

UCH-FC
G. Dub.
R 628
C. I



CARRERA DE QUÍMICO AMBIENTAL
CENTRO DE QUÍMICA AMBIENTAL
FACULTAD DE CIENCIAS
UNIVERSIDAD DE CHILE

ANÁLISIS DE IMPACTOS AMBIENTALES EN LA CALIDAD DE LAS AGUAS DEL LAGO RAPEL Y SUS POTENCIALES EFECTOS EN LA MORTANDAD DE PECES

**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
QUÍMICO AMBIENTAL**

PABLO ERNESTO ROA MORAGA

**DIRECTOR SEMINARIO DE TÍTULO: Dr. JUAN CARLOS TORRES PETERS
PROFESOR PATROCINANTE: Dr. RAÚL G.E. MORALES SEGURA**

Á SANTIAGO, ENERO DE 2001 A.D.

DEDICATORIA

A Olga, mi madre y a los que me han apoyado en este largo camino.

AGRADECIMIENTO

Se agradece la ayuda del Dr. Juan Carlos Torres P. por su apoyo y guía en la realización del Seminario de título. También se agradece los comentarios y orientaciones del Dr. Raúl G. E. Morales. Así mismo, el apoyo y la contribución con material de apoyo y publicaciones sobre el tema de la M. Cs. Irma Vila, y los comentarios, sugerencias y apoyo de los profesores María Inés Toral y el M. Cs. Manuel Contreras. Se agradece el soporte y apoyo entregado tanto por la Gerencia de Medio Ambiente de la Casa Matriz de la Corporación Nacional del Cobre de Chile, y por la Subgerencia de Gestión de Calidad de la División el Teniente de la Corporación Nacional del Cobre y a todos los que me han apoyado en este trabajo.

INDICE

<i>DEDICATORIA</i>	<i>ii</i>
<i>AGRADECIMIENTO</i>	<i>iii</i>
<i>INDICE</i>	<i>iv</i>
<i>INDICE DE TABLAS</i>	<i>xi</i>
<i>INDICE DE ECUACIONES</i>	<i>xii</i>
<i>INDICE DE FIGURAS</i>	<i>xiii</i>
<i>ABREVIATURAS</i>	<i>xiv</i>
<i>RESUMEN</i>	<i>xv</i>
CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO II METODOLOGÍA	3
CAPÍTULO III RECOPIACIÓN DE ANTECEDENTES	7
SUBCAPÍTULO III.1 MORTANDAD DE PECES. SU ESTUDIO Y CÓMO PUEDE OCURRIR	8
SECCIÓN III.1.1 PRINCIPALES CAUSAS DE MORTANDAD DE PECES	8
SUBSECCIÓN III.1.1.1 CAUSAS NATURALES	9
III.1.1.1.1 DISMINUCIÓN DE OXÍGENO	10
III.1.1.1.1.1 Lixiviación de nutrientes	11
III.1.1.1.1.2 Hierbas y Malezas Invasivas	12
III.1.1.1.1.3 Estacionalidad	12
III.1.1.1.1.4 Humedales Efímeros	13
III.1.1.1.2 FLORECIMIENTOS DE ALGAS TÓXICAS	14
III.1.1.1.3 ENVENENAMIENTO POR SULFURO DE HIDRÓGENO	15
III.1.1.1.4 CIRCULACIÓN	16
III.1.1.1.5 SUPERSATURACIÓN DE GAS	17
III.1.1.1.6 SUBSTANCIAS TÓXICAS NATURALES	18
III.1.1.1.7 OTROS AGENTES AMBIENTALES QUE PRODUCEN ESTRÉS	19
III.1.1.1.8 ENFERMEDADES INFECCIOSAS CAUSADAS POR AGENTES PATÓGENOS	20
III.1.1.1.8.1 Agentes Bacterianos	21
III.1.1.1.8.2 Agentes Virales	22
III.1.1.1.8.3 Agentes Parasitarios	23
III.1.1.1.8.4 Agentes fúngicos	24
SUBSECCIÓN III.1.1.2 CAUSAS ANTROPOGÉNICAS	25
III.1.1.2.1 SUBSTANCIAS TÓXICAS	26
III.1.1.2.1.1 Factores modificadores de la Toxicidad	28
III.1.1.2.1.2 Respuestas biológicas de los peces	29
III.1.1.2.1.3 Signos de Toxicosis	32
III.1.1.2.2 ALGUNOS DESECHOS INDUSTRIALES CAUSANTES DE DISMINUCIÓN DE OXÍGENO	33
III.1.1.2.2.1 Lodos y Cenizas de Molino	34
III.1.1.2.2.2 Cubrimiento con desechos.	34
III.1.1.2.3 "BIO-DUNDER"	35
III.1.1.2.4 VEGETACIÓN RIBEREÑA.	35
SECCIÓN III.1.2 INVESTIGACIÓN SOBRE MORTANDAD DE PECES	36
SUBSECCIÓN III.1.2.1 LA NOTIFICACIÓN	36

SUBSECCIÓN III.1.2.2 REUNIENDO MATERIALES Y EQUIPOS	39
SUBSECCIÓN III.1.2.3 PROCEDIMIENTOS IN SITU	40
III.1.2.3.1 RECONOCIMIENTO	40
* III.1.2.3.2 DOCUMENTACIÓN	41
III.1.2.3.2.1 Toma de Muestras de agua	41
III.1.2.3.2.2 Ensayos en agua	42
III.1.2.3.2.3 Examen de peces y macroinvertebrados	43
III.1.2.3.2.4 Conteo de peces	43
III.1.2.3.2.5 Toma de registro	43
III.1.2.3.3 PREPARACIÓN DEL INFORME	44
SECCIÓN III.1.3 BIBLIOGRAFÍA	49
SUBSECCIÓN III.1.3.1 LIBROS	49
SUBSECCIÓN III.1.3.2 PÁGINA WORLD WIDE WEB	50
SUBSECCIÓN III.1.3.3 PUBLICACIONES	51
SUBCAPÍTULO III.2 PECES PRESENTES EN EL EMBALSE RAPEL Y EN EL SISTEMA CARÉN - ALHUÉ	52
SECCIÓN III.2.1 BIBLIOGRAFÍA	54
SUBSECCIÓN III.2.1.1 ESTUDIOS	54
SUBSECCIÓN III.2.1.2 PUBLICACIONES	55
SUBCAPÍTULO III.3 ESTUDIOS Y CARACTERIZACIÓN DEL LAGO RAPEL	56
SECCIÓN III.3.1 ALGUNOS ESTUDIOS REALIZADOS POR ALGUNOS INVESTIGADORES EN EL ÁMBITO DE LA LIMNOLOGÍA	56
SECCIÓN III.3.2 ESTUDIOS REALIZADOS POR LA SEDE COQUIMBO DE LA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL NORTE, ENCARGADOS POR LA DIVISIÓN EL TENIENTE DE LA CORPORACIÓN NACIONAL DEL COBRE DE CHILE CODELCO CHILE	57
SECCIÓN III.3.3 ESTUDIOS DEL CENTRO EULA CHILE DE LA UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN, ENCARGADOS POR LA DIVISIÓN TENIENTE DE LA CORPORACIÓN NACIONAL DEL COBRE DE CHILE CODELCO CHILE	61
* SECCIÓN III.3.4 MONITOREO Y ANÁLISIS QUÍMICO DE AGUAS Y ESPECIES EN EL LAGO RAPEL. INFORME TÉCNICO. WORLD CLEAN CHILE S.A.	65
SECCIÓN III.3.5 BIBLIOGRAFÍA	66
SUBSECCIÓN III.3.5.1 PUBLICACIONES	66
SUBSECCIÓN III.3.5.2 ESTUDIOS	66
✓ * SUBCAPÍTULO III.4 DESCARGAS DE RESIDUOS LÍQUIDOS INDUSTRIALES Y DOMICILIARIOS EN LA CUENCA DEL RÍO RAPEL	68
SECCIÓN III.4.1 FUENTES FIJAS DE DESECHOS DOMICILIARIOS E INDUSTRIALES EN LA CUENCA DEL RÍO RAPEL Y SUS AFLUENTES	68
SUBSECCIÓN III.4.1.1 INDUSTRIAS CONTEMPLADAS EN EL CATASTRO DE 1997, SUS ACTIVIDADES Y CUERPOS RECEPTORES DE LOS EFLUENTES DE ALGUNOS DE ELLOS	69
SECCIÓN III.4.2 FUENTES DIFUSAS	72
SUBSECCIÓN III.4.2.1 PLAGUICIDAS Y METALES PESADOS EN LA CUENCA DEL RÍO RAPEL	72
SECCIÓN III.4.3 BIBLIOGRAFÍA	74
SUBSECCIÓN III.4.3.1 ESTUDIOS	74
SUBSECCIÓN III.4.3.2 PÁGINA WORLD WIDE WEB	75
SUBSECCIÓN III.4.3.3 PUBLICACIONES	75
CAPÍTULO IV ANÁLISIS DE ALGUNAS BASES DE DATOS DISPONIBLES E INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA SOBRE EL MOLIBDENO EN PECES	77
SUBCAPÍTULO IV.1 EVALUACIÓN DE POSIBLES INFLUENCIAS DE ALGUNOS PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS, FLUVIOMÉTRICOS Y METEOROLÓGICOS EN LAS MORTANDADES DE PECES DEL LAGO RAPEL	78
SECCIÓN IV.1.1 PLUVIOMETRÍA	79

SUBSECCIÓN IV.1.1.1 ANÁLISIS POR MES	79
SUBSECCIÓN IV.1.1.2 ANÁLISIS DE LOS DÍAS EN QUE OCURRIERON LAS MORTANDADES	81
IV.1.1.2.1 AÑO 1989	81
IV.1.1.2.2 AÑO 1990	82
IV.1.1.2.3 AÑO 1998	83
IV.1.1.2.4 AÑO 1999	83
SECCIÓN IV.1.2 FLUVIOMETRÍA	84
SUBSECCIÓN IV.1.2.1 ESTERO ALHUÉ	85
SECCIÓN IV.1.3 PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS	87
SUBSECCIÓN IV.1.3.1 ANÁLISIS DE LOS DATOS DEL ESTUDIO DE INFLUENCIA DE EFLUENTES INDUSTRIALES DEL EMBALSE CARÉN.	87
IV.1.3.1.1 ESTACIÓN ESTERO CARÉN, ANTES DE CONFLUIR CON LA CANOA DE RELAVES DE LA DIVISIÓN EL TENIENTE DE LA CORPORACIÓN NACIONAL DEL COBRE CODELCO CHILE	89
IV.1.3.1.1.1 Temperatura Celsius Superficial	89
IV.1.3.1.1.2 pH	89
IV.1.3.1.1.3 Concentración de masa de metales pesados	89
IV.1.3.1.1.3.1 Concentración de masa de Cadmio ($\rho(\text{Cd})$):	90
IV.1.3.1.1.3.2 Concentración de masa de Cobre ($\rho(\text{Cu})$):	90
IV.1.3.1.1.3.3 Concentración de masa de Manganeso ($\rho(\text{Mn})$):	90
IV.1.3.1.1.3.4 Concentración de masa de Molibdeno ($\rho(\text{Mo})$):	91
IV.1.3.1.1.3.5 Concentración de masa de Plomo ($\rho(\text{Pb})$):	91
IV.1.3.1.2 ESTACIÓN CANOA DE RELAVES DE LA DIVISIÓN EL TENIENTE DE LA CORPORACIÓN NACIONAL DEL COBRE CODELCO CHILE.	91
IV.1.3.1.2.1 Temperatura Celsius Superficial	91
IV.1.3.1.2.2 pH	91
IV.1.3.1.2.3 Concentración de masa de metales pesados	92
IV.1.3.1.2.3.1 Concentración de masa de Cadmio ($\rho(\text{Cd})$):	92
IV.1.3.1.2.3.2 Concentración de masa de Cobre ($\rho(\text{Cu})$):	92
IV.1.3.1.2.3.3 Concentración de masa de Manganeso ($\rho(\text{Mn})$):	93
IV.1.3.1.2.3.4 Concentración de masa de Molibdeno ($\rho(\text{Mo})$):	93
IV.1.3.1.3 ESTACIÓN SALIDA DE LA CORTINA DEL EMBALSE DE RELAVES CARÉN DE LA DIVISIÓN EL TENIENTE DE LA CORPORACIÓN NACIONAL DEL COBRE CODELCO CHILE.	93
IV.1.3.1.3.1 Temperatura Celsius Superficial	93
IV.1.3.1.3.2 pH	94
IV.1.3.1.3.3 Concentración de masa de metales pesados	94
IV.1.3.1.3.3.1 Concentración de masa de Cadmio ($\rho(\text{Cd})$):	94
IV.1.3.1.3.3.2 Concentración de masa de Cobre ($\rho(\text{Cu})$):	95
IV.1.3.1.3.3.3 Concentración de masa de Manganeso ($\rho(\text{Mn})$):	95
IV.1.3.1.3.3.4 Concentración de masa de Molibdeno ($\rho(\text{Mo})$):	96
IV.1.3.1.3.3.5 Concentración de masa de Plomo ($\rho(\text{Pb})$):	96
IV.1.3.1.4 ESTACIÓN ESTERO CARÉN, ANTES DE CONFLUIR CON EL ESTERO ALHUÉ.	97
IV.1.3.1.4.1 Temperatura Celsius Superficial	97
IV.1.3.1.4.2 pH	97
IV.1.3.1.4.3 Concentración de masa de metales pesados	97
IV.1.3.1.4.3.1 Concentración de masa de Cadmio ($\rho(\text{Cd})$):	97
IV.1.3.1.4.3.2 Concentración de masa de Cobre ($\rho(\text{Cu})$):	98
IV.1.3.1.4.3.3 Concentración de masa de Manganeso ($\rho(\text{Mn})$):	98
IV.1.3.1.4.3.4 Concentración de masa de Molibdeno ($\rho(\text{Mo})$):	98
IV.1.3.1.5 ESTACIÓN ESTERO ALHUÉ, ANTES DE CONFLUIR CON EL ESTERO CARÉN.	99
IV.1.3.1.5.1 Concentración de masa de Metales Pesados	99

IV.1.3.1.5.1.1 Concentración de masa de Cadmio ($\rho(\text{Cd})$):	99
IV.1.3.1.5.1.2 Concentración de masa de Cobre ($\rho(\text{Cu})$):	99
IV.1.3.1.5.1.3 Concentración de masa de Manganeso ($\rho(\text{Mn})$):	99
IV.1.3.1.5.1.4 Concentración de masa de Molibdeno ($\rho(\text{Mo})$):	100
IV.1.3.1.5.1.5 Concentración de masa de Plomo ($\rho(\text{Pb})$):	100
IV.1.3.1.6 ESTACIÓN ESTERO ALHUÉ, PUENTE, ANTES DE LLEGAR AL EMBALSE RAPEL.	100
IV.1.3.1.6.1 Temperatura Celsius Superficial	100
IV.1.3.1.6.2 pH	100
IV.1.3.1.6.3 Concentración de masa de metales pesados	100
IV.1.3.1.6.3.1 Concentración de masa de Cadmio ($\rho(\text{Cd})$):	101
IV.1.3.1.6.3.2 Concentración de masa de Cobre ($\rho(\text{Cu})$):	101
IV.1.3.1.6.3.3 Concentración de masa de Manganeso ($\rho(\text{Mn})$):	101
IV.1.3.1.6.3.4 Concentración de masa de Molibdeno ($\rho(\text{Mo})$):	102
IV.1.3.1.6.3.5 Concentración de masa de Plomo ($\rho(\text{Pb})$):	102
IV.1.3.1.7 ESTACIÓN EMBALSE RAPEL, CUBETA ALHUÉ ORIENTE.	102
IV.1.3.1.7.1 Concentración de masa de Metales Pesados	102
IV.1.3.1.7.1.1 Concentración de masa de Cadmio ($\rho(\text{Cd})$):	103
IV.1.3.1.7.1.2 Concentración de masa de Cobre ($\rho(\text{Cu})$):	103
IV.1.3.1.7.1.3 Concentración de masa de Manganeso ($\rho(\text{Mn})$):	103
IV.1.3.1.7.1.4 Concentración de masa de Molibdeno ($\rho(\text{Mo})$):	103
IV.1.3.1.7.1.5 Concentración de masa de Plomo ($\rho(\text{Pb})$):	104
IV.1.3.1.8 ESTACIÓN EMBALSE RAPEL, CUBETA ALHUÉ PONIENTE.	104
IV.1.3.1.8.1 Concentración de masa de Metales Pesados	104
IV.1.3.1.8.1.1 Concentración de masa de Cadmio ($\rho(\text{Cd})$):	104
IV.1.3.1.8.1.2 Concentración de masa de Cobre ($\rho(\text{Cu})$):	104
IV.1.3.1.8.1.3 Concentración de masa de Manganeso ($\rho(\text{Mn})$):	105
IV.1.3.1.8.1.4 Concentración de masa de Molibdeno ($\rho(\text{Mo})$):	105
IV.1.3.1.8.1.5 Concentración de masa de Plomo ($\rho(\text{Pb})$):	105
IV.1.3.1.9 ESTACIÓN EMBALSE RAPEL, PARTE CENTRAL (CUBETA ALHUÉ AL LLEGAR A CUBETA CACHAPOAL)	106
IV.1.3.1.9.1 Concentración de masa de Metales Pesados	106
IV.1.3.1.9.1.1 Concentración de masa de Cadmio ($\rho(\text{Cd})$):	106
IV.1.3.1.9.1.2 Concentración de masa de Cobre ($\rho(\text{Cu})$):	106
IV.1.3.1.9.1.3 Concentración de masa de Manganeso ($\rho(\text{Mn})$):	106
IV.1.3.1.9.1.4 Concentración de masa de Molibdeno ($\rho(\text{Mo})$):	107
IV.1.3.1.9.1.5 Concentración de masa de Plomo ($\rho(\text{Pb})$):	107
IV.1.3.1.10 ESTACIÓN EMBALSE RAPEL, CUBETA CACHAPOAL.	107
IV.1.3.1.10.1 Concentración de masa de Metales Pesados	107
IV.1.3.1.10.1.1 Concentración de masa de Cadmio ($\rho(\text{Cd})$):	108
IV.1.3.1.10.1.2 Concentración de masa de Cobre ($\rho(\text{Cu})$):	108
IV.1.3.1.10.1.3 Concentración de masa de Manganeso ($\rho(\text{Mn})$):	108
IV.1.3.1.10.1.4 Concentración de masa de Molibdeno ($\rho(\text{Mo})$):	108
IV.1.3.1.10.1.5 Concentración de masa de Plomo ($\rho(\text{Pb})$):	109
IV.1.3.1.11 ESTACIÓN EMBALSE RAPEL, CUBETA RAPEL (CUBETA CORTINA)	109
IV.1.3.1.11.1 Concentración de masa de Metales Pesados	109
IV.1.3.1.11.1.1 Concentración de masa de Cadmio ($\rho(\text{Cd})$):	109
IV.1.3.1.11.1.2 Concentración de masa de Cobre ($\rho(\text{Cu})$):	109
IV.1.3.1.11.1.3 Concentración de masa de Manganeso ($\rho(\text{Mn})$):	110
IV.1.3.1.11.1.4 Concentración de masa de Molibdeno ($\rho(\text{Mo})$):	110
IV.1.3.1.11.1.5 Concentración de masa de Plomo ($\rho(\text{Pb})$):	110
IV.1.3.1.12 ESTACIÓN EMBALSE RAPEL, RÍO CACHAPOAL.	110
IV.1.3.1.12.1 Temperatura Celsius Superficial	110

IV.1.3.1.12.2 pH	111
IV.1.3.1.12.3 Concentración de masa de Metales Pesados	111
IV.1.3.1.12.3.1 Concentración de masa de Cadmio ($\rho(\text{Cd})$):	111
IV.1.3.1.12.3.2 Concentración de masa de Cobre ($\rho(\text{Cu})$):	111
IV.1.3.1.12.3.3 Concentración de masa de Manganeseo ($\rho(\text{Mn})$):	111
IV.1.3.1.12.3.4 Concentración de masa de Molibdeno ($\rho(\text{Mo})$):	112
SUBSECCIÓN IV.1.3.2 ANÁLISIS DE LOS DATOS DE LA RED DE MONITOREO DEL EMBALSE RAPEL	112
IV.1.3.2.1 EMBALSE CARÉN	113
IV.1.3.2.1.1 pH	113
IV.1.3.2.1.2 Oxígeno Disuelto	113
IV.1.3.2.1.3 Conductividad Eléctrica	113
IV.1.3.2.1.4 Sulfatos	113
IV.1.3.2.1.5 Metales Pesados Totales	113
IV.1.3.2.2 ESTERO CARÉN ANTES DE JUNTA CON EL EFLUENTE	114
IV.1.3.2.2.1 pH	114
IV.1.3.2.2.2 Temperatura Celsius del Agua	114
IV.1.3.2.2.3 Oxígeno Disuelto	114
IV.1.3.2.2.4 Conductividad Eléctrica	114
IV.1.3.2.2.5 Sulfatos	114
IV.1.3.2.2.6 Metales Pesados	115
IV.1.3.2.3 CANOA DE RELAVES	115
IV.1.3.2.3.1 pH	115
IV.1.3.2.3.2 Oxígeno Disuelto	115
IV.1.3.2.3.3 Conductividad Eléctrica	115
IV.1.3.2.3.4 Sulfato	115
IV.1.3.2.3.5 Metales Pesados	115
IV.1.3.2.4 ESTERO ALHUÉ EN QUILAMUTA	116
IV.1.3.2.4.1 pH	116
IV.1.3.2.4.2 Oxígeno Disuelto	116
IV.1.3.2.4.3 Conductividad Eléctrica	116
IV.1.3.2.4.4 Sulfato	116
IV.1.3.2.4.5 Metales Pesados	116
IV.1.3.2.5 ESTERO ALHUÉ ANTES DE LLEGAR AL ESTERO CARÉN	116
IV.1.3.2.5.1 pH	117
IV.1.3.2.5.2 Conductividad Eléctrica	117
IV.1.3.2.5.3 Sulfato	117
IV.1.3.2.5.4 Metales Pesados	117
IV.1.3.2.6 ESTERO ALHUÉ EN EL PUENTE (DESEMBOCADURA EN EL EMBALSE RAPEL)	117
IV.1.3.2.6.1 pH	117
IV.1.3.2.6.2 Oxígeno Disuelto	117
IV.1.3.2.6.3 Conductividad Eléctrica	118
IV.1.3.2.6.4 Sulfato	118
IV.1.3.2.6.5 Metales Pesados	118
IV.1.3.2.7 EMBALSE RAPEL (CUBETA ALHUÉ LADO ORIENTE) FRENTE A DESEMBOCADURA DEL ESTERO LAS PALMAS	118
IV.1.3.2.7.1 pH	118
IV.1.3.2.7.2 Oxígeno Disuelto	119
IV.1.3.2.7.3 Conductividad Eléctrica	119
IV.1.3.2.7.4 Sulfato	119
IV.1.3.2.7.5 Metales Pesados	119
IV.1.3.2.8 EMBALSE RAPEL FRENTE A LA DESEMBOCADURA DEL RÍO CACHAPOAL	119
IV.1.3.2.8.1 pH	119
IV.1.3.2.8.2 Oxígeno Disuelto	119

