( $n < a 20$ ), por lo tanto se deben mantener ciertas reservas hasta que hayan sido verificadas, por esta razón validar los resultados se transforma en una prioridad.

Las hipótesis de variación diaria, fueron demostradas en forma cualitativa. El mismo comportamiento se encontró en el grueso de los contaminantes, sin embargo, existen comportamientos particulares y específicos que deberán ser estudiados con mayor atención para poder llegar a establecer tendencias claras.

Se debe destacar que los análisis químicos no están libre de errores o de incertidumbre, variando los resultados al ser analizados por distintos laboratorios como por distintos analistas, sin embargo se espera poder minimizarlos a un margen aceptable para poder trabajar en forma confiable con la información obtenida de dichos análisis. Esta variabilidad debe ser tomada con responsabilidad ya que puede derivar en la toma de decisiones erróneas.

### **7.1.3 CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS SERVIDAS Y SUS TRATAMIENTOS**

Las características de las aguas servidas son función del origen y de los hábitos de la población, por ello las cargas varían de una ciudad a otra y de un país a otro, consecuentemente se puede plantear que cada agua residual es única en sus características, tal es el caso de que las aguas de la región que no muestran un patrón específico.

Según lo analizado, las aguas servidas de la región, no presentan problemas de contaminación industrial significativa, no encontrando contaminantes tóxicos ni acumulativos en el medio ambiente, la contaminación corresponde principalmente a carga orgánica que puede ser disminuida con los tratamientos correspondientes.

En relación con los efluentes, no se han registrado fallas en el sistema de cloración, en los Sistemas Aireados, por lo tanto se cumple sin problemas los límites bacteriológicos indicados en la normativa. Las Lagunas Facultativas originan concentraciones en el efluente de coliformes fecales superiores a los valores indicados, producto de fallas en el tratamiento y por ausencia de cloración.

Los efluentes estarán sujetos en un futuro cercano a la nueva D.S.90 que entrará en vigencia en el mes de Septiembre del presente año, bajo esta nueva normativa la planta de Copiapó deberá realizar proyectos para disminuir las emisiones de nutrientes dentro de un período no mayor a cinco años.

Los rendimientos de los sistemas de tratamiento se acostumbran a evaluar con base en la DBO, en los SST y en los coliformes fecales del efluente. La DBO es función de la DBO soluble (descontar el contenido de algas) y de la concentración de SST del efluente, es importante minimizar los sólidos suspendidos excluyendo las algas del efluente para lograr una estimación verdadera de la eficiencia de los sistemas. Sin embargo, bajo las experiencias mostradas en este trabajo las Lagunas Aireadas, pueden lograr eficiencias de remoción altas, de aproximadamente 85%, produciendo efluentes que cumplen con la normativa actual, tanto en los parámetros orgánicos como para los bacteriológicos, donde los sistemas de cloración han aumentado en eficiencia en el tiempo producto de la experiencia adquirida.

#### **7.1.4 PROYECTOS DE MEJORAMIENTOS DE LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTOS**

Producto de las deficiencias en los tratamientos Facultativos, EMSSAT esta orientada a asumir responsablemente y en forma integral el compromiso de superar dichas deficiencias. Es fundamental que las mejoras planteadas entreguen efluentes de calidad que cumplan con la normativa, lo que permitirá mantener aspectos de salud pública en buenas condiciones evitando las enfermedades asociadas con las aguas servidas. Con relación a esto se debe tomar con prudencia el nivel de información utilizado en la planificación de los nuevos proyectos, producto de que un número menor a 3 campañas entrega información insuficiente para poder obtener una caracterización segura y confiable de las aguas servidas, sobre la base de lo mencionado, se deberán intensificar las medidas de control en el comienzo de las operaciones y la posterior disminución de las mismas, una vez establecidas las tendencias.

En las localidades de la región se encuentran una serie de dificultades que hacen difícil el abastecimiento de agua potable como la operación de sistemas de tratamientos, principalmente por la escasez de agua, lo que determina que los servicios sean caros o más elevados en relación con el resto del país. Es necesario buscar una adecuada disposición final de las aguas, dentro de un costo razonable al nivel del desarrollo económico de las localidades afectadas. En la Región se encuentran localidades muy deprimidas económicamente donde la población no esta dispuesta a pagar los costos de tratamientos muy sofisticados que encarezcan el uso del alcantarillado, principalmente por los bajos ingresos económicos de las familias de la Región, además se debe destacar que de acuerdo a la legislación sanitaria los sistemas de tratamiento deben ser pagados por los usuarios del sistema, por esta razón es imperativo que estos sean a un costo relativamente económico. Además, la explotación de los sistemas de tratamiento en pequeñas comunidades esta sujeto a una serie de dificultades relacionadas con las normas de vertidos estrictos y bajos presupuestos para mantener al personal calificado. Son estas razones que

impulsaron a la empresa a usar al máximo la infraestructura existente dentro de un sistema simple de modo de no encarecer innecesariamente los sistemas de tratamientos, igualmente los Sistemas Aireados tienen costos bajos de operación y mantenimiento, además de tener como respaldo la experiencia adquirida con estos sistemas.

### **7.1.5 PROGRAMA DE MONITOREO Y VALIDACIÓN DE LA INFORMACIÓN**

En relación con los programas de monitoreo, en la medida que se desarrollen, se logrará la prevención de episodios por la llegada a las plantas de compuestos tóxicos, además se transforma en un elemento de predicción y evaluación frente a cualquier eventualidad. Las medidas que se tomen para cada caso serán para minimizar los impactos negativos en el tratamiento.

La planificación de las campañas de mediciones se debe hacer en forma sistemática para obtener resultados que permitan dar respuestas a objetivos específicos de información.

La realización de muestras puntuales y campañas de mediciones son necesarias tanto para aceptar como falsas o verdaderas las relaciones obtenidas con el presente trabajo, de esta manera a medida que la información sea verificada y validada será posible que se transforme en una herramienta efectiva de estimación y control. Además, se podrán disminuir las frecuencias de muestreo, en especial para los parámetros que se encuentren muy por debajo de los límites de las normas. Sin embargo, es importante mencionar que ningún programa de control tiene éxito si no se cuenta con los recursos financieros para su implantación, operación y mantenimiento permanente.

## **7.2 RECOMENDACIONES**

### **7.2.1 RELACIÓN A LOS RESULTADOS OBTENIDOS**

Es necesario comenzar desde ya el desarrollo de los cultivos de algas, los cuales permitirán lograr estimaciones de las eficiencias reales de remoción de DBO y SST, para las plantas de Vallenar y Copiapó, especialmente en esta última dada la restricción de descarga. Además, una manera de optimizar la eficiencia es controlando el nivel de los lodos acumulados en las lagunas aumentando el tiempo de retención de esta.

Dado que se pretenden modificar los actuales Sistemas Facultativos a Sistemas Aireados, es fundamental destacar que los sistemas de Laguna Aireadas no se caracterizan por su remoción de nutrientes, en consecuencia se deberá tomar especial atención y mayores reservas en los sectores donde el cuerpo receptor no cuenta con capacidad de dilución, por lo tanto se debe planificar un control de emisión para estudiar alternativas de funcionamiento en forma oportuna de no llegar a funcionar bajo los supuestos esperados.

Para el caso del efluente de Copiapó que se deberán realizar proyectos para disminuir las emisiones de nutrientes, se sugiere intensificar el control para establecer máximos de emisión, una posible estacional en el comportamiento, etc, para manejar el problema bajo una perspectiva concreta entregada por una base de información estadística. Además, se pueden tomar en referencia los sistemas de minimización de nutrientes propuestos en los proyectos de mejoramiento como la precipitación química del fósforo y el resalto para liberar al Nitrógeno Amoniacal, otra opción para este último que tiene como base también la liberación gaseosa es remover por arrastre de aire, sin embargo esta opción tiene un costo económico mayor.

Se propone incentivar el control de RILES especialmente en Copiapó, diversificando los muestreos que actualmente se basan en pH, DBO, A y G y SST, incorporando los nutrientes por las razones mencionadas.

En relación con este mismo punto se recomienda que para el comienzo de la operación de la planta de Tierra Amarilla se tengan presentes las limitaciones en cuanto a las emisiones de nutrientes, considerados parámetros críticos, por encontrarse muy cercanos a los límites establecidos por normas, para poder tomar las medidas de control necesarias de no alcanzar las eficiencias de reducción de nutrientes supuestos en el proyecto de construcción.

Considerando las condiciones desérticas de la zona, donde el agua es un recurso escaso se aconseja abordar en forma integral el tratamiento y reutilización de las aguas.

Destacando que en la región, la agricultura a tenido un auge progresivo, aunque son suelos áridos se han dado buenos resultados, lo que significaría una posible reutilización, para esto se deben coordinar los municipios, EMSSAT y SISS para potenciar una fuente laboral y diversificar la economía de la región caracterizada como minera.

En relación con lo anterior, sería posible negociar las aguas servidas tratadas de la planta de Copiapó para uso agrícola si esto ocurriera se evitaría la condición de la eliminación de nutrientes, permitiendo por un lado evitar los costos de remoción a la empresa y por otro evitar los costos de aplicación de fertilizantes a los agricultores favorecidos con dichas aguas, esta condición podría ser posible sino hubiera descarga alguna en el curso natural del río y toda el agua llevada a través de cañerías a los agricultores.

## **7.2.2 RECOPIACIÓN DE NUEVA INFORMACIÓN**

Se recomienda la aplicación de los monitoreos señalados en el Capítulo 6, con las modificaciones que se estimen convenientes. Los costos estimados de los programas para el próximo año son de aproximadamente \$ 9.000.000, considerando

los sistemas de Copiapó, Vallenar y la entrada en funcionamiento de la nueva planta de Tierra Amarilla.

La realización de los monitoreos permitirá trabajar en forma estadística la información a recopilar y de esta manera obtener una base sólida y trabajar en forma segura y estadística la alta variabilidad que tienen las aguas servidas.

Además se recomienda actualizar y complementar la base de datos generada con este trabajo, con los permanentes análisis que realiza la empresa, en sus campañas y muestreos de autocontrol, así como con los antecedentes que se obtengan de los diversos estudios y proyectos que contrate.

También es importante destacar para evitar la variabilidad excesiva que implican los análisis se recomienda la utilización de metodologías estándar, además de la realización de los análisis, de preferencia, en un solo laboratorio, que por demás cuente con la acreditación correspondiente.

### **7.2.3 RECOMENDACIONES COMPLEMENTARIAS**

Al margen del desarrollo de este trabajo y solo de acuerdo a lo observado, se hacen las siguientes recomendaciones:

Mejorar y asegurar los canales de comunicación dentro de la empresa, para que los encargados de adoptar las decisiones puedan actuar en forma oportuna. Cualquiera sea la falla que se presente debe ser comunicada con prontitud ya que influyen en forma directa en la calidad del efluente final del sistema de tratamiento, para tomar medidas oportunas.

En una Planta de Tratamiento, es de mucha utilidad llevar un registro de algunos factores producto que condicionan un buen funcionamiento, de este modo la observación de algunos datos pueda ayudar en los resultados operacionales, de modo de adoptar alguna medida de control.

Se plantea llevar un registro y estimación del material retirado de la cámara de rejillas, con objetivo de reconocer las características típicas de modo que se pueda distinguir cualquier anomalía y mejorar el funcionamiento del tratamiento.

También se recomienda medir y registrar la dirección del viento, que puede ser determinada mediante veletas, banderas o catavientos. Este parámetro nos permite estimar a los principales afectados en caso de emanaciones de olores.

De igual forma, es de mucha utilidad registrar en una Laguna Facultativa el color de las aguas. El pronóstico es visual y corresponde a un muy buen indicador ya que la ocurrencia de un cambio de color anuncia un cambio en el comportamiento del sistema y posibles emanaciones de olores desagradables.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Alem, Pedro, Lagoas aeradas – aspectos teóricos resultados experimentais – considerções, II Curso Internacional sobre Controle de Poluição das Águas, 1996.
2. Alpha, Ingeniería de proyectos, “Anteproyecto de mejoramiento Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas de EMSSAT”. Localidad Diego de Almagro, Noviembre 2000.
3. Alpha, Ingeniería de proyectos, “Anteproyecto de mejoramiento Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas de EMSSAT”. Localidad El Salado, Noviembre 2000.
4. Alpha, Ingeniería de proyectos, “Anteproyecto de mejoramiento Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas de EMSSAT”. Localidad Tierra Amarilla, Noviembre 2000.
5. CONAMA, “Anteproyecto de Reglamento Para el Manejo de Lodos no Peligrosos Generados en Plantas de Tratamiento de Aguas”.
6. CONAMA, “Caracterización, reutilización, tratamiento y disposición final de lodos provenientes de plantas de tratamiento, para la elaboración de una propuesta de normas técnicas de manejo”; Informe Final (Ref.N°.2040B.01), Agosto 1998.
7. DEGTM MYM. “Guía Metodología de Revisión Técnica Sectorial de Estudios de Impacto Ambiental en el medio ambiente acuático de jurisdicción nacional”.
8. Doménech, X., Química Ambiental, Miraguano Ediciones. Madrid. 1993.
9. EMSSAT S.A, Antecedentes de calidad.
10. EMSSAT S.A., Manual de Operaciones “Lagunas Aireadas Vallenar”
11. EMSSAT S.A., Planos y proyectos vigentes.
12. GSI Ingenieros Consultores Limitados, Estudio de la contaminación de los recursos hídricos por efectos de las descargas de las aguas servidas en la región del Bío – Bío, Viña del Mar, Abril 1996.
13. GSI Ingenieros Consultores Limitados, Proyecto Alcantarillado de Bahía Inglesa “Manual de Operaciones para laguna de estabilización”, Viña del Mar, 1993.
14. Instituto Nacional de Estadísticas, NCh N°1.333. Of78, “Requisitos de Calidad del Agua para diferentes Usos”
15. Instituto Nacional de Estadísticas, VI Censo Nacional Agropecuario “Resultados preliminares 1997”, Impreso en los talleres de Impresora Universitaria S.A.
16. Metcalf & Eddy, INC, Ingeniería de aguas residuales “Tratamiento, Vertido y Reutilización”. Editorial Mc Graw-Hill/ Interamericana de España 1995.
17. MINSAL, D.S. N°594, “Reglamento sobre condiciones sanitarias y ambientales básicas en los lugares de trabajo”
18. MINSEGPRES, Constitución Política del Estado
19. MINSEGPRES, D.S. N°90/01, “Norma de Emisión para la Regulación de Contaminantes Asociados a las Descargas de Residuos Líquidos a Aguas Superficiales”.
20. MINSEGPRES, D.S N°146/97, “Norma de Emisión Sobre Niveles Máximos Permisibles de Ruidos Molestos Generados por Fuentes Fijas”

21. MINSEGPRES, D.S. N°30/97 "Reglamento"
22. MINSEGPRES, Ley 19.300, "Ley de Bases del Medio Ambiente"
23. MOP, D.S. N°609/98, "Norma de Emisión para la Regulación de Contaminantes asociados a las Descargas de Residuos Líquidos a Sistemas de Alcantarillado".
24. Murray R. Spiegel, "Estadística". Editorial Mc Graw-Hill/ Interamericana de España 1991.
25. Ramalho, R.S., Tratamiento de Aguas Servidas. Editorial Reverté. S.A. España, 1991.
26. Romero, Jairo, Tratamiento de aguas residuales por lagunas de estabilización. Editorial Alfaomega, Tercera Edición, México 1999.
27. Sans, Ramón; Ingeniería Ambiental, Contaminación y Tratamientos. Editorial Alfaomega, Tercera Edición, México 1999.
28. Skoog/ West/ Holler; Química Analítica. Editorial McGraw- Hill, Sexta Edición, México 1999.
29. Snoyink, V. y Jenkis, D., Química del agua. Editorial Limusa, S.A. México 1995.
30. Standard Methods, For the examination of Water and Wastewater, Quinta Edición, 1980.
31. Tebbutt, T.H.Y, Fundamentos de control de la calidad del agua. Editorial Limusa S.A. México. 1990.

**ANEXO 1**

---

**MARCO DE REFERENCIA LEGAL**

## **MARCO DE REFERENCIA LEGAL**

### **1.1 GENERALIDADES**

Existe un marco jurídico de carácter ambiental asociado al manejo de plantas de tratamiento de aguas servidas.

A continuación se expone y sintetiza la legislación de carácter general y específico aplicable a los sistemas: fundamentalmente Constitución Política de la República, Ley N°19300, sobre Bases Generales del Medio Ambiente, normas y reglamentos asociados.

### **1.2 NORMATIVA VIGENTE**

#### **1.2.1 Constitución Política de la República**

La Constitución Política de 1980 contiene tres disposiciones que se relacionan con la temática ambiental. Las principales normas constitucionales que dicen relación con la materia son las referidas a las siguientes garantías constitucionales:

**Derecho a la Vida:** La Constitución Política en su Artículo 19 N°1 asegura a todas las personas “el derecho a la vida y a la integridad física y síquica de las personas”. Corresponde a la autoridad, entonces, proteger la vida humana de la mejor forma posible, removiendo los factores que signifiquen un riesgo o amenaza para ésta.

**Derecho a vivir en un medio ambiente libre de contaminación:** Está reconocida constitucionalmente en el Artículo 19 N°8 de la Carta Fundamental. Dos son los mandatos constitucionales que impone esta norma: Por una parte, reconoce a todas las personas “el derecho a vivir en medio ambiente libre de contaminación”; por otra, señala que “es deber del Estado velar para que este derecho no sea afectado y tutelar la preservación de la naturaleza”.

El inciso 2° consagra una norma de capital importancia a efectos de establecer regulaciones ambientales: señala que “la ley podrá establecer restricciones específicas al ejercicio de determinados derechos o libertades para proteger el medio ambiente”. Cuando exijan los intereses del país, la seguridad nacional, la utilidad y la salubridad pública y la conservación del patrimonio ambiental.

Estas disposiciones constitucionales implican el tema ambiental, a diferencia de otros aspectos como la política económica, debe ser abordado como un deber del Estado y en consecuencia, se podrán establecer restricciones legales específicas al ejercicio de determinados derechos o libertades.

## 1.2.2 Ley N°19.300 Sobre Bases General del Medio Ambiente (LBGMA)

La Ley N°19.300, constituye el marco legal de protección ambiental que recoge en forma integrada y global los principios que dan sustento a la reglamentación ambiental, y da contenido concreto y un desarrollo jurídico adecuado a los derechos constitucionales relacionados con el medio ambiente y es de carácter obligatorio para el desarrollo de proyectos u obras susceptibles de causar efectos ambientales.