IV.1.3.2.8.3 Conductividad Eléctrica	120
IV.1.3.2.8.4 Sulfato	120
IV.1.3.2.8.5 Metales Pesados	120
IV.1.3.2.9 EMBALSE RAPEL FRENTE A DESEMBOCADURA DEL RÍO TINGUIRIRICA	120
IV.1.3.2.9.1 pH	120
IV.1.3.2.9.2 Oxígeno Disuelto	120
IV.1.3.2.9.3 Conductividad Eléctrica	121
IV.1.3.2.9.4 Sulfato	121
IV.1.3.2.9.5 Metales Pesados	121
IV.1.3.2.10 EMBALSE RAPEL CUBETA ALHUÉ LADO ESTE A DISTINTAS PROFUNDIDADES	121
IV.1.3.2.10.1 pH	121
IV.1.3.2.10.2 Oxígeno Disuelto	122
IV.1.3.2.10.3 Conductividad Eléctrica	122
IV.1.3.2.10.4 Sulfato	122
IV.1.3.2.10.5 Metales Pesados	122
IV.1.3.2.11 EMBALSE RAPEL PARTE CENTRAL (CUBETA ALHUÉ AL LLEGAR A CUBETA CACHAPOAL) A DISTINTAS PROFUNDIDADES	122
IV.1.3.2.11.1 pH	123
IV.1.3.2.11.2 Oxígeno Disuelto	123
IV.1.3.2.11.3 Conductividad Eléctrica	123
IV.1.3.2.11.4 Sulfato	123
IV.1.3.2.11.5 Metales Pesados	123
IV.1.3.2.12 EMBALSE RAPEL CUBETA CACHAPOAL A DISTINTAS PROFUNDIDADES	124
IV.1.3.2.12.1 pH	124
IV.1.3.2.12.2 Oxígeno Disuelto	124
IV.1.3.2.12.3 Conductividad Eléctrica	124
IV.1.3.2.12.4 Sulfato	124
IV.1.3.2.12.5 Metales Pesados	124
IV.1.3.2.13 EMBALSE RAPEL CUBETA RAPEL (CORTINA) A DISTINTAS PROFUNDIDADES	125
IV.1.3.2.13.1 pH	125
IV.1.3.2.13.2 Oxígeno Disuelto	125
IV.1.3.2.13.3 Conductividad Eléctrica	125
IV.1.3.2.13.4 Sulfato	125
IV.1.3.2.13.5 Metales Pesados	126
SUBCAPÍTULO IV.2 EL MOLIBDENO	127
SECCIÓN IV.2.1 EL MOLIBDENO	127
SECCIÓN IV.2.2 COMPUESTOS COMUNES DEL MOLIBDENO	128
SUBSECCIÓN IV.2.2.1 ESPECIES EN DISOLUCIONES ACUOSAS	128
SECCIÓN IV.2.3 INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA DEL MOLIBDENO EN SISTEMAS ACUÁTICOS	130
SECCIÓN IV.2.4 BIBLIOGRAFÍA	132
SUBSECCIÓN IV.2.4.1 LIBROS	132
SUBSECCIÓN IV.2.4.2 PÁGINAS WORLD WIDE WEB	132
SUBSECCIÓN IV.2.4.3 PUBLICACIONES	132
CAPÍTULO V DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	133
SUBCAPÍTULO V.1 VALORACIÓN DE ANTECEDENTES	134
SUBCAPÍTULO V.2 ASPECTOS INSTITUCIONALES	140
SUBCAPÍTULO V.3 CONCLUSIONES	141
SUBCAPÍTULO V.4 RECOMENDACIONES	143
BIBLIOGRAFÍA	145
ESTUDIOS	145

LIBROS	147
PÁGINAS WORLD WIDE WEB	148
PUBLICACIONES	149
ANEXOS	151
ANEXO A TABLA CON ESTADÍSTICA DE MEDICIONES DE PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS EN EL EMBALSE RAPEL Y EL ESTERO ALHUÉ	152
ANEXO B ESTADÍSTICA DE CAUDALES DE LOS RÍOS CACHAPOAL Y TINGUIRIRICA Y DEL ESTERO ALHUÉ	168
ANEXO C PRECIPITACIÓN ACUMULADA MENSUAL	176
ANEXO D LEGISLACIÓN	177
SECCIÓN D.1 NORMA 1 333 DEL AÑO 1978	177
SUBSECCIÓN D.1.1 USO DE AGUA PARA RIEGO	177
SUBSECCIÓN D.1.2 VIDA ACUÁTICA	178
ANEXO E FOTOGRAFÍAS	179
ANEXO F TEMPERATURAS MÍNIMAS Y MÁXIMAS DEL AIRE EN LA ESTACIÓN LA ROSA	184
ANEXO G VOLÚMENES DEL ÚLTIMO DÍA DEL MES DEL EMBALSE RAPEL	187
APÉNDICE	189
UNIDADES	189
SECCIÓN 1 UNIDADES Y SÍMBOLOS	189
SUBSECCIÓN 1.1 CANTIDADES BÁSICAS	190
SUBSECCIÓN 1.2 UNIDADES DERIVADAS	190
SUBSECCIÓN 1.3 PREFIJOS DEL SI	193
SUBSECCIÓN 1.4 UNIDADES FUERA DEL SI	196
SECCIÓN 2 ESTILO DE ESCRITURA DE TEXTOS CIENTÍFICOS	197
SUBSECCIÓN 2.1 REGLAS Y CONVENCIONES DE ESTILO DE ESCRITURA DE LAS UNIDADES SI	197
SUBSECCIÓN 2.2 LISTA DE REVISIÓN DE MANUSCRITOS (NIST)	197
SECCIÓN 3 BIBLIOGRAFÍA	204
SUBSECCIÓN 3.1 LIBROS	204
SUBSECCIÓN 3.2 PÁGINAS WORLD WIDE WEB	205
GLOSARIO	206
A	206
B	207
C	207
E	208
H	209
I	209
M	210
N	210
P	210
S	211
T	211
U	213

INDICE DE TABLAS

■ Tabla 1 Abreviaturas utilizadas en el seminario.....	xiv
■ Tabla III.1.1 Comportamiento de los peces y posibles causas.....	30
■ Tabla III.1.2 Efectos en peces de los pesticidas organoclorados y organofosforados.....	31
■ Tabla III.1.3 Lista de verificación de equipo para la investigación de mortandad de peces.....	39
■ Tabla III.2.1 Especies ícticas capturadas en el sistema hidrográfico Carén - Alhué y Río Cachapoal.....	52
■ Tabla III.2.2 Presencia de especies ícticas en el sistema léntico Carén-Alhué.....	53
■ Tabla III.3.1 Proporción de Pejerreyes muertos según intervalo de talla medido como LT 60	
■ Tabla III.3.2 Escala de evaluación del riesgo ecológico.....	63
■ Tabla III.3.3 Resumen de los valores promedios de los cocientes para <i>Selenastrum capricornutum</i> , <i>Daphnia pulex</i> y <i>Oncorhynchus mykiss</i>	64
■ Tabla III.4.1 Descargas recibidas por Subsubcuencas de la Cuenca del Río Rapel.....	69
■ Tabla IV.1.1 Valores acumulados mensuales de los meses de junio, julio y agosto por año en la estación Rancagua Endesa.....	79
■ Tabla IV.2.1 Especies en disoluciones acuosas de molibdato a 20 °C.....	129
■ Tabla IV.2.2 Información Toxicológica para algunas especies de peces y animales marinos.....	130
■ Tabla A.1 Tabla de Estadística de Parámetros Fisicoquímicos del Embalse Carén	152
■ Tabla A.2 Tabla de Estadística de parámetros fisicoquímicos en la estación Estero Carén antes del Embalse de relaves.....	152
■ Tabla A.3 Tabla de Estadística de parámetros fisicoquímicos en la estación de los efluentes de la canoa de relaves.....	153
■ Tabla A.4 Tabla de los Estadística de parámetros fisicoquímicos en la estación Estero Alhué en Quilamuta.....	154
■ Tabla A.5 Tabla de Estadística de parámetros fisicoquímicos en la estación Estero Alhué antes del Estero Carén.....	155
■ Tabla A.6 Tabla de Estadística de parámetros fisicoquímicos en la estación de la Desembocadura del Estero Alhué en el Embalse Rapel.....	155
■ Tabla A.7 Tabla de Estadística de parámetros fisicoquímicos en la estación Del Embalse en Cubeta Alhué frente a la Desembocadura del Estero Las Palmas.....	156
■ Tabla A.8 Tabla de Estadística de parámetros fisicoquímicos en la estación del Embalse Rapel frente a la Desembocadura del Río Cachapoal.....	157
■ Tabla A.9 Tabla de Estadística de parámetros fisicoquímicos en la estación del Embalse Rapel frente a la Desembocadura del río Tinguiririca.....	157
■ Tabla A.10 Tabla de Estadística de parámetros fisicoquímicos en la estación del Embalse Rapel en la Cubeta Alhué en la superficie.....	158
■ Tabla A.11 Tabla de Estadística de parámetros fisicoquímicos en la estación del Embalse Rapel en la Cubeta Alhué a profundidad media.....	159
■ Tabla A.12 Tabla de Estadística de parámetros fisicoquímicos en la estación del Embalse Rapel en la Cubeta Alhué en el fondo.....	160

■ Tabla A.13 Tabla de Estadística de parámetros fisicoquímicos en la estación de l Embalse Rapel en la Parte Central(Cubeta Alhué antes de llegar a la Cubeta Cachapoal) en la superficie.....	160
■ Tabla A.14 Tabla de Estadística de parámetros fisicoquímicos en la estación de l Embalse Rapel en la Parte Central(Cubeta Alhué antes de llegar a la Cubeta Cachapoal) a profundidad media.	161
■ Tabla A.15 Tabla de Estadística de parámetros fisicoquímicos en la estación de l Embalse Rapel en la Parte Central(Cubeta Alhué antes de llegar a la Cubeta Cachapoal) en el fondo.....	162
■ Tabla A.16 Tabla de Estadística de parámetros fisicoquímicos en la estación del Embalse Rapel en la Cubeta Cachapoal en la superficie.....	162
■ Tabla A.17 Tabla de Estadística de parámetros fisicoquímicos en la estación del Embalse Rapel en la Cubeta Cachapoal a profundidad media.....	163
■ Tabla A.18 Tabla de Estadística de parámetros fisicoquímicos en la estación del Embalse Rapel en la Cubeta Cachapoal en el fondo.	164
■ Tabla A.19 Tabla de Estadística de parámetros fisicoquímicos en la estación del Embalse Rapel en la Cubeta Rapel (Cortina) en la superficie.....	165
■ Tabla A.20 Tabla de Estadística de parámetros fisicoquímicos en la estación del Embalse Rapel en la Cubeta Rapel(Cortina) a profundidad media.....	165
■ Tabla A.21 Tabla de Estadística de parámetros fisicoquímicos en la estación del Embalse Rapel en la Cubeta Rapel (Cortina) en el fondo.....	166
■ Tabla B.1 Estadística de los Caudales del Río Cachapoal.....	168
■ Tabla B.2 Tabla de Estadística de Caudales del Río Tinguiririca.....	170
■ Tabla B.3 Tabla de Estadística de Caudales del Estero Alhué.....	173
■ Tabla C.1 Tabla de Precipitaciones acumuladas mensuales en Rancagua.....	176
■ Tabla D.1 Tabla con algunos valores de parámetros normados para uso de agua para riego.....	177
■ Tabla D.2 Clasificación de aguas de acuerdo a su salinidad.....	178
■ Tabla F.1 Temperaturas mínimas y máximas del aire de la estación La Rosa.....	184
■ Tabla G.1 Volúmenes del último día de cada mes del Embalse Rapel.....	187
■ Tabla 1 Unidades Básicas del Sistema Internacional de Unidades.....	190
■ Tabla 2 Ejemplos de Unidades Derivadas del Sistema Internacional de Unidades.	192
■ Tabla 3 Unidades derivadas del Sistema Internacional de Unidades que tienen nombres especiales y símbolos particulares.....	192
■ Tabla 4 Prefijos del Sistema Internacional de Unidades.....	194
■ Tabla 5 Prefijos para múltiplos binarios.....	195
■ Tabla 6 Unidades fuera del SI.....	196

INDICE DE ECUACIONES

■ Ecuación 1 Definición del Cuociente de riesgo ecológico de una substancia B.....	63
■ Ecuación 1 Ecuación de una magnitud derivada SI.....	190
■ Ecuación 2 Definición de la dimensión de una cantidad derivada Q.....	191

INDICE DE FIGURAS

■ Figura III.1.1 Formulario de Reporte de Mortandad de Peces.....	38
■ Figura III.1.2 Informe Final de una Investigación de Mortandad de peces.....	45
■ Figura III.2.1 Esquema del Embalse Rapel con sus tres subcubetas (Cachapoal, Alhué y Rapel)	54
■ Figura IV.1.1 Gráfico de las precipitaciones acumuladas en el mes en los distintos meses de los años de período 1989-1999.....	80
■ Figura IV.1.2 Gráfico de Precipitación caída en le mes de junio de 1989.....	81
■ Figura IV.1.3 Gráfico de Precipitación caída en los meses de julio y agosto de 1990	82
■ Figura IV.1.4 Gráfico de precipitación caída en los meses de julio y agosto de 1998	83
■ Figura IV.1.5 Gráfico de precipitación caída en los meses de julio y agosto de 1999	84
■ Figura IV.1.6 Comparación de caudales medios diarios en distintos años del Estero Alhué.....	85
■ Figura E.1 Estero Carén antes de llegar a los relaves.....	179
■ Figura E.2 Canoa de los relaves.....	179
■ Figura E.3 Relaves.....	180
■ Figura E.4 Embalse Carén desde la Cortina	180
■ Figura E.5 Cortina del Embalse Carén.....	181
■ Figura E.6 Vista desde la Cortina del embalse hacia el canal de filtraciones y el valle	181
■ Figura E.7 Estero Carén antes de confluencia con Estero Alhué.....	182
■ Figura E.8 Estero Alhué después de confluencia con Estero Carén	182
■ Figura E.9 Estero Alhué desde puente Alhué.....	183

ABREVIATURAS

■ Tabla 1 Abreviaturas utilizadas en el seminario.

ABREVIATURA	PALABRA COMPLETA
A.D.	Anno Domini, Año del Señor (Era Cristiana)
CGPM	Conferencia General de Pesos y Medidas
CIPM	Conferencia Internacional de Pesos y Medidas
CONAMA	Corporación Nacional del Medio Ambiente
COREMA	Corporación Regional del Medio Ambiente
DCA	Departamento de Calidad Ambiental
Dr.	Doctor
E	Este
ed.	Editor
EEUU	Estados Unidos de América
Emb.	Embalse
Est.	Estero
&	Et, y
& al.	et alter, et altri, y otro, y otros.
&c., etc.	et caetera, etcétera, y demás
M.Cs.	Magister en Ciencias
N	Norte
OIPM	Oficina Internacional de Pesos y Medidas
R.A.E.	Real Academia Española
SI	Sistema Internacional de Unidades
SISS	SuperIntendencia de Servicios Sanitarios
s.n.m.m.	Sobre el nivel medio del mar
SSAP	Suelo con Sulfato Ácido Potencial
S	Sur
UIQPA	Unión Internacional de Química Pura y Aplicada
Vn.	Volcán
vs.	Versus, contra
W	Weste, Oeste

RESUMEN

El objetivo de este trabajo ha sido revisar los antecedentes existentes que pudieran tener relación con las posibles causas de los eventos de mortandad masiva de peces ocurridos en el Embalse Rapel, en la Región del Libertador Bernardo O'Higgins.

Para esto se han revisado los informes científicos encargados por División El Teniente de Codelco Chile, las bases de datos de calidad de agua de la misma empresa, así como las publicaciones nacionales disponibles sobre el caso, y la literatura internacional sobre mortandades de peces en cuerpos de aguas continentales.

La principal conclusión alcanzada es que no existe una base de datos coherente y normalizada (existe varios estudios, en los que no siempre se miden los mismos parámetros, debido a que apuntan a diferentes objetivos), que permita caracterizar las condiciones hidroquímicas y físicas del Embalse en los períodos en que ocurrieron las mortandades, lo que impide identificar tanto la causa inmediata de la mortandad como los factores que hayan contribuido a ella. Esto se debe a que no ha habido un esfuerzo sistemático de monitoreo de todos los parámetros que se requieren para establecer una causa, debido al costo que ello implica.

Sin embargo, la información existente indica que el Embalse está sometido a un impacto antropogénico importante, con signos severos de eutroficación, debido a una diversidad de efluentes industriales, agrícolas y domésticos que se evacúan sin control al mismo. Esto se refleja especialmente en algunos parámetros fisicoquímicos que sobrepasan la norma de requerimientos de calidad de agua para distintos usos, como por ejemplo el sulfato y el molibdeno. También se destaca la mala calidad bacteriológica de las aguas, especialmente en las zonas

✓

impactadas por el desagüe de los ríos Cachapoal y Tinguiririca. Adicionalmente, se ha detectado un cambio en la composición de microalgas del Embalse, lo que también respondería a un cambio en las condiciones de calidad del agua del embalse.

Sin embargo, la subcubeta Alhué (correspondiente a la zona del embalse Rapel en donde, antes de la formación de éste, corría el Estero Alhué) se puede decir que está aislada de las subcubetas del Cachapoal y de Rapel (Cortina) (Hillmer, I. & Niño Y., 2000), y hay un leve mezclado sólo en la parte poniente de la subcubeta Alhué. Con esto, no se puede considerar la influencia de los ríos Cachapoal y Tinguiririca en toda su magnitud, sino más bien hay que considerar las influencias de la ribera y los esteros y canales de la subcubeta Alhué. Además del estero Alhué que está influenciado por las aguas claras provenientes del Embalse Carén hay que sumar el aporte de los canales de regadío que desembocan en esta subcubeta, los cuáles tienen aguas con altos contenidos de materia orgánica y son de baja calidad bacteriológica (Manuel Contreras, comunicación personal)

El Embalse Carén tiene un alto aporte de sulfatos y de molibdeno (los valores de concentración (de masa) sobrepasan la norma de uso de agua para riego (NCh 1 333/1978)). De éstos, el sulfato presenta el riesgo de que en condiciones reductoras (anóxicas) se puede convertir en sulfuro de hidrógeno, que puede matar a los peces. Esta transformación puede ser mediada por bacterias sulfato – reductoras que se encuentran sobre los sedimentos. Hay evidencias de la presencia de ella en el sistema Carén – Alhué según el Estudio de la Universidad Católica del Norte, Sede Coquimbo. Sin embargo, se ignora si éstas están presentes en el Embalse Rapel. Los sedimentos en la subcubeta Alhué son anóxicos (Manuel Contreras, comunicación personal), con lo cuál los compuestos que toman contacto con éstos podrían reducirse.

Lo que tampoco se ha investigado en esta parte del Embalse, es la presencia de pesticidas, lo que tampoco se podría descartar.

En cuánto a la disminución de oxígeno, se ha visto que en general los niveles son normales y la columna de agua tiene sólo una zona óxica en la subcubeta

✓

Alhué, y en el informe de la Universidad Católica del Norte no hay indicios de que está haya sido la causa.

Sólo a través de un programa de monitoreo periódico de la calidad del agua del Embalse, y de una evaluación de los efluentes que recibe, se podría establecer si las mortandades de peces son causadas por un tipo específico de aporte contaminante o alguna combinación de varios factores. También es necesario evaluar los efectos acumulativos de contaminantes, como los metales y nutrientes, y el posible riesgo asociado a su acumulación progresiva de elementos exógenos en los sedimentos del Embalse.

CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

El Embalse Rapel es un lago artificial, el cuál entró en uso en 1968, inundando los valles que conformaban la antigua Cuenca del Río Rapel así como la de sus tributarios. De acuerdo a su morfología se le puede dividir en tres subcubetas: Alhué, Cachapoal y Rapel (Cortina) Hasta 1987 se le caracterizaba como un lago mesotrófico monomíctico temperado en proceso de eutroficación, aunque empezó a variar en una serie de parámetros luego de esta fecha debido a la intensificación de las actividades turísticas y agrícolas desarrolladas en las orillas del Embalse, y la creación del Embalse de relaves Carén de la División Codelco Chile (Vila, I. & al. 1997)

En el período de 1989 a 1999 se tiene relación que han ocurrido cuatro episodios de mortandad de peces en este Embalse:

- 15 al 19 de junio de 1989.
- 19 al 27 de julio de 1990.
- 05 al 07 de agosto de 1998.
- 21 al 24 de julio de 1999.

De estas sólo se ha hecho un informe para la mortandad del 1990, por el equipo de la Sede Coquimbo de la Universidad Católica del Norte. Se hizo además un pequeño informe por parte de Worldclean Chile para la mortandad de 1999 que es bastante discutido.

El presente trabajo tiene los siguientes objetivos:

Objetivo general:

- Recopilar y valorar información fisicoquímica y biológica en torno al tema de mortandad de peces en el Embalse Rapel

Objetivos específicos:

- Recopilar información de los episodios ocurridos en el Lago Rapel.
- Recopilar información pluviométrica y de temperaturas máximas y mínimas existente que abarque los períodos de mortandad.
- Examinar las bases de datos fisicoquímicos del sistema de las que se dispone, hacer un análisis crítico de las mismas.
- Recopilar información general de mortandad de peces así como de procedimientos generales de investigación.
- Sugerir acciones de monitoreos e investigaciones para buscar causalidad en futuras ocasiones.