El 9 de marzo de 1994 se publicó en el Diario Oficial la LBGMA. Este cuerpo normativo contiene regulaciones de general aplicación que trascienden los alcances de las disposiciones sectoriales dictadas respecto de componentes ambientales específico, constituyendo un marco de protección ambiental que subsana, en alguna medida, determinados vacíos observados en la legislación sectorial de protección ambiental. Establece un marco dentro del cual se da un proceso ordenador de la normativa ambiental existente y futura, fundamentalmente en materia de instrumentos de gestión ambiental y en la creación de un régimen de responsabilidad por daños al medio ambiente.

El alcance y la aplicación de la Ley N°19.300 recoge las expresiones de la Constitución Política, el Artículo 1 de la ley dispone que “el derecho a vivir en un medio ambiente libre de contaminación, la protección del medio ambiente, la preservación de la naturaleza y la conservación del patrimonio ambiental se regularán por las disposiciones de esta ley, sin perjuicio de lo que otras normas legales establezcan sobre la materia”. Se persigue establecer un marco regulatorio general de protección ambiental que deje a salvo lo dispuesto por normas de “rango legal” las que, respecto de esta ley, constituyan legislación especial.

De esta forma, cuando las leyes especiales aplicables a un componente ambiental no contengan regulaciones específicas, se debe recurrir a lo dispuesto en la Ley N°19.300.

Los objetivos de la ley se pueden expresar de la siguiente manera:

1. Dar un contenido concreto y un desarrollo jurídico adecuado a la garantía constitucional de “vivir en un medio ambiente libre de contaminación” esta ley permite concluir que habrá contaminación en la medida que las concentraciones de sustancias o elementos superen los límites fijados en la legislación vigente (norma de calidad), y, por el contrario, el medio ambiente se encontrará libre de contaminación cuando no se superen dichos límite. Dicha ley reconoce explícitamente la existencia de niveles de contaminación que resulta aceptable, en la medida que se encuentren dentro de los márgenes previstos por las normas de calidad. Por lo tanto, el cumplimiento de la garantía constitucional se produce cuando los niveles de contaminación se mantienen dentro de los parámetros exigidos por la respectiva norma de

calidad, y más aún, pero no necesariamente, cuando el nivel de contaminación es equivalente a cero.

2. Crear la institucionalidad que permita, a nivel nacional, solucionar los problemas ambientales existentes y evitar la generación de otros nuevos.
3. Disponer de un cuerpo legal general al cual se pueda referir toda la normativa ambiental.
4. Incorporar la regulación ambiental al desarrollo del país, con el fin de evitar el deterioro ambiental y de asegurar una economía sustentable.
5. Establece criterios para la definición de objetos de calidad ambiental, y regular los procedimientos para medir los impactos ambientales en las decisiones sobre los proyectos y actividades susceptibles de causar impacto ambiental. Además, se establece el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental, al cual se someten los proyectos de inversión definidos en la misma. Este sistema es eminentemente preventivo, ya que busca predecir, identificar e interpretar en forma anticipada los efectos ambientales atribuibles a un determinado proyecto o actividad, y describir la o las acciones que se ejecutarán para impedir o minimizar sus efectos significativamente adversos.

### **1.2.3 D.S.N°30/97 del MINSEGPRES "Reglamento de Evaluación de Impacto Ambiental"**

Este importante instrumento jurídico enumera en forma detallada los proyectos o actividades que deben ingresar al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental, los contenidos mínimos necesarios para la elaboración de Estudios de Impacto Ambiental y Declaraciones de Impacto Ambiental con las características, condiciones y plazos.

### **1.2.4 Guía Metodológica de Revisión Técnica Sectorial de Estudios de Impacto Ambiental en el Medio Ambiente Acuático de Jurisdicción Nacional del DEGTTMMYM**

Esta guía metodológica es para proyectos que contemplan "Descargas de residuos líquidos, de puertos o terminales marítimos u otros." Para tales proyectos se fija un procedimiento de estudio.

El estudio asegura los contenidos mínimos de información referentes a los proyectos como la línea base ambiental, en donde se deberá describir el área de influencia del proyecto o actividad y de cada elemento del medio ambiente que pueda verse con estudios oceanográficos, bentónicos, etc. Además de una evaluación de impactos ambientales, medidas de mitigación y planes de contingencia, para terminar con un programa de vigilancia ambiental (pva) o monitoreo que resguarde el medio ambiente.

### 1.2.5 NCh 1.333.Of78,"Requisitos de Calidad del Agua para Diferentes Usos.

Esta norma fija criterios de calidad del agua de acuerdo a su uso, contribuyendo así a proteger y preservar la calidad de las aguas de contaminaciones con residuos de cualquier tipo.

Esta norma fija requerimientos científicos referidos a aspectos físicos, químicos y biológicos, según el uso determinado. Estos criterios tienen por objeto proteger y preservar la calidad de las aguas que se destinen a usos específicos, de la degradación producida por contaminación con residuos de cualquier tipo u origen.

El vaciamiento de residuos contaminante a masas o cursos de agua deberá ajustarse a los requerimientos de calidad especificados para cada uso, teniendo en cuenta la capacidad de autopurificación y dilución del cuerpo receptor, de acuerdo a estudios que efectúe la Autoridad Competente en cada caso particular.

Esta norma debe aplicarse a las aguas destinadas a los usos como son para consumo humano; para la bebida de animales; para riego; vida acuática; recreación y estética.

Para cada uso presenta diferentes requerimientos, es así que para el caso de interés se consideran los requisitos del agua para riego, donde se dan los valores máximos permisibles de algunos parámetros químicos y bacteriológicos, los que se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1:  
Concentraciones máximas de elementos químicos en agua para riego.

Elemento	Unidad	Límite máximo
Aluminio (Al)	mg/L	5,00
Arsénico (As)	mg/L	0,10
Bario (Ba)	mg/L	4,00
Berilio (Be)	mg/L	0,10
Boro (B)	mg/L	0,75
Cadmio (Cd)	mg/L	0,010
Cianuro (CN-)	mg/L	0,20
Cloruro (Cl-)	mg/L	200
Cobalto (Co)	mg/L	0,050
Cobre (Cu)	mg/L	0,20
Cromo (Cr)	mg/L	0,10
Fluoruro (F-)	mg/L	1,00
Hierro (Fe)	mg/L	5,00
Litio (Li)	mg/L	2,50
Litio (cítrico) (Li)	mg/L	0,075

(Continúa)

Tabla 1(continuación):  
Concentraciones máximas de elementos químicos en agua para riego.

Elemento	Unidad	Límite máximo
Manganeso (Mn)	mg/L	0,20
Mercurio (Hg)	mg/L	0,001
Molibdeno (Mo)	mg/L	0,010
Niquel (Ni)	mg/L	0,20
Plata (Ag)	mg/L	0,20
Plomo (Pb)	mg/L	5,00
Selenio (Se)	mg/L	0,020
Sodio porcentual (Na)	%	35
Sulfato (SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> )	mg/L	250
Vanadio (V)	mg/L	0,10
Zinc	mg/L	2,00
pH	unidad	5,5-9
Coliformes Fecales	NMP/100ml	1.000

El Ministerio de Obras Públicas podrá autorizar valores mayores o menores para los límites máximos de cada uno de los elementos de la tabla, mediante Resolución fundada en aquellos casos calificados que así lo determinen.

**1.2.6. D.S.N°609/98 del MOP, "Norma de Emisión para la Regulación de Contaminantes asociados a las Descargas de Residuos Líquidos a Sistemas de Alcantarillado".**

Esta norma de emisión tiene por objeto mejorar la calidad ambiental de las aguas servidas crudas que los servicios públicos vierten a los cuerpos de aguas terrestres o marítimas mediante el control de los contaminantes líquidos de origen industrial, que se descargan a los alcantarillados. Con lo anterior se logra que los servicios públicos de aguas servidas dispongan de aguas residuales con bajo nivel de contaminación, protegiendo así los cuerpos de aguas receptores. Corresponderá a la norma que regula las descargas de residuos líquidos a las aguas superficiales determinar la calidad del efluente del servicio público de disposición de aguas servidas.

La presente norma precisa el control de las descargas de residuos industriales líquidos, que puedan producir interferencias con los sistemas de tratamiento de aguas servidas, o dar lugar a corrosión, incrustaciones u obstrucción de las redes de alcantarillado o a la formación de gases tóxicos o explosivos en las mismas, u otros fenómenos similares.

Esta norma establece los límites máximos permitidos para descargas de efluentes que se efectúen a redes de alcantarillado, la cantidad máxima de contaminante permitida para los RILES se presenta en Tablas 2.

Tabla 2:  
Límites máximos permitidos para descargas de efluente que se efectúen a redes de alcantarillado

Parámetro	Unidad	Expresión	Sin PTAS	Con PTAS
Aceite y grasas	mg/L	A y G	150	150
Aluminio	mg/L	Al	10	10
Arsénico	mg/L	As	0,5	0,5
Boro	mg/L	B	4(1)	4(1)
Cadmio	mg/L	Cd	0,5	0,5
Cianuro	mg/L	CN-	1	1
Cobre	mg/L	Cu	3	3
Cromo Hexavalente	mg/L	Cr <sup>+6</sup>	0,5	0,5
Cromo Total	mg/L	Cr	10	10
Hidrocarburos Totales	mg/L	HC	20	20
Manganeso	mg/L	Mn	4	4
Mercurio	mg/L	Hg	0,02	0,02
Níquel	mg/L	Ni	4	4
PH	Unidad	PH	5,5-9,0	5,5-9,0
Plomo	mg/L	Pb	1	1
Poder Espumoso	mg/L	PE	7	7
Sólidos Sedimentables	mg/L1h	S.D.	20	20
Sulfatos	mg/L	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	1.000(2)	1.000(2)
Sulfuros	mg/L	S <sup>-2</sup>	5	5
Temperatura	°C	T°	35	35
Zinc	mg/L	Zn	5	5
DBO5	mg/L	DBO5	(+3)	(+3)
Fósforo	mg/L	P	10-45(4)	10-15(4)
Nitrógeno Amoniacal	mg/L	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	80	80
SST	mg/L	S.S.T	300	300

<sup>1</sup>Si el contenido natural en la fuente de agua potable del establecimiento industrial (distribuida por el prestador de servicios sanitarios o fuente propia) es mayor al indicado en la tabla, el límite máximo del parámetro en la descarga será igual al contenido natural del mismo.

<sup>2</sup>Se aceptará concentraciones entre 1.000 y 1.500 mg/L, si se cumplen las siguientes condiciones: a) pH= 8-9 ; b) temperatura del residuo industrial líquido (°C) < temperatura de las aguas receptoras.

<sup>3</sup>Para el cumplimiento del parámetro DBO5, se deberán verificar en forma simultánea las siguientes condiciones: a) El volumen de descarga mensual, VDM (L/mes) no debe exceder el correspondiente al mes de mayor descarga del año 1995. y b) La carga mensual de DBO5, CM (g/mes), debe ser menor o igual a 0,75 g/L, multiplicado por el volumen de descarga mensual, VDM (L/mes).

<sup>4</sup>El parámetro Fósforo tendrá límite máximo permitido de 15 mg/L. En aquellos riles descargados en sistemas de alcantarillado cuya disposición final se efectúa a un lago, laguna o embalse, naturales o artificiales, este parámetro tendrá límite máximo permitido de 10 mg/L.

El control de la norma es realizado por el ente fiscalizador, que corresponde al prestador de servicios sanitarios, sin perjuicio de las facultades de inspección y supervigilancia que le corresponden a la Superintendencia de Servicios Sanitarios y a los Servicios de Salud en las atribuciones de orden general que en materia de salud pública se refiere.

### 1.2.7 D.S.N°146/97 de MINSEGPRES, "Norma de Emisión de Ruidos Molestos Generados por Fuentes Fijas"

Esta es una norma de emisión que protege a la comunidad que se ve afectada por problemas de contaminación acústica, desde el punto de vista de la salud pública, y que son originados por las molestias generadas por el ruido producido por fuentes fijas.

Específicamente, protege a aquellas personas que pudieran estar afectadas por altos niveles de ruido generado por fuentes fijas, o que pudieran sufrir molestias, en lugares habitables tales como sus viviendas, su lugar de trabajo (por fuente distinta a su propia fuente laboral), de descanso o de esparcimiento, entre otras.

Están sujetos a esta norma todas las actividades, proceso u operación, que se realice dentro de una propiedad, sea pública o privada, y que genere o pueda generar ruidos molestos hacia la comunidad. Esto es independiente de las fuentes que involucre, sean estacionarias, móviles, esporádicas o permanentes.

Establece los niveles máximos permisibles de presión sonora corregidos y los criterios técnicos para evaluar y calificar la emisión de ruidos molestos generados por fuentes fijas hacia la comunidad. Los límites máximos permisibles se presentan en Tabla 3.

Tabla 3:

Niveles máximos permisibles para fuentes fijas emisoras de ruido

NIVELES MÁXIMOS PERMISIBLES DE PRESIÓN SONORA CORREGIDOS (NPC) EN dB(A) LENTO		
Zona	De 21 a 7 Hrs.	De 7 a 21 Hrs.
Zona I	55	45
Zona II	60	50
Zona III	65	55
Zona IV	70	70

Les corresponde a los Servicios de Salud del país, y en la Región Metropolitana, al Servicio de Salud del Ambiente de la Región Metropolitana, fiscalizar el cumplimiento de las disposiciones de la presente norma, sin perjuicio de las atribuciones específicas que correspondan a los demás organismos públicos con competencia en la materia.

### 1.2.8 D.S N°594/99 del MISAL, "Reglamento Sobre Condiciones Sanitarias y Ambientales Básicas en los Lugares de Trabajo".

El reglamento establece las condiciones sanitarias y ambientales básicas que deberá cumplir todo lugar de trabajo, además fija los límites permisibles de exposición ambiental a agentes químicos y agentes físicos, y aquellos límites de tolerancia biológica para trabajadores expuestos a riesgo ocupacional.

En relación con la contaminación ambiental, es responsabilidad del empleador proporcionar la protección adecuada.

De los agentes contaminantes normados en este reglamento nos interesa en especial el caso de Sulfuro de hidrogeno ( $H_2S$ ), con un límite permisible ponderado de 8 ppm y un límite permisible temporal de 15 ppm, producto de las emanaciones de olores que puedan existir. De los agentes físicos de nuestra atención, encontramos a los ruidos.

Le corresponde a los Servicios de Salud del país, y en la Región Metropolitana, al Servicio de Salud del Ambiente, fiscalizar y controlar el cumplimiento de las disposiciones del presente reglamento, sin perjuicio de las atribuciones específicas que correspondan a los demás organismos públicos con competencia en la materia.

#### **1.2.9 D.S.90/01: “Norma de Emisión para la Regulación de Contaminantes asociados a las Descargas de Residuos Líquidos a Aguas Superficiales”.**

La presente norma tendrá como objetivo la protección del medio ambiente y prevenir la contaminación de los cuerpos de aguas superficiales (continentales y marinos) de la República, mediante el control de los residuos líquidos que se descargan a estos cuerpos receptores. Con lo anterior, se logra mejorar sustancialmente la calidad ambiental de las aguas de manera que éstos mantengan o alcancen la condición de ambientes libres de contaminación, de conformidad con la Constitución y las Leyes de la República.

Es una norma de emisión donde se establecen las concentraciones máximas permitidas para contaminantes medidos en el efluente de la fuente emisora, descargados por los establecimientos emisores a los cuerpos de agua superficiales de la República de Chile.

Esta norma protege a los cuerpos de aguas los cuales pueden ser ríos con o sin capacidad de dilución de contaminantes, cuerpos de agua lacustres, agua marinos tanto dentro como fuera de la protección litoral, de esta forma se establecen límites máximos permitidos para la descarga de los residuos líquidos. Según el tipo de cuerpo receptor se presentan diferentes límites máximos de descargas de residuos los que se muestran en Tablas 4 al 6.

**Tabla 4**  
**Límites máximos permitidos para la Descarga de Residuos Líquidos a Cuerpos de Agua fluviales sin capacidad de dilución del cuerpo receptor**

Contaminantes	Unidad	Expresión	Límite máximo permitido
Aceites y Grasas	mg/L	A y G	20
Aluminio	mg/L	Al	5
Arsénico	mg/L	As	0,5
Boro	mg/L	B	0,75
Cadmio	mg/L	Cd	0,01
Cianuro	mg/L	CN <sup>-</sup>	0,20
Cloruros	mg/L	Cl <sup>-</sup>	400
Cobre Total	mg/L	Cu	1
Coliformes Fecales o Termotolerantes	NMP/100 ml	Coli/100 ml	1.000
Índice de Fenol	mg/L	Fenoles	0,5
Cromo Hexavalente	mg/L	Cr <sup>6+</sup>	0,05
DBO <sub>5</sub>	mg O <sub>2</sub> /L	DBO <sub>5</sub>	35 *
Fósforo Total	mg/L	P	10
Flúor	mg/L	F	1,5
Hidrocarburos Fijos	mg/L	HF	10
Hierro Disuelto	mg/L	Fe	5
Manganeso	mg/L	Mn	0,3
Mercurio	mg/L	Hg	0,001
Molibdeno	mg/L	Mo	1 **
Níquel	mg/L	Ni	0,2
Nitrógeno Total Kjeldahl	mg/L	NKT	50
Pentaclorofenol	mg/L	C <sub>6</sub> OHCl <sub>5</sub>	0,009
PH	Unidad	PH	6,0 -8,5
Plomo	mg/L	Pb	0,05
Poder Espumógeno	Mm	PE	7
Selenio	mg/L	Se	0,01
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	SS	80 *
Sulfatos	mg/L	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	1.000 ***
Sulfuros	mg/L	S <sup>2-</sup>	1
Temperatura	C°	T°	35
Tetracloroetano	mg/L	C <sub>2</sub> Cl <sub>4</sub>	0,04
Tolueno	mg/L	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> CH <sub>3</sub>	0,7
Triclorometano	mg/L	CHCl <sub>3</sub>	0,2
Xileno	mg/L	C <sub>6</sub> H <sub>4</sub> C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	0,5
Zinc	mg/L	Zn	3

\* = Se debe descontar el contenido de algas, para efluentes de plantas de tratamientos de aguas servidas domésticas.

\*\*= Para las descargas que se produzcan en el estero Carén ubicado en la Región Metropolitana, el límite máximo permitido será, como molibdeno disuelto, 2,5 mg/L.

\*\*\*= Para las descargas que se produzcan en el estero Carén ubicado en la Región Metropolitana, el límite máximo permitido será, como sulfato disuelto, 2000 mg/L.

**Tabla 5**  
**Límites máximos permitidos para la descarga de residuos líquidos cuerpos de agua fluviales considerando la capacidad de dilución del receptor**

Contaminantes	Unidad	Expresión	Límite máximo permitido
Aceites y Grasas	mg/L	A y G	50
Aluminio	mg/L	Al	10
Arsénico	mg/L	As	1
Boro	mg/L	B	3
Cadmio	mg/L	Cd	0,3
Cianuro	mg/L	CN <sup>-</sup>	1
Cloruros	mg/L	Cl <sup>-</sup>	2.000
Cobre Total	mg/L	Cu	3
Coliformes Fecales o Termotolerantes	NMP/100 ml	Coli/100 ml	1.000
Índice de Fenol	mg/L	Fenoles	1
Cromo Hexavalente	mg/L	Cr <sup>6+</sup>	0,2
DBO <sub>5</sub>	Mg O <sub>2</sub> /L	DBO <sub>5</sub>	300
Flúor	mg/L	F	5
Fósforo Total	mg/L	P	15
Hidrocarburos Fijos	mg/L	HF	50
Hierro Disuelto	mg/L	Fe	10
Manganeso	mg/L	Mn	3
Mercurio	mg/L	Hg	0,01
Molibdeno	mg/L	Mo	2,5
Níquel	mg/L	Ni	3
Nitrógeno Total Kjeldahl	mg/L	NKT	75
Pentaclorofenol	mg/L	C <sub>6</sub> OHCl <sub>5</sub>	0,01
PH	Unidad	PH	6,0 -8,5
Plomo	mg/L	Pb	0,5
Poder Espumógeno	Mm	PE	7
Selenio	mg/L	Se	0,1
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	SS	300
Sulfatos	mg/L	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	2.000
Sulfuros	mg/L	S <sup>2-</sup>	10
Temperatura	C°	T°	40
Tetracloroetano	mg/L	C <sub>2</sub> Cl <sub>4</sub>	0,4
Tolueno	mg/L	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> CH <sub>3</sub>	7
Triclorometano	mg/L	CHCl <sub>3</sub>	0,5
Xileno	mg/L	C <sub>6</sub> H <sub>4</sub> C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	5
Zinc	mg/L	Zn	20

**Tabla 6**  
**Límites máximos permitidos para la descarga de residuos líquidos a cuerpos de agua marinos dentro de la zona litoral.**

Contaminantes	Unidad	Expresión	Límite máximo permitido
Aceites y Grasas	mg/L	A y G	20
Aluminio	mg/L	Al	1
Arsénico	mg/L	As	0,2
Cadmio	mg/L	Cd	0,02
Cianuro	mg/L	CN <sup>-</sup>	0,5
Cobre Total	mg/L	Cu	1
Coliformes Fecales o Termotolerantes	NMP/100 ml	Coli/100 ml	1.000-70 (1)
Índice de Fenol	mg/L	Fenoles	0,5
Cromo Hexavalente	mg/L	Cr <sup>6+</sup>	0,2
Cromo Total	mg/L	Cr total	2,5
DBO <sub>5</sub>	mg O <sub>2</sub> /L	DBO <sub>5</sub>	60
Estaño	mg/L	Sn	0,5
Flúor	mg/L	F	1,5
Fósforo Total	mg/L	P	5
Hidrocarburos Totales	mg/L	HT	10
Hierro Disuelto	mg/L	Fe	10
Manganeso	mg/L	Mn	2
Mercurio	mg/L	Hg	0,005
Molibdeno	mg/L	Mo	0,1
Níquel	mg/L	Ni	2
Nitrógeno Total Kjeldahl	mg/L	NKT	50
PH	Unidad	PH	6,0 -9,0
Plomo	mg/L	Pb	0,2
SAAM	mg/L	SAAM	10
Selenio	mg/L	Se	0,01
Sólidos Sedimentables	mg/L*1h	S SED	5
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	SS	100
Sulfuros	mg/L	S <sup>2-</sup>	1
Temperatura	C°	T°	30
Zinc	mg/L	Zn	5

(1) En áreas aptas para la acuicultura y zonas de destinación pesquera, no se deben sobrepasar los 10 NMP/100ml.

La fiscalización de la presente norma corresponde a la Superintendencia de Servicio Sanitario y a la Dirección General del Territorio Marítimo y Marina Mercante cuando las descargas se produzcan a las aguas sometidas a la jurisdicción nacional.

La presente norma entrará en vigencia 180 días después de su publicación en el Diario Oficial.

### 1.3 NORMAS ACTUALMENTE EN ESTUDIO

Según CONAMA, en lo que se refiere a herramientas normativas en el tema de la Gestión Ambiental de los Recursos Hídricos, las necesidades básicas las constituyen la generación de normas de calidad para aguas marinas y continentales (superficiales y subterráneas) y normas de emisión para residuos líquidos.

En este sentido, se espera que más adelante se elaboren las normas de Calidad para Aguas Subterráneas y para Aguas Marinas. Por el momento CONAMA se encuentra recopilando antecedentes y realizando los estudios necesarios para establecer los niveles de exposición o carencia, para la protección o conservación de estos medios acuáticos.

Actualmente se estudia el anteproyecto "Reglamento para el Manejo de Lodos no Peligrosos generados en plantas de tratamiento de aguas". Este proyecto se encuentra sometido a consulta por lo que no han entrado en vigencia, razón por lo cual se advierte su futura aplicación, lo que hace necesario revisar en las próximas etapas del estudio la forma en que el proyecto de saneamiento analizado se vincularía con esta nueva normativa.

A continuación se presentan algunos aspectos del Anteproyecto de Reglamento para el Manejo de Lodos No Peligrosos generados en Plantas de Tratamiento de Aguas

Este reglamento tendrá como objetivo regular el manejo sanitario de lodos no peligrosos provenientes de plantas de tratamiento de aguas. Valido para plantas de agua potable, de aguas servidas, incluyendo fosas sépticas, así como para plantas de tratamiento de residuos industriales líquidos. Con ello se busca proteger la salud de la población y prevenir el deterioro de los recursos naturales, aire, agua, flora, fauna y suelo. Además, regula el uso y manejo de lodos no peligrosos en la agricultura, cuando sus condiciones físicas, químicas y biológicas lo permiten, se consideran como lodos no peligrosos aquellos que no presentan ninguna característica de toxicidad, toxicidad por lixiviación, reactividad, inflamabilidad o corrosividad.

Los lodos, deberán cumplir con los requisitos previstos en esta norma, para efectos de su transporte, tratamiento, disposición final o uso agrícola.

Se establece las condiciones técnicas de operación, monitoreo y seguimiento de lodos destinados a uso agrícola, por lo tanto, deberán cumplir con criterios sanitarios, contenidos totales de metales pesados y una evaluación ecotoxicológica. Por lo tanto, se prohíbe la aplicación de lodos en suelos de uso agrícola, forestal o en jardines, cuando los análisis indiquen que los contenidos que sobrepasen cualquiera de las concentraciones máximas señaladas en la Tabla 7.

**Tabla 7**  
**Concentraciones máximas de metales pesados en lodos de uso agrícola**

Metal Pesado	Concentración máxima en mg/kg. De lodo (base seca) <sup>1</sup>
Arsénico	40
Cadmio	40
Cobre	1.500
Mercurio	20
Níquel	420
Plomo	300
Selenio	1.000
Zinc	2.800

<sup>1</sup> Concentraciones expresadas como contenidos totales

**ANEXO 2.1.1**

---

**AGUA POTABLE**

Antecedentes de Agua potable en la Región considerando las diferentes fuentes

	POZO	Arsénico <sup>1</sup>	Cadmio <sup>1</sup>	Cianuro <sup>1</sup>	Cloruros	Cobre	Fenoles <sup>1</sup>	Cromo <sup>1</sup>	Detergentes <sup>1</sup>	Fluor	Hierro	Manganeso	Mercurio <sup>1</sup>	Plomo <sup>1</sup>	Selenio <sup>1</sup>	Zinc
Copiapo	Placilla 1	0.001	0.001	0.005	353.6	0.005	0.001	0.001	0.005	0.97	0.05	0.005	0.001	0.001	0.001	0.019
	Placilla 4	0.001	0.001	0.005	330.1	0.011	0.001	0.001	0.005	0.96	0.009	0.004	0.001	0.001	0.001	0.001
	Placilla 6	0.001	0.001	0.005	259.3	0.002	0.001	0.001	0.005	0.83	0.01	0.006	0.001	0.001	0.001	0.028
	San Miguel 1	0.001	0.001	0.005	132.0	0.003	0.001	0.001	0.005	0.58	0.003	0.001	0.001	0.001	0.001	0.005
	San Miguel 2	0.001	0.001	0.005	113.2	0.001	0.001	0.001	0.005	0.73	0.011	0.009	0.001	0.001	0.001	0.027
	San Miguel 3	0.001	0.001	0.005	132.0	0.002	0.001	0.001	0.005	0.66	0.014	0.011	0.001	0.001	0.001	0.004
	San Miguel 4	0.001	0.001	0.005	165.3	0.003	0.001	0.001	0.005	0.8	0.01	0.005	0.001	0.001	0.001	0.004
	Rosario 2	0.001	0.001	0.005	235.8	0.007	0.001	0.001	0.005	0.6	0.009	0.004	0.001	0.001	0.001	0.006
	Nantoco 2	0.001	0.001	0.005	132.0	0.007	0.001	0.001	0.005	0.5	0.018	0.007	0.001	0.001	0.001	0.019
	Nantoco 3	0.001	0.001	0.005	141.5	0.005	0.001	0.001	0.005	0.9	0.022	0.011	0.001	0.001	0.001	0.014
	Nantoco 4	0.001	0.001	0.005	122.6	0.001	0.001	0.001	0.005	0.9	0.012	0.009	0.001	0.001	0.001	0.003
	Promedio	0.001	0.001	0.005	192.5	0.004	0.001	0.001	0.005	0.77	0.015	0.007	0.001	0.001	0.001	0.012
Valleparaiso	N°1047	0.001	0.001	0.005	75.4	0.002	0.001	0.001	0.005	0.94	0.027	0.008	0.001	0.002 <sup>2</sup>	0.001	0.004
	N°792	0.001	0.001	0.005	61.3	0.003	0.001	0.001	0.005	0.91	0.009	0.001	0.001	0.001	0.001	0.003
	N°1049	0.001	0.001	0.005	51.9	0.008	0.001	0.001	0.005	0.89	0.14	0.016	0.001	0.001	0.001	0.019
	Prat N°1	0.001	0.001	0.005	75.4	0.002	0.001	0.001	0.005	0.81	0.18	0.007	0.001	0.001	0.001	0.046
	N°793	0.001	0.001	0.005	56.6	0.001	0.001	0.001	0.005	0.77	0.003	0.006	0.001	0.001	0.001	0.001
	N°201	0.001	0.001	0.005	47.2	0.017	0.001	0.001	0.005	0.7	0.045	0.016	0.001	0.001	0.001	0.015
	Torino N°3	0.001	0.001	0.005	37.7	0.003	0.001	0.001	0.005	0.73	0.02	0.002	0.001	0.001	0.001	0.013
	Vert. Potrerillos	0.001	0.001	0.005	42.4	0.009	0.001	0.001	0.005	0.54	0.044	0.013	0.001	0.001	0.001	0.003
Promedio	0.001	0.001	0.005	56.0	0.006	0.001	0.001	0.005	0.79	0.059	0.009	0.001	0.001	0.001	0.013	
Tierra Amarilla	Nantoco 2	0.001	0.001	0.005	132.0	0.007	0.001	0.001	0.005	0.5	0.018	0.007	0.001	0.001	0.001	0.019
	Nantoco 3	0.001	0.001	0.005	141.5	0.005	0.001	0.001	0.005	0.9	0.022	0.011	0.001	0.001	0.001	0.014
	Nantoco 4	0.001	0.001	0.005	122.6	0.001	0.001	0.001	0.005	0.9	0.012	0.009	0.001	0.001	0.001	0.003
	Promedio	0.001	0.001	0.005	132.0	0.004	0.001	0.001	0.005	0.77	0.017	0.009	0.001	0.001	0.001	0.012
Freirina	Los Chorros 200	0.001	0.001	0.005	194.0	0.009	0.001	0.001	0.005	0.9	0.039	0.009	0.001	0.001	0.001	0.005
	Los Chorros 300	0.001	0.001	0.005	324.3	0.007	0.001	0.001	0.005	0.7	0.07	0.012	0.001	0.001	0.001	0.009
	Promedio	0.001	0.001	0.005	259.2	0.008	0.001	0.001	0.005	0.80	0.055	0.011	0.001	0.001	0.001	0.007
Diego de Almagro y El Salado	La finca 1	0.001	0.001	0.005	113.2	0.002	0.001	0.001	0.005	0.67	0.027	0.012	0.001	0.001	0.001	0.033
	La finca 2	0.001	0.001	0.005	103.7	0.007	0.001	0.001	0.005	0.7	0.036	0.005	0.001	0.001	0.001	0.031
	La finca 3	0.001	0.001	0.005	113.2	0.012	0.001	0.001	0.005	0.2	0.005	0.001	0.001	0.001	0.001	0.023
	La finca 4	0.001	0.001	0.005	94.3	0.002	0.001	0.001	0.005	0.62	0.071	0.01	0.001	0.001	0.001	0.055
	Quebrada Asiento	0.001	0.001	0.005	259.3	0.003	0.001	0.001	0.005	0.8	0.008	0.005	0.001	0.001	0.001	0.028
	Promedio	0.001	0.001	0.005	136.7	0.0052	0.001	0.001	0.005	0.60	0.0294	0.0066	0.001	0.001	0.001	0.034
Caldera y Chañaral	Vicuña 1	0.002 <sup>2</sup>	0.001	0.005	286.3	0.002	0.001	0.001	0.005	0.75	0.065	0.006	0.001	0.001	0.001	0.005
	Vicuña 3	0.001	0.001	0.005	235.8	0.007	0.001	0.001	0.005	0.6	0.009	0.004	0.001	0.001	0.001	0.006
	Vicuña 4	0.001	0.001	0.005	132.0	0.009	0.001	0.001	0.005	0.69	0.611	0.005	0.001	0.001	0.001	0.02
	Vicuña 5	0.002 <sup>2</sup>	0.001	0.005	306.5	0.002	0.001	0.001	0.005	0.75	0.065	0.006	0.001	0.001	0.001	0.005
	Promedio	0.002 <sup>2</sup>	0.001	0.005	240.2	0.005	0.001	0.001	0.005	0.70	0.188	0.005	0.001	0.001	0.001	0.009

Fuente: Archivos EMSSAT, 2000

<sup>1</sup>valor menor al indicado      <sup>2</sup>valor indicado

**ANEXO 2.1.2-a**

---

**AFLUENTES**

Tabla 1:  
Muestras compuestas realizadas para los afluentes de la Región

PARAMETRO	UNIDAD	Copiapó	Caldera			
		Ago-99	Ene-91	Ago-98	Feb-00	Abr-00
QMEDIO	(L/s)	202	12,4	11,65	31,91	15,45
Aceites y Grasas	mg/L		180	69	66,9	31,3
Aluminio	mg/L				0,04 <sup>1</sup>	0,24
Arsénico	mg/L				0,005 <sup>1</sup>	0,006
Benceno	mg/L					
Boro	mg/L			1,12	1,36	1,95
Cadmio	mg/L			0,01 <sup>1</sup>	0,01 <sup>1</sup>	0,01 <sup>1</sup>
Cianuro	mg/L			0,05 <sup>1</sup>	0,05 <sup>1</sup>	0,05 <sup>1</sup>
Cloruros	mg/L				362	278
Cobre Total	mg/L	0,13 <sup>2</sup>		0,07	0,07	0,1
Coliformes Fecales	NMP/100ml		2.40E+07	2.30E+07		
Compuestos Fenólicos	mg/L				0,021	0,055
Cromo Hexavalente	mg/L				0,01 <sup>1</sup>	0,01 <sup>1</sup>
DBO5	mg O2/L	315 <sup>2</sup>	460	372	530	230
DQO	mg/L		800	709		
Fósforo Total	mg/L	14,6 <sup>2</sup>	6,85	8,15	9,52	13,3
Flúor	mg/L				0,42	0,4
Hidrocarburos Fijos	mg/L				25,5	5 <sup>1</sup>
Hierro Disuelto	mg/L	0,74 <sup>2</sup>		0,6	0,32	0,01
Manganeso	mg/L				0,08	0,04
Mercurio	mg/L	0,001 <sup>1</sup>		0,001	0,001 <sup>1</sup>	0,001 <sup>1</sup>
Molibdeno	mg/L			0,1 <sup>1</sup>	0,01 <sup>1</sup>	0,01 <sup>1</sup>
Níquel	mg/L			0,05 <sup>1</sup>	0,01 <sup>1</sup>	0,01 <sup>1</sup>
Nitrógeno Amoniacal	mg/L	41,8 <sup>2</sup>				
Nitrógeno Total Kjeldahl	mg/L	62,8 <sup>2</sup>	122,1	65	48	72,8
Pentaclorofenol	mg/L				0,01 <sup>1</sup>	0,01 <sup>1</sup>
PH	Unidad	7,8			7,49	7,4
Plomo	mg/L			0,04	0,03 <sup>1</sup>	0,03 <sup>1</sup>
Poder Espumoso	mm				2 <sup>1</sup>	2 <sup>1</sup>
Selenio	mg/L				0,005	0,001
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	273 <sup>2</sup>	314	208	180	153
Sulfatos	mg/L			718	574	791
Sulfuros	mg/L			1,2	1,04	3,06
Temperatura	C°	20,4				
Tetracloroetano	mg/L				0,01 <sup>1</sup>	0,01 <sup>1</sup>
Tolueno	mg/L				0,01 <sup>1</sup>	0,01 <sup>1</sup>
Triclorometano	mg/L					
Xileno	mg/L				0,01 <sup>1</sup>	0,01 <sup>1</sup>
Zinc	mg/L				0,1	0,14

(continua)

Tabla 1(continuación):  
Muestras compuestas realizadas para los afluentes de la Región