CAPÍTULO II METODOLOGÍA

Se hará, principalmente, una investigación bibliográfica, y se seguirá, en líneas generales el siguiente procedimiento:

- A. ANÁLISIS DE INFORMACIÓN EXISTENTE: Se procederá a revisar la información de los estudios existentes en la empresa, realizados por la Universidad Católica del Norte Sede Coquimbo y por el Centro EULA Chile de la Universidad de Concepción y se discriminará los datos relevantes para el trabajo.
- B. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN DEL LAGO: Se procederá a revisar en la literatura, que algunos artículos se han escrito acerca del Lago Rapel. Se investigará la información existente de fluviometría (caudales medios diarios) en algunas estaciones de los ríos Tinguiririca y Cachapoal y el Estero Alhué en el período 1989 - 1999; y sobre industrias que viertan Residuos Industriales Líquidos en la cuenca en algunos servicios públicos tales como la Dirección General de Aguas, y la Superintendencia de Servicios Sanitarios, respectivamente. Se recopilará otra información que se crea de interés como por ejemplo la presencia de pesticidas en la Cuenca.
- C. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN PLUVIOMÉTRICA Y DE TEMPERATURAS MÁXIMAS Y MÍNIMAS: Se recopilará la información existente en la estación meteorológica de Rancagua de ENDESA, la cuál posee la Dirección General de Aguas en su Banco de Datos abarcando el período comprendido entre 1989 y 1999, para ver en las condiciones aproximadas en que se verificó las distintas mortandades en el caso de la

pluviometría. Para el caso de las Temperaturas se consultó los datos de la Estación La Rosa de la Dirección Meteorológica de Chile, abarcando períodos entre el 15 de Mayo y el 15 de Agosto de los años 1989, 1990, 1998 y 1999.

D. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN SOBRE MORTANDAD DE PECES:

Se recopilará información de mortandad de peces en Internet sobre causas de mortandad de peces y en publicaciones especializadas de organizaciones de EEUU, país en donde los procedimientos de investigación están mas desarrollado y que pueden seguir incluso un proceso judicial. Esta información puede servir para las futuras investigaciones que se hagan en el Embalse Rapel, además de los aspectos que hay que considerar en la información que se busque o revise en el actual seminario.

E. EVALUACIÓN DE BASE DE DATOS: Se compararán los diversos datos obtenidos con la norma de requisitos de calidad de agua para diferentes usos (en el caso del seminario se verá principalmente lo correspondiente al uso de agua para riego)(NCh 1 333/1978) que está en vigencia, para ver los parámetros que puedan entrar en conflicto. Se analizará el comportamiento de la pluviometría recopilado anteriormente para ver que comportamiento tiene en las fechas de mortandades para ver si hay algún hecho especial que se verifique en esos días. Se revisarán las Temperaturas máximas y mínimas para ver su comportamiento diario en torno a los sucesos de las distintas mortandades. Se revisará el comportamiento fluviométrico de acuerdo a los datos obtenidos en la Dirección General de Aguas, en los ríos Cachapoal y Tinguiririca y en el Estero Alhué. De esto se verá si se puede agregar aportar otros antecedentes que puedan dar una relación de causalidad Esto dará también una idea si hay que revisar otros aspectos o parámetros.

Las distintas fuentes revisadas en el trabajo se pueden encontrar en las respectivas secciones "Bibliografía" de cada subcapítulo y en la parte Bibliografía que ve todas las fuentes utilizadas en el presente seminario.

El presente seminario se estructurará en cinco capítulos:

1. Introducción
2. Metodología
3. Recopilación de Antecedentes
4. Análisis de algunas bases de datos disponibles e información toxicológica sobre el Molibdeno en peces.
5. Discusión y Conclusiones

El tercer, cuarto y quinto capítulo están además subdividido en subcapítulos en los cuáles se tratan los siguientes temas

Dentro del tercer capítulo se tratarán los diversos antecedentes revisados.

En el primer subcapítulo se revisará las distintas causas que pueden causar este hecho. También se revisará la forma de enfrentar una mortandad de peces y los pasos a seguir desde la notificación por parte de algún testigo presencial.

Como influyen aspectos fisicoquímicos y biológicos de la calidad del agua del sistema hídrico en cuestión, se revisará en el tercer subcapítulo los distintos estudios que se han hecho al respecto para tratar de tener una visión aproximada del comportamiento del Embalse Rapel.

El sistema del Embalse Rapel no es cerrado sino que recibe las aguas de varios ríos y esteros que surcan la Región del Libertador General Bernardo O'Higgins. Muchas de esta agua traen residuos líquidos domiciliarios e industriales. Se revisará el Catastro que se hizo en 1997 de Residuos Líquidos Industriales en donde se identifican las diversas industrias involucradas en forma notable, así como los distintos servicios sanitarios involucrados, con lo cuál se puede tener una idea del tipo de residuos que se emiten. Se intenta a la vez recopilar

información de presencia de pesticidas que son emitidas en forma difusa en la cuenca.

Una vez vista la información disponible, dentro del cuarto capítulo, en su primer subcapítulo se analizará diversas bases de datos de tipo pluviométrico, de temperaturas máximas y mínimas, fluviométrico y los datos recopilados tanto del estudio de la Universidad Católica del Norte Sede Coquimbo, como de una red de monitoreo establecida en el Embalse Rapel en el cuál se mide una vez al mes de algunos parámetros fisicoquímicos. Además se incluyen los valores disponibles en la Dirección General de Aguas sobre volúmenes del último día de cada mes en torno a las fechas en que ocurrieron las mortandades del Embalse Rapel, de carácter referencial.

Se verá en el segundo subcapítulo información toxicológica de Molibdeno en peces debido a que este metal se emite en mayor concentración de masa desde el Embalse Carén, al igual de lo que ocurre con el Sulfato del cuál no se dispone de información toxicológica relevante.

En el quinto capítulo de las conclusiones se tomará en cuenta las acciones tendientes a mejorar las respuestas en caso de una mortandad de peces, la cuál se revisó en el tercer capítulo (primer subcapítulo) y se mencionará el campo que se abre par estudios futuros.

CAPÍTULO II RECOPIACIÓN DE ANTECEDENTES

SUBCAPÍTULO III.1 MORTANDAD DE PECES. SU ESTUDIO Y CÓMO PUEDE OCURRIR

La mortandad de peces es un fenómeno que se suscita en forma repentina en el cuál se muere una cantidad apreciable de peces y es provocado por varios factores que pueden ser tanto naturales como antropogénicos o una combinación de ellos. Las causas pueden ser de variado origen, pero en general se deben a un cambio en el ambiente de distintos parámetros de calidad de agua de tipo fisicoquímico y/o biológico. Los parámetros de la calidad del agua varían según el uso del recurso hídrico y su control cambia de acuerdo a las legislaciones de los distintos países.

La dificultad de saber la causa de una mortandad de peces radica en las múltiples causas que lo pueden provocar.

La importancia de determinar las causas de la mortandad está en que se puede analizar las acciones tendientes a corregir o a mejorar la situación que las causó, con un beneficio para el entorno involucrado.

En este capítulo se tratará de exponer algunas de las causas de mortandades que comúnmente provocan estos hechos. En la sección siguiente se verá un resumen de las etapas que se siguen para el estudio de mortandades de peces en otros países.

SECCIÓN III.1.1 PRINCIPALES CAUSAS DE MORTANDAD DE PECES

Como se ha dicho anteriormente, las causas de las mortandades de peces pueden ser varias. Esto se puede ilustrar con las siguientes cifras mostradas por Meyer (1990).

En la década de los setenta se estimó que 3,6 millones de peces murieron en 409 mortandades de peces documentadas en el Estado de Missouri. La incidencia de los tipos de causas es típica en muchos estados y los datos de

Missouri dan una idea útil de las causas más probables de mortandades de peces. En Missouri, las fuentes de contaminación domiciliarias fueron la causa más común (26,4 %) de mortandades de peces, seguido de las operaciones agrícolas(17,4 %) y operaciones industriales (10,8 %).

Las causas menos importantes de mortandades de peces fueron los accidentes de transportes (7,6 %), la disminución de oxígeno(7,3 %), otras operaciones no industriales (6,8 %), minería (6,6 %), enfermedades (3,7 %) y otros (2,7 %) Las causas indeterminadas dan razón del 10,7 % de las muertes.

A continuación se verá detalles de algunas de las diversas causas que pueden producir las mortandades de peces.

SUBSECCIÓN III.1.1.1 CAUSAS NATURALES

Un ejemplo de las mortandades por causas naturales lo constituyen las ocurridas en Australia (Veitch, V., 1998) incluso antes de la colonización europea, en el terreno aluvial costero de Queensland del Norte, en áreas con pequeño impacto humano, tales como las causadas por el descenso del nivel de oxígeno en charcos poco profundos, hasta las causadas por la generación de ácido, en áreas con sedimentos piriticos que se han oxidado durante los períodos de sequía, después de la cuál siguen gran cantidad de precipitaciones que desencadenan la producción de ácido.

Las inundaciones transportan importantes cargas de nutrientes hacia el ambiente marino, e, históricamente, después de un extenso período de sequía los torrentes de agua con niveles bajos de oxígeno que fluyen aguas abajo, causan una mortandad de peces.

Las relaciones indirectas, tales como incremento de temperatura acuática debido a la pérdida de vegetación ribereña, son relevantes, así como lo son los impactos lejos del sitio tales como los nutrientes y la lixiviación de ácido (Veitch, V., 1998)

Se estima que un 50% de las mortandades ocurren por causas naturales. Algunas de ellas son:

Disminución de oxígeno, que a su vez puede ser debido a varias causas

- Florecimientos de algas con toxinas persistentes
- Circulación entre los estratos de agua de un lago.
- Substancias tóxicas naturales.
- Envenenamiento causado por el sulfuro de hidrógeno.
- Los suelos ácidos
- Supersaturación de gases
- Enfermedades infecciosas causadas por bacterias, virus, parásitos, y hongos
- Otros agentes ambientales que producen estrés.

A continuación se dará una descripción de algunas de las causas.

III.1.1.1.1 DISMINUCIÓN DE OXÍGENO

Quizás una de las causas naturales más comunes de las mortandades de peces sea la disminución de oxígeno. Ocurre cuando la demanda de oxígeno para procesos químicos y biológicos excede a la entrada de oxígeno de la aireación y la fotosíntesis o cuando el agua no posee suficiente oxígeno disuelto para mantener la vida acuática a través de la noche.

Ésta puede ocurrir por diversas causas, o una combinación de ellas, que hay que determinar con una investigación a fondo.

Los siguientes hechos pueden tener incidencia en la disminución de oxígeno: la materia orgánica en descomposición, los caudales bajos (estivales), las altas temperatura, los florecimientos de algas, que se verán más adelante, y las malezas invasivas.

Las circunstancias que fomentan la disminución natural de oxígeno incluyen clima con día nublado, y cálido o nivel de agua bajo, como puede ocurrir durante una sequía o período extenso sin lluvia.

A menos que haya una eutrofización extrema como resultado de aguas servidas no tratadas o parcialmente tratadas la disminución de oxígeno es altamente estacional en el suceso.

Antes de que la disminución de oxígeno letal suceda pueden aparecer grandes crecimientos de vegetación acuática o densos florecimientos de algas verde – azules por muchos días o semanas. El oxígeno disuelto puede exceder la saturación entre el mediodía y las 14:00 h (debido a la fotosíntesis de las algas) y aproximarse hacia el límite mínimo crítico para peces supervivientes justo antes del amanecer. Acompañando a este fenómeno hay un amplio cambio en pH con lecturas de 10 o más en el mediodía y 6,9 o menos al amanecer. Estas señales dan un alerta anticipada de una mortandad de peces. En contraste, las mortandades de peces debidas a sustancias tóxicas son eventos abruptos, catastróficos y a largo plazo que suceden sin alerta (Herman, R.L. y Meyer, F.P., 1990)

III.1.1.1.1.1 Lixiviación de nutrientes

La lixiviación de nutrientes hacia cursos de aguas, además de disminuir el oxígeno por su propia descomposición en el agua, puede involucrar otros sucesos que lleven a la baja de oxígeno, tales como el crecimiento de las malezas y hierbas invasivas y el florecimiento de algas, los que serán analizados posteriormente.

En general, el problema es provocado en algunos casos por la cantidad adicional de fertilizantes que usan los agricultores a sus cultivos para obtener un mejor rendimiento. Este exceso puede llegar a los cursos de aguas por la escorrentía que se produce a causa de las lluvias o por la lixiviación a través de los suelos. Esto también se produce a causa de los desechos provenientes del ganado tales como orines o heces, que contiene una alta cantidad de nutrientes.

III.1.1.1.1.2 Hierbas y Malezas Invasivas

También puede haber disminución de oxígeno debido a hierbas y malezas acuáticas invasivas. Los sistemas radiculares son a menudo densos y atrapan tanto a los sedimentos como detritus que causan disminución de oxígeno. Las malezas muertas en descomposición pueden causar una disminución significativa del oxígeno disuelto. En algunas áreas, la introducción de malezas trae beneficios para los intereses de grupos locales, debido a que la reducción de sedimentos puede producir la apariencia de un mejoramiento en la calidad de las aguas, pero la captura de materia en descomposición bajo la superficie por las malezas lleva a descensos en el nivel de oxígeno. Adicionalmente, la captura de sedimentos en las lagunas reduce la profundidad e incrementa la temperatura de las aguas, dando como resultado las condiciones para el descenso de oxígeno y el crecimiento de algas. Si se le combina con una alta carga de nutrientes, esto puede resultar en una emisión de H_2S , que también puede causar mortandades (Veitch, V., 1998)

III.1.1.1.1.3 Estacionalidad

En el Hemisferio Norte se puede distinguir entre mortandades de verano, primavera e invierno, dándose en cada caso un conjunto característico de condiciones ambientales que gatillan el fenómeno.

En ese hemisferio, la disminución de oxígeno en aguas naturales es más común durante los meses de junio, julio, y agosto, pero también puede suceder en diciembre, enero y febrero.

La disminución de oxígeno invernal sucede cuando la cobertura de hielo y nieve impide la fotosíntesis o la aireación, y las mortandades pueden ser de gran magnitud y no descubrirse hasta el deshielo.

La evidencia ambiental asociada con la disminución de oxígeno estival en el Hemisferio Norte puede incluir lo siguiente (Herman, R.L. y Meyer, F.P., 1990):

Los peces grandes de una especie mueren primero; los peces pequeños pueden estar aún vivos, intentando tomar aire en las aguas poco profundas.

El pH está entre 6,0 y 7,0.

La vegetación en descomposición (negra y olorosa) puede ser abundante.

La mortandad ocurre abruptamente, a menudo entre las 2:00 h y el amanecer. Si la mortandad es incompleta, a menudo se apacigua poco después del amanecer, pero entonces puede reanudarse en la noche siguiente.

La selectividad de las especies es evidente; las especies con altos requerimientos de oxígeno mueren primero.

La concentración de oxígeno disuelto es baja – usualmente entre 0 g/m³ y 1 g/m³.

El sitio y el agua tienen un olor fuerte.

Días muy calurosos, de poco viento y alta nubosidad.

La concentración de Anhídrido Carbónico libre es alta.

El color de las aguas cambia desde verde claro a verde botella, café, gris o negro.

El zooplancton está muerto o muriéndose.

Alto consumo de oxígeno por algas durante la noche.

III.1.1.1.1.4 Humedales Efimeros

Los humedales efimeros pueden ser zonas con alto potencial para causar daño a la pesca, si son alterados por suelos subyacentes con sulfato ácido potencial, como ocurre en algunos países como Australia, en que se puede liberar ácido sulfúrico, y así metales pesados (aluminio, hierro, y otros) pudiendo causar mortandades de peces y enfermedades tales como el “ Mal de las Manchas Rojas” (Veitch, V., 1998) Se los considera como verdaderos riñones que filtran productos de desecho potencialmente tóxicos y los reciclan a una forma más utilizable. Estas zonas eran consideradas áreas inútiles y fueron profusamente drenadas y limpiadas, quedando algunas lagunas remanentes, las que pasaron a cumplir el rol de los humedales, perdiendo su valor como hábitat de la pesca,

volviéndose más bajas y llenándose de material orgánico en descomposición, contribuyendo a una disminución de oxígeno, y promoviendo el crecimiento de malezas invasivas que actúan como una barrera física a la migración de peces y también reducen el oxígeno del agua.

III.1.1.1.2 FLORECIMIENTOS DE ALGAS TÓXICAS

En ciertas situaciones, una sola especie de alga tóxica puede volverse dominante en la flora. Algunas algas verde-azules y ciertos dinoflagelados liberan toxinas que matan o inhiben a otras algas. Las especies susceptibles de algas desaparecen gradualmente hasta que permanecen sólo las especies dominantes, a menudo con alta abundancia. Cuando las algas agotan los nutrientes disponibles, las especies compiten entre ellas mismas y el nivel de toxinas sigue incrementándose. Eventualmente, el agua puede comenzar a ser tóxica para el zooplancton, los insectos, los peces, y a veces los animales que beben el agua. Las mareas rojas, que ocurren en el agua marina debido a los florecimientos de dinoflagelados *Gymnodinium brevis*, son un ejemplo común.

La producción de la toxina está fuertemente relacionada con la actividad fotosintética. La mortandad comienza alrededor de las 9:00 h, continua a través del día hasta las 16:00 h, y entonces disminuye, sólo para repetirse al día siguiente. A menos que algunos factores intervengan, el fenómeno continúa hasta que el florecimiento de algas termina o sucede una disminución de oxígeno. A menudo hay un decrecimiento de largo plazo del problema de las algas, a veces seguido de señales clásicas de la disminución de oxígeno (e.g. baja cantidad de oxígeno, bajo pH, alta cantidad de anhídrido carbónico, color de las aguas obscuro, olor fuerte) A menos que el observador haya detectado las fases tempranas de la mortandad de peces, el rol de las algas tóxicas puede pasar desapercibido (Herman, R.L. y Meyer, F.P., 1990)

En los florecimientos de algas tóxicas, el pH es muy alto (9,5 a 11,0) al mediodía, el oxígeno disuelto está cerca de la saturación o mayor, y las temperaturas del agua pueden alcanzar los 27 °C. Una sola especie de alga está presente en

grandes cantidades. Algunas especies de *Anabaena*, *Aphanizomenon*, *Dinobryon*, *Glenodinium*, *Gleotrichia*, *Gymnodinium*, y *Microcystis* han sido informadas por causar florecimientos de algas. La *Microcystis* produce una familia de toxinas llamadas microcistinas que atacan el hígado. La *Anaeba* también es un conocido genero de cianobacterías que produce toxinas (según el Artículo TOXIC ALGAE IN LAKE SAMAMISH!) (Ochumba, P.B.O., 1987)

En el caso de la *Aphanizomenon flos-aqua* cuyos florecimientos pueden producir colapsos que pueden desencadenar en una disminución de oxígeno a niveles en que puede producir una mortandad de peces en verano y en lagos eutróficos, dependiendo de la biomasa de dicha alga (Barica, J., 1978)

Otro caso lo constituye la *Tricodesmium* que se torna tóxica después del florecimiento y reduce el contenido de oxígeno en las aguas circundantes. En aguas mar adentro, esto no es un mayor problema, pero cerca de la orilla, como en los arroyos de los estuarios, el impacto puede ser devastador (Veitch, V. 1998).

III.1.1.1.3 ENVENENAMIENTO POR SULFURO DE HIDRÓGENO

La alta cantidad de H₂S disuelto, aún en presencia de una cantidad de oxígeno disuelto adecuada, puede causar una condición de sangre café y mortandades en los peces. El color café de la sangre es causado por la formación de sulfohemoglobina, que reduce drásticamente la habilidad de conducir el oxígeno. Algunos peces normalmente sobreviven y en ultimo término se recuperan. Los peces mayores son los más severamente afectados. Las señales ambientales incluyen:

Materia orgánica en descomposición en la orilla de barlovento,
Peces con los filamentos de las agallas de color chocolate oscuro.
Olor de H₂S en el agua – especialmente a sotavento del lugar,
Peces desorientados y moribundos

Acidificando una muestra de sangre café con Ácido Acético o Clorhídrico se liberará el olor distintivo del H₂S u olor a huevos podridos. Las señales de una disminución se pueden observar, pero no están siempre presente. El oxígeno disuelto está a veces por sobre los 3 g/m³ en los casos de envenenamiento con H₂S (Herman, R.L. y Meyer, F.P., 1990).

III.1.1.1.4 CIRCULACIÓN

Ocasionalmente, las perturbaciones relacionadas con el clima gatillan a las mortandades de peces. En los lagos de poca profundidad, los vientos de alta velocidad pueden romper la estratificación térmica y causar una circulación. La lluvia fuerte y fría seguida de clima cálido prolongado o una granizada pueden también causar una circulación estival que traiga agua anóxica y materia orgánica en descomposición en la columna de agua total e incrementa enormemente la demanda de oxígeno total. Esto ocurre debido a que el estrato del fondo está conformado por agua estancada, fría y contiene a menudo importantes cantidades de materia orgánica. El estrato superior, en contacto con el aire, es más cálido, tiene mayor contenido de oxígeno y es donde se ubican la mayoría de los organismos. Al producirse circulación, por el movimiento de los estratos en el sentido vertical, el contenido de oxígeno cae debido a varios factores:

se mezcla agua con poco O₂ con agua con mayor contenido de O₂
aumenta la demanda de oxígeno por descomposición de materia orgánica que
es integrada a la columna total de agua
gases nocivos producidos en el fondo afloran a los estratos superiores

Cualquier otro factor que contribuya a la disminución del O₂ agravará la disminución. Por ejemplo: menor intercambio gaseoso en la interfase agua-aire (poco viento); disminución de la producción de O₂ por las algas (por poca luz)

También, cualquier factor que aumente la cantidad de materia orgánica disponible para descomposición (proceso que requiere oxígeno) impactará sobre la demanda de oxígeno y por lo tanto los niveles disponibles para la respiración. Por ejemplo: el escurrimiento de efluentes con grandes cantidades de nutrientes (típicamente los residuos agrícolas) Por esto, caerá el oxígeno a pesar de que surja una aireación por la acción de las olas. Al igual de las señales vistas en la disminución de oxígeno, en la circulación se verá baja cantidad de oxígeno Disuelto, materia orgánica en descomposición, mal olor (Herman, R.L. y Meyer, F.P. 1990)

III.1.1.1.5 SUPERSATURACIÓN DE GAS

La solubilidad de los gases es directamente proporcional a las presiones atmosféricas e hidrostática. Si un buzo llega a la superficie muy rápido de un buceo profundo, se forman burbujas de Nitrógeno en los vasos sanguíneos debido a que la solubilidad del Nitrógeno en la sangre decrece cuando la presión hidrostática se reduce. Esto resulta en una parálisis, que les ocurre a los buceadores, que puede ser letal. El pez puede sufrir la misma condición, pero es llamada “Mal de las Burbujas de Gas” o “ Trauma de las burbujas de gas” (Elston, R., 1998) En los peces moribundos por este desorden, se desarrollan burbujas de gas en forma obvia en las agallas, debajo la piel, o alrededor de los ojos. Exoftalmia u ojos saltones pueden ocurrir sin burbujas visibles.