PARAMETRO	UNIDAD	Vallenar	Chañaral			
		Jul-00	Nov-86	Ago-98	Feb-00	Abr-00
QMEDIO	(L/s)	173,6		12,97		
Aceites y Grasas	mg/L			78	27,3	19
Aluminio	mg/L				0,24	0,17
Arsénico	mg/L				0,006	0,008
Benceno	mg/L					
Boro	mg/L			1,12	2,34	2,84
Cadmio	mg/L			0,01 <sup>1</sup>	0,01 <sup>1</sup>	0,01 <sup>1</sup>
Cianuro	mg/L			0,05 <sup>1</sup>	0,05 <sup>1</sup>	0,05 <sup>1</sup>
Cloruros	mg/L				651	656
Cobre Total	mg/L	0,253 <sup>2</sup>		0,12	0,07	0,12
Coliformes Fecales	NMP/100ml		7.20E+07	1.30E+07		
Compuestos Fenólicos	mg/L				0,002 <sup>1</sup>	0,002 <sup>1</sup>
Cromo Hexavalente	mg/L				0,01 <sup>1</sup>	0,01 <sup>1</sup>
DBO5	Mg O2/L	142 <sup>2</sup>		455	155	280
DQO	mg/L	226 <sup>2</sup>		760		
Fósforo Total	mg/L	4,29		6,6	5,71	10,5
Flúor	mg/L				0,4	0,41
Hidrocarburos Fijos	mg/L				5 <sup>1</sup>	5 <sup>1</sup>
Hierro Disuelto	mg/L	0,337 <sup>2</sup>		0,94	0,34	0,53
Manganeso	mg/L				0,03	0,07
Mercurio	mg/L	0,0002		0,004	0,001 <sup>1</sup>	0,001 <sup>1</sup>
Molibdeno	mg/L			0,1 <sup>1</sup>	0,01 <sup>1</sup>	0,01 <sup>1</sup>
Níquel	mg/L			0,05 <sup>1</sup>	0,01 <sup>1</sup>	0,01 <sup>1</sup>
Nitrógeno Amoniacal	mg/L	20				
Nitrógeno Total Kjeldahl	mg/L	35		94,4	31	61,6
Pentaclorofenol	mg/L				0,01 <sup>1</sup>	0,01 <sup>1</sup>
PH	Unidad	7,31	7,5		7,77	7,54
Plomo	mg/L			0,05	0,03 <sup>1</sup>	0,03 <sup>1</sup>
Poder Espumoso	mm				7	6
Selenio	mg/L				0,003	0,003
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	75 <sup>2</sup>		224	60	200
Sulfatos	mg/L			763	727	633
Sulfuros	mg/L			1,8	1,1	4,04
Temperatura	C°	18,3				
Tetracloroetano	mg/L				0,01 <sup>1</sup>	0,01 <sup>1</sup>
Tolueno	mg/L				0,01 <sup>1</sup>	0,01 <sup>1</sup>
Triclorometano	mg/L					
Xileno	mg/L				0,01 <sup>1</sup>	0,01 <sup>1</sup>
Zinc	mg/L				2,2	0,26

(continua)

Tabla 1 (continuación):  
Muestras compuestas realizadas para los afluentes de la Región

PARAMETRO	UNIDAD	Freirina		Diego de Almagro		
		May-99	Oct-00	May-99	Ene-93	Oct-00
QMEDIO	(L/s)		6,6	5,06		9,6
Aceites y Grasas	mg/L		21,4		41,6	9,2
Aluminio	mg/L		0,17			0,76
Arsénico	mg/L		0,0065			0,0057
Benceno	mg/L		n.d.			
Boro	mg/L		0,81			1,16
Cadmio	mg/L		0,002 <sup>1</sup>			0,002 <sup>1</sup>
Cianuro	mg/L		0,02 <sup>1</sup>			0,02 <sup>1</sup>
Cloruros	mg/L	324,75	373			176
Cobre Total	mg/L	0,057	0,06	0,139		0,12
Coliformes Fecales	NMP/100ml		1.30E+07		5.40E+07	1.60E+07
Compuestos Fenólicos	mg/L		0,002 <sup>1</sup>			0,002 <sup>1</sup>
Cromo Hexavalente	mg/L		0,006 <sup>1</sup>			0,006 <sup>1</sup>
DBO5	Mg O2/L	109	160/ 130 <sup>2</sup>	389	90	220/ 325 <sup>2</sup>
DQO	mg/L	195				
Fósforo Total	mg/L	1,3	7,96/ 10,1 <sup>2</sup>	6,06		13,4/16.4 <sup>2</sup>
Flúor	mg/L		0,4			0,44
Hidrocarburos Fijos	mg/L		5 <sup>1</sup>			5 <sup>1</sup>
Hierro Disuelto	mg/L	0,66	0,49	1,395		0,88
Manganeso	mg/L		0,14			0,055
Mercurio	mg/L	0,0002	0,0005 <sup>1</sup>	0,0033		0,0005 <sup>1</sup>
Molibdeno	mg/L		0,01 <sup>1</sup>			0,01 <sup>1</sup>
Níquel	mg/L		0,01 <sup>1</sup>			0,01 <sup>1</sup>
Nitrógeno Amoniacal	mg/L	35		60		
Nitrógeno Total Kjeldahl	mg/L	42	42/ 50,1 <sup>2</sup>	67	7,8	81,2/ 83,4 <sup>2</sup>
Pentaclorofenol	mg/L		n.d.			n.d.
PH	Unidad		7,52	8,16	6,76	7,82
Plomo	mg/L		0,03 <sup>1</sup>			0,04
Poder Espumoso	mm		4			4
Selenio	mg/L		0,002			0,002
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	124	82/ 146 <sup>2</sup>	322		147/ 376 <sup>2</sup>
Sulfatos	mg/L		449			782
Sulfuros	mg/L		0,51			1,8
Temperatura	C°		19,5	22,8	24,05	22,7
Tetracloroetano	mg/L		n.d.			n.d.
Tolueno	mg/L		n.d.			n.d.
Triclorometano	mg/L		n.d.			n.d.
Xileno	mg/L		n.d.			n.d.
Zinc	mg/L		0,08			0,19

(continua)

Tabla 1(continuación):  
Muestras compuestas realizadas para los afluentes de la Región

PARAMETRO	UNIDAD	El Salado		Tierra Amarilla	
		Jun-99	Oct-00	Mar-99	Oct-00
QMEDIO	(L/s)	1,15	1,31		18,9
Aceites y Grasas	mg/L		24,2		29,3
Aluminio	mg/L		0,55		0,09
Arsénico	mg/L		0,0034		0,0044
Benceno	mg/L		n.d.		
Boro	mg/L		1,94		1,23
Cadmio	mg/L		0,002 <sup>1</sup>		0,002 <sup>1</sup>
Cianuro	mg/L		0,02 <sup>1</sup>		0,02 <sup>1</sup>
Cloruros	mg/L	7.332	514		156
Cobre Total	mg/L	0,33	0,42	0,286	0,07
Coliformes Fecales	NMP/100ml		9.20E+07		
Compuestos Fenólicos	mg/L		0,002 <sup>1</sup>		0,002 <sup>1</sup>
Cromo Hexavalente	mg/L		0,006 <sup>1</sup>		0,006 <sup>1</sup>
DBO5	mg O2/L	106	235/ 264 <sup>2</sup>	265	100/ 201 <sup>2</sup>
DQO	mg/L	234			
Fósforo Total	mg/L	2,02	17,2/ 11,6 <sup>2</sup>	6,67	11,3/ 14,5 <sup>2</sup>
Flúor	mg/L		0,45		0,57
Hidrocarburos Fijos	mg/L		5 <sup>1</sup>		5 <sup>1</sup>
Hierro Disuelto	mg/L	1,246	1,82	1,31	0,28
Manganeso	mg/L		0,13		0,033
Mercurio	mg/L	0,0002	0,0005 <sup>1</sup>	0,00047	0,0005 <sup>1</sup>
Molibdeno	mg/L		0,01 <sup>1</sup>		0,01 <sup>1</sup>
Níquel	mg/L		0,01 <sup>1</sup>		0,01 <sup>1</sup>
Nitrógeno Amoniacal	mg/L	34,7		47,6	
Nitrógeno Total Kjeldahl	mg/L	45	92,4/ 58,7 <sup>2</sup>		56/ 68,4 <sup>2</sup>
Pentaclorofenol	mg/L		n.d.		n.d.
PH	Unidad				7,77
Plomo	mg/L		0,05		0,03 <sup>1</sup>
Poder Espumoso	mm		4		4
Selenio	mg/L		0,006		0,002
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	208	213/ 107 <sup>2</sup>	228	78/ 204 <sup>2</sup>
Sulfatos	mg/L		646		556
Sulfuros	mg/L		4,8		1,2
Temperatura	C°				21,5
Tetracloroetano	mg/L		n.d.		n.d.
Tolueno	mg/L		n.d.		n.d.
Triclorometano	mg/L		n.d.		n.d.
Xileno	mg/L		n.d.		n.d.
Zinc	mg/L		0,18		

<sup>1</sup>menor que el valor informado

<sup>2</sup>valor determinado por muestra compuesta en gabinete



Tabla 2:  
Antecedentes de muestras puntuales promedio del afluente de Copiapó

TIEMPO (Horas)	Caudal L/s					Demanda Bioquímica de Oxígeno mg/L					Demanda Química de Oxígeno mg/L				
	1996	1997	1998	1999	2000	1996	1997	1998	1999	2000	1996	1997	1998	1999	2000
0:00-02:00	103			195	119	209					482				
02:00-04:00	72			136	71	169				207	396			404	
04:00-06:00	53			102	67	93					234				
06:00-08:00	62			102	65	68				101	167			300	
08:00-10:00	153	170	209	129	178	230	279	273	354		535	648	550	562	
10:00-12:00	191	189	213	205	208	242	272	330	330	311	609	630	622	612	629
12:00-14:00	202	212	202	249	240	261	303	297	339	279	605	635	495	674	643
14:00-16:00	225			280	277	278					637			642	
16:00-18:00	219				269	330					728	621			
18:00-20:00	208			267	232	281				375	575			734	
20:00-22:00	177			201	196	265					748				
22:00-00:00	149			229	186	242					622			610	

(continua)

Tabla 2:  
Antecedentes de muestras puntuales promedio del afluente de Copiapó

TIEMPO (Horas)	Turbiedad NTU					Sólidos Suspendedos Totales mg/L				
	1996	1997	1998	1999	2000	1996	1997	1998	1999	2000
0:00-02:00										
02:00-04:00				206					144	
04:00-06:00										
06:00-08:00				92					36	
08:00-10:00	325	321	260	301		311	302	232	252	
10:00-12:00	336	314	303	293	295	313	301	276	273	291
12:00-14:00	340	354	335	326	317	336	344	272	286	304
14:00-16:00	341			324		321			346	
16:00-18:00		350								
18:00-20:00				354					360	
20:00-22:00										
22:00-00:00				288					232	

Tabla 3:  
Antecedentes de muestras puntuales promedio del afluente de Vallendar

TIEMPO (Horas)	Caudal L/s				Demanda Bioquímica de Oxígeno mg/L					Demanda Química de Oxígeno mg/L				
	1997	1998	1999	2000	1996	1997	1998	1999	2000	1996	1997	1998	1999	2000
0:00-02:00				173					66					170
02:00-04:00				164										126
04:00-06:00				155					66					83
06:00-08:00				153										98
08:00-10:00				185					87					114
10:00-12:00		194		219	125	219	234		196	419	482	388		175
12:00-14:00	163	183	202	225	150	201	208	226	218	456	503	366	367	302
14:00-16:00	167			231		207					451			319
16:00-18:00				222	184	160			255	480	404			407
18:00-20:00				209										323
20:00-22:00				201					174					239
22:00-00:00				195					230					204

(continua)

Tabla 3:  
Antecedentes de muestras puntuales promedio del afluente de Vallendar

TIEMPO (Horas)	Turbiedad NTU					Sólidos Suspendidos Totales mg/L				
	1996	1997	1998	1999	2000	1996	1997	1998	1999	2000
0:00-02:00					66					37
02:00-04:00					42					23
04:00-06:00					17					10
06:00-08:00					20					13
08:00-10:00					23					17
10:00-12:00	171	283			81	166	287	167		71
12:00-14:00	208	248		176	143	150	205	154	164	139
14:00-16:00		250			164		188			146
16:00-18:00	226	213			161	196	149			129
18:00-20:00					125					103
20:00-22:00					88					77
22:00-00:00					77					57

Tabla 4:  
Antecedentes de muestras puntuales promedio del afluente de Tierra Amarilla

TIEMPO (Horas)	Caudal L/s		Demanda Bioquímica de Oxígeno mg/L					Demanda Química de Oxígeno mg/L				
	1999	2000	1996	1997	1998	1999	2000	1996	1997	1998	1999	2000
0:00-02:00	9	14					120					
02:00-04:00	6	11				83					257	
04:00-06:00	6	6					12					
06:00-08:00	6	6				57					105	
08:00-10:00	13	23	154	228	266		140	533	516	523		
10:00-12:00	17	20	245	238	317	340	321	538	565	619	660	642
12:00-14:00	19	26	279	274	454	343	287	683	452	454	661	669
14:00-16:00	19	25			367	345				685	568	
16:00-18:00	18	26		248			279		504			840
18:00-20:00	17	25				299					500	
20:00-22:00	14	26					333					
22:00-00:00	13	20				237					538	

(continua)

Tabla 4:  
Antecedentes de muestras puntuales promedio del afluente de Tierra Amarilla

TIEMPO (Horas)	Turbiedad NTU					Sólidos Suspendidos Totales mg/L				
	1996	1997	1998	1999	2000	1996	1997	1998	1999	2000
0:00-02:00										100
02:00-04:00				121					61	
04:00-06:00										15
06:00-08:00				39					17	
08:00-10:00	254	241	252			213	205	220		138
10:00-12:00	269	289	286	293	271	250	269	224	283	275
12:00-14:00	312	303	392	306	275	290	258	284	308	272
14:00-16:00			337	277				249	243	
16:00-18:00		259			213		204			203
18:00-20:00				254					260	
20:00-22:00										380
22:00-00:00				214					184	



Tabla 6:  
Antecedentes de muestras puntuales promedio del afluente de Diego de Almagro

TIEMPO (Horas)	Caudal L/s			Demanda Bioquímica de Oxígeno mg/L					Demanda Química de Oxígeno mg/L				
	1993	1999	2000	1996	1997	1998	1999	2000	1996	1997	1998	1999	2000
0:00-02:00	4.94	5.20	0.3										
02:00-04:00		0.80	0.2				277	235				418	
04:00-06:00		0.50	0.8										
06:00-08:00	4.38	4.00	7.6				413	160				1028	
08:00-10:00	4.27	7.40	11.7				338	343				732	793
10:00-12:00	7.86	5.60	16.8	177	287		387	376	606	777		832	815
12:00-14:00	5.52	6.20	17.2		377	313	383	474		877	876	801	1161
14:00-16:00	5.23	6.20	17.1	301	414	351	407	470	728	570	793	999	
16:00-18:00	3.73	5.00	17.9	261			358	311	517		504	767	642
18:00-20:00	6.02	6.10	13.3				353	300				608	
20:00-22:00	5.13	7.40	7.7										
22:00-00:00	5.28	6.30	4.7				358	230				660	

(continua)

Tabla 6:  
Antecedentes de muestras puntuales promedio del afluente de Diego de Almagro

TIEMPO (Horas)	Turbiedad NTU					Sólidos Suspendedos Totales mg/L				
	1996	1997	1998	1999	2000	1996	1997	1998	1999	2000
0:00-02:00										
02:00-04:00				213					67	43
04:00-06:00										
06:00-08:00				722					532	835
08:00-10:00				399	287				374	302
10:00-12:00	335	343	370	369	405	276	288	276	360	387
12:00-14:00		444	555	443	407		427	440	406	561
14:00-16:00	303	449	415	377		336	370	325	385	390
16:00-18:00			282	426	332			297	352	323
18:00-20:00				337					276	230
20:00-22:00										
22:00-00:00				311					220	136

Tabla 7:  
Antecedentes de muestras puntuales promedio del afluente de El Salado

TIEMPO (Horas)	Caudal L/s		Demanda Bioquímica de Oxígeno				Demanda Química de Oxígeno mg/L			
	1999	2000	1997	1998	1999	2000	1997	1998	1999	2000
0:00-02:00	1.00	0.38								
02:00-04:00	0.60	0.28			20	510			82	
04:00-06:00	0.40	0.23								
06:00-08:00	0.60	0.52			15	265			128	
08:00-10:00	1.20	1.59			263				966	
10:00-12:00	1.00	1.59			325	287			1010	1400
12:00-14:00	1.50	2.60	276	216	363		783	416	1092	
14:00-16:00	1.90	3.48	325	353	269	177	616	771	695	1607
16:00-18:00	1.60	1.82	126		305		1141		1084	
18:00-20:00	1.60	1.55			145	290			320	
20:00-22:00	1.40	0.91								
22:00-00:00	1.00	0.78			103	230			189	

(continua)

Tabla 7:  
Antecedentes de muestras puntuales promedio del afluente de El Salado

TIEMPO (Horas)	Turbiedad NTU				Sólidos Suspendidos Totales mg/L			
	1997	1998	1999	2000	1997	1998	1999	2000
0:00-02:00			77					
02:00-04:00			58				93	670
04:00-06:00			39					
06:00-08:00			57				169	148
08:00-10:00			169				234	
10:00-12:00			229	228			263	231
12:00-14:00	300	321	256		324	289	251	
14:00-16:00	375	376	190	226	332	317	197	169
16:00-18:00	164		236		125		235	
18:00-20:00			198				164	24
20:00-22:00			149					
22:00-00:00			272				258	140

Tabla 8:  
Antecedentes de muestras puntuales promedio del afluente de Caldera

TIEMPO (Horas)	Caudal L/s		DBO5 mg/L		DQO	Turbiedad	SST
	1998	2000	1998	2000	2000	2000	2000
0:00-02:00	3.8	14.7	189	335			
02:00-04:00		12.0		238			
04:00-06:00	3.4	4.6	159	98			
06:00-08:00		7.7		123			
08:00-10:00	12.2	19.4	422	312	707	301	293
10:00-12:00		29.0		349	629	272	285
12:00-14:00	20.9	36.6	435	363			
14:00-16:00		39.9		470			
16:00-18:00	20.4	29.7	393	270			
18:00-20:00		32.0		353			
20:00-22:00	6.6	32.0	365	268			
22:00-00:00		26.7		385			