Las muertes atribuibles al “Mal de las burbujas de gas” pueden ser causadas de varias formas. Si se forma una termoclina durante el tiempo cálido, el pez que permanece en las aguas frías bajo la termoclina a veces desarrollan el mal de las burbujas de gas si se mueve a aguas más cálidas. Las aguas sacadas de las entradas de aguas profundas de las grandes presas han sido sujetas a la presión del agua de la columna y son a menudo más frías que las aguas superficiales. Cuando esa agua es descargada en la corriente superficial, la presión hidrostática se reduce y la temperatura creciente reduce la solubilidad de los gases. Los peces sujetos a estas condiciones desarrollan el “Mal de las

burbujas de gas". Si el curso de agua tiene rápidos de baja altura liberan el exceso de gases disueltos. Las descargas de calor provenientes de plantas de energía eléctrica atraen a los peces durante las temporadas frías. Los movimientos de los peces desde las aguas frías hacia la "pluma" a veces inducen al "Mal de las burbujas de gas".

La supersaturación de Nitrógeno está relacionado a menudo con el Mal de las burbujas de gas, la supersaturación de oxígeno también puede causar problemas. Si las plantas acuáticas (tales como las algas caráceas, *Chara* sp.) son abundantes y las condiciones del agua son ideales para la fotosíntesis, las plantas pueden supersaturar el agua con oxígeno. Si la temperatura sube o la presión cambia, los peces en el área pueden desarrollar el "Mal de las burbujas de gas" relacionado con el oxígeno tal como ocurre con la supersaturación de Nitrógeno (Herman, R.L. y Meyer, F. P., 1990)

III.1.1.1.6 SUBSTANCIAS TÓXICAS NATURALES

Los problemas ocasionalmente se desarrollan debido a la estratificación térmica. En las áreas en donde el manganeso es abundante en suelos de la línea divisoria de las aguas, el óxido manganeso disuelto puede acumularse en el hipolimnio anóxico y ácido a niveles que son tóxicos para los peces. Generalmente debido a que ningún pez está en la zona anóxica, el peligro potencial puede volverse irreconocible. Sin embargo, si la estratificación es perturbada (e.g., por una lluvia fría, una inversión, o una seca interna), puede ocurrir una mortandad de peces. Si una inversión o una seca interna trae agua tóxica a la superficie o sobre la entrada de los conductos forzados de una presa, puede resultar en una mortandad de peces en el río o en un criadero de peces aguas abajo de la presa. Tales mortandades de peces son particularmente difíciles de diagnosticar debido a que las mortandades son esporádicas, las características ambientales parecen normales, y no hay lesiones sobre peces afectados. El diagnóstico está basado en la detección de niveles tóxicos de manganeso en el agua (Herman, R.L. y Meyer, F.P., 1990)

III.1.1.1.7 OTROS AGENTES AMBIENTALES QUE PRODUCEN ESTRÉS

A veces, un estrés ambiental puede ser irreconocible debido a que ninguna mortandad directa sucede. Las concentraciones de oxígeno disuelto bajo los 4 g/m³, el desove, las migraciones o las temperaturas del agua elevadas o bajas pueden ser agentes que producen estrés significativo que reducen la resistencia de los peces a los agentes patógenos. Por ejemplo, el "threadfin shad" (sábalo) requiere de agua tibia. Si la temperatura cae a 10 °C o menor, el pez se pone tenso severamente y puede morir; los sobrevivientes pueden desarrollar a menudo infecciones bacterianas o fúngicas que resultan en una mortandad de peces. Los peces después del desove también pueden tener reducida su resistencia a los agentes patógenos. Así, no es inusual observar una serie de mortandades de peces en primavera. Aunque estas son más breves y localizadas, y pueden estar asociadas a un estado débil de los peces tras pasar el invierno, al mayor gasto de energía por actividades que la demandan tal como el desove, a una mayor circulación (intercambio en la estratificación) y a una mayor actividad de parásitos y patógenos. También pueden suceder las mortandades de las especies que desovan en otoño. Tales mortandades son normalmente restringidas a adultos de una sola especie, pero pueden ser afectadas múltiples especies, dependiendo de la cronología de su desove.

Las mortandades de peces también pueden estar relacionadas a características anormales o inusuales de la estructura o densidad de la población. Ocasionalmente, una sola clase etarea de una especie puede ser tan exitosa, que domine a las clases etareas circundantes. Tales clases etareas dominantes pueden ser tan abundantes que su número excede la capacidad de carga de ese hábitat. Cuando esto ocurre, los individuos comienzan a ser impedidos, están en una mala condición y son altamente susceptibles a tensiones e infecciones secundarias. El colapso de la clase etarea dominante una mortandad a largo

plazo y catastrófica, aparentemente asociado a un agente patógeno en particular. Aunque la causa de la mortandad de peces pueda parecer relacionado con una enfermedad, el factor primario es simplemente un ajuste natural en la dinámica poblacional de una sola especie (Herman, R.L. y Meyer, F.P., 1990)

III.1.1.1.8 ENFERMEDADES INFECCIOSAS CAUSADAS POR AGENTES PATÓGENOS

Tres factores están involucrados en cada situación de enfermedad potencial: los huéspedes susceptibles, los organismos patógenos, y las condiciones ambientales predispositivos. Todas deben estar presentes cuando sucede una epizootia. Se han enumerado como algunos de los factores predispositivos posibles tales como:

Contaminación,

Resistencia genética pobre,

Respuesta inmunológica decreciente.

Química acuática desfavorable

Tensión por temperatura,

Otras condiciones adversas, que pueden incluir factores tales como:

Actividad de desove.

Amontonamiento.

Cambios estacionales.

Tormentas.

Provisión de alimentos inadecuado.

Aunque las bacterias pueden ser la causa de muerte en último término en una situación particular, otros factores son a menudo más importantes y hay saber valorarlos. Siempre que alguno de estos factores comprometa la capacidad inmunológica del pez, a menudo suceden las enfermedades. Los agentes patógenos raramente abruma a una población saludable de peces. Por lo tanto, es importante buscar los factores fundamentales que deben contribuir con

el suceso de mortandades causadas por agentes patógenos en las aguas naturales.

En las mortandades de peces causadas por agentes parasitarios o infecciosos, las pérdidas tienen un aumento gradual en la velocidad de pérdida ya que los animales más débiles y más severamente afectados mueren primero. A menudo solamente es afectada una sola especie. Ocasionalmente, una población afectada está sujeta a un segundo tensor y una mortandad de peces aparentemente abrupta puede desarrollarse después de una pérdida persistente y crónica que ha persistido por algún tiempo. Aún así, el transcurso de la mortandad de peces es gradual a diferencia de como ocurre con la disminución de oxígeno, o en situaciones relacionadas con sustancias tóxicas.

Se ha identificado una variedad de agentes infecciosos como la causa de mortandades de peces en aguas naturales, entre los cuales destacan las bacterias, virus, organismos parasitarios y los hongos, que se ven a continuación (Herman, R.L., 1990)

III.1.1.1.8.1 Agentes Bacterianos

Muchas enfermedades bacterianas de los peces están relacionadas con el estrés. Esto significa que las mortandades de peces relacionados con agentes patógenos bacterianos son asociadas con una situación o cambio ambiental significativo. Normalmente la situación tensora, pero subletal ocurre (10 a 14) d antes de empezar la epizootia. Se debe estar alerta a las tensiones estacionales relacionadas con el clima o a los cambios fisiológicos normales en el pez, tal como aquellos relacionados con la migración o el desove.

Las mortandades masivas de invierno y primavera de gizzard shad (sábalos) son ejemplos clásicos de mortandades de peces asociadas con la bacteria *Aeromonas hydrophila*. Este organismo es un agente patógeno facultativo ubicuo que frecuentemente causa enfermedades cuando los sistemas de defensa del pez están comprometidos por condiciones ambientales que producen estrés,

deficiencia nutricional, bajas temperaturas, o alimentación invernal reducida (Herman, R.L., 1990) Cuando la temperatura del agua en primavera se incrementa rápidamente, el agente patógeno responde más velozmente que el sistema inmunológico del pez. Como resultado de esta deficiencia de respuestas fisiológicas, pueden ocurrir brotes de septicemia hemorrágica debido a la *A. Hydrophila*. El nombre de la enfermedad es descriptivo de la gran aparición de peces infectados - hemorragias y áreas hiperémicas (rojas) en el cuerpo, aletas y órganos internos. La bacteria es fácilmente aislada de los riñones y otros órganos por cultivos en medios artificiales.

La *Flexibacter Columnaris* también causa enfermedad en los peces cultivados y salvajes. Es un problema serio en el salmón migratorio del Pacífico NW, particularmente donde las presas han transformado los ríos en una serie de lagos, calentado el agua, y por otro lado, modificado el ambiente a favor de esta bacteria. También puede causar la mortandad entre otras especies en la temporada de desove de primavera. Los peces infectados con este agente patógeno tienen lesiones grisáceas en las aletas o cuerpo que progresivamente destruye la piel y las agallas.

Otros agentes patógenos bacterianos de los peces que pueden ser involucrados en las mortandades de peces en las aguas naturales son la *Pasteurella piscicida* y la *Aeromonas salmonicida*.

Los peces deben ser revisados visualmente en las lesiones externas u otras evidencias de enfermedad (Herman, R.L., 1990)

III.1.1.1.8.2 Agentes Virales

Los virus rara vez se han documentado como la mayor causa de las mortandades de peces en la naturaleza. Sin embargo, ellos infectan a menudo en las etapas de vida más tempranas y las mayores pérdidas de pececillos podría ocurrir sin una evidencia visible. A continuación se muestran ejemplos de casos en los cuáles están involucrados agentes virales.

El virus de la necrosis pancreática infecciosa a menudo se ha aislado de peces de agua dulce y salada, capturados y en estado salvaje y de algunos invertebrados. Este virus es mejor conocido como la causa de un mal de los jóvenes salmonídeos cultivados que destruye el páncreas. Es también causa de que ronda en los “menhaden” (especie de sábalo) salvajes del Atlántico, así llamados debido a nadar errático de los peces infectados. Los brotes de necrosis pancreática infecciosa en los “menhaden” (especie de sábalo) son a menudo asociados con baja cantidad de oxígeno disuelto y a cambios en la temperatura del agua.

El virus de la necrosis hematopoyética infecciosa ha matado a los “kokanees” salvajes de 2 años y un virus no identificado se implicó en una gran mortandad de eperlanos arcoiris en el tardío verano en Canadá (Herman, R.L. 1990)

III.1.1.1.8.3 Agentes Parasitarios

Los parásitos no son generalmente la causa de mortandades de peces mayores en aguas naturales. Su efecto primario es actuar como tensor, pero los parásitos pueden dejar a los peces vulnerables frente a infecciones secundarias o debilitar su tolerancia a los cambios ambientales.

El *Ichthyophthirius Multifilis* (Ich) es un parásito de agua dulce ubicuo, que no muestra especificidad por un huésped y es difícil de tratar. Los parásitos se muestran como manchas blancas bajo el epitelio de las aletas, cuerpo y agallas. En la naturaleza, las mortandades causadas por *Ichthyophthirius* normalmente suceden en estanques o lagos, pero se han reportado epizootias en ríos. Como en las infecciones por *Aeromonas Hydrophila*, las infecciones con *Ichthyophthirius* son más comunes en el tardío invierno y en la temprana primavera cuando aún los peces están en condiciones pobres debido a las tensiones de la sobrevivencia al invierno.

Las mortandades debido a las infecciones con *Ichthyophthirius* son menos especieespecíficos que aquellas causadas por infecciones bacterianas.

El piojo de pez, *Argulus* sp. , ha causado numerosas mortandades de peces en lagos y estanques. Este parásito ataca a muchas especies de peces y es, a menudo, pasado por alto debido a que se parece estrechamente a las escamas del pez. Los peces infestados con piojos de pez tienen áreas rojas e inflamadas sobre su cuerpo causadas por la alimentación de los parásitos. Por otro lado, la muerte del pez puede parecer normal.

Los pequeños parásitos, tales como *Ichthyobodo* (anteriormente *Costia*), puede volverse obscuro por la liberación de mucosidad mientras los tejidos comienzan a morir.

Los trematodos monogenéticos pueden verse fácilmente, aunque sus movimientos no sean evidentes. Los ciliados y flagelados pueden moverse rápidamente, pero las formas sésiles, tales como la *Ambiphrya* (anteriormente *Scyphidia*), se mueve un poco (excepto por sus cilios) Cuando se sujeta al epitelio, el dinoflagelado *Ichthyobodo* no se puede mover.

Muchos acantocéfalos, céstodos, nematodos y trematodos son bastante largos para ser inmediatamente evidentes. Algunos trematodos pueden encontrarse sólo examinando los raspados de las paredes del intestino. Tales raspados también pueden revelar esporozoos tales como *Eimeria* (Herman, R.L., 1990)

III.1.1.1.8.4 Agentes fúngicos

Los agentes fúngicos raramente causan las mortandades de peces mayores en la naturaleza. Si los peces se dañan, enferman, o mueren por alguna causa, los hongos rápidamente invaden las lesiones o el cadáver y puede conducir a un investigador a atribuir mayor significación a los brotes fúngicos que los que ellos justifican. Los hongos son también invasores secundarios y oportunistas alrededor de las lesiones causadas por heridas, bacterias o parásitos. De nuevo, en tales situaciones, los hongos tienen una pequeña significación. Sin embargo, ocasionalmente los hongos pueden ser la primera causa de una mortandad de peces.

La Branquiomicosis, una enfermedad de las agallas causado por los hongos del género *Branchiomyces*, a veces mata grandes cantidades de peces, normalmente de una sola especie.

Ichthyophonus hoferi es un hongo responsable por mortandades masivas esporádicas de Arenques del Atlántico, en el Océano Atlántico Norte. Las infecciones fúngicas acuáticas causadas por *Saprolegnia* son infecciones secundarias comunes asociadas con heridas externas. La *Saprolegnia* puede invadir tejidos adyacentes y eventualmente matar animales infectados, pero no es considerada una causa primaria de mortandades de peces.

Como resultado, los agentes patógenos fúngicos son invasores secundarios oportunistas en heridas abscesos, úlceras y lesiones inducidas por parásitos, un investigador siempre debe verificar más allá de que los brotes fúngicos obvios para determinar si otro factor pudo ser la causa primaria.

SUBSECCIÓN III.1.1.2 CAUSAS ANTROPOGÉNICAS

Hay una serie de toxinas o sustancias tóxicas que son letales para los peces, que pueden venir de varias fuentes tales como efluentes industriales, pulverización de agroquímicos, las aguas servidas municipales, la precipitación desde la atmósfera, o los derrames causados en los accidentes de transportes. Otra causa de esto pueden constituirlos, los cambios en el uso de suelo, como ha ocurrido en Australia en los últimos 150 años de colonización europea ocurrida allí, los cuáles han tenido un impacto acumulativo que están afectando severamente la calidad del agua, y conduciendo así a una mortandad de peces.

Según V. Veitch (1998), a pesar de que hay una relación directa entre el hábitat de los peces y la pesca, no hay evidencia que sugiera que la pérdida de hábitat tenga relación directa con las causas de mortandad de peces. Como ha aumentado el progreso, en algunos países, han aumentado los permisos para descargar efluentes tratados; sin embargo, no se han tomado en cuenta los efectos acumulativos. Se piensa, así, que al diluir los efluentes se van a evitar los efectos acumulativos. Se necesita, por lo tanto, mayor investigación en el ámbito de los efectos acumulativos. Además, se hace necesario, a la vez que un

monitoreo propio, una auditoría externa que ayude a complementar dicho monitoreo. En el caso de nuestro país, aún falta avanzar bastante en estas materias.

Se plantea que las mortandades de peces pueden causar varios daños tanto en la cadena alimenticia, como a la pesca y al turismo. Los cambios de uso de suelo de terrenos pantanosos y terrenos ribereños despejados a terrenos productivos, también pueden ser críticos para la “salud” de la pesca. A continuación se ven en particular una serie de otros factores que pueden agudizar o causar mortandades de peces si no se les enfrenta en una buena manera.

III.1.1.2.1 SUBSTANCIAS TÓXICAS

Las mortandades de peces causadas por sustancias tóxicas se distribuyen en varias categorías, cada una con su propia gama de evidencias ambientales que lo acompañan. Las sustancias altamente tóxicas actúan rápido y causan mortandades abruptas y extensas. Algunos productos químicos matan tanto a plantas como a animales y así afecta dramáticamente al ecosistema. Otros compuestos pueden afectar solamente a las plantas, sólo a los animales o sólo a ciertas especies o tallas de peces. Las mortandades asociadas con estas sustancias pueden ser abruptas, progresivas o persistente y pueden desencadenar una serie de cambios ambientales adversos. Si las sustancias tóxicas entran en el ecosistema a niveles subletales sobre un tiempo extendido, los efectos ambientales son más sutiles. Las mortandades de peces asociadas con tales cambios pueden aparecer en tiempos inesperados en el año, o tiempo después que la descarga ha concluido (Hunn, J.B. y Schnick, R.A., 1990)

La toxicidad de una sustancia se refiere a su potencial de tener efectos nocivos sobre los organismos vivos. La toxicidad es una función de la concentración y la duración de la exposición. Los efectos agudos pueden suceder rápidamente como resultado de una exposición de corto tiempo a aun concentración relativamente alta de un tóxico. Generalmente los efectos agudos son severos y

normalmente incluyen la mortandad. Sin embargo, las mortandades de peces pueden ser también inducidas por la entrada de niveles subletales de tóxicos a través de la cadena trófica. Tales mortandades no son normalmente agudas y no suceden en un tiempo particular del año ni afectan una edad particular.

Frecuentemente, la introducción de una sustancia tóxica no causa ningún cambio en la química acuática, pero puede dejar residuos en el agua, sedimentos o tejidos animales. Estos materiales deben ser revisados debido a que los resultados pueden dar una información importante y puede dar la primera evidencia de que un tóxico está involucrado.

Un completo análisis químico de las aguas ayuda a descartar otras causas posibles de las mortandades de los peces y a identificar algunos de los factores contribuyentes (e.g. oxígeno disuelto, pH)

Las mortandades de peces algunas veces suceden en situaciones donde todos los factores ambientales parecen normales. Características químicas favorables y altas concentraciones de oxígeno disuelto indican buenas condiciones de un agua. Los peces están normales en el color y las condiciones físicas y no tienen lesiones. La velocidad de mortandad puede ser lenta, pero continua. Generalmente, las especies depredadoras o omnívoras mayores que 2 a (dos años) son los únicos peces afectados, y los peces pequeños y peces "forrajeros" pueden estar vivos y en buen estado. Estas muertes misteriosas son más comunes a fines de otoño o principios de invierno, dependiendo de la latitud.

Estas mortandades estacionales de peces suceden a menudo en las aguas adyacentes a áreas donde se usan, almacenan o aplican sustancias químicas. Los derrames, el rociado accidental, o escorrentía pueden introducir niveles subletales de plaguicidas al ambiente, que entonces se empiezan a involucrar en la cadena trófica por biomagnificación. En las mortandades de este tipo, el indicador clave es que sólo los peces depredadores grandes son afectados, mientras los juveniles y los peces "forrajeros" parecen seguir prosperando. Las condiciones de agua parecen ser de buenas a excelentes.

La causa más común de mortandades de peces inexplicables es la exposición crónica a niveles subletales de un pesticida. Aunque la exposición diaria pueda ser baja, los peces bioacumulan a un pesticida en sus reservas energéticas (grasa) a niveles que son mucho más altos que una simple dosis agudamente tóxica. Mientras la ingesta de comida cumpla o exceda con los requerimientos energéticos diarios, el pez continuará funcionando normalmente. Sin embargo, cuando las temperaturas estacionales del agua caigan bajo el rango de la alimentación, el pez puede depender de las reservas de energía acumulada para sobrevivir.

En los peces con altos contenidos de residuos de plaguicidas en las grasas, la movilización de la reserva de energía puede liberar niveles letales de plaguicidas a la corriente sanguínea. El pez a menudo parece débil o aletargado, o inconsciente. El diagnóstico de tal causa requiere de muestras de sangre o tejidos cerebrales para los residuos de plaguicidas. Aunque el análisis de grasas es útil, los resultados puede ser engañosos debido a que los residuos almacenados pueden que no estén relacionados con la mortandad.

Bajo ciertas circunstancias, el selenio, un elemento requerido entra en la cadena trófica en cantidades excesivas. Las concentraciones que exceden los 3 mg/m³ han sido detectadas en sistemas lénticos – por ejemplo: en los embalses de agua refrigerante de plantas de energía eléctrica y en ciertas aguas de drenaje agrícola. El selenio se bioacumula en los ovarios de las especies de peces sensibles tales como los “centrarchids”. Aunque los óvulos cargados con selenio pueden ser fertilizados, los jóvenes no tiene éxito en sobrevivir provocando un colapso en la población de peces (Hunn, J.B. y Schnick, R.A., 1990)

III.1.1.2.1.1 Factores modificadores de la Toxicidad

Los estudios de laboratorio y de terreno muestran que muchos factores influyen en la toxicidad de las sustancias químicas en los peces. El origen de los factores modificadores puede ser tanto biótico como abiótico. Los factores bióticos incluyen especies, etapas de vida y tamaño, condición y nutrición, salud

general y parasitismo. Los factores abióticos incluyen características del agua (e.g. temperatura, pH, dureza, alcalinidad, oxígeno disuelto, salinidad, carbono orgánico disuelto), posibles enlaces a sólidos suspendido o disuelto, y formulación de los productos plaguicidas.

La Dureza del agua tiene un pequeño efecto en la toxicidad de los compuestos orgánicos. Sin embargo, el incremento de la dureza del agua (como Ca y Mg) puede reducir la disponibilidad de metales tales como Al, Cd, Hg y Pb. La dureza, alcalinidad y pH influyen en la disponibilidad de metales tales como el Cu. La concentración del ión Hidrógeno (medido como pH) influye en la toxicidad de las sustancias químicas que se ionizan, por ejemplo la toxicidad del Amoniac, cianuro y sulfuro de hidrógeno está influenciado por el pH del agua.