Tabla 9:  
Antecedentes de muestras puntuales promedio del afluente de Chañaral

TIEMPO (Horas)	Caudal L/s		DBO5 mg/L		DQO	Turbiedad	SST
	1998	2000	1998	2000	2000	2000	2000
0:00-02:00	9.2	11.7	155	120			
02:00-04:00		5.2		155			
04:00-06:00	9.1	7.8	304				
06:00-08:00		14.4		225			
08:00-10:00	13.2	23.6	471	377	895	319	318
10:00-12:00		21.7		387	809	327	333
12:00-14:00	12.3	24.8	435	330			
14:00-16:00		21.1		235			
16:00-18:00	21.5	22.1	444	287			
18:00-20:00		16.7					
20:00-22:00	10.2	14.2	507	258			
22:00-00:00		7.7		225			





**ANEXO 2.1.2-b**

---

**EFLUENTES**

Tabla 1:  
Resumen de la calidad del efluente de la planta de Copiapó

Parámetro	UNIDAD	NCh1.333	NCh90(*)	1996	1997	1998	1999	2000
Caudal	L/s					153,5	155,9	196,7
DBO	mg/L		35	31,5	32,5	49,7	46,9	51,8
DQO	mg/L			183,4	165,6	182	220,2	211,2
Turbiedad	NTU			174,9	161,8	185,4	222,2	251,4
pH	Unidad	5,5-9	6-8,5	7,51	7,68	7,57	7,52	7,44
SST	mg/L		80	65,1	56,7	54,7	63,4	61
Temperatura	°C		35	19,1	21,7		21,3	
Coliformes fecales	NMP/100ml	1000	1000	317,9	275,6	49	3,67	3,94
Sulfuro	mg/L		1	5,31	6,92	0,28	0,26	0,3
Nitrógeno Total	mg/L		50					49,8
Fósforo Total	mg/L		10					11,3

Tabla 2:  
Resumen de la calidad del efluente de la planta de Vallenar

Parámetros	UNIDAD	NCh1.333	NCh90(*)	1999	2000
Caudal	L/s			200,6	
DBO	mg/L		300	30,5	34
DQO	mg/L			81,4	84,4
Turbiedad	NTU			41,4	43
pH	Unidad	5,5-9	6-8,5	7,23	7,1
SST	mg/L		300	28,3	29,9
Temperatura	°C		35		18,3
Coliformes fecales(**)	NMP/100ml	1000	1000	6,17	7,09
Sulfuro	mg/L		10	0,1	0,07
N-Total(***)	mg/L		75		22,2
Fósforo(***)	mg/L		15		4,86

Tabla 3:  
Resumen de la calidad del efluente de la planta de Diego de Almagro

Parámetros	UNIDAD	NCh1.333	NCh90	2.000
Caudal	L/s			
DBO	mg/L		300	257,4
DQO	mg/L			587,8
Turbiedad	NTU			285,6
pH	Unidad	5,5-9	6-8,5	7,47
SST	mg/L		300	241,2
Temperatura	°C		35	
Coliformes fecales	NMP/100ml	1000	1.000	1,82E+06
Sulfuro	mg/L		10	2,88
N-Total	mg/L		75	
Fósforo	mg/L		15	

\*Efluente con el aporte de las aguas del canal "Aguas Claras"

**ANEXO 2.1.3**

---

**LODOS**

Tabla 1:  
Antecedentes sobre Análisis de Lodos

Parámetro	Unidad	Caldera <sup>1</sup> Feb-99	Copiapó <sup>2</sup> Ago-92	Copiapó <sup>2</sup> Abr-96
Edad del Lodo	Años aproximados	4	3	4
Coliformes fecales	NMP/g de lodo seco	0,2 <sup>3</sup>	3,00 <sup>3</sup>	
Salmonella spp	NMP/g de lodo seco	0,12 <sup>3</sup>	ausencia	
Huevos de Helmitos	4 g de lodo seco	0,06 <sup>3</sup>	10	
Aluminio	mg Al/g de lodo seco		12,9	
Arsénico	mg As/g de lodo seco		7,00E-05	
Azufre Total	mg S/g de lodo seco		4,20	
Boro	mg B/g de lodo seco	2,31	0,06	
Cadmio	mg Cd/g de lodo seco	0,004		
Calcio	mg Ca/g de lodo seco	144,3	58,4	9,8*
Carbono orgánico	mg C/g de lodo seco		84	
Cinc	mg Zn/g de lodo seco	0,63	0,35	
Cloruros	mg Cl-/g de lodo seco		0,6	
Cobalto	mg Co/g de lodo seco	0,004		
Cobre	mg Cu/g de lodo seco	0,37	0,35	
Cromo Total	mg Cr/g de lodo seco	0,04	0,0015	
Detergente	mg SAAM/g de lodo seco		0,0044	
Fósforo	mg P/g de lodo seco	11,67	18,5	
Fósforo Asimilable	mg P/g de lodo seco		13,8	
Hierro	mg Fe/g de lodo seco	8,6	18,4	
Humedad	%	9,2	5,34	
Magnesio	mg Mg/g de lodo seco	6,51	14,2	0,92*
Manganeso	mg Mn/g de lodo seco	0,5	0,38	
Materia orgánica	%		16,8	5,33*
Mercurio	mg Hg/g de lodo seco	0,003		
Molibdeno	mg Mo/g de lodo seco	0,019		
Níquel	mg Ni/g de lodo seco	0,012		
Nitrógeno Amoniacal	mg N-NH/g de lodo seco	0,11	0,3	
Nitrógeno Nitratos	mg N-NO <sub>3</sub> /g de lodo seco		0,12	
Nitrógeno Total	mg N-NT/g de lodo seco	3,2	14,1	
PH	Unidad	7,64	6,85	
Plomo	mg Pb/g de lodo seco	0,053		
Potasio	mg K/g de lodo seco	1,4	0,38	0,2*
Selenio	mg Se/g de lodo seco	0,005	5,00E-04	
Sodio	mg Na/g de lodo seco	3,56	0,45	0,82*
Sulfatos	mg SO <sub>4</sub> /g de lodo seco		2,15	
Residuo total seco a 105°C	%		94,66	
Residuo total fijo a 550°C	%		80,2	
Residuo total volatil	%		19,8	

<sup>1</sup>No han habido extracciones desde que la planta funciona como laguna aireada, pero si cuando era Laguna Facultativa con extracción de lodos en 1992 usados en agricultura y en el año 96 donde se extrajeron aproximadamente 2500 m<sup>3</sup> también con uso agrícola. En 1996 no fue especificada la base del análisis(\*).

<sup>2</sup>Las extracciones de lodos fueron realizadas en 1997 para la L1 y en 1999 para la L2, dispuestos en canchas de arena a un costado de las lagunas con uso posterior en agricultura, sin embargo aun queda una cantidad no estimada en las canchas.

<sup>3</sup>Menor al valor indicado

Tabla 2  
Antecedentes Vallenar

En el mes de Febrero del 2.001 se ha realizado la extracción 1.000 m<sup>3</sup> de lodos húmedo, el lodo que fue dispuesto en una cancha de secado a un costado de la planta. La cancha tiene una superficie aproximada de 2.500 m<sup>2</sup> y fue construida a comienzos del presente año. Los análisis fueron realizados por la Universidad de Chile y entregados en Mayo del 2001. Dichos análisis se presentan a continuación:

Parámetro	Unidades	M1(9/03/01)	M2(28/03/01)	M3(10/05/01)
PH		6,97	ND	ND
Humedad	(%)	96,41	93,13	74,03
Sólidos Totales	(%)	3,59	6,87	25,97
Sólidos Volátiles	(%)	2,68	4,93	13,33
Coliformes Fecales	NMP*g peso seco	490.000	390.000	1.309
Salmonella sp	NPM*4g peso seco	8,0	<1,75	<0,92
Fagos MS2	UFP*4g peso seco	1.120	292	28
Huevos de helmintos	4g peso seco	9,2	1,7	P

ND= No determinado

P= Pendiente

\*Totales (viables y no viables)

**ANEXO 2.1.4**

---

**RUIDOS**

Copiapó, 26 de Agosto de 1998.

## INFORME TÉCNICO N° 047/98

REF: Peritaje Acústico Planta elevadora de  
aguas servidas, propiedad de EMSSAT S.A

Con fecha 13 de Agosto de 1998 entre las 19:00 y 20:30 horas, se procedió a efectuar las mediciones de Presión Sonora de las emisiones de la Planta elevadora de aguas servidas, propiedad de EMSSAT S.A. ubicada en Cousiño esquina Weelright de la ciudad de caldera.

La campaña de mediciones se realizó a petición de la empresa EMSSAT S.A .

Respecto al monitoreo se puede informar lo siguiente:

### I.- PROCEDIMIENTO

1.1.- Se procedió en primer término a ubicar los puntos de medición ,determinando aquellos lugares donde podrían impactar los ruidos provenientes de la fuente emisora, y cerca de la misma.

1.2.- Se procedió a realizar una serie de mediciones en lugares de la periferia de la fuente con un intervalo de 15 minutos uno de otro.

### II.- EQUIPO DE MEDICIÓN

Decibelímetro Danés Marca Bruel and Kjaer mdelo 2232, digital con filtro tipo A.

### III.- FUNCIONARIOS DEL SERVICIO DE SALUD

Las mediciones las efectuó el funcionario de la Unidad de Salud Ocupacional Inspector de Higiene y Seguridad Industrial Sr. Raúl Tabilo Olguín.

## V.- CRITERIO DE MEDICIÓN

Los puntos de medición fueron elegidos considerando los sectores o viviendas habitadas mas cercanos a la fuente emisora de ruido.

5.1.- El tiempo de medición, el procedimiento, el equipo empleado y la forma de calcular los promedios del nivel de presión sonora continuo equivalente (concepto empleado para promedio estadístico de ruido fluctuante), se ajustan a lo dispuesto en el D.S. N°146/97 del Ministerio de Salud, Reglamento Sobre Ruidos Molestos Generados por Fuente Fijas.

## VI.- RESULTADOS DE LAS MEDICIONES Y PROMEDIOS POR ESTACIÓN.

Lugar	promedio ( NPS dB A lento)
Sector planta elevadora (tapa abierta)	63.2 dB(A) lento
Sector planta elevadora (tapa cerrada)	52.0 dB (A) lento
Frente estación vieja	44.0 dB (A) lento
Frente restaurante Miramar	42.6 dB (A) lento

**PROMEDIO GENERAL : 50.4 dB(A)Lento**

## VII.- CONCLUSIONES

Los resultados de las mediciones indican que los niveles de Presión Sonora medidos en el lugar habitado más cercano, se ajustan a lo establecido en el decreto 146/97 que establece la norma de emisión de ruidos molestos generados por fuentes fijas, elaborada a partir de la revisión de la norma de emisión contenida en le decreto N° 286 de 1994 del Ministerio de Salud.

Es cuanto se puede informar al respecto.

ve  
V°B°  
MARCO CALDERÓN IBÁÑEZ  
ENC. UNIDAD SALUD OCUPACIONAL

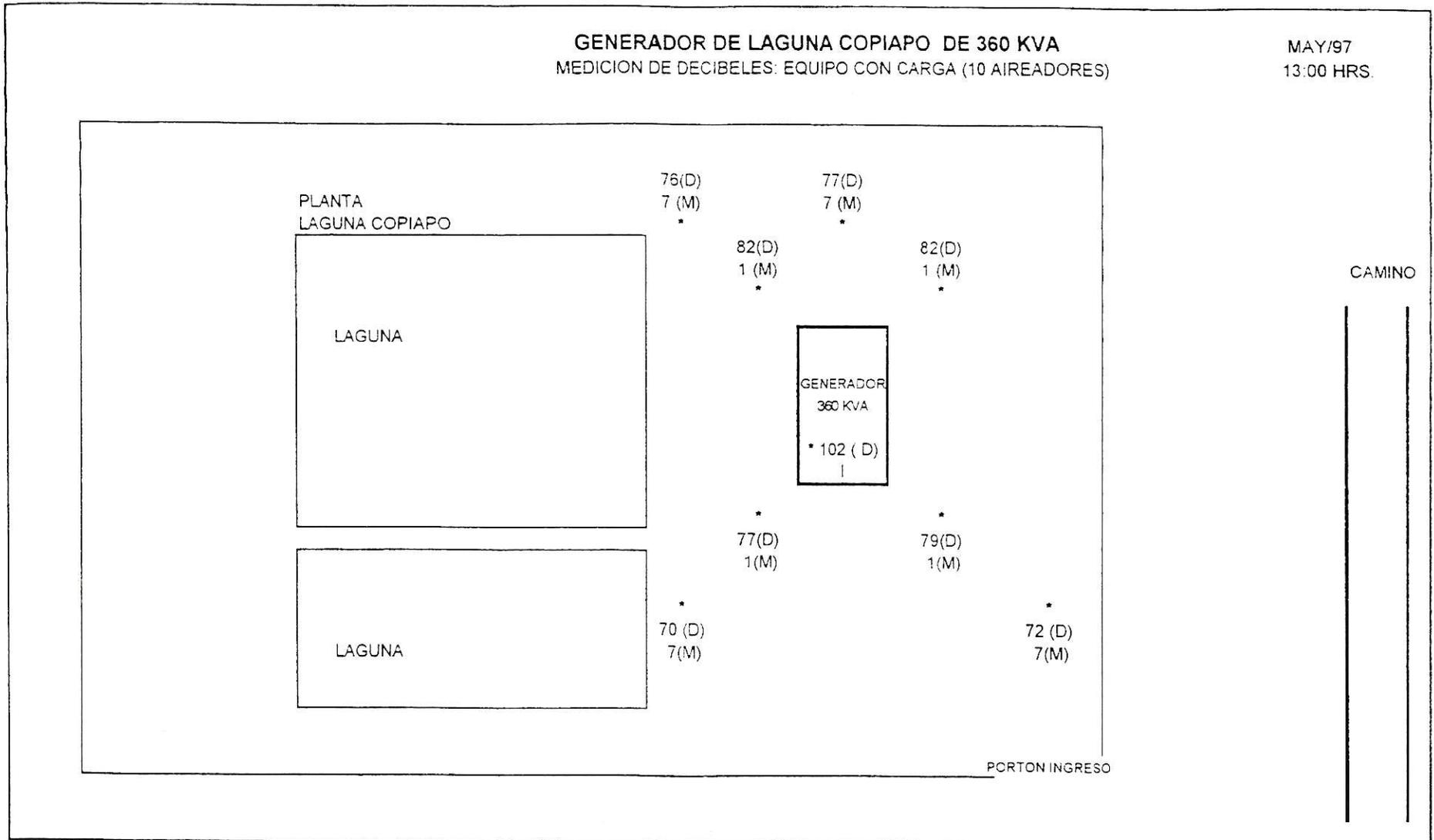


*Raul Tabilo Olguin*  
RAUL TABILO OLGUIN  
INSPECTOR UNIDAD SALUD OCUPACIONAL

DECIBELES

**GENERADOR DE LAGUNA COPIAPO DE 360 KVA**  
MEDICION DE DECIBELES: EQUIPO CON CARGA (10 AIREADORES)

MAY/97  
13:00 HRS.

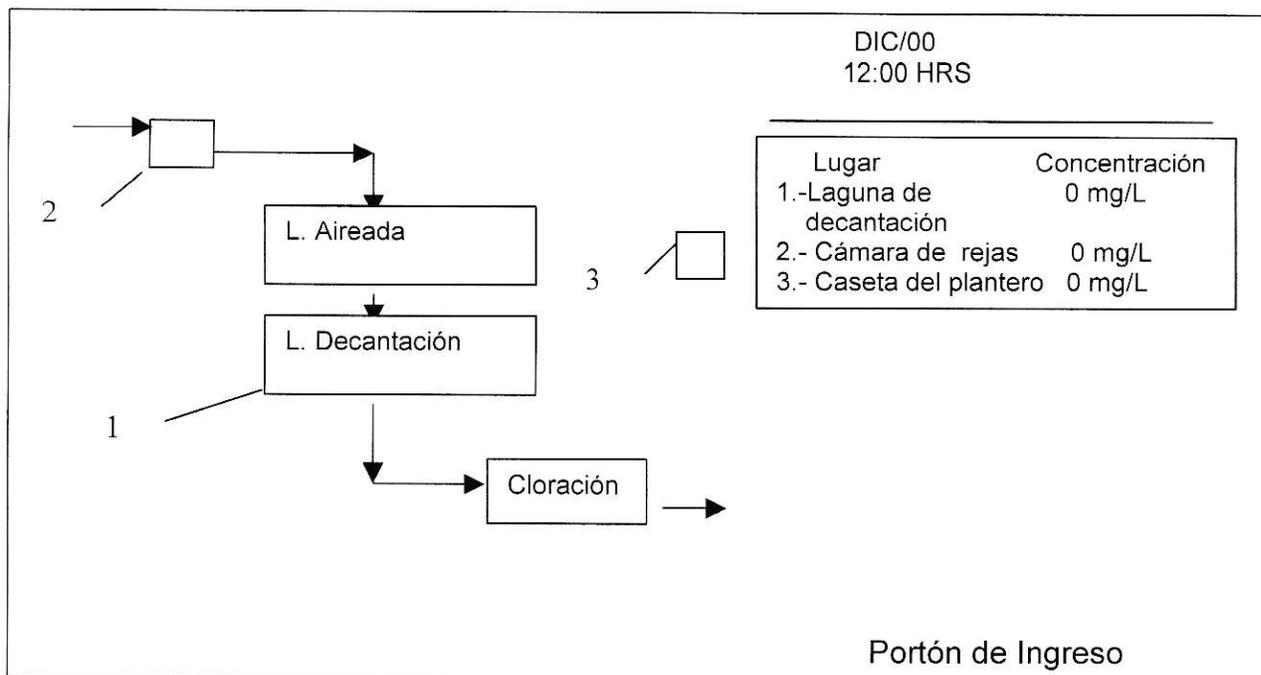


**ANEXO 2.1.5**

---

**OLORES**

Figura 1:  
Esquema de la medición de olores de la planta de Copiapó



Instrumento de medición:  
 Contains Nomspillabla, sensor cell  
 Rango: 0-100 % de O<sub>2</sub>  
 Tiempo de respuesta: 30 segundos.  
 Temperatura: -10°C a 40°C  
 Humedad: 15 a 90 %

## **ANEXO 2.2**

---

### **GRÁFICOS**

## INDICE DE FIGURAS

1. Tendencia promedio diaria de infiltración en la planta de Vallenar.
2. Variación diaria de temperatura de los afluentes de la región.
3. Estimación de la estacionalidad de la DBO en afluente de Copiapó.
4. Concentración v/s carga de NTK afluente de Copiapó.
5. Concentración v/s carga de NTK afluente de T. Amarilla.
6. Concentración v/s carga de NTK afluente de Freirina.
7. Concentración v/s carga de NTK afluente de D.Almagro.
8. Concentración v/s carga de NTK afluente de El Salado.
9. Concentración v/s carga de Nitrógeno Amoniacal afluente de Copiapó.
10. Concentración v/s carga de Nitrógeno Amoniacal afluente de T. Amarilla.
11. Concentración v/s carga de Nitrógeno Amoniacal afluente de Freirina.
12. Concentración v/s carga de Nitrógeno Amoniacal afluente de Diego de Almagro.
13. Concentración v/s carga de Nitrógeno Amoniacal afluente de El Salado.
14. Concentración v/s carga de fósforo total afluente de Copiapó.
15. Concentración v/s carga de fósforo total afluente de T. Amarilla.
16. Concentración v/s carga de fósforo total afluente de Freirina.
17. Concentración v/s carga de fósforo total afluente de D. Almagro.
18. Concentración v/s carga de fósforo total afluente de El Salado.
19. Conductividad y cloruros afluente El Salado
20. Relación entre Turbiedad y SST usando toda la información existente para el afluente de Copiapó.
21. Relación entre Turbiedad y SST usando solo la información entre los años 1996 al 1997 para el afluente de Copiapó.
22. Relación entre Turbiedad y DBO usando la información de las campañas para el afluente de Copiapó.
23. Relación entre Turbiedad y DBO usando solo la información entre los años 1996 al 1997 para el afluente de Copiapó.
24. Relación entre DQO y DBO usando la información de las campañas para el afluente de Copiapó.
25. Relación entre DQO y DBO usando solo la información entre los años 1998 al 2000 para el afluente de Copiapó.
26. Variación diaria de los diferente parámetros en el afluente de Copiapó.
27. Variación diaria de los diferente parámetros en el afluente de Vallenar.
28. Variación diaria de los diferente parámetros en el afluente de Tierra Amarilla.
29. Variación diaria de los diferente parámetros en el afluente de Freirina.
30. Variación diaria de los diferente parámetros en el afluente de Diego de Almagro.
31. Variación diaria de los diferente parámetros en el afluente de El Salado.