Las moléculas no ionizadas a menudo son más liposolubles que las ionizadas y así penetran con mayor rapidez en las membranas

En un estudio de 410 sustancias químicas el pH afectó la toxicidad de sólo alrededor de un 20 % de las sustancias químicas orgánicas ensayadas, pero causó mayores cambios en los valores de $CL_{50-96 h}$ que algunos otros de los factores de las aguas examinadas.

Aunque los datos obtenidos de exposición de 24 h son más apropiados para el uso de la evaluación de una situación de mortandad aguda, los datos de ensayos de 24 h, 48 h y 96 h, también pueden ser usados para estimar la toxicidad de la sustancia sospechosa de causar la mortandad. El 95 % del intervalo de confianza establece un rango para la concentración media letal CL_{50} y es útil en determinar si la concentración de la sustancia química encontrada en terreno fue bastante alta para causar toxicidad aguda

III.1.1.2.1.2 Respuestas biológicas de los peces

Las especies de peces varían en su susceptibilidad a las sustancias tóxicas. A menos que las sustancias sean tan altamente tóxicas o la concentración sea tan alta que virtualmente mata a todos los peces. Debido a que las sustancias

tóxicas pueden matar a toda la biota, es importante revisar otros organismos tales como algas, zooplancton, gusanos de arena, caracoles, insectos, cangrejos, ástacos, ranas, tortugas o serpientes están aún vivos.

A menudo algunas especies son menos sensibles que otras a un tóxico que otras a lo menos en las etapas tempranas de la mortandad.

A menos que las sustancia sea herbicida o alguicida, el oxígeno disuelto, el pH y otras características químicas del agua pueden parecer normales. Si las sustancias también matan a las plantas, el panorama comienza a ponerse confuso por los indicadores engañosos, tales como el bajo contenido de oxígeno, el bajo pH, el alto contenido de CO₂, y las algas que mueren. El observador debe estar alertado y se debe considerar toda la evidencia para determinar la causa verdadera de la mortandad de peces. A continuación se mostrarán posibles causas frente a ciertos comportamientos de los peces o de parámetros fisicoquímicos del agua.

■ Tabla III.1.1 Comportamiento de los peces y posibles causas

Observaciones o química del agua	Posible Causa
Los grandes peces vienen a la superficie a aspirar aire; bajo oxígeno Disuelto. Los peces pequeños están vivos y normales.	Disminución de oxígeno causada por materia orgánica excesiva; buscar una planta de tratamiento de aguas servidas, las tierras de pastoreo (alimentación del ganado), escorrentía del regadío, material de plantas en descomposición, o un florecimiento de algas moribundas después de días de tiempo caluroso, calmado y nuboso.
Los grandes peces vienen a la superficie y aspiran aire en presencia de oxígeno Disuelto adecuado.	Puede ser lo mismo de arriba pero ha pasado bastante tiempo para permitir la reoxigenación del agua. Las mortandades por Amoniaco pueden tener también estas características; buscar posibles drenajes de tierras de pastoreo.
Los peces nadan erráticamente y sube a los cursos de agua tributarios para evitar la contaminación	Normalmente una planta de desechos de metales pesados o sustancias químicas descargadas desde un complejo químico o a través de una planta de tratamiento de aguas servidas
Peces moribundos después de una fuerte lluvia	Puede ser un pesticida o herbicida que ha sido lavado de campos agrícolas adyacentes; un derrame que se cae del equipo de rociado; o sustancias químicas desde una operación de rociado aéreo.
Película de petróleo sobre el agua	Operación de perforación y refinado; ruptura de un oleoducto en el área; agua de lavado descargado de barcasas de petróleo
Las riberas de los cursos de aguas y el fondo están cubiertas con	Operaciones de perforación; buscar la descarga de agua salada

una sustancia anaranjada; Lecturas de alta conductividad en en el curso de agua.
las muestras de agua.

Bajo pH, mancha anaranjada del agua pero buena claridad del agua. Descarga de agua ácida desde una operación minera de carbón.

Peces hiperexcitables, con rápidos movimientos seguido por la muerte; los peces pueden intentar nadar a la orilla Altos niveles de Amoniaco o bajo pH

Altos niveles de cloruro, alta conductividad y alta salinidad en aguas no marinas. Posible flujo de retorno de aguas de regadío que son hiperosmóticas para los peces.

Bajos niveles de cloruro, baja salinidad y baja conductividad en aguas de estuario o marinas. Invasión de agua dulce que es hipoosmótica para los peces.

Los pesticidas son sustancias ampliamente usadas en la agricultura para mejorar el rendimiento de los cultivos y para la “cosmética” del producto final. Estos, sin embargo, se aplican sin las previsiones necesarias, pudiendo pasar a los cursos de aguas.

En los peces se puede encontrar los siguientes efectos para dos tipos de estos pesticidas: los organoclorados, que son bastante persistentes en el ambiente, y poco hidrosolubles, y los organofosforados, que son más hidrosolubles y menos persistentes (Hunn, J.B. y Schnick, R.A., 1990)

■ Tabla III.1.2 Efectos en peces de los pesticidas organoclorados y organofosforados

Pesticidas organoclorados	Pesticidas organofosforados
Desórdenes del Sistema Nervioso Central	Aletargamiento
Incremento en la Velocidad de Ventilación	Pérdida de equilibrio
Movimientos rápidos y espasmódicos del cuerpo y las aletas	Mancha oscura, a menudo rojiza; hemorragia en los músculos y bajo la aleta dorsal.
Movimientos natatorios erráticos y descoordinados con espasmos, convulsiones y aceleramiento.	Hipersensibilidad – pez involuntariamente sobresaltado nada rápidamente en círculos
Incremento de sensibilidad a estímulos externos.	Temblores, convulsiones y tos.
Alta excitabilidad.	Extensión involuntaria de las aletas pectorales y opérculos a una posición más delantera posible.
Pérdida de equilibrio con periodos de quietud sucesivamente más largos hasta que el movimiento respiratorio cesa.	Anomalías espinales.

III.1.1.2.1.3 Signos de Toxicosis

Pocos de los signos relacionados al envenenamiento de peces son únicos para un compuesto particular o grupo de compuestos. Por ejemplo Si el oxígeno adecuado está disponible en el agua, durante el tiempo de exposición, el envenenamiento por cianuro provocó agallas y sangre con rojo brillante debido a que el oxígeno disuelto no puede ser usado en el ámbito tisular (en tejidos) Esta condición podría conducir a un investigador a asumir que las condiciones del agua son normales, sin embargo habría hemorragias y coágulos de sangre en el hígado y las vísceras.

Los compuestos inhibidores de acetilcolinesterasa (e.g. organofosfatos o carbamatos) reducen los niveles cerebrales de la actividad de la colinesterasa, induciendo a una posición delantera de las aletas pectorales en peces moribundos escamados, y puede inducir en anomalías espinales.

Las altas concentraciones de nitrito pueden inducir a la metahemoglobinemia, una condición que está caracterizada por la sangre café. Sin embargo, el sulfuro de hidrógeno puede también ligarse a la hemoglobina para producir sulfohemoglobina, la cuál también resulta en sangre de color chocolate oscuro. La exposición al sulfuro reduce el nivel de citocromo oxidasa en los tejidos de peces e incrementa los niveles de tiosulfato en la sangre, riñones y bazo.

Los signos clínicos enumerados deben ser observados en peces recién muertos o moribundos debido a que desaparecen pronto después que el pez muere. Otros signos que han sido observados con relación a las mortandades de peces causadas por sustancias tóxicas están listadas en la Tabla III.1.3. Se debe notar que los signos enumerados y las respuestas conductuales (Tabla III.1.3) no son estrictamente diagnósticos como para la causa de la muerte, pero proveen de información útil en el Desarrollo de la evidencia (Hunn, J.B. y Schnick, R.A., 1990)

- Tabla III.1.3 Posibles agentes químicos causantes de mortandad de peces de acuerdo a los signos vistos en peces.

Signo	Posible agente causante
Película blanca en agallas, piel y boca.	Ácidos, metales pesados, trinitrofenoles
Desprendimiento del epitelio de las agallas.	Cobre, cinc, plomo, amoníaco, detergentes, quinolina
Agallas atascadas	Turbiedad, hidróxido férrico
Agallas de color rojo brillante	Cianuro
Agallas oscuras	Fenol naftaleno, nitrito, sulfuro de hidrógeno, bajo oxígeno
Agallas hemorrágicas	Detergentes
Opérculos distendidas	Fenol, cresoles, amoníaco, cianuro
Estómago azul	Molibdeno
Aletas pectorales movidas hacia una posición más delantera	Organofosfatos, carbamatos
Burbujas de gas (aletas, ojos, piel, &c.)	Supersaturación de gases

III.1.1.2.2 ALGUNOS DESECHOS INDUSTRIALES CAUSANTES DE DISMINUCIÓN DE OXÍGENO

Hay ciertos desechos industriales que pueden causar el descenso del oxígeno debido a la alta demanda bioquímica de oxígeno que poseen. Estos a veces son vertidos en el agua sin previo tratamiento con lo cuál disminuyen el agua y provocan un deterioro en la calidad del agua si es que van acompañados por otros componentes. También en algunos casos se arroja desechos domiciliarios directamente a los cursos de agua sin ningún tratamiento provocando una disminución en el oxígeno, como ocurre en varios casos en nuestro país, aunque esta tendencia se ha tratado de revertir con un plan de instalación de plantas de tratamiento que disminuya el impacto sobre las aguas de los cursos receptores. En general las plantas de procesamiento de productos con fines alimenticios como la industria del azúcar, las carnes, los lácteos, entre otros, tienen una gran cantidad de desechos orgánicos que pueden disminuir la cantidad de oxígeno si no son tratados o si se utilizan como fertilizantes sin las debidas precauciones. Algunos son usados como fertilizante en algunos países como Australia (Veitch, 1998) y se presentan a continuación algunos ejemplos de ellos:

III.1.1.2.2.1 Lodos y Cenizas de Molino

El lodo de molino es un subproducto del proceso de la trituración de la caña. Es una combinación de capas superficiales del suelo ricas en nutrientes tomadas durante la zafra (cosecha de la caña de azúcar) y finamente dividida en trozos inutilizables de caña. Tiene una alta demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y se cree que es un contribuyente significativo de la desoxigenación de las lagunas adyacentes a las granjas de caña de azúcar. Es usado como un relleno superficial y como un reemplazo de la capa superficial de suelo y la materia orgánica después de las inundaciones. Para utilizar el lodo de molino hay que asegurarse de que la lixiviación de nutrientes no desagüe hacia los cursos de aguas naturales, y hay que estudiar bien las tasas de aplicación como fertilizante después del tratamiento de suelos con lodos de molino. Las cenizas de molino también son un subproducto de la molienda de azúcar (ingenio) y se aplica en forma similar a las granjas a como se hace con los fosfatos y la potasa en la cosecha. El producto también contiene sosa acústica, la cuál si se le permite que se lave hacia el ambiente natural, degradará la calidad del agua y puede contribuir a la mortandad de peces (Veitch, V. 1998)

III.1.1.2.2.2 Cubrimiento con desechos.

La materia en descomposición, como los desechos de caña, a veces se lava hacia los cursos de agua. En el agua, esto causa la disminución de oxígeno y da como resultado la mortandad de peces. Ésta, y otras substancias con alta DBO en un arroyo son desechos industriales. El cubrimiento con desechos es el proceso en donde, por ejemplo, los descartes de los cortes de caña producidos, como subproducto de la zafra, son extendidos sobre el potrero. Esto normalmente tiene beneficios tanto para el granjero como para el ambiente, incluyendo la pérdida de sedimento en los eventos de lluvia. Los granjeros deberían considerar los nutrientes adicionales aportados por esta práctica y ajustar la cantidad de fertilizantes que deben poner. Además de reducir la exportación de sedimentos en los eventos de lluvia, el cubrimiento con desechos

reduce la evaporación y provee de una importante fuente de nutrientes. Sin embargo, si hay una gran cantidad de lluvias, el cubrimiento con desechos pierde alguna de sus funciones, ya que se liberan los mismos desechos hacia los arroyos adyacentes, provocando un incremento en el DBO y resultando en el descenso artificial de los niveles de oxígeno. Por lo tanto, se necesita combinarlo con vegetación ribereña en las áreas susceptibles de presentar tales pérdidas para contener los desechos dentro de sus márgenes. (Veitch, V. 1998)

III.1.1.2.3 "BIO-DUNDER"

El bio-dunder (o dunder) es un subproducto de la destilación de etanol en algunas destilerías. Fue considerado una vez como veneno, pero la investigación en los usos potenciales desarrolló un producto que es usado por muchos granjeros en algunas zonas de Australia como fertilizante y acondicionador del suelo. La aplicación de bio-dunder también se critica por causar un empobrecimiento en calidad de las aguas de la zona, aunque no hay prueba científica de esto y seis años de estudios concluyeron que los impactos del bio-dunder no pueden ser separados de los impactos de otros impactos agrícolas. Esta dificultad radica en que se han estudiado otras regiones en que no se usa el bio-dunder y la calidad del agua y los impactos sobre el hábitat son similares (Veitch, V. 1998)

III.1.1.2.4 VEGETACIÓN RIBEREÑA.

La pérdida de vegetación ribereña ha sido identificada como un de los mayores impactos, en países tales como Australia (Veitch, V., 1998)

La vegetación ribereña es importante debido a que absorbe nutrientes, resguardando de malezas invasivas, y ayuda a la calidad del agua por la reducción de la temperatura del agua y provee de corredores críticos para los peces y la fauna terrestre. En algunos países algunos proyectos han previsto la reposición de este tipo de vegetación a través de los cursos de aguas. Sin

embargo algunos terratenientes y propietarios ven a esta vegetación como una limitación o molestia en el uso de sus tierras o el desarrollo que se produzca en ellas, con lo cuál las ha ido eliminando.

SECCIÓN III.1.2 INVESTIGACIÓN SOBRE MORTANDAD DE PECES

La investigación sobre las mortandades de peces es todo un desafío ya que requiere una atención completa a los detalles, sentido común, y un alto grado de competencia técnica. Hay que poseer un conocimiento del comportamiento de las distintas especies de peces y de su respuesta a distintos tipos de contaminantes. No sólo los agentes químicos tóxicos son los causantes de las muertes, como hemos visto en los casos expuestos anteriormente. Una descarga o una secuencia de eventos que interfieran con, o alteren, la calidad del sistema acuático pueden gatillar la mortandad masiva. Las causas pueden ser químicas, biológicas, o físicas; o más aún, una combinación de ellas. En general estos especialistas reciben la notificación por parte de otra persona, y le piden la mayor cantidad de datos que pueda entregarles. Luego van al lugar del suceso y tiene que reducir una gran cantidad de las posibles causas, considerando las más razonables. Luego, a partir de las observaciones realizadas, debe situar la causa más probable en una de varias categorías amplias: ¿Está relacionado con un problema de oxígeno, o involucrado con sustancias tóxicas?, ¿Hay enfermedades implicadas?, Puede que haya una razón física para las muertes. Desdichadamente, no se puede llegar a una conclusión con las primeras observaciones. Las conclusiones están basadas en observaciones respaldadas, cada una de las cuáles sirve para verificar a las otras (St. Pe, K.M., 1994)

SUBSECCIÓN III.1.2.1 LA NOTIFICACIÓN

Como se puede ver la notificación del hecho es importante ya que la mayoría de las veces no es hecha por un experto. Para esto se le pregunta a la persona que

notifica el hecho una serie de antecedentes para el informe. La forma a llenar es una lista de revisión con la información necesaria básica para un informe bien documentado. Se debe anotar el nombre de quién reporta la mortandad de peces, su dirección y teléfono para las posibles consultas posteriores. Se necesita preguntar también la hora y la ubicación exacta del hecho para la posterior localización del área afectada y la determinación del equipo necesario para la investigación de la mortandad de peces. Puede ser útil información acerca de que peces están involucradas, la condición de los peces (si está se está muriendo o no), y las posibles fuentes de los contaminantes. Además puede servir, también, alguna opinión acerca de la mortandad de peces para el informe. A continuación se muestra un formulario de mortandad de peces

■ Figura III.1.1 Formulario de Reporte de Mortandad de Peces

NOTIFICACIÓN DE MORTANDAD DE PECES

REGIÓN: _____

FECHA DE MORTANDAD: _____

FECHA DE NOTIFICACIÓN DE LA MORTANDAD: _____

HORA DE NOTIFICACIÓN: _____

NOMBRE DE QUIÉN NOTIFICA: _____

DIRECCIÓN: _____

TELÉFONO: _____

ORGANIZACIÓN: _____

AGUAS NVOLUCRADAS: _____

PROVINCIA: _____

LOCALIZACIÓN ESPECÍFICA DE LA MORTANDAD (puente, autopista o carretera, industria, hito, montaña, parque, etcétera.): _____

Comuna: _____

Sector: _____

RAZÓN SOSPECHADA DE MORTANDAD DE PECES: _____

LOCALIZACIÓN DE LA FUENTE: _____

NOMBRE DEL PRESUNTO CAUSANTE: _____

DIRECCIÓN: _____

TELÉFONO: _____

ESPECIES NVOLUCRADAS: _____

NÚMERO: _____ ¿LOS PECES TODAVÍA ESTÁN MURIENDO? _____

PERSONAS Y AGENCIAS NOTIFICADAS:

	NOMBRE	HORA	TELÉFONO
1.	_____	_____	_____
2.	_____	_____	_____

COMENTARIOS ADICIONALES:

REPORTE RECIBIDO POR

SUBSECCIÓN III.1.2.2 REUNIENDO MATERIALES Y EQUIPOS

La clave de una investigación exitosa es la preparación adelantada para cualesquiera de los procedimientos de la salida a terreno que pueda ser necesitada en el sitio de la mortandad. Una lista de verificación del equipo es casi tan importante como el equipo mismo. Lo mejor es tener un conjunto de equipo básico listo todo el tiempo. No es prudente tener exclusiva confianza en los instrumentos a batería. Hay que tener otros métodos disponibles en caso de falla.

- Tabla III.1.3 Lista de verificación de equipo para la investigación de mortandad de peces.

EQUIPO NECESARIO

Escalas de peso(masa)
Tabla de medición
Heladera con hielo
Bolsas de plástico con etiquetas y sujetadores
Contenedores de muestras de agua(vidrio, plástico)
Cámara fotográfica, película
Mapa del área
Lista de agencias(entidades) cooperadoras y números telefónicos
Preservantes (formalina, alcohol, ácido nítrico y sulfúrico)
Hojas (láminas) de Aluminio
Etiquetas para las evidencias
Cuaderno de salidas a terreno con registro de sucesos
Formularios a prueba de agua:
Formulario de Notificación Inicial
Formulario de Cadena (de seguimiento) de Custodia
Formulario de Informe de Investigación
Formularios de Conteo de Peces
Lápices y Marcadores a prueba de agua
Guantes y botas
Palas, toneles y baldes
Redes
Cinta métrica
Señalizador

Medidores y juegos de muestreo para ensayos de agua

Medidor de cuentas

Calculadora

Linternas

Publicación Especial 24 de la Sociedad de Pesca Americana Investigation and Valuation of Fish Kills

EQUIPO OPCIONAL

(algunos pueden ser esenciales para mortandades en lagos, estuarios o en el mar)

Bote, equipo salvavidas, y equipo adecuado

Grabadora, Videgrabadora, radio

Tablillas con sujetapapeles

Cuerda

Cronómetro

Botiquín de Primeros auxilios

Disco de Secchi

Compás

Horquilla para gran número de peces

Red para plancton

Herramientas y platillo para disección

SUBSECCIÓN III.1.2.3 PROCEDIMIENTOS IN SITU

Después de llegar al sitio de la mortandad de peces, el equipo de respuesta de contaminación tiene dos tipos de actividades:

Reconocimiento y Documentación

El Reconocimiento podría ser llevado a cabo durante la Documentación, pero no antes.

III.1.2.3.1 RECONOCIMIENTO

Durante el Reconocimiento los equipos de respuesta tratan de determinar la fuente de la contaminación y tomar acciones para detenerla (si éstas no han sido hechas ya) Estas acciones son esenciales para minimizar los daños, pero ellas no postergarían la documentación de la mortandad de peces.

Se debería avisar a los presuntos contaminadores para que puedan llevar a cabo sus propias investigaciones.

III.1.2.3.2 DOCUMENTACIÓN

El equipo de respuesta empezará a documentar la mortandad de peces inmediatamente después de la llegada. Las actividades descritas abajo pueden ser llevadas a cabo en paralelo por varios miembros del equipo.

III.1.2.3.2.1 Toma de Muestras de agua

Las muestras de aguas deben ser tomadas desde los sitios dentro y fuera de la zona de mortandad y de los afluentes que entran al cuerpo de agua afectado. Deberá tenerse un cuidado particular en las muestras de control de la recolección en los lugares sin impacto. Las múltiples muestras recolectadas arriba, dentro y debajo de la zona de mortandad no sólo demarcan la zona, ellas también pueden localizar con precisión la fuente de contaminación o documentar que existe un problema crónico.

Las muestras de agua deben ser representativas del agua contaminada que se sospecha haber causado la mortandad de peces. Idealmente, las muestras deben ser integradas sobre la profundidad y la extensión. Alternativamente, las múltiples muestras pueden ser recolectadas a través de la extensión del área y a varias profundidades para caracterizar adecuadamente el cuerpo de agua. Los miembros del equipo de estudio de la mortandad de peces deben ser advertidos, si ellos no conocen ya, que las muestras tomadas pueden ser no representativas, particularmente si el cuerpo de agua no está mezclado o si el contaminante es suspendido en vez que disuelto.

Las muestras de agua no deben ser contaminadas con los sedimentos del fondo suspendidos por las actividades del equipo. Por lo tanto, el muestreo de aguas debe ser hecho de forma que se minimice las interferencias del fondo, y debe ser completado antes de que las muestras de peces, invertebrados y otras muestras sean recolectadas. En la Norma Chilena 411/2. Of 1996 se dan las técnicas

para la toma de muestras de calidad de aguas. En la Norma Chilena 411/6. Of 1998 Se da un guía para la toma de muestras de ríos y cursos de agua

III.1.2.3.2.2 Ensayos en agua

Las variables de calidad de agua normalmente medidas en los sitios de mortandad de peces incluyen la temperatura del agua, oxígeno disuelto, pH, amoníaco total, y conductividad. Todos los instrumentos deben ser calibrados antes y después de su uso. Los datos de calibración deben ser registrados para asegurar que las medidas de calidad de agua puedan ser defendidas en los tribunales.

Cuando un análisis de laboratorio fuera requerido por sospecha de pesticidas, metales pesados u otras sustancias químicas, muestras de aguas duplicadas deben ser tomadas en cada análisis. Deben ser usadas botellas de vidrio lavadas con ácido para las muestras a ser analizadas para contaminantes orgánicos (pesticidas, productos derivados del petróleo, &c.) y nutrientes. Técnicas normalizadas pueden ser usadas para recolectar y preservar las muestras de agua. La última edición de *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (Métodos normalizados para el examen de agua potable y aguas residuales), de la APHA & al., contiene generalmente los procedimientos aceptados. En los EEUU, los trabajadores también deben seguir los protocolos de muestreo normalmente aprobados por la Agencia de Protección Ambiental (*Environmental Protection Agency, EPA*), muchos de los cuáles son adoptados de los Métodos Normalizados (*Standard Methods*) En la Norma Chilena 411/3. Of 1996 se da una guía sobre la manipulación y manejo de muestras y da las referencias de que normas hay que consultar para el análisis de los distintos parámetros de calidad de agua.

III.1.2.3.2.3 Examen de peces y macroinvertebrados

Los peces muertos y moribundos y los macroinvertebrados bénticos deben ser recolectados desde el lugar de la mortandad. Los peces deben ser examinados externamente de anomalías a grandes rasgos, tales como hemorragia, lesiones abiertas, y decoloración. Si es apropiado. Si es apropiado el pez y los invertebrados deben ser recolectados para el análisis de tejidos o examen de parásitos. Los animales muestreados deben estar tan frescos como sea posible. Se debe fijar en la conducta de los peces con tensión, debido a la pérdida de equilibrio, o acciones convulsivas que puede indicar un contaminante específico (Ver tabla III.1.1 y tabla III.1.2, en la sección anterior)

El manual de campo para la Investigación de la mortandad de peces (Meyer & Barclay, 1990) [*Field Manual for the Investigation of Fish Kills*] es una fuente de procedimientos normalizados para el examen de campo de peces muertos.

III.1.2.3.2.4 Conteo de peces

El conteo de peces puede ser hecho para estimar la pérdida económica que origina la mortandad de peces. A menudo, se realiza en EEUU debido a la popularidad de la pesca deportiva, para estimar las pérdidas de existencias de peces en los lagos. Hay un análisis completo en la Publicación Especial 24 de la Sociedad Norteamericana de Pesca.

III.1.2.3.2.5 Toma de registro

El jefe del equipo de respuesta debe tener un registro de sucesos cronológico durante la investigación. El registro de sucesos debe incluir los nombres de la gente entrevistada, notas de las entrevistas, localización de la toma de muestra de agua, el conteo de peces y otros detalles de la investigación. Este registro puede ser usado más tarde para la preparación del informe de mortandad de peces, identificar las omisiones en el proceso de investigación, documentar

actividades de campo para los procedimientos legales, y determinar el costo de la investigación (incluyendo salarios, viáticos, suministros fotográficos análisis de muestras y tiempo administrativo) si las agencias involucradas buscan los daños monetarios. En el caso de EEUU, todas las muestras deben ser completamente identificados con las etiquetas de evidencias y debe protegerse la cadena de custodia para todas las muestras a través del análisis debido a que ponen en peligro el seguimiento de un caso judicial.

Las fotografías y los mapas bien preparados se pueden usar extensivamente en la documentación. La hora, fecha, localización, asunto e intención de cada fotografía, así como el nombre del fotógrafo, debe ser registrado en el libro de notas. Las fotografías deben ser usadas para documentar las fuentes de contaminación, puntos de descarga, las manchas en el agua, los tipos de peces muertos, la magnitud de la mortandad y las acciones correctivas tomadas. Estas fotografías son referencias útiles y pueden ser influyentes en los procesos legales.

III.1.2.3.3 PREPARACIÓN DEL INFORME

La agencia principal a menudo prepara el informe de la mortandad de peces, el cuál documenta en detalle todos los aspectos de la investigación (Figura II.1.2) La exactitud y el detalle son cruciales, y las omisiones y descuidos pueden traducirse en la ineficacia de una investigación de alta calidad.

Todos los datos deben ser incluidos y presentados profesionalmente. Un informe detallado y conciso ayudará a explicar el caso al presunto causante.

■ Figura III.1.2 Informe Final de una Investigación de Mortandad de peces

INFORME DE INVESTIGACIÓN DE MORTANDAD DE PECES	
Preparado y presentado por: _____	Fecha: _____
1. Mortandad notificada a investigador por:	
Nombre: _____	
Dirección: _____	
Teléfono: _____	Fecha: _____ Hora: _____
2. Investigador notificó mortandad a:	
Nombre: _____	
Dirección: _____	
Teléfono: _____	
Nombre: _____	
Dirección: _____	
Teléfono: _____	
3. Cuerpo de Agua: _____	
4. Ciudad cercana: _____ Comuna: _____	
5. Hora y fecha de mortandad: _____	
6. Hora y fecha de investigación: _____	
7. Causa sospechada de muerte o descripción de cómo ocurrió	

8. Presunta fuente de contaminación:	

9. Duración de la mortandad	_____

10. Extensión de la mortandad: _____

Río (Curso de Agua) _____ km

Lago _____ km²

11. N° Total Estimado de Peces Muertos (24.) _____ (*)

Valor \$ _____

12. Especies de peces muertos:

13. Condición de los peces encontrados (Cotejar uno o más):

Muerte por varios días _____ Muerte por un período corto _____

Moribundo o en peligro _____

Otro (escribirlo) _____

14. Síntomas del pez en peligro _____

15. Apariencia anormal del agua _____

16. Investigación Personal (Dar nombre y organización representada)

17. Otras personas y organizaciones involucradas

Nombre y Título

Organización

Comentarios

Comentarios

Comentarios

18. Vista Topográfica o Mapa del Área Afectada.

19. Datos Químicos

Lugar toma de muestra y N° de Evidencia	Profundidad	Fecha	Hora	oxígeno disuelto	pH	t	Otras pruebas de campo

Datos Químicos preparados por _____

Título _____ Fecha _____

20. Discusión:

21. Recomendaciones de acciones correctivas necesarias

22. Pérdidas proyectadas de pesca(*)

Cuerpo de Agua _____

N° de áreas de muestra _____ longitud _____ superficie _____

Longitud Total del río afectado _____

Especies

Longitud	N° Total	Masa Total	Valor por kg	Valor Total

Subtotal

Longitud	N° Total	Masa Total	Valor por kg	Valor Total

Subtotal

Longitud	N° Total	Masa Total	Valor por kg	Valor Total

Subtotal

Total: _____

Preparado por _____

Título _____ Fecha _____

23. Gastos de Investigación del equipo de Campo

Agencia _____

Nombre	Horas	Salario	km conducidos	Asignación de Viático	Operación de Bote	Filmación	Otros Detalles
TOTALES							

Preparado por _____

Título _____ Fecha _____

24 Totales(*)

Nº Total de Peces Perdidos \$ _____

Valor de Pérdidas de Pesca Total \$ _____

Gastos Totales \$ _____

Suma Total \$ _____

Modificado de Investigation an Valuation of Fish Kills. American Fisheries Society. Special Publication 24.

(*) Las líneas marcadas así, se refieren al conteo y su posterior evaluación económica que se hace en EEUU y se llena sólo si se hacen estas actividades. Son útiles para estimar las pérdidas en moneda local.

SECCIÓN III.1.3 BIBLIOGRAFÍA

SUBSECCIÓN III.1.3.1 LIBROS

Meyer, Fred P. & Barclay, Lee A (eds.) FIELD MANUAL FOR INVESTIGATION OF FISH KILLS. United States Department of the Interior. Fish and Wildlife

Service/ Resource Publication 177. US Government Printing Office, Washington. EEUU. 1990

Hunn, J.B. y Rosalie A. Schnick. CHAPTER 4 TOXIC SUBSTANCES. Pp 19-26.

Herman, R.L. y Meyer F.P. CHAPTER 5 FISH KILLS DUE TO NATURAL CAUSES. Pp 41-44.

Herman, R.L. CHAPTER 6 THE ROLE OF INFECTIOUS AGENTS IN FISH KILLS. Pp 45-52

INVESTIGATION AND VALUATION OF FISH KILLS. American Fisheries Society. Special Publication 24. Bethesda. Maryland. EEUU. 1992.

SUBSECCIÓN III.1.3.2 PÁGINA WORLD WIDE WEB

Elston, Ralph FISH KILLS IN RESIDENT AND CAPTIVE FISH CAUSED BY SPILL AT GRAND COULEE DAM IN 1997. Aqua Technics. Inc. January 1998. <http://www.newsdata.com/enernet/fishletter/documents/fi52doc2a.html>

Veitch, Vern. FISH KILLS by Vern Veitch. A report on water quality related fish kills on the North Queensland Coast between Sarina and Cardwell from August 1997 to December 1998". <http://www.sunfish.org.au/Fishkills/Default.htm>

St. Pe, Kerry M. Cover Story. Solving the Mystery of Fish Kills. FISH KILLS OFFER CHALLENGE TO DEQ. Diagnosing Them Is Like a Detective Solving a Mystery. Text and Photos by Kerry M. St. Pe. Louisiana Environmentalist, Marzo - Abril de 1994. <http://www.leeric.lsu.edu/le/cover/lead034.htm>

TOXIC ALGAE IN LAKE SAMAMISH! King County. Washington. Agosto 1998. <http://splash.metrokc.gov7wlr/waterres/lakes/bloom.htm>

SUBSECCIÓN III.1.3.3 PUBLICACIONES

Barica, J. COLLAPSES OF *APHANIZOMENON FLOS-AQUA* BLOOMS RESULTING IN MASSIVE FISH KILLS IN EUTROPHIC LAKES: EFECT OF WEATHER. Verh. Internat. Verein. Limnol. **20**. 208 – 218. Septiembre 1978. Stuttgart, Alemania.

Ochumba, P.B.O. PERIODIC MASSIVE FISH KILLS IN THE KENYAN PORTION OF LAKE VICTORIA. EN Committee for Inland Fisheries of Africa. Report of the Fourth Session of the Sub-committe for the Development and Manegement of the Fisheries of Lake Victoria, Kisumu, Kenya, 6 – 10 April 1987 pp. 47 – 60, FAO, Rome, (Italy) FAO Fish. Rep., N° 388, 1988.

SUBCAPÍTULO III.2 PECES PRESENTES EN EL EMBALSE RAPEL Y EN EL SISTEMA CARÉN - ALHUÉ

A continuación se presentará las especies ícticas presentes en el sistema Carén – Alhué y en el río Cachapoal y del Embalse Rapel de acuerdo al estudio de la Universidad Católica del Norte, Sede Coquimbo (1991)

■ Tabla III.2.1 Especies ícticas capturadas en el sistema hidrográfico Carén - Alhué y Río Cachapoal.

Nombre Vernacular	Nombre Científico
Pejerrey Chileno	<i>Basilichthys australis</i>
Pejerrey Argentino	<i>Odontheistes bonaerensis</i> (a)
Pocha común	<i>Cheirodon pisciculus</i>
Carpa común	<i>Ciprinus carpio</i> (a)
Dorado	<i>Carassius carassius</i> (a)
Gambusia	<i>Gambusia affinis</i> (a)
Trucha Arcoiris	<i>Onchorhynchus mykiss</i> (a)
Trucha Negra Perca	<i>Percichthys melanops</i>
Perca Trucha	<i>Percichthys trucha</i>
Carmelita Común	<i>Percilia gillissi</i>
Bagre Chico	<i>Trichomycterus areolatus</i>
Bagre Grande	<i>Nematogenys inermis</i>

Extraído del Estudio de Efectos de los Efluentes Industriales del Embalse Carén realizado por la Universidad Católica del Norte, Sede Coquimbo.

Nota: (a) Especie introducida

■ Tabla III.2.2 Presencia de especies icticas en el sistema léntico Carén-Alhué.

ESPECIE	EMBALSE	
	CARÉN	ALHUÉ
<i>Basilichthys australis</i>	-	X
<i>Ciprinus carpio</i>	X	X
<i>Odontesthes bonaerensis</i>	X	X
<i>Carassius carassius</i>	-	X

Extraído del Estudio de Efectos de los Efluentes Industriales del Embalse Carén realizado por la Universidad Católica del Norte, Sede Coquimbo.

Además de estas especies se menciona en el estudio Atherinidae (Pisces) of Rapel Reservoir, Chile (Vila, I. & Soto, D., 1981) que existe otra especie en el Embalse Rapel llamada *Odontesthes mauleanum*.

El Embalse Rapel junto al sistema Carén – Alhué se muestran en el siguiente esquema:

■ Figura III.2.1 Esquema del Embalse Rapel con sus tres subcubetas (Cachapoal, Alhué y Rapel)



SECCIÓN III.2.1 BIBLIOGRAFÍA

SUBSECCIÓN III.2.1.1 ESTUDIOS

- Edding V., M. (ed.) IMPACTO AMBIENTAL DE EFLUENTES DEL EMBALSE CARÉN, Universidad Católica del Norte Sede Coquimbo
Informe Final, Primera Etapa. 1991
Informe Final. Segunda Etapa Tomo I. octubre 1992.
Informe Final. Período julio – diciembre 1992.

SUBSECCIÓN III.2.1.2 PUBLICACIONES

Vila, I. y Soto, D.; ATHERINIDAE (PISCES) OF RAPEL RESERVOIR, CHILE.

Verh. Internat. Verein. Limnol. **21**, 1 334-1 338, Diciembre 1981, Stuttgart.

SUBCAPÍTULO III.3 ESTUDIOS Y CARACTERIZACIÓN DEL LAGO RAPEL

Existen diversos estudios realizados a través del tiempo en el Embalse Rapel. Dentro de estos se vieron los relacionados con la calidad del agua, hechos tanto por encargo de la Corporación Nacional del Cobre de Chile División El Teniente como por otras instituciones. Se han revisado algunos estudios sobre peces en el capítulo segundo.

Además de estos estudios existe un monitoreo hecho con mediciones trimestrales hechos por la Dirección General de Aguas que tiene como punto de partida un Estudio Limnológico para la Red Nacional Mínima de Control de Lagos de dicha dirección estableciendo características y recomendaciones, encargado a la Facultad de Ciencias de la Universidad de Chile.

Esta facultad por su parte posee una estación experimental emplazada en el Embalse a orillas de la Cubeta Cachapoal desde la década de los setenta. Además, se ha hecho campañas en varios años con estudiantes de algunos cursos impartido por ella.

A continuación se revisará algunos aspectos a los que llegaron algunos de estos estudios. Otros se tratan en otros capítulos o subcapítulos de este Seminario.

SECCIÓN III.3.1 ALGUNOS ESTUDIOS REALIZADOS POR ALGUNOS INVESTIGADORES EN EL ÁMBITO DE LA LIMNOLOGÍA

Hay varios estudios hechos en el Rapel. Entre estos se encuentran los realizados por el grupo de investigación de limnología del Departamento de Ciencias Ecológicas de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Chile. En general, se han llevado a cabo, por una serie de campañas hechas en el

embalse desde la década de los setenta. En estas campañas se midieron una serie de parámetros fisicoquímicos y biológicos.

Además se hicieron estudios de las microalgas (Vila, I. & al., 1997) que habían en el embalse y de cómo estas cambiaron su composición paulatinamente mostrando anteriormente (antes del año 1987) asociaciones algales dominadas por la *Melosira granulata*. La composición presente de algas indica que las diatomeas, especialmente la *Melosira granulata* disminuyó y las cianobacterias han desaparecido. Actualmente dominan las cloroficea *Pediastrum simplex* (MEYEN), la *Closterium aciculare* (T.WEST) y la *Dictyosphaerium pulchellum* (NAEGELL).

Esto se atribuye que el sulfato asociado con el sulfato de cobre es un alguicida. Otro aspecto que se dijo fue el cambio de composición de los macroconstituyentes de $\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{CO}_3^{2-} > \text{SO}_4^{2-}$ y $\text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+} > \text{K}^+$ después de lo cuál se hicieron más importantes el SO_4^{2-} y el Ca^{2+} .

Otros estudios que se han hecho tienen relación con la composición de algunos componentes químicos en las aguas intersticiales del Lago Rapel.

Según I. Vila & al. (en prensa), además, en el Embalse Rapel se observa una anoxia hipolimnica continua estival durante los años recientes. En los sedimentos se observa concentraciones elevadas de metano que contribuyen a la anoxia mencionada. Se dice que el cambio en la composición y dominancia expresado en el estudio anterior ha hecho que el proceso de eutrofización se haya limitado. Se menciona además que la anoxia se produce en la cubeta Rapel desde la cortina hacia aguas arriba. Se plantea que los niveles de fósforo total equivalen a los de un lago eutrófico.

SECCIÓN III.3.2 ESTUDIOS REALIZADOS POR LA SEDE COQUIMBO DE LA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL NORTE, ENCARGADOS POR LA DIVISIÓN EL TENIENTE DE LA CORPORACIÓN NACIONAL DEL COBRE DE CHILE CODELCO CHILE

El estudio realizado por la Sede Coquimbo de la Universidad Católica del Norte, a cargo de su editor Mario Edding V., contempló la evaluación del impacto de los

efluentes industriales del Embalse Carén en el Embalse Rapel. Se realizó entre marzo de 1990 y diciembre de 1992. Este estudio se dividió en dos etapas en la que se vio tanto aspectos hidrográficos y químicos como biológicos del Sistema Carén Alhué y el Embalse Rapel los que se estudiaron en varios subproyectos que fueron variando en las dos etapas de acuerdo a las necesidades.

En la parte hidrográfica se hizo un estudio del embalse Carén y de algunas zonas aguas abajo como el Puente Alhué, en los cuáles se determinaron los perfiles topobatimétricos. Se revisó el comportamiento de los caudales y las precipitaciones y temperaturas.

En segundo término, se vio la calidad de las aguas a través de la toma de muestras en diversas estaciones. Las estaciones variaron de denominación entre ambos períodos y en el segundo período se le dio un nuevo énfasis al Embalse mismo en las mediciones, a diferencia de la primera etapa en la cuál tiene una mayor información del sistema Carén Alhué. Dentro del análisis mismo se incrementó la cantidad de parámetros en el segundo período aumentando la cantidad de información fisicoquímica del medio. En cuanto a los metales pesados (MM.PP.), se estudió en la primera etapa el cadmio, cobre, manganeso y molibdeno al cuál se le agregó el plomo en las Segunda Etapa. Se vio el contenido de estos metales pesados en agua como en sedimentos. De los resultados obtenidos se verá los máximos y su relación con la Norma de uso de aguas (NCh 1 333/1978) más adelante. En las Segunda Etapa, en el último semestre se vio la concentración de metales pesados en músculos e hígado.

En el ámbito biológico se vieron las colonias bacterianas, dentro de las cuáles se encontró bacterias sulfato - reductoras que tenían una alta incidencia en la zona debido a que hay una mayor presencia de sulfatos provenientes del Embalse Carén. Se infirió que el efluente no afectaba cuantitativamente a la comunidad microbiana, pero que había síntomas de mayor tensión en las comunidades bacterianas que se encontraban influenciadas por los efluentes mineros.

Otros estudios que se hicieron dicen relación con los peces presentes en el sistema los cuales se vieron en el subcapítulo segundo de este mismo capítulo.

Se estudio además la fauna en torno al Embalse Carén y en las inmediaciones de la estación agronómica de Loncha, y se mencionaron sus características generales, con especial énfasis en las aves, en las cuáles se registraron especies no registradas en la zona. Dentro de las aves se destacan las garzas por su mayor agrupación en densidad en el Embalse Carén.

Se estudió la flora presente en torno al Embalse, a la Estación de Loncha, y el sector de confluencia con el Alhué, así como las plantas acuáticas viendo que la *Potamogeton berteroanus* y la *Azolla filiculoides* eran buenos indicadores del Cu, Mo y Mn, y del Cu y Mo en el agua respectivamente, siendo interesantes como bioacumuladores.

Se estudio toxicidad aguda con *Daphnia magna*, la cuál dio negativo con las distintas muestras de agua del sistema Carén - Alhué - Rapel.

Se estimó que la concentración letal media de 96 h $CL_{50-96 h}$ es de $0,375 \text{ g/m}^3$ en *Basilichthys australis*, en cambio para el caso de molibdeno y manganeso para concentraciones de masa de hasta 20 g/m^3 no se había llegado a la $CL_{50-96 h}$.

Se adjunto además los resultados de las muestras tomadas con ocasión de la Mortandad de peces ocurrida en 1990.

Las especies involucradas en la mortandad fueron las siguientes:

Pejerrey Argentino, *Odontesthes bonaerensis* (VALENCIENNES, 1833), con mortandad alta

Carpa Común, *Cyprinus carpio* (LINNÆUS, 1758)

Dorado, *Carassius carassius* (LINNÆUS, 1758)

Los peces moribundos tenían pérdida de equilibrio, rumbo errático.

Dentro de los pejerreyes argentinos se observaba la siguiente proporción de muertos según intervalo de talla:

• Tabla III.3.1 Proporción de Pejerreyes muertos según intervalo de talla medido como LT

LT/[mm]	Proporción de peces muertos
0 – 100	0,98 %
100 – 200	59,80 %
200 – 300	38,24 %
300 – 400	0,98 %

Sacado de Anexo OBSERVACIONES HIDROBIOLÓGICAS REALIZADOS EN EL EMBALSE RAPEL ENTRE EL 18 Y 1L 27 DE JUNIO DE 1990 del Informe Final IMPACTO AMBIENTAL DE EFLUENTES DEL EMBALSE CARÉN Sede Coquimbo de U. Católica del Norte. 1990

No se observó mortalidad en las aves acuáticas, aunque los patos zambullidores presentes en la zona buceaban para tomar presas, antes de tomar los peces ya muertos.

Se descartó la muerte por enfermedades que en general se dan en forma lenta y progresiva con pocas muertes en un principio, hecho que no se observó en el Embalse Rapel.