Figura 1: Tendencia promedio diaria de infiltración en el afluente de Vallenar

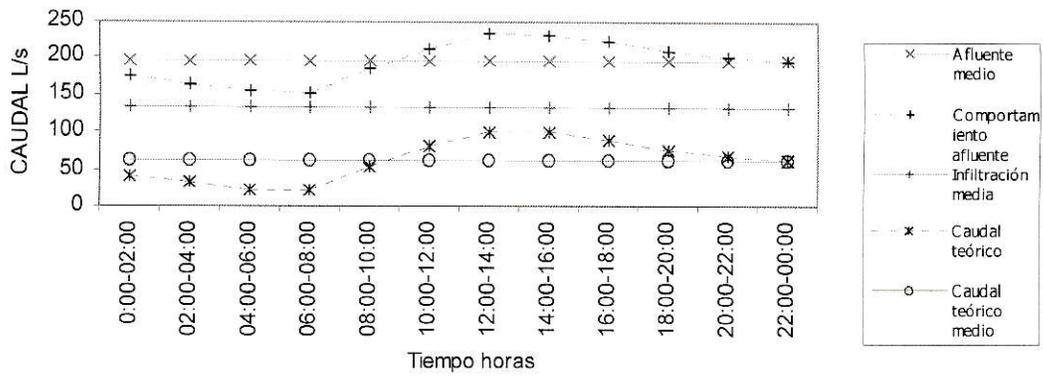
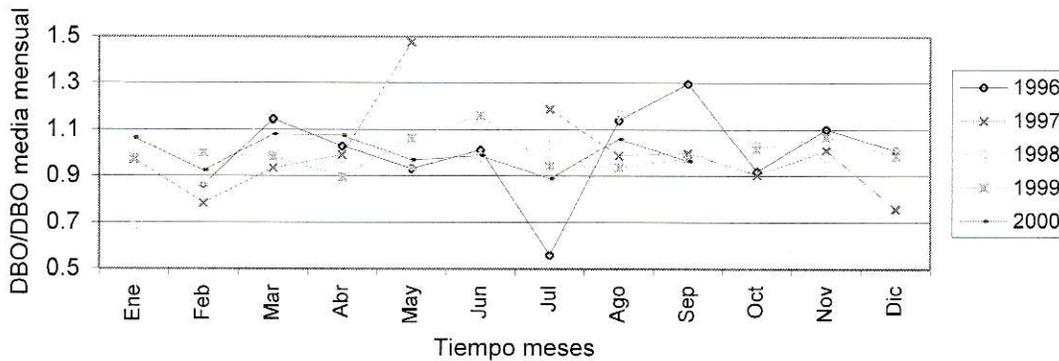


Figura2: Variación diaria de temperaturas de los afluentes de la Región



Figura3: Estimación de estacionalidad de DBO afluente Copiapó



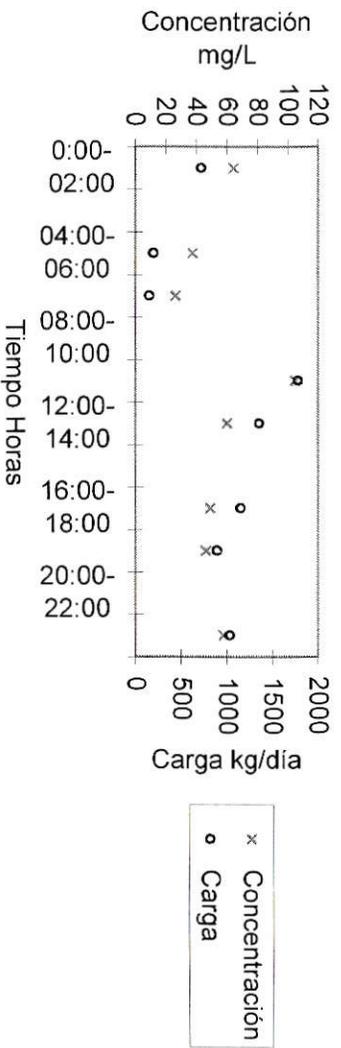
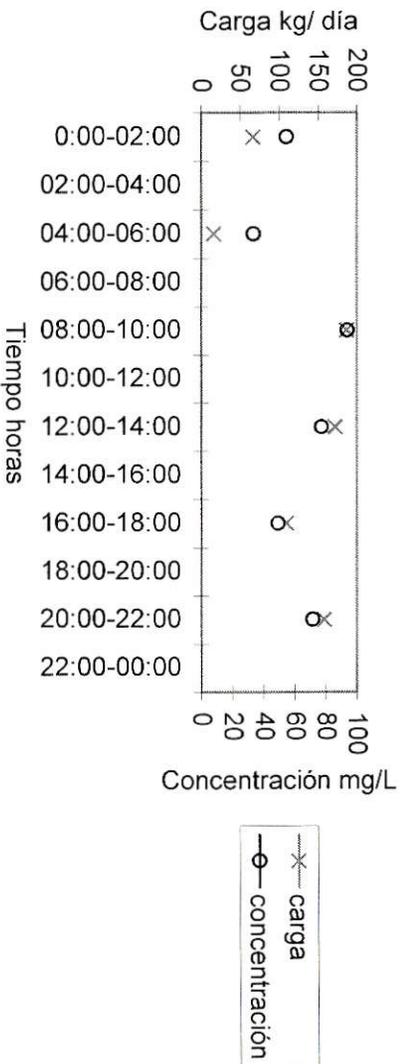


Figura4: Concentración v/s Carga de NTK en el afluente de Copiapó



Figuras5: Concentración v/s carga de NTK afluente T. Amarilla

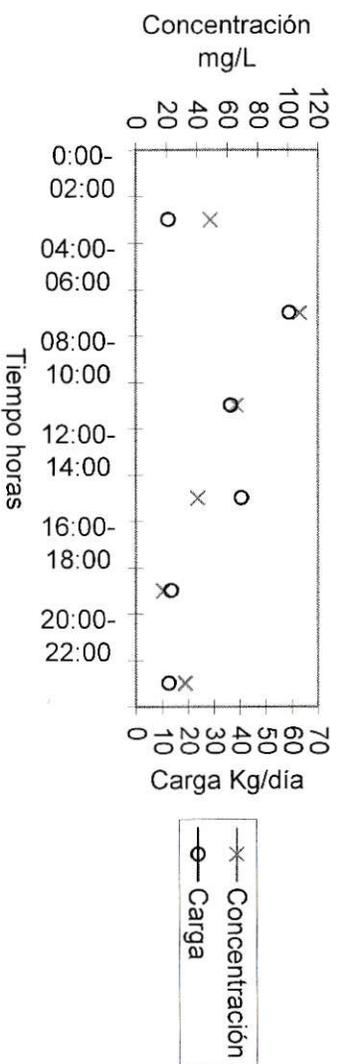


Figura6: Concentración v/s carga de NTK afluente de Freirina

Figura7: Concentración v/s carga de afluente de D.Almagro

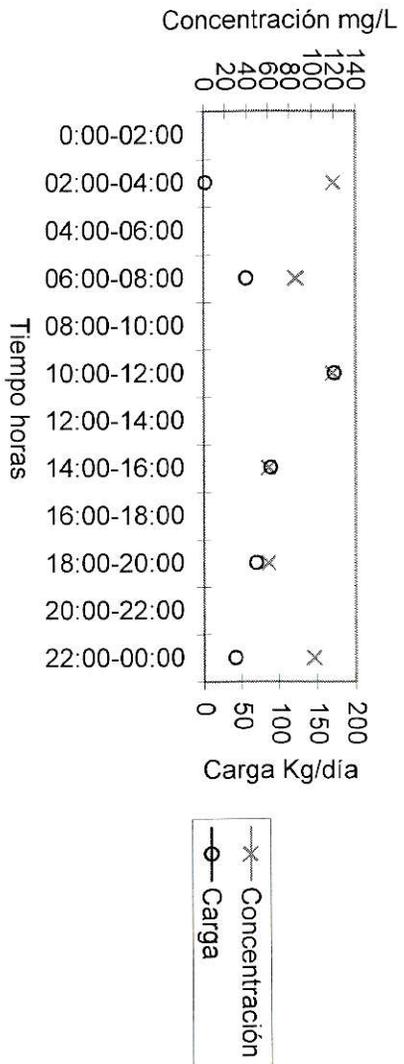


Figura8: Concentración v/s carga de NTK afluente El Salado

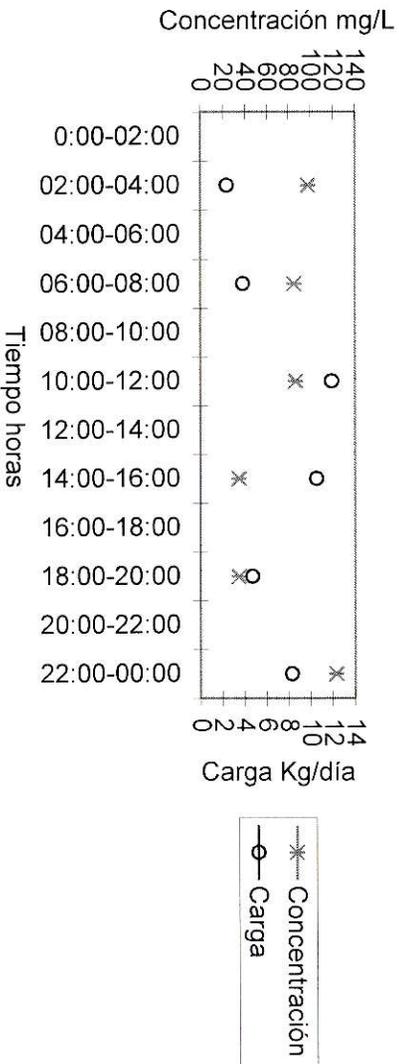


Figura9: Concentración v/s carga de nitrógeno amoniacal en el afluente de Copiapó