Se observó dos hileras de peces muertos debido a la apertura de las compuertas y la baja de las aguas en el Embalse en forma visible. (Flores, H. y Acuña, E. 1990)

Se comparó los resultados de contenidos de Cd, Cu, Mn y Mo en músculos en ejemplares afectados por la mortalidad con resultados de ejemplares tomados en otras épocas y en otras zonas no afectadas, no encontrándose diferencias significativas en la concentración de los metales en el tejido muscular de las diferentes muestras analizadas por ellos, con lo cuál descartaron la hipótesis de mortandad por bioacumulación de metales (Cd, Cu, Mn y Mo) en estudio en los peces del Embalse Rapel (Trucco, R. & al. 1990)

En cuanto al análisis fisicoquímico de agua se observa que la temperatura Celsius del agua no muestra muchas diferencias en los distintos puntos de muestreo y se nota un incremento de nutrientes hacia la cubeta Cachapoal sobretodo en nitratos y silicatos, siendo la fuente principal el río Cachapoal. En cuanto al resto de los parámetros, en sus distribuciones no hubo grandes

variaciones. Se atribuye que las altas concentraciones de estos nutrientes habrían causado un florecimiento de microalgas(Olivares 1990)

El crecimiento microalgal fue dominado por *Melosira granulata* y *Pediastrum simplex* según se plantea. Se vio que las concentraciones de Clorofila a son mayores que los máximos detectados en el área por Montecino y Cabrera (1984) La distribución de la clorofila a muestra mayores concentraciones hacia la cubeta Rapel (Cortina) y hacia el Centro de la Cubeta Alhué siendo menor en el lugar de la mortandad (Bahía Skorprios, actualmente Punta Verde) (Uribe, E. y Heyn, M. 1990)

También se observa una especie de rotífero no identificado que estuvo en densidades mayores que otros cladóceros (*Moina micrura* y *cladocera* sp.) y copépodos (*Microcyclops anceps* y *Copepoda* sp.) observados en el área, aunque no se sabe si los niveles son los normales debido a que no ha habido estudios preliminares que hayan aportado datos respecto a ellos. Los resultados del estudio no permiten inferir una respuesta clara del zooplancton en el Embalse Rapel frente a un eventual florecimiento fitoplanctónico que se comentó anteriormente. Se plantea que los rotíferos pudieron haber obstruido las laminillas de las branquias y corresponderían a la sustancia dura y vítrea encontrada en ellas (Aron, A. 1990)

SECCIÓN III.3.3 ESTUDIOS DEL CENTRO EULA CHILE DE LA UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN, ENCARGADOS POR LA DIVISIÓN TENIENTE DE LA CORPORACIÓN NACIONAL DEL COBRE DE CHILE CODELCO CHILE

El Centro EULA de la Universidad de Concepción (1996) realizó el Informe de Estudios Complementarios del Sistema Hidrobiológico del estero Carén el cuál se dividió en tres partes:

Modelación del sistema

Ecotoxicología

Limnología

Tenía como objetivo obtener información para que la DGA tomara una decisión científicamente fundada respecto al vertido de los relaves al Estero Carén.

De acuerdo al estudio de modelación se obtuvo que el Embalse recibe una carga relevante de sulfatos, de la cuál mayoría viene del Río Cachapoal, aunque hay una concentración de masa más alta debido al aporte en el Estero Alhué del Embalse Carén.

Se recibe una carga importante de Hierro (Fierro) por parte del Río Cachapoal y en forma secundaria del Tinguiririca. Se recibe una carga importante de cobre de parte del Cachapoal y una carga importante del manganeso del Río Cachapoal y en menor proporción del Tinguiririca.

Se realizó un estudio de toxicidad con tres especies: Un productor primario *Selenastrum capricornutum*, un consumidor primario *Daphnia pulex* y un consumidor secundario *Oncorhynchus mykiss*.

De acuerdo a este estudio, el agua de fondo del embalse no presentó toxicidad aguda ni crónica para los organismos ensayados, incluso encontrándose un efecto estimulador para *S. capricornutum* y *D. pulex*. En el caso de *O. mykiss* presentó 100 % de supervivencia indicando que la calidad de las aguas del embalse no presentaba condiciones desfavorables para ellas. Los metales que presentaron mayor toxicidad (CL_{50}) en las especies ensayadas fueron el cinc y el cobre y las que presentaron menor nivel fueron el molibdeno y manganeso. Por ejemplo las concentraciones letales media de 96 h para cinc y cobre en *O. mykiss* son las siguientes:

$$CL_{50-96\text{ h}}(\text{Cu}) = (28 \text{ a } 100) \text{ mg/m}^3$$

$$CL_{50-96\text{ h}}(\text{Zn}) = (200 \text{ a } 1\,400) \text{ mg/m}^3$$

Después de hacer la determinación de las concentraciones letales medias CL_{50} se compararon estos valores con los de las concentraciones de masa de los distintos metales pesados presentes en el Embalse para determinar un cuociente

para evaluar el riesgo ecológico de acuerdo a una escala desarrollada por Zeeman y Gilford (1993) de la cuál hace referencia en el Estudio, y que tiene la siguiente escala de evaluación:

• Tabla III.3.2 Escala de evaluación del riesgo ecológico

Valor del Cuociente	Evaluación
≤ 0,1	Bajo Riesgo
0,1 a 10	Riesgo Moderado
≥ 10	Alto Riesgo

Sacado de Tabla 4.10 de II Parte de Informe Final ESTUDIOS COMPLEMENTARIOS DEL SISTEMA HIDROBIOLÓGICO DEL ESTERO CARÉN. Centro EULA Chile. U. de Concepción. Enero 1996

El Cuociente está definido por la siguiente ecuación:

• Ecuación 1 Definición del Cuociente de riesgo ecológico de una substancia B

$$C_{re}(B)/[1] = \frac{\rho(B)/[g/m^3]}{CL_{50}(B)/[g/m^3]}, \text{ o bien}$$

$$C_{re}(B)/[1] = \frac{\rho(B)/[g/m^3]}{CE_{50}(B)/[g/m^3]}$$

En donde, $C_{re}(B)$ es el cuociente de riesgo ecológico de B, $\rho(B)$ es la concentración (de masa) de B en el medio en el que se está evaluando y $CE_{50}(B)$ es la concentración efectiva media de B (ver Glosario, en término Toxicidad, del Apéndice)

Así se evaluó el riesgo ecológico comparando los resultados de los estudios toxicológicos con las concentraciones de masa determinadas en el estudio mismo.

De esto se obtuvieron los siguientes valores medios de los cuocientes:

• Tabla III.3.3 Resumen de los valores promedios de los cuocientes para *Selenastrum capricornutum*, *Daphnia pulex* y *Oncorhynchus mykiss*.

Estación	Especies	$C_{re}(Cu) / [1]$	$C_{re}(Mn) / [1]$	$C_{re}(Mo) / [1]$
Alhué	<i>S. capricornutum</i>	0,060	0,0005	0,0002
	<i>D. pulex</i>	0,60	0,0005	0,0002
	<i>O. mykiss</i>	0,168	0,002	0,00017
Cachapoal	<i>S. capricornutum</i>	0,222	0,0008	0,0006
	<i>D. pulex</i>	2,20	0,0008	0,00004
	<i>O. mykiss</i>	0,618	0,003	0,00004
Cortina	<i>S. capricornutum</i>	0,123	0,0006	0,00008
	<i>D. pulex</i>	1,23	0,0006	0,00008
	<i>O. mykiss</i>	0,345	0,002	0,00007

Sacado de Tabla 2 del Resumen Ejecutivo de Informe Final ESTUDIOS COMPLEMENTARIOS DEL SISTEMA HIDROBIOLÓGICO DEL ESTERO CARÉN Centro EULA U. de Concepción Enero de 1996

De acuerdo a lo anterior el cobre es el único elemento con concentraciones que podrían ser peligrosas con riesgo moderado en las subcuencas de Cachapoal y Rapel (Cortina) y bajo riesgo en la subcuenca Alhué. El manganeso y el molibdeno no presentaron concentraciones riesgosas para la vida acuática.

La tercera parte fue el estudio limnológico, en la cuál se vio el transporte neto a través de correntometría. Se encuentra por ejemplo que hay un flujo hacia el Oeste (hacia la cortina) y en la superficie se genera otro flujo hacia el Este generado por los vientos imperantes en la zona especialmente en la cubeta

Rapel (Cortina) y Alhué creándose una doble capa de circulación y tendiendo a aumentar los tiempos de residencia de las aguas superficiales de la Cubeta Alhué. En la Cubeta Cachapoal se verifica algo similar cuando viene un viento Norte fuerte provocando una circulación hacia el Sur en la Superficie y hacia el Norte en el fondo. La apertura del embalse puede ser una fuerte contribución a las condiciones de transporte que se intensifican hacia el Oeste (hacia la Cortina) y disminuye el nivel del Embalse drásticamente en cuestión de horas a días. Se estudio en la zona también las condiciones meteorológicas. También esta parte incluyó algunos parámetros nuevos y se realizó un muestreo en continuo realizado por hora en un día, tanto en invierno (mes de agosto) como en verano (mes de enero)

**SECCIÓN III.3.4 MONITOREO Y ANÁLISIS QUÍMICO DE AGUAS Y
ESPECIES EN EL LAGO RAPEL. INFORME TÉCNICO.
WORLD CLEAN CHILE S.A.**

Según este informe realizado respecto de la mortandad de 1990 se muestran los resultados de tomas de muestra realizadas en el Embalse. Se tomó una muestra compuesta a largo de la ribera del Embalse Rapel abarcando alrededor de 4 km del área más afectada (Muestra 1). Se tomó una muestra en el centro del área afectada a distintas profundidades (Superficial, 3 m y 6 m) las cuáles se mezclaron (Muestra 2) Encontrándose entre el Divisadero y Marina Rapel, La última muestra fue superficial frente al Divisadero (Muestra 3) Se observó un $pH=7$ y las temperaturas de 10 °C para las dos primeros lugares de toma de muestra y 9,5 °C para el tercero. Se hizo un análisis de varios parámetros los cuáles al compararlos con la norma 1 333/1978 tanto para uso de agua para riego como para vida acuática se mostró que los valores cumplían con la norma. Luego se comparó con el primer anteproyecto de la norma de calidad para la protección de Aguas superficiales (el cuál se modificó posteriormente) en las

cuáles en general las aguas eran de buena calidad (Clase 2) salvo para los casos de cinc; cobre y Níquel en la que eran regular (Clase 3) y para el Cadmio en la que era mala (Clase 4) Finalmente se tomó un espécimen muerto de carpa a la cuál se le hizo un análisis de metales.

Este estudio, en general, tiene fallas en el criterio de toma de muestras y al decidir en mezclar muestras tomadas por un lado. Hay una ausencia de criterio estadístico al considerar en el caso de los peces como muestra un solo ejemplar. Esto hace de que los resultados no se puedan considerar para tomar conclusión al respecto por varias de las fallas que se cometieron en la concepción de la toma de muestras con lo cuál los resultados hacen que no sean confiables.

SECCIÓN III.3.5 BIBLIOGRAFÍA

SUBSECCIÓN III.3.5.1 PUBLICACIONES

Vila, I. , M. Contreras y J. Pizarro, EUTROPHICATION AND PHYTOPLANKTON SELECTIVE RESPONSES IN A TEMPERATE RESERVOIR, 26, 798 – 802, Verh. Internat. Verein. Limnol. Diciembre 1997, Stuttgart, Alemania.

Vila, I. & al. , RAPEL: A 30 YEARS TEMPERATE RESERVOIR. EUTROPHICATION OR CONTAMINATION? Manuscrito (en prensa) y en TALLER “ CUENCA RAPEL, DIAGNÓSTICO, EVALUACIÓN Y LINEAS DE ACCIÓN”. Centro Nacional del Medio Ambiente CENMA. 7 y 8 de Marzo de 2000. Pág. 61. Santiago. 2000

SUBSECCIÓN III.3.5.2 ESTUDIOS

Edding V., M. (ed.) IMPACTO AMBIENTAL DE EFLUENTES DEL EMBALSE CARÉN, Universidad Católica del Norte Sede Coquimbo

Informe Final, Primera Etapa. 1991

Informe Final. Segunda Etapa Tomo I. Octubre 1992.

Informe Final. Período julio – diciembre 1992.

ESTUDIOS COMPLEMENTARIOS DEL SISTEMA HIDROBIOLÓGICO DEL ESTERO CARÉN. Universidad de Concepción. Centro EULA – Chile. Unidad de Sistemas Acuáticos. Enero 1996.

Informe Final. Resumen Ejecutivo y Parte I: Modelación

Informe Final. Parte II: Ecotoxicología

Informe Final. Parte III: Limnología.

OBSERVACIONES HIDROBIOLÓGICAS REALIZADAS EN EL EMBALSE RAPEL ENTRE EL 18 Y EL 27 DE JUNIO DE 1990. Anexo de IMPACTO AMBIENTAL DE EFLUENTES DEL EMBALSE CARÉN. Universidad Católica del Norte Sede Coquimbo. Julio 1990

Aron, A. ZOOPLANCTON DEL EMBALSE RAPEL FRENTE A LA LOCALIDAD DE BAHÍA SKORPIOS

Flores, H. Y Acuña, E. MORTALIDAD DE PECES EN EL LAGO RAPEL

Olivares, J. CALIDAD QUÍMICA DE AGUA. CONDICIONES FÍSICO – QUÍMICAS DEL EMBALSE RAPEL

Trucco, R.; Inda, J. y Fernández, M. L. CONTENIDO DE METALES PESADOS EN MÚSCULO DE PECES

Uribe, E. y Heyn, M. FITOPLANCTON. INFORME EMBALSE RAPEL.

MONITOREO Y ANÁLISIS QUÍMICO DE AGUAS Y ESPECIES EN EL LAGO RAPEL. Informe Técnico. WORLDCLEAN CHILE S.A. Agosto 1999. Valparaíso.

SUBCAPÍTULO III.4 DESCARGAS DE RESIDUOS LÍQUIDOS INDUSTRIALES Y DOMICILIARIOS EN LA CUENCA DEL RÍO RAPEL

A continuación se revisa el tipo de fuentes que están vertiendo sus residuos líquidos a las aguas de la cuenca del Río Rapel, o de sus tributarios: el río Cachapoal y el río Tinguiririca. Las fuentes en general pueden ser fijas y difusas, siendo las primeras más fáciles de constatar y de estimar sus emisiones, en cambio las últimas debido a que se distribuyen en una área más amplia y no centralizada, en general, se estima.

Ya se revisó en el capítulo anterior la Hidrología de la Cuenca del río Rapel, en esta se verá algunas de las fuentes fijas de contaminación hídrica de acuerdo a información recogida en la SuperIntendencia de Servicios Sanitarios SISS.

SECCIÓN III.4.1 FUENTES FIJAS DE DESECHOS DOMICILIARIOS E INDUSTRIALES EN LA CUENCA DEL RÍO RAPEL Y SUS AFLUENTES

En 1997 se hizo una actualización al Catastro de Descargas de Residuos Líquidos Industriales, a petición de la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS), en el cuál se estudiaron las descargas sobre las distintas cuencas existentes en el país. De este estudio se han tomado las concernientes a la Cuenca del Río Rapel, en el cuál se podrán ver algunas de las emisiones fijas en esta cuenca.

SUBSECCIÓN III.4.1.1 INDUSTRIAS CONTEMPLADAS EN EL CATASTRO DE 1997,
SUS ACTIVIDADES Y CUERPOS RECEPTORES DE LOS EFLUENTES DE
ALGUNOS DE ELLOS

Del Catastro hecho en 1997 se puede constatar que hay un número de empresas del rubro de la agroindustria y productora de alimentos. Por otro lado se encuentra el área minera.

De éstas hay varias empresas del rubro alimenticio que vertían sus aguas directamente al río o a un canal y otras que lo vierten los suelos. En el año 1999 existían 9 plantas que aún estaban autorizados a verter sus efluentes fuera de los sistemas de alcantarillado (a esteros o canales de regadío), de éstas también hay varias del ámbito alimenticio, y que se encuentran en la cuenca de Rancagua y el comienzo del Valle Central. En general, las empresas del rubro alimenticio pueden verter bastante materia orgánica al cuerpo receptor si no es tratada previamente.

Las descargas, de acuerdo al Catastro de 1997, que reciben las distintas subsubcuencas se resume a continuación, de acuerdo a su naturaleza.

• Tabla III.4.1 Descargas recibidas por Subsubcuencas de la Cuenca del Río Rapel

SUBSUBCUENCA	DESCARGAS			
	Servicios sanitarios	Industrias tóxicas	Industrias Orgánicas	Otras industrias
Río Cachapoal entre Río Claro y Est. La Cadena	1	2	3	
Est. La Cadena	4			1
Río Cachapoal entre Est. La Cadena y Río Claro (de Rengo)	2		1	



SUBSUBCUENCA	DESCARGAS			
	Servicios sanitarios	Industrias tóxicas	Industrias Orgánicas	Otras industrias
Est. Pichiguo	1			
Río Claro entre Est. Pichiguo y Río Cachapoal	1		3	
Est. Zamorano Hasta Est. Pelequén	1	2	1	
Est. Pelequén	2			
Est. Zamorano entre Est. Pelequén y Río Cachapoal	1		1	
Río Cachapoal entre Río Claro y Emb. Central Rapel	3			
Río Tinguiririca Bajo (Entre Río Claro y E. Rapel)	1			
Río Tinguiririca entre Río Claro y Lo Moscoso	1			
Est. Chimbarongo Hasta bajo Est. Pidihuinco	1			
Est. Chimbarongo entre el E. Pidihuinco y Emb. Convento Viejo	2			
Est. Calleuque (de las Toscas) hasta bajo Junta Esteros	1			
E. Las Cadenas entre Est. Chequén y Emb. Rapel	2			

Se puede ver que en la mayoría de los casos también se concentra en el Río Cachapoal Bajo las descargas industriales, y las descargas de aguas de alcantarillado se reciben también en el río Tinguiririca Bajo y en la subcuenca del Río Rapel.

Rancagua, San Fernando o Rengo, que es en donde se concentra una mayor población, son las ciudades con un mayor caudal de residuos líquidos domiciliarios. En un estudio de calidad de aguas superficiales llevado a cabo por el Centro Nacional del Medio Ambiente en 1999, se vio en las mediciones bacteriológicas (mediciones de coliformes totales y fecales) la influencia de las ciudades al tomar muestras en puntos antes de después de las ciudades en los ríos Cachapoal y Tinguiririca, en los cuales hubo un aumento notable en ambos

casos, a medida que se avanzaba aguas abajo, siendo el caso del río Cachapoal el más alto de los dos. Con esto se puede ver la influencia de las descargas domiciliarias de las ciudades sobre la cuenca del Rapel.

En general, los residuos líquidos domiciliarios que recibe la Empresa de Servicios Sanitarios del Libertador (ESSEL) son pasados por lagunas de estabilización y aireación, lo que no evita que algunos contaminantes puedan seguir su curso aguas abajo.

En 1997, en la Actualización del Catastro se determinó que en general la mayor contaminación que se producía en la cuenca del Río Rapel (060) por parte de las industrias era de tipo orgánico con el consiguiente mayor consumo de Oxígeno. Así, hubo 5 industrias con nivel alto, 1 con nivel medio y 7 con nivel bajo de contaminación orgánica aunque también había otras empresas cuyos Residuos Líquidos tenían otros componentes tóxicos pero en niveles bajos tales como algunos metales pesados y otras sustancias tóxicas (como fenoles o Cianuro) En el Tomo Cuarto de la Actualización del Catastro Nacional de Residuos Industriales Líquidos del año 1992 (1997) se pueden ver en más detalle los valores de parámetros fisicoquímicos para las distintas industrias de la Región, además existe el detalle de una agrupación de empresas en torno a los distintos componentes de los Residuos Líquidos.

Sin embargo, la mayoría de estas influencias sólo podrían afectar a la subcuenca Cachapoal del Embalse Rapel, que es hacia donde llegan las aguas de las principales fuentes de residuos líquidos mencionados anteriormente.

La subcuenca Alhué no tiene influencias de la subcuenca Cachapoal (salvo, levemente en su parte poniente, en donde se une con ésta) (Hillmer, I. & Niño, Y., 2000; Contreras, M., comunicación personal)

Esta subcuenca sólo recibe la influencia principal de los efluentes del Embalse Carén, y algunos canales de regadío que desembocan allí (Contreras, M., comunicación personal). Del primero recibe metales pesados siendo el molibdeno, el que tiene concentraciones por sobre la norma de uso de agua para riego 1 333/1978. Otro componente alto es el sulfato. De los canales

principalmente llega una alta concentración de materia orgánica y contaminación bacteriológica (Contreras, M., comunicación personal)

SECCIÓN III.4.2 FUENTES DIFUSAS

No se dispone de información respecto a estimaciones de emisiones de la cuenca del río Rapel. Aunque según se ha visto que una actividad importante es del tipo agrícola, en la cual se utiliza agroquímicos y fertilizantes, los que pueden lixiviar hacia los cuerpos de agua.

De hecho de acuerdo al Sexto Censo Agropecuario (1996-1997) del Instituto Nacional de Estadísticas (INE) aproximadamente un sexto de la superficie se dedica a algún tipo de cultivos, el restante se reparte en distintos tipos de cobertura vegetal.

De estos la mayor extensión la ocupan los cereales. Le sigue en extensión las plantaciones forestales y en tercer lugar los frutales. Algunas de estas actividades utilizan en mayor o menor grado los plaguicidas de los que, a continuación se presenta información recopilada.

SUBSECCIÓN III.4.2.1 PLAGUICIDAS Y METALES PESADOS EN LA CUENCA DEL RÍO RAPEL

En la zona se hizo un estudio ecotoxicológico (Castillo, G.; Dutka, B. Y Mc Innis, R., 2000) con nueve baterías de bioensayos en los cuáles se toma muestras tanto en aguas superficiales como aguas intersticiales de sedimentos en los siguientes lugares:

Río Cachapoal cerca de Rancagua

Estero La Cadena, en un punto cercano a Graneros (agua utilizada para riego)

Estero Tipaume en un punto localizado en el camino a Rosario (aguas para riego)

Estero La Cadena en Punta Cortés en Junta con Río Cachapoal que recibe descargas de Rancagua, Machalí y Graneros

Estero Cachapoal cerca de Junta con Ríos Coya y Pangal

Con los bioensayos se ha encontrado actividad ecotoxicológica y presencia de pesticidas en las muestras tomadas, tales como la atrazina y benomyl de acuerdo a inmunoensayos (hechos para estos plaguicidas) se plantea que estos pueden causar un daño potencial a actividades vitales de peces, plantas y animales por sus efectos inhibitorios en la respiración celular. Se encontró, además en el estero La Cadena (Graneros), la presencia de metachlor.