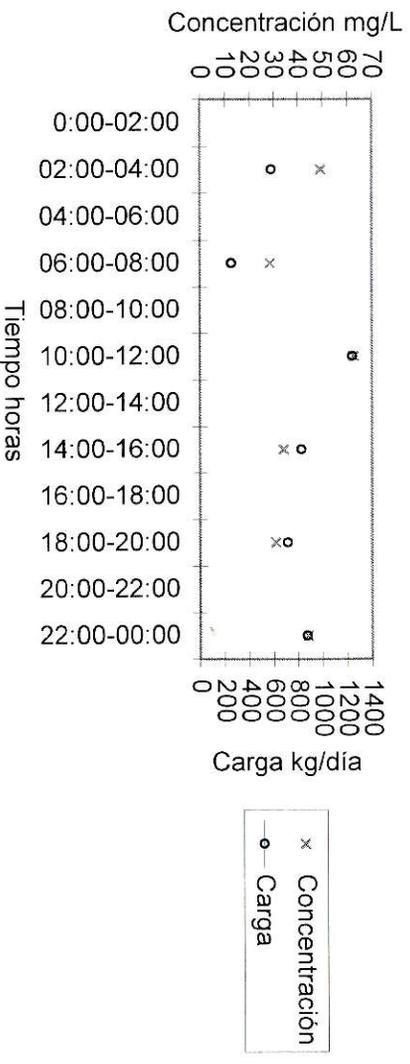


Figura10: Concentració v/s carga de nitrógeno amoniacal afluente T. Amarilla

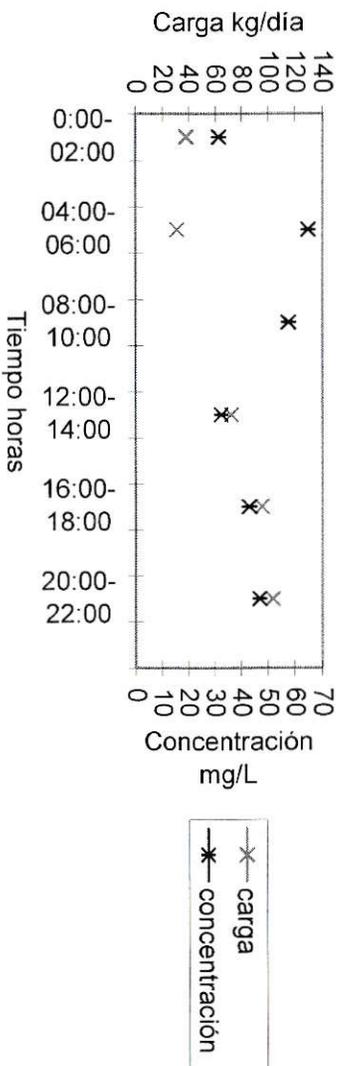


Figura11: Concentración v/s carga de nitrógeno amoniacal afluente Freirina

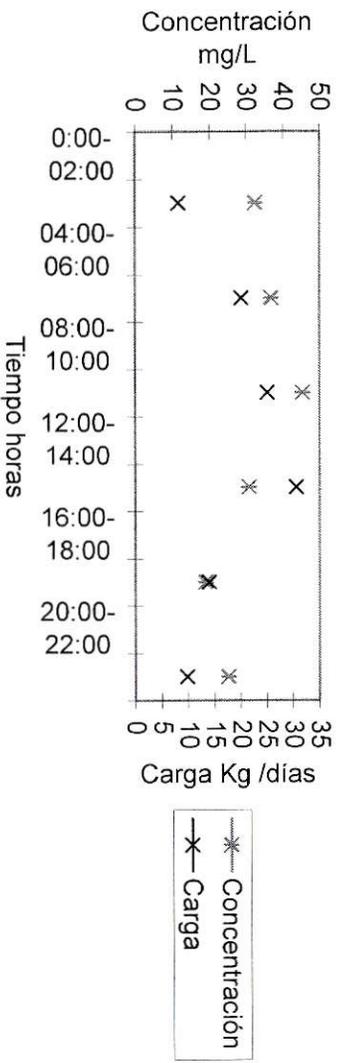
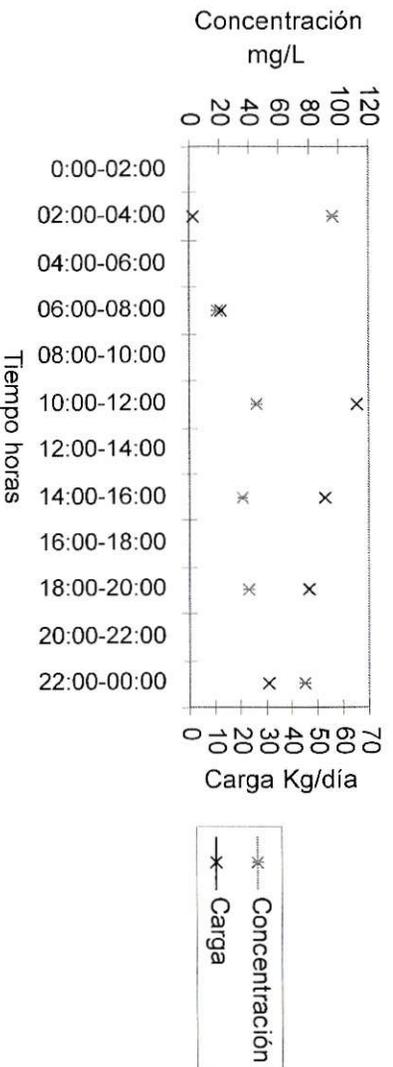
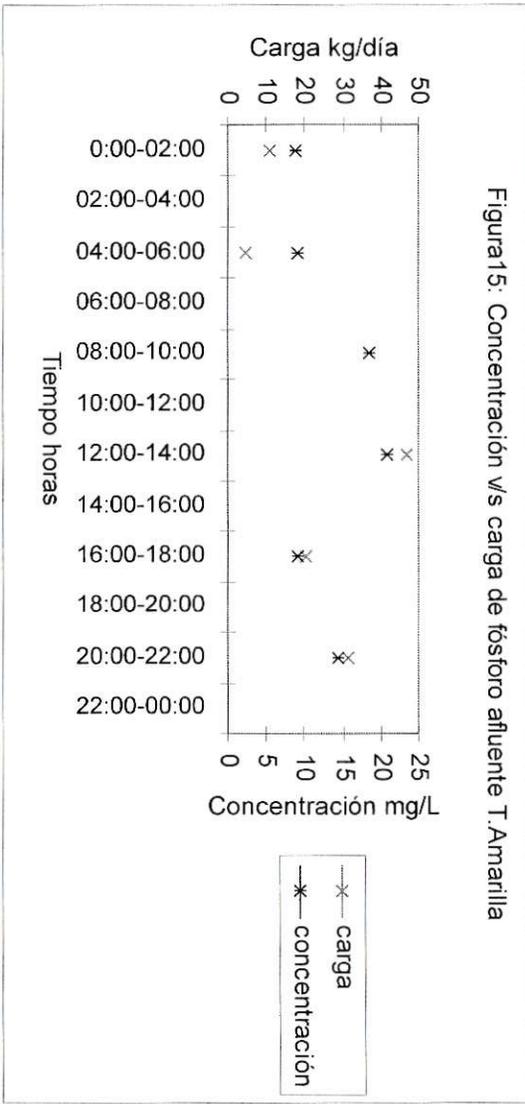
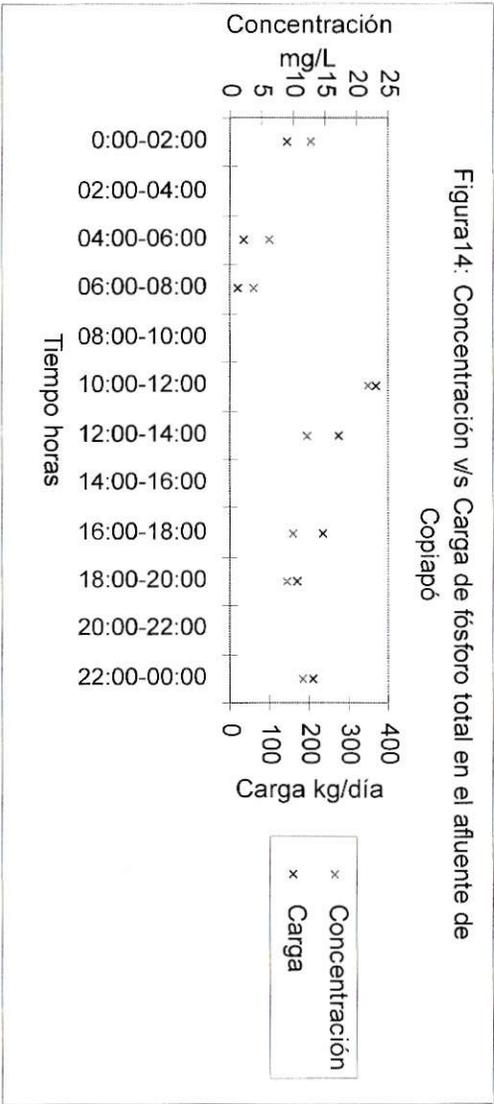
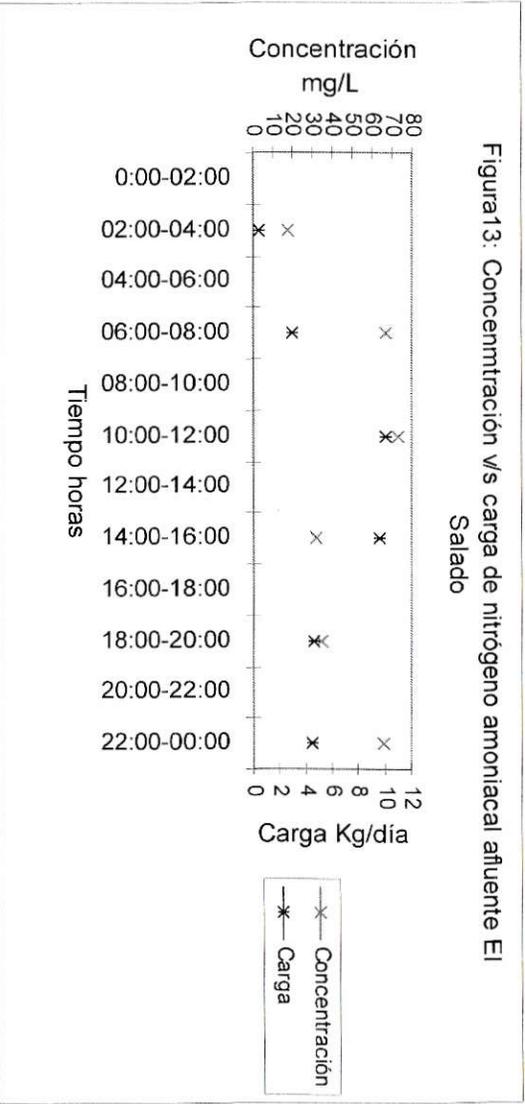
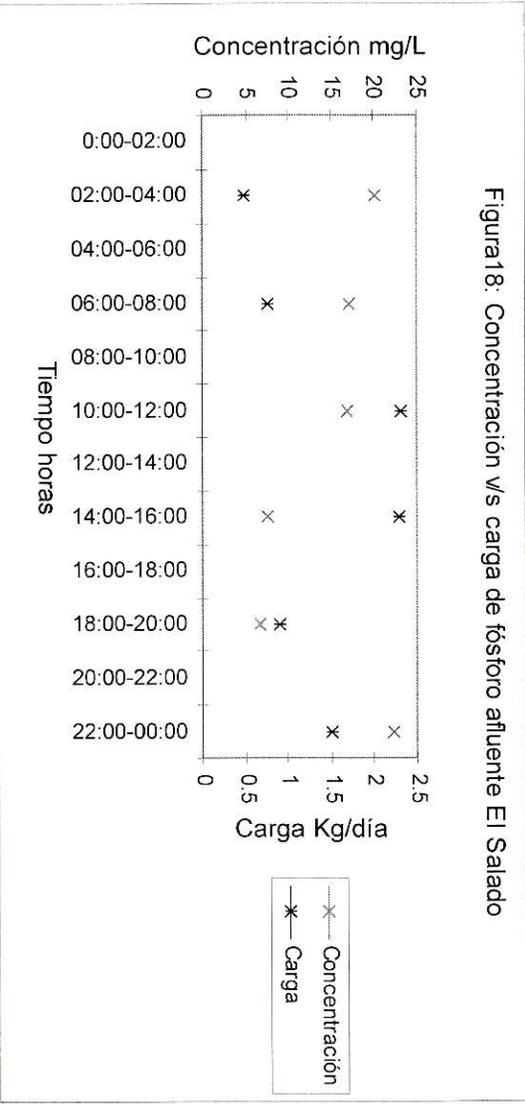
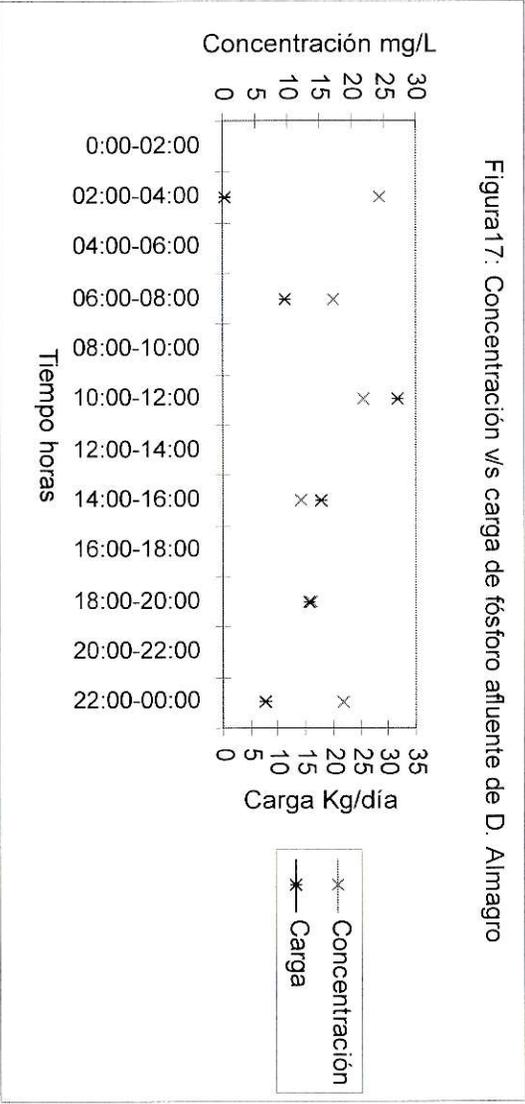
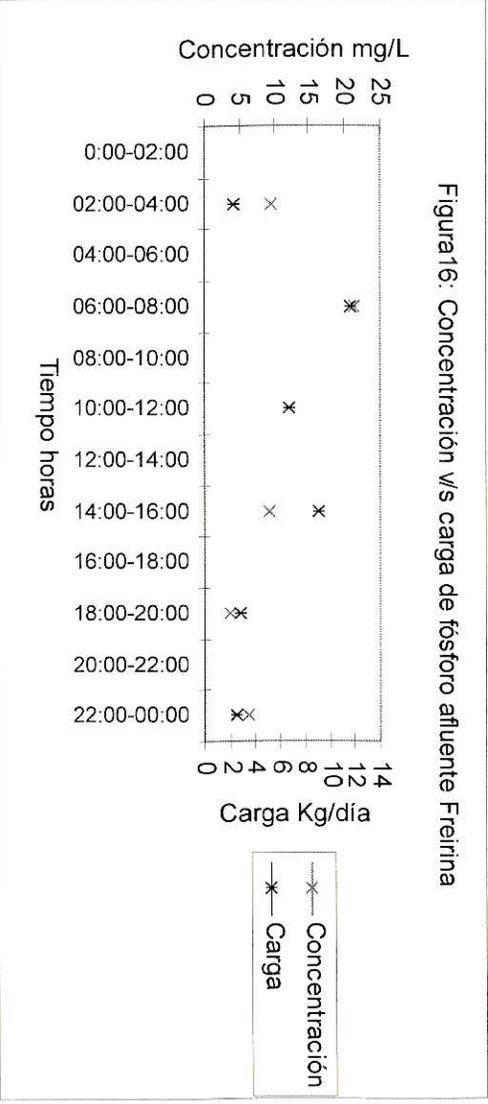


Figura12: Concentración v/s carga de nitrógeno amoniacal afluente de D.Almagro







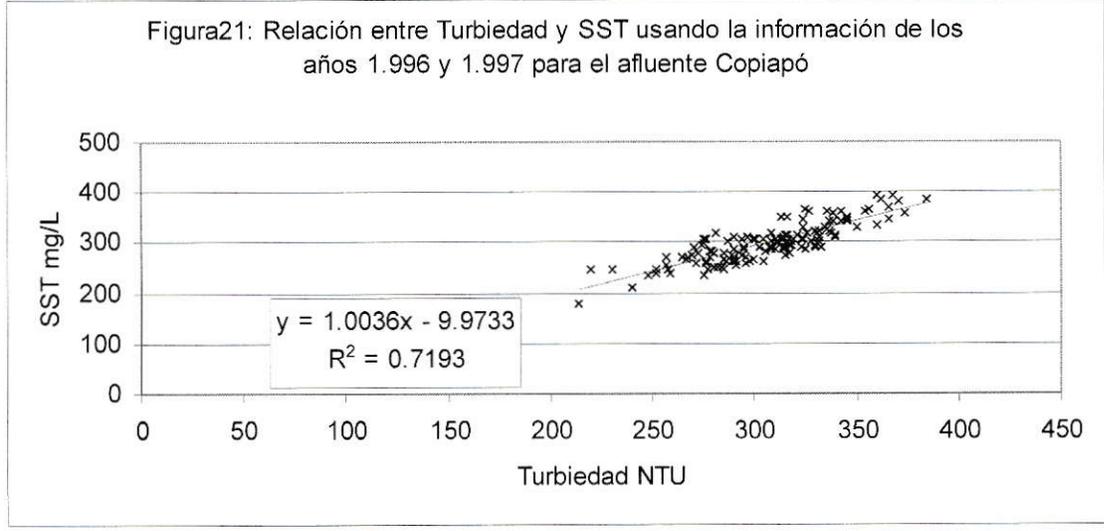
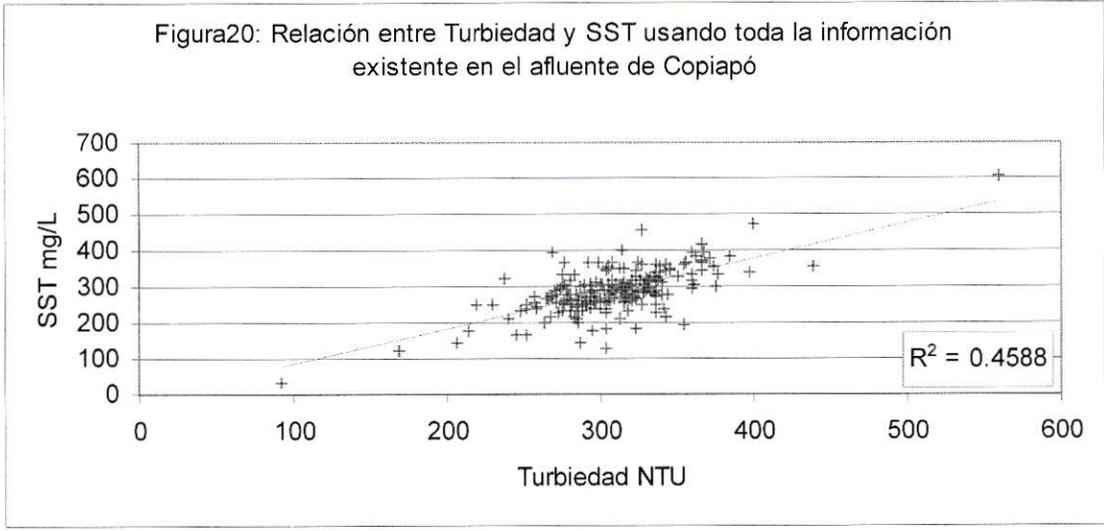
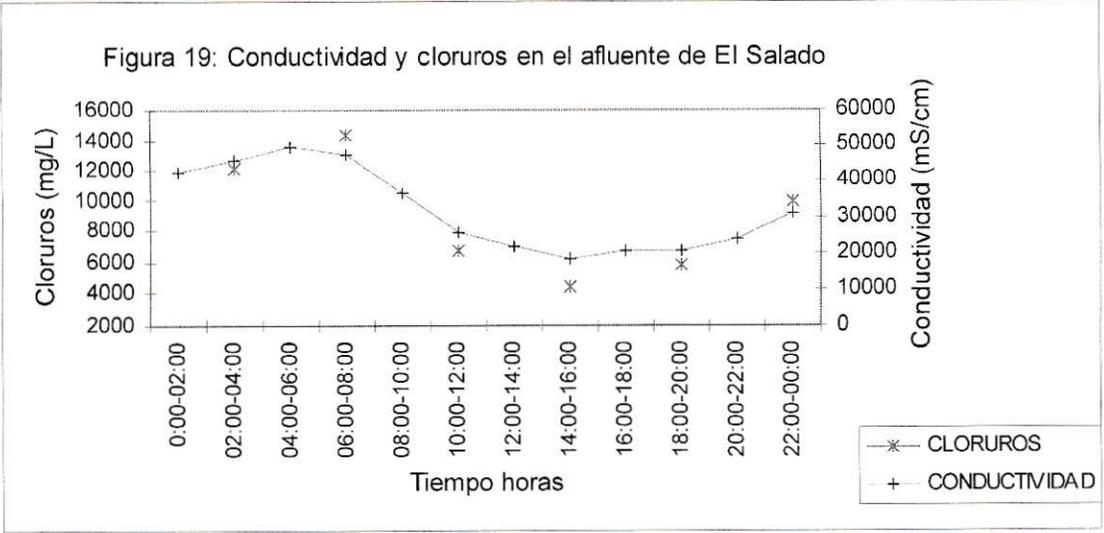


Figura22: Relaciones entre Turbiedad y DBO usando toda la información existen en el afluente de Copiapó

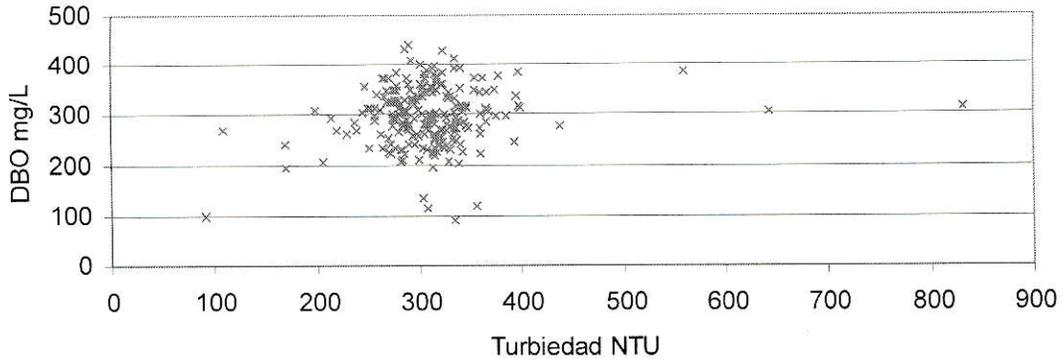


Figura23: Relación entre Turbiedad y DBO usando la información de los años 1.996 y 1.997 en el afluente de Copiapó

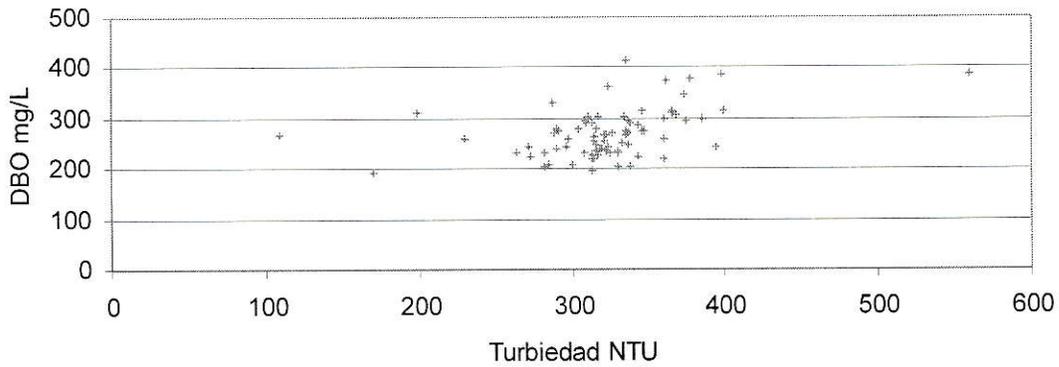


Figura24: Relación de DQO y DBO usando toda la información existente en el afluente de Copiapó

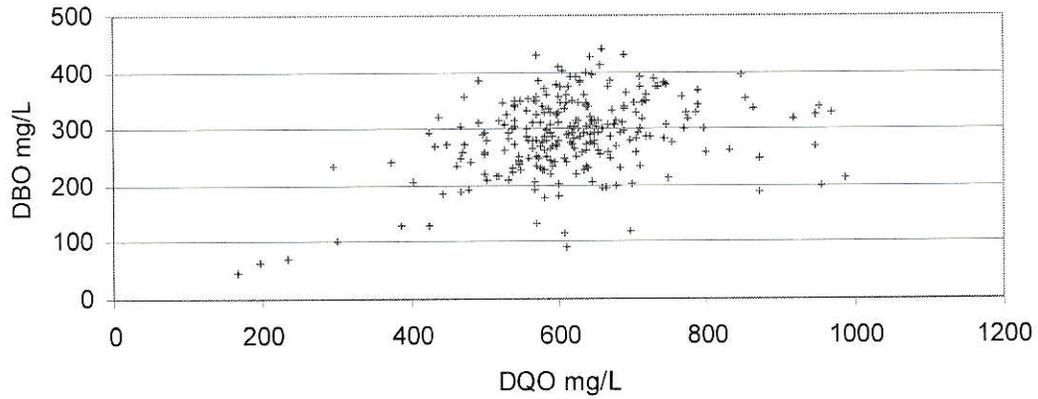


Figura25: Relación de DQO y DBO usando la información de los años 1.998 al 2.000 en el afluente Copiapó

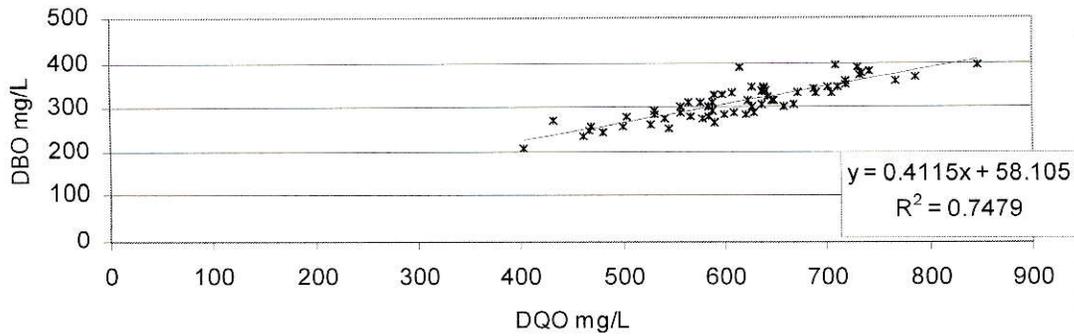


Figura26: Variación diaria en el afluente de Copiapó (P=parámetro y PM=parámetro medio)

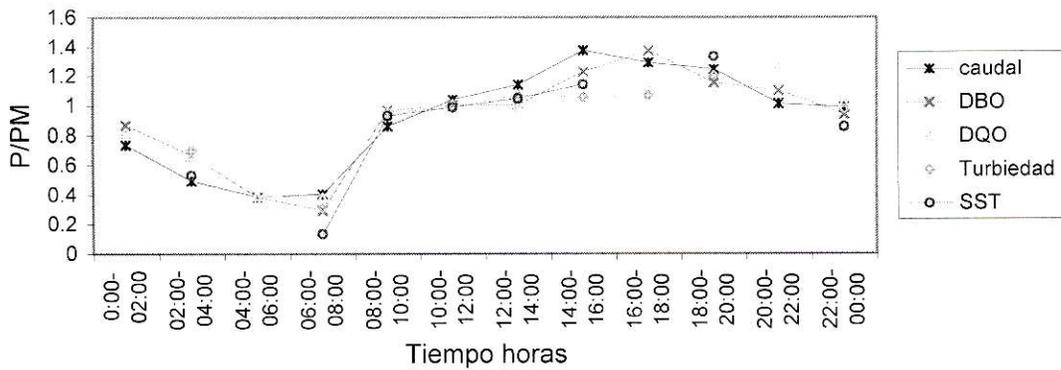


Figura 27: Variación diaria en el afluente de Vallenar (P=parámetro y PM=parámetro medio)

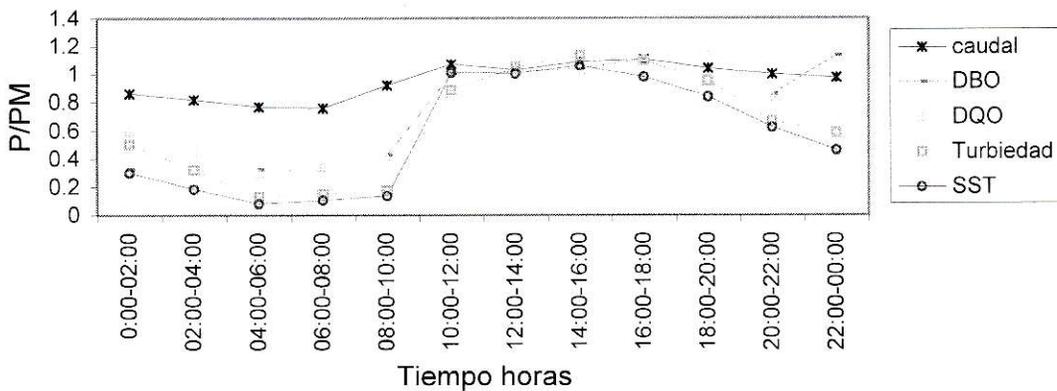


Figura28: Variación diaria en el afluente de T: Amarilla (P=parámetro y PM= parámetro medio)

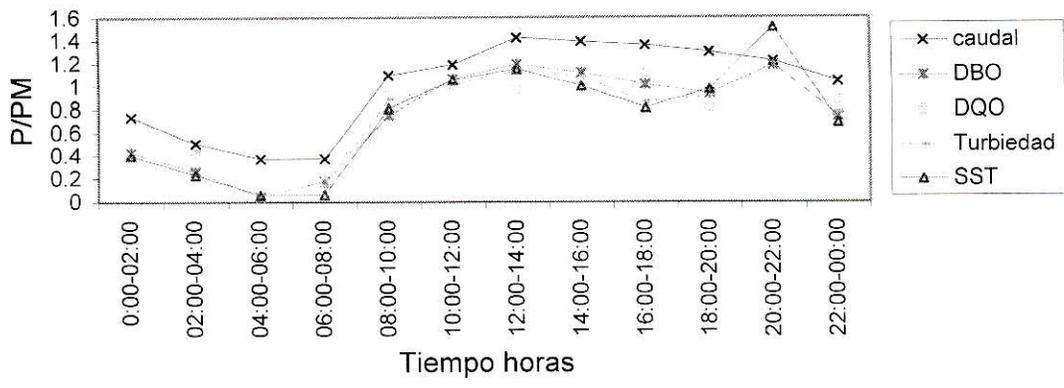


Figura29: Vriación diaria en el afluente de Freirina (P=parámetro y PM=parámetro medio)

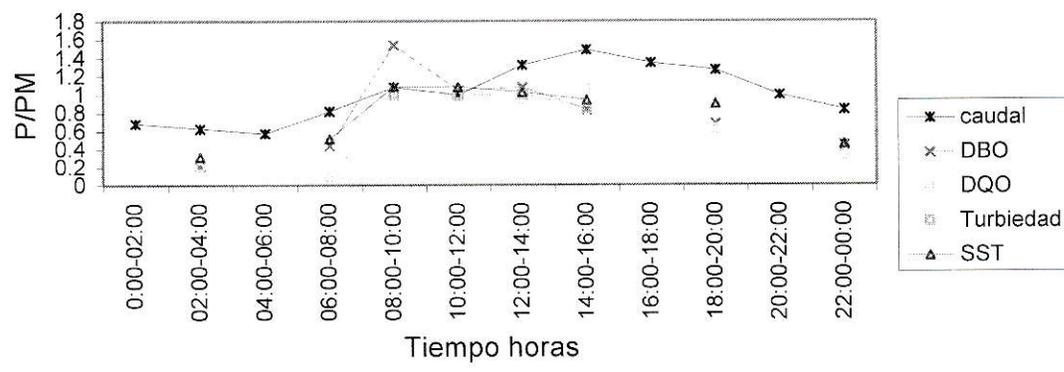


Figura30: Variación diaria en el afluente de D. Almagro (P=parámetro y PM=parámetro medio)

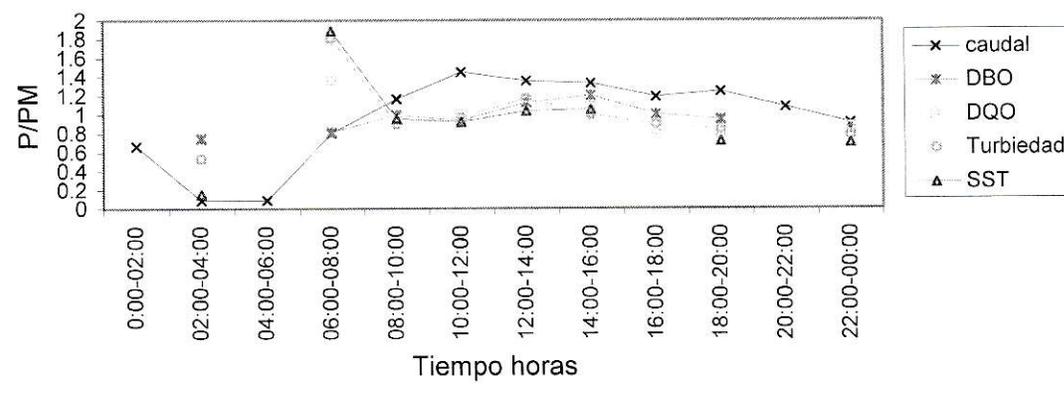
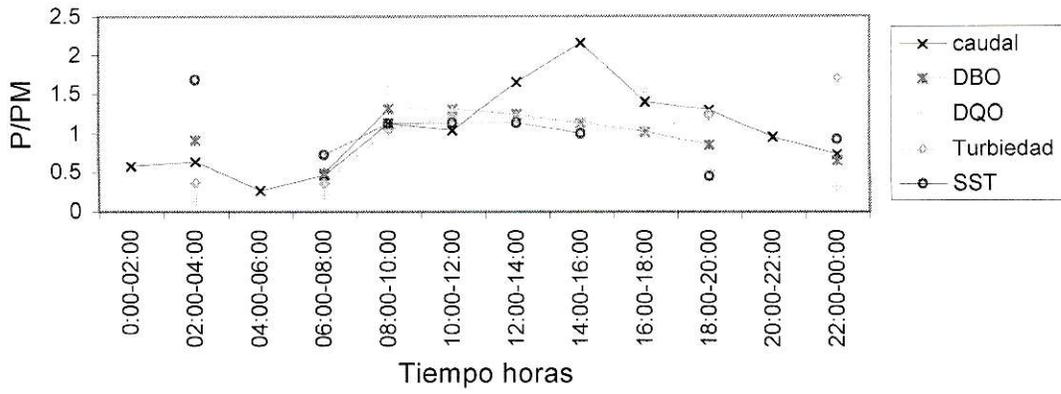


Figura31: Variación diaria en el afluente de El Salado (P=parámetro y PM=parámetro medio)



**ANÁLISIS DE LAS ACTIVIDADES INDUSTRIALES RELEVANTES  
DE LA REGIÓN**

Tabla 1:

Descripción de las actividades económicas presentes en la región según código CIIU

Actividades que se encuentran en la Región	CIIU	LL
Extracción de minerales metálicos	230	3-5-6-9
Matanza de ganado	31111	2
Elaboración de pescado, crustáceos y otros productos marinos	31141	7-8-9
Producción de harina de pescado	31154	7-8-9
Destilación de alcohol etílico	31311	1
Destilación y rectificación de bebidas alcohólicas	31312	1
Fabricación de vinos	31321	1-2
Elaboración de bebidas no alcohólicas y aguas minerales gasificadas y embotellado de aguas naturales y minerales	31341	1
Imprenta y encuadernación	34201	1
Fotografado y litografía	34202	1
Editoriales	34204	1
Fabricación de cementos, cal, yeso y tubos de cementos	36921	1
Industria básica de hierro y de acero	230*	9
Industria básica del cobre	230*	1-3-5-6
Generación, transmisión y distribución de electricidad	41011	1-2
Producción y distribución de gas	41021	1-2-3-4-5-6-7-8-9
Importadores y distribuidores de automóviles, camiones y camionetas, motos, repuestos accesorios	61561	1
Lavanderías y tintorerías	95201	1-2-3-5-7-8-9
Instituciones de investigaciones y científicos	---	1
Hospitales, sanatorios, clínicas y otras instituciones similares	---	1-2-3-4-5-7-8-9
Laboratorios médicos, tecnológicos médicos	---	1-2-3-4-5-7-8-9
Clínicas veterinaria	---	1-2
Estación de servicios	---	1-2

• Relacionada con la extracción de minerales metálicos

<sup>1</sup>Copiapó

<sup>4</sup>Freirina

<sup>7</sup>Caldera

<sup>2</sup>Vallenar

<sup>5</sup>Diego de Almagro

<sup>8</sup>Chañaral

<sup>3</sup>Tierra Amarilla

<sup>6</sup>El Salado

<sup>9</sup>Huasco

Tabla 2:  
Aplicaciones industriales de los contaminantes no considerados en el monitoreo

Parámetros	Usos
Aluminio	Fabricación de cables para líneas de transmisión de alto voltaje, accesorios metálicos, aditivo de pinturas anticorrosivas.
Boro	Fabricación de vidrio termoresistente, componentes electrónicos y en herbicidas, Fabricación de ácido bórico.
Cianuro	Fabricación de insecticidas, acrilonitrilo y derivados acrílicos, cloruro de cianógeno, cianuros metálicos y ferrocianuros.
Flúor	Fabricación de fluoruros, purificación del grafito. En vidriería, cristalería y porcelana. En el decapado de la fundición y del acero.
Índice de Fenol	Refinado de aceites lubricantes, Industria de materias plásticas, fibras sintéticas, detergentes y pesticidas. En las refinerías de petróleo, industria del papel y celulosa.
Molibdeno	Industria aeronáutica y de misiles, cableado y electrodos para lámparas, aplicación en grasas lubricantes industriales.
Pentaclorofenol	Fungicida preservante de la madera.
Selenio	Industria del vidrio y cerámica como decolorante, aditivo de aceros inoxidables, industrias de fotocopiadoras y cámaras de televisión.
Tetracloroetano	Desengrasantes, limpieza de matrices.
Tolueno	Fabricación de insecticidas y colorantes. Disolventes de barnices, neoprenes y colas. Industria del perfume y carburantes.
Triclorometano	Extracción de aceites esenciales y alcaloides. Limpieza en seco de tejidos delicados
Xileno	Fabricación de lacas, tintas, pesticidas y como diluyente de esmaltes y lacas. También se usa como solvente de resinas acrílicas, alquílicas y otras. Buen solvente de grasas, ceras, pinturas, barnices, gomas sintéticas y caucho natural.

Tabla 3:  
Costos asociados al monitoreo de los RILES (Cotizaciones del año 2.001)

Parámetros	IDICTEC	HIDROLAB
Aceites y Grasas	0,6500	0,38
Aluminio	0,2500	0,15
Arsénico	0,4000	0,43
Boro	0,2565	0,39
Cadmio	0,2000	0,15
Cianuro	0,5000	0,38
Clorofila	0,1500	0,15
Cloruros	0,2052	0,16
Cobre Total	0,1334	0,15
Coliformes Fecales	0,2700	0,27
Indice de Fenol	0,2000 <sup>1</sup>	0,20 <sup>1</sup>
Cromo Hexavalente	0,2800	0,17
DBO <sub>5</sub>	0,3800	0,36
Fósforo Total	0,1600	0,15
Flúor	0,2500	0,26
Hidrocarburos Fijos	2,0000	0,38
Hierro Disuelto	0,1334	0,15
Manganeso	0,1744	0,15
Mercurio	0,4900	0,43
Molibdeno	0,2500	0,24
Níquel	0,1744	0,15
Nitrógeno Total Kjeldahl	0,2600	0,25
Pentaclorofenol	0,9300 <sup>1</sup>	0,93 <sup>1</sup>
PH	0,0821	0,03
Plomo	0,1744	0,15
Poder Espumógeno	0,3300	0,28
Selenio	0,4000	0,43
Sólidos Suspendidos Totales	0,1100	0,11
Sulfatos	0,2565	0,13
Sulfuros	0,3000	0,15
Temperatura	0,0821	0,03
Tetracloroetano	0,9300 <sup>1</sup>	0,93 <sup>1</sup>
Tolueno	0,2000 <sup>1</sup>	0,20 <sup>1</sup>
Triclorometano	0,9300 <sup>1</sup>	0,93 <sup>1</sup>
Xileno	0,2000 <sup>1</sup>	0,20 <sup>1</sup>
Zinc	0,1744	0,15
Determinación de la relación de clorofila con SST y DBO aportado por las algas	36,00	36,00

<sup>1</sup>Valores estimados usando como referencia compuestos de similitudes químicas

Tabla 4:  
Estimación de costos del monitoreo de los lodos

Parámetros	Costo en UF
Coliformes fecales	1.0000
Salmonella spp.	3.2000
Virus MS-2	0.8000
Huevos de helmintos	3.0000
Sólidos volátiles	0.2000
Humedad	0.2000
PH	0.1000
Arsénico <sup>1</sup>	0.4000
Cadmio <sup>1</sup>	0.2000
Cobre <sup>1</sup>	0.1334
Mercurio <sup>1</sup>	0.4900
Níquel <sup>1</sup>	0.1744
Plomo <sup>1</sup>	0.1744
Selenio <sup>1</sup>	0.4000
Zinc <sup>1</sup>	0.1744

Fuente: Cotización de la Universidad de Chile, año 2.001  
<sup>1</sup>Cotización en residuos líquidos del Laboratorio Hidrolab