Sin embargo, en campañas por el Centro Nacional del Medio Ambiente para un estudio calidad de aguas superficiales en la región del Libertador Bernardo O'Higgins los cuales se realizaron dos campañas para los plaguicidas en época de crecida (25 y 28 de octubre de 1999, y 16 de noviembre del mismo año)

Las concentraciones estaban bajo el Límite de Detección (que oscilaban desde (0,0129 a 0,0733) g/m^3) para varios de los plaguicidas para los cuáles se examinó las muestras.

Las muestras se tomaron en varios puntos:

Río Cachapoal en puente Codao

Estero La Cadena antes de junta con río Cachapoal

Estero Alhué en Quilamuta

Río Cachapoal en puente Coinco

Río Claro en el valle

Río Tinguiririca bajo Los Briones

Estero Chimbarongo en Convento Viejo

Estero Chimbarongo en Santa Cruz

Según otro estudio sobre fuentes de contaminación con Residuos de Plaguicidas Organoclorados y Metales Pesados en sectores agrícolas desde la Cuarta a Undécima Región hecho por el Instituto de Investigaciones Agropecuarias en la cuál se detectó en los Ríos Cachapoal y Tinguiririca una ocurrencia de plaguicidas organoclorados respectivamente de 60 % y 55 % referidos exclusivamente a Dieldrin. Aún que los contenidos fueron bajos con una modalidad de contaminación esporádica. Se plantea que los resultados indican en general que las aguas no son una vía natural de los Residuos de Plaguicidas Organo - Clorados (RPOC) por su lipofilia o hidrofobia tendiendo a preservarse en otros recursos que contengan fases lípidas, siendo los suelos según los resultados en donde se preservan por más tiempo ya que se encontró concentraciones superiores que las correspondientes al agua y un mayor rango de residuos como Aldrin, metabolitos del DDT (DDE), Lindano y Dieldrin.

En la Región, dentro de los Metales Pesados (M.M. P.P.) el que se destaca en suelos es el Cobre el cuál parece obedecer a un origen natural, aunque no se descarta la influencia antropogénica, en la cuenca del río Cachapoal. En el río Tinguiririca los contenidos son más bajos en promedio que en el anterior. Se cree que en algunos lugares de la cuenca del río Cachapoal el crecimiento de plantas y animales está limitado por la toxicidad del Cobre (González, S.)

SECCIÓN III.4.3 BIBLIOGRAFÍA

SUBSECCIÓN III.4.3.1 ESTUDIOS

ACTUALIZACIÓN DEL CATASTRO NACIONAL DE RESIDUOS INDUSTRIALES LÍQUIDOS DEL AÑO 1992, Informe Final, Figueredo Ferraz, Consultoría e Ingeniería de Proyecto Ltda., Santiago, Agosto de 1998.

Tomo I Universo de Industrias
Tomo II Encuestas
Tomo III Marco regional
Tomo IV Evaluación del grado de contaminación de las cuencas
Tomo VI Conclusiones
Resumen Ejecutivo

“RESIDUOS DE PLAGUICIDAS ORGANOCOLORADOS EN SUELOS Y AGUAS SUPERFICIALES” en PROYECTO FUENTES DE CONTAMINACIÓN CON RESIDUOS DE PLAGUICIDAS ORGANOCOLORADOS Y METALES PESADOS EN SECTORES AGRÍCOLAS. REGIONES IV A XI. Registro FIA 1/86. Informe Final. Instituto de Investigación Agropecuaria. Ministerio de Agricultura. Octubre 1990. Pp. 175 a 179.

SUBSECCIÓN III.4.3.2 PÁGINA WORLD WIDE WEB

SEXTO CENSO AGROPECUARIO, Instituto Nacional de Estadísticas,
<http://www.ine.cl/censo/index.htm>

SUBSECCIÓN III.4.3.3 PUBLICACIONES

Castillo, G.; Dutka, B. y Mc Innis, R. "ECOTOXICIDAD EN AGUAS SUPERFICIALES Y SEDIMENTOS. UN CASO DE ESTUDIO EN LA CUENCA DEL RÍO RAPEL, VI REGIÓN, CHILE" en TALLER " CUENCA RAPEL, DIAGNÓSTICO, EVALUACIÓN Y LINEAS DE ACCIÓN". Centro Nacional del Medio Ambiente CENMA. 7 y 8 de Marzo de 2000. Pp 108-123. Santiago. 2000

Centro Nacional del Medio Ambiente CENMA. "CARACTERIZACIÓN QUÍMICA Y BACTERIOLÓGICA DE AGUAS SUPERFICIALES DE LA CUENCA DEL RÍO RAPEL" en TALLER " CUENCA RAPEL, DIAGNÓSTICO,

EVALUACIÓN Y LINEAS DE ACCIÓN". Centro Nacional del Medio Ambiente CENMA. 7 y 8 de Marzo de 2000. Pp 129-143. Santiago. 2000

González, S. Riesgo Ambiental para los suelos de Chile. IPA La Platina N° 70, pp 44-50, Santiago.

Hillmer, I. & Niño, Y., R. "ANÁLISIS DE LA HIDRODINÁMICA DEL EMBALSE RAPEL Y SUS CONSECUENCIAS EN EL TRANSPORTE Y MEZCLA DE CONTAMINANTES". Centro Nacional del Medio Ambiente CENMA. 7 y 8 de Marzo de 2000. Pp 124-127. Santiago. 2000

**CAPÍTULO IV ANÁLISIS DE ALGUNAS BASES DE DATOS
DISPONIBLES E INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA SOBRE EL
MOLIBDENO EN PECES**

SUBCAPÍTULO IV.1 EVALUACIÓN DE POSIBLES INFLUENCIAS DE ALGUNOS PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS, FLUVIOMÉTRICOS Y METEOROLÓGICOS EN LAS MORTANDADES DE PECES DEL LAGO RAPEL

A Continuación se consideran algunas bases de datos, con el objeto de ver si tiene una incidencia en las mortandades de peces en el Rapel.

En el caso de la base de datos fluvimétricos y pluviométricos hay una mayor disposición de datos, con lo cuál se puede ver en algunos casos la situación diaria del caudal (valor medio) y de las precipitaciones. Estos datos, sin embargo no corresponden a la zona en estudio, debido a que no había una disposición de ella, pero se tomaron los datos de los ríos con mayor influencia (Tinguiririca y Cachapoal) en dónde se disponía de la mayor cantidad de datos para el período comprendido entre 1989 y 1999, y la estación pluviométrica de Rancagua, por la misma causa. Con esto no se obtendría lo que se esperaría al tener los datos de la subcubeta Alhué, pero al menos se tendrá una referencia. Debido a esto, se tomó, una estación del estero Alhué. Algunos valores estadísticos de caudales de los ríos Cachapoal y Tinguirica que se recopilaron se encuentran en el Anexo B. En el caso de las temperaturas del aire se recopiló los datos de la estación La Rosa de la Dirección de Meteorología (se encuentran en el Anexo F). Sin embargo, dado que estas no necesariamente tienen una relación lineal en el caso de sistemas lénticos (Manuel Contreras, comunicación personal) se descartaron del siguiente análisis. En el caso del volumen del Lago se logró obtener los datos de la Dirección General de Aguas que corresponden al último día de cada mes, con lo que se tiene una visión restringida de las condiciones del embalse en los meses afectados (se encuentra en el Anexo G). Por esto también se descartó del siguiente análisis.

En el caso de los datos de parámetros fisicoquímicos los valores son los correspondientes a una medición mensual. Debido a esto sólo se puede tener una visión aproximada de la situación de los parámetros fisicoquímicos en la última década y por eso sólo se determinaron los valores máximos y mínimos de cada año, y el promedio como un valor referencial, debido a que estos valores pueden tener fluctuaciones diarias y estacionales. Lamentablemente, para el caso de los días de la mortandad de peces estos valores no aportan mucho, respecto al comportamiento que pudieron tener los parámetros en esos días, con lo cual lo que se obtiene de estos datos es sólo referencial. Estos valores se compararon con los de la norma de uso de agua para riego, ya que son menos los parámetros tomados para la protección de la vida acuática en dicha norma (NCh 1 333/1978), además de que hay un uso para riego en algunas zonas cercanas.

SECCIÓN IV.1.1 PLUVIOMETRÍA

Se tomó los datos de la Estación Rancagua Endesa ubicada a una altura s.n.m.m. de 500 m y a 34° 10' L.S y 70° 45' L.W, informados por la Dirección General de Aguas.

SUBSECCIÓN IV.1.1.1 ANÁLISIS POR MES

Los siguientes son los valores acumulados mensuales de la Estación Rancagua Endesa en los meses en que ocurrieron las mortandades de peces

- Tabla IV.1.1 Valores acumulados mensuales de los meses de junio, julio y agosto por año en la estación Rancagua Endesa

Año	Precipitación(junio) [mm]	Precipitación(julio) [mm]	Precipitación(agosto) [mm]
1989	22,6 ^{(2)†}	92,4 ⁽⁷⁾	141,9 ⁽¹¹⁾
1990	4,3 ⁽¹⁾	99,4 ^{(6)†}	67 ⁽⁶⁾
1991	119,3 ⁽⁸⁾	99,4 ⁽⁶⁾	26,2 ⁽⁴⁾

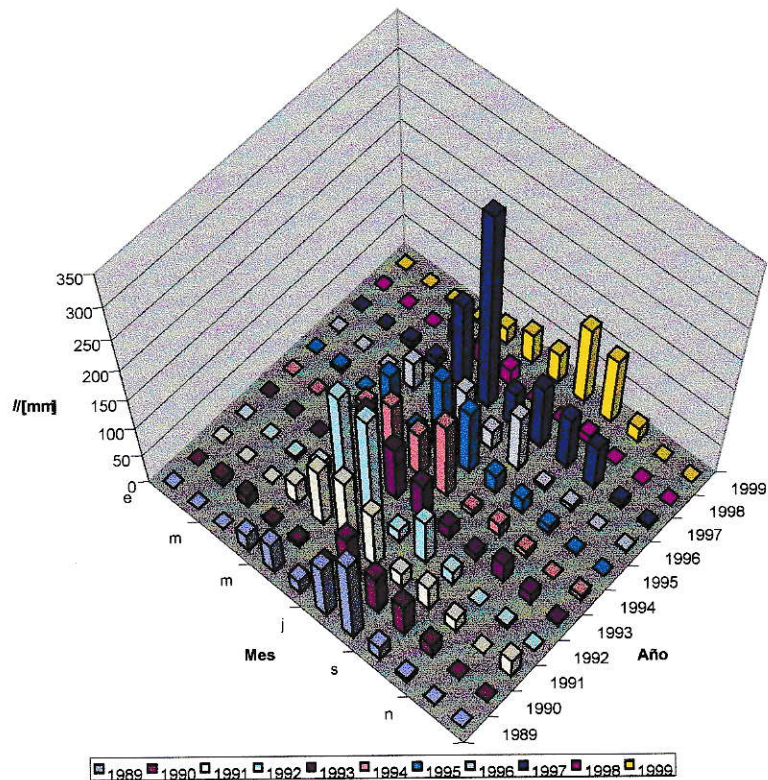
Año	Precipitación(junio)/ [mm]	Precipitación(julio)/ [mm]	Precipitación(agosto)/ [mm]
1992	183,7 ⁽¹⁰⁾	20,6 ⁽²⁾	78,6 ⁽⁷⁾
1993	89,6 ⁽⁷⁾	62,5 ⁽⁶⁾	21,6 ⁽³⁾
1994	73,3 ⁽⁶⁾	125,5 ⁽¹¹⁾	10,5 ⁽²⁾
1995	126 ⁽⁹⁾	105,5 ⁽¹⁰⁾	30 ⁽⁵⁾
1996	66 ⁽⁶⁾	31 ⁽³⁾	93 ⁽⁸⁾
1997	311,7 ⁽¹¹⁾	56,6 ⁽⁵⁾	101,5 ⁽⁹⁾
1998	25 ⁽³⁾	0 ⁽¹⁾	0,2 ^{(1)†}
1999	48 ⁽⁴⁾	47,7 ^{(4)†}	125 ⁽¹¹⁾

† Mes en que ocurrió mortandad de peces

En el siguiente gráfico se puede ver el caudal con respecto a los diferentes meses.

- Figura IV.1.1 Gráfico de las precipitaciones acumuladas en el mes en los distintos meses de los años de período 1989-1999

Gráfico de precipitación Acumulada Mensual por mes y por año



En el año 1998, la mortandad ocurrió en el mes de agosto con menos precipitación mensual acumulada del período 1989-1999. En el año 1989, la

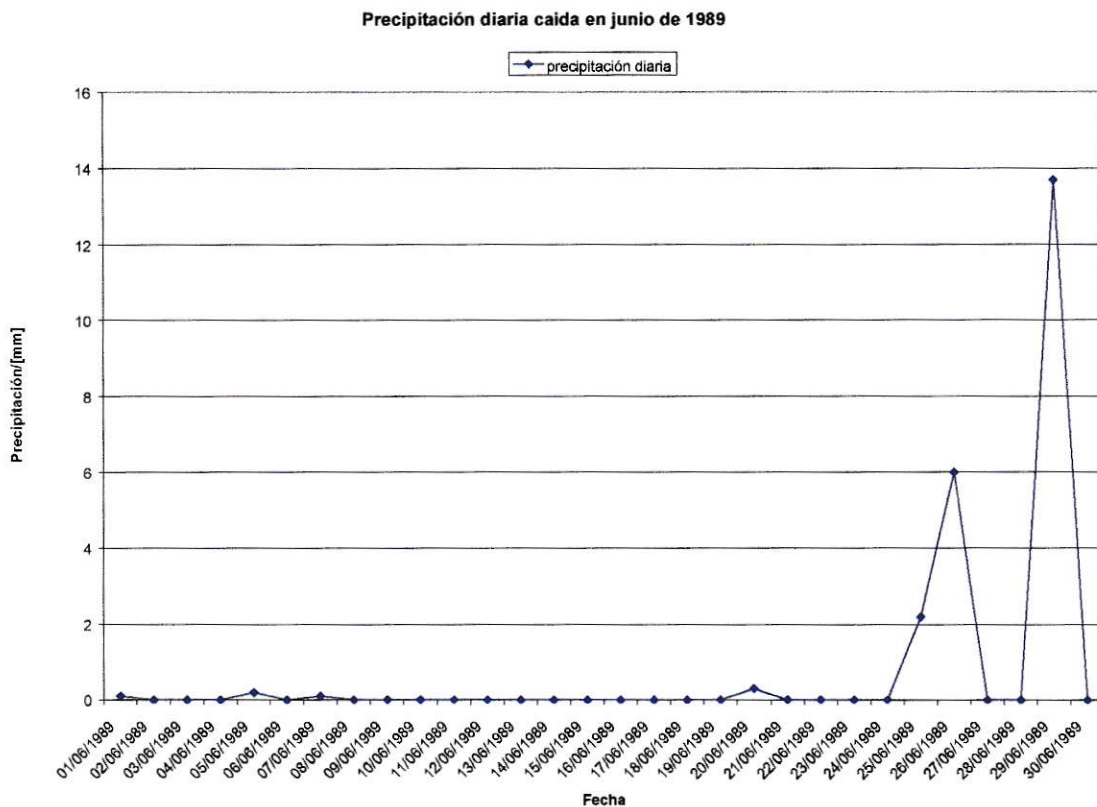
mortandad ocurrió en el segundo junio con menos precipitación mensual acumulada del período 1989-1999. En 1999 la mortandad sucedió en el cuarto julio con menos precipitación mensual acumulada del período analizado. En 1990, ocurrió en un julio con mayor precipitación mensual acumulada a pesar de que el año fue seco.

SUBSECCIÓN IV.1.1.2 ANÁLISIS DE LOS DÍAS EN QUE OCURRIERON LAS MORTANDADES

IV.1.1.2.1 AÑO 1989

En el período de las mortandades no hubo lluvia desde la semana anterior y tampoco hubo lluvias durante éstas.

• Figura IV.1.2 Gráfico de Precipitación caída en le mes de junio de 1989



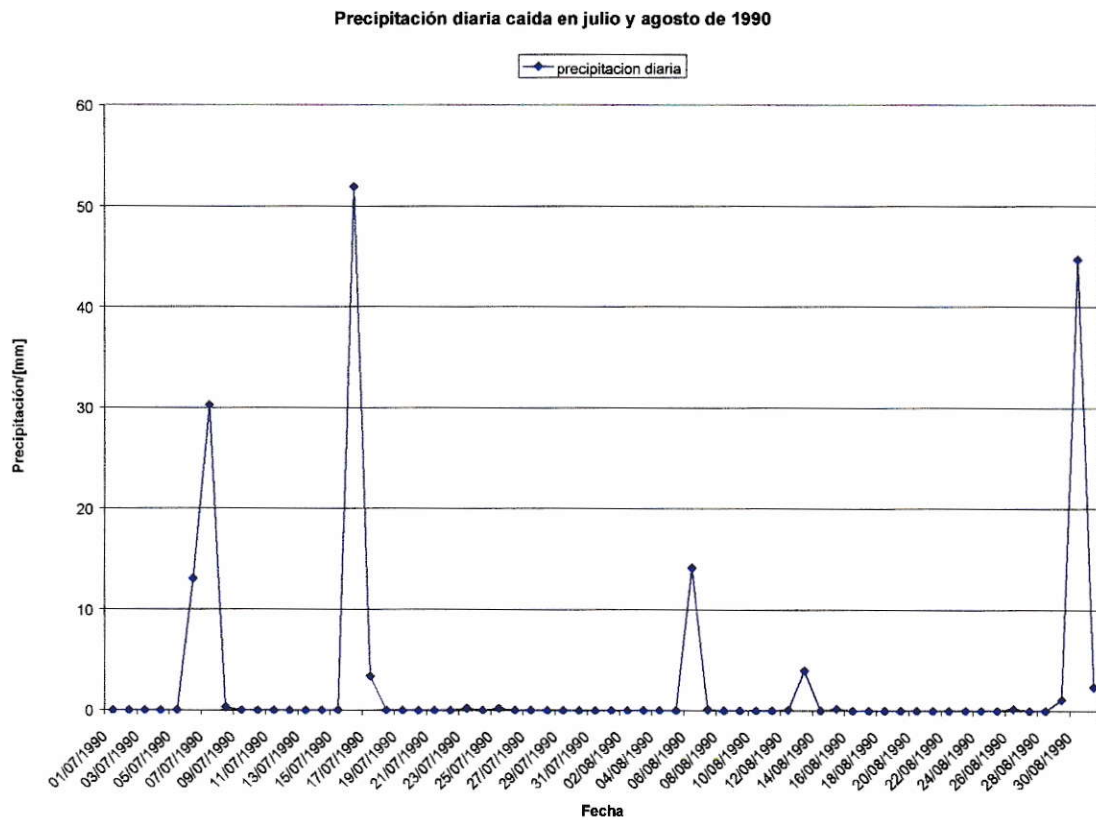
IV.1.1.2.2 AÑO 1990

Contrario al año anterior, en este hubo lluvia en los días anteriores, lloviendo en 48 h 55,3 mm, en los días 16 y 17 de julio.

Antes de esto ya había llovido 11 días antes y durante el período de la mortandad llovió dos días.

En resumen este fue el mes más lluvioso del año 1990, que fue un año relativamente seco.

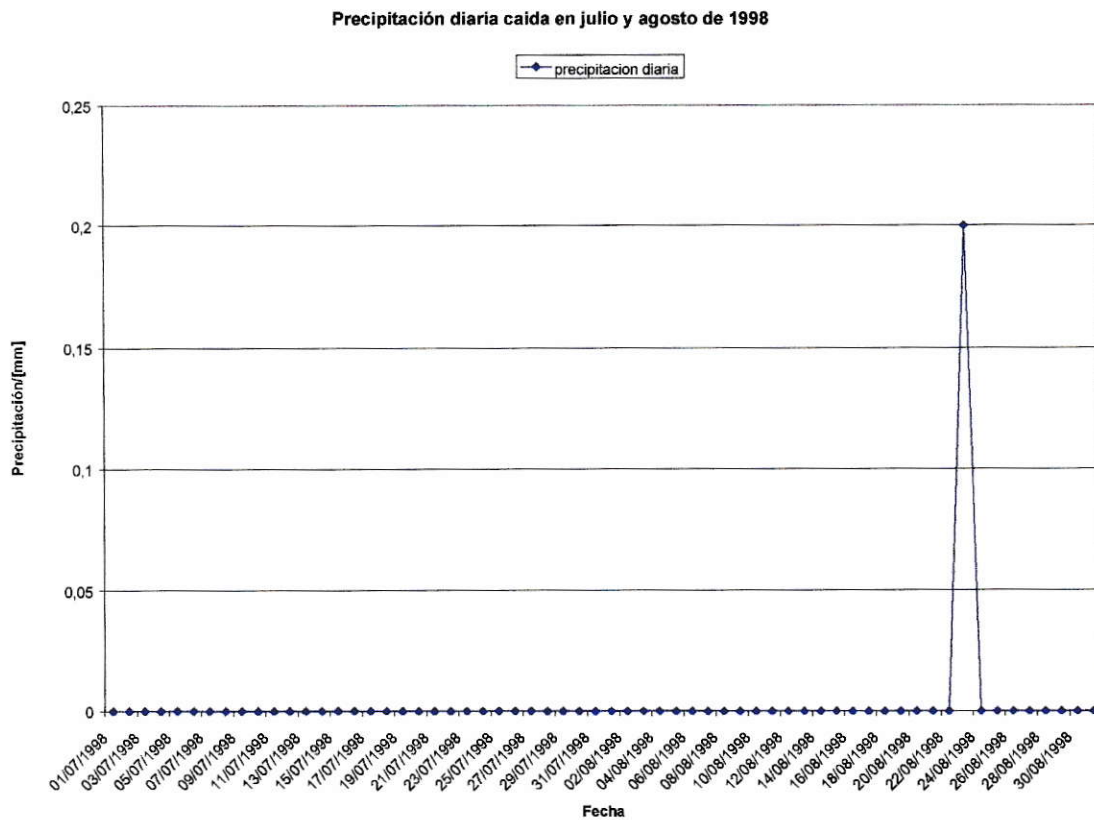
• Figura IV.1.3 Gráfico de Precipitación caída en los meses de julio y agosto de 1990



IV.1.1.2.3 AÑO 1998

En el período de mortandad no hubo lluvias, ni tampoco en un período de casi un mes y medio antes.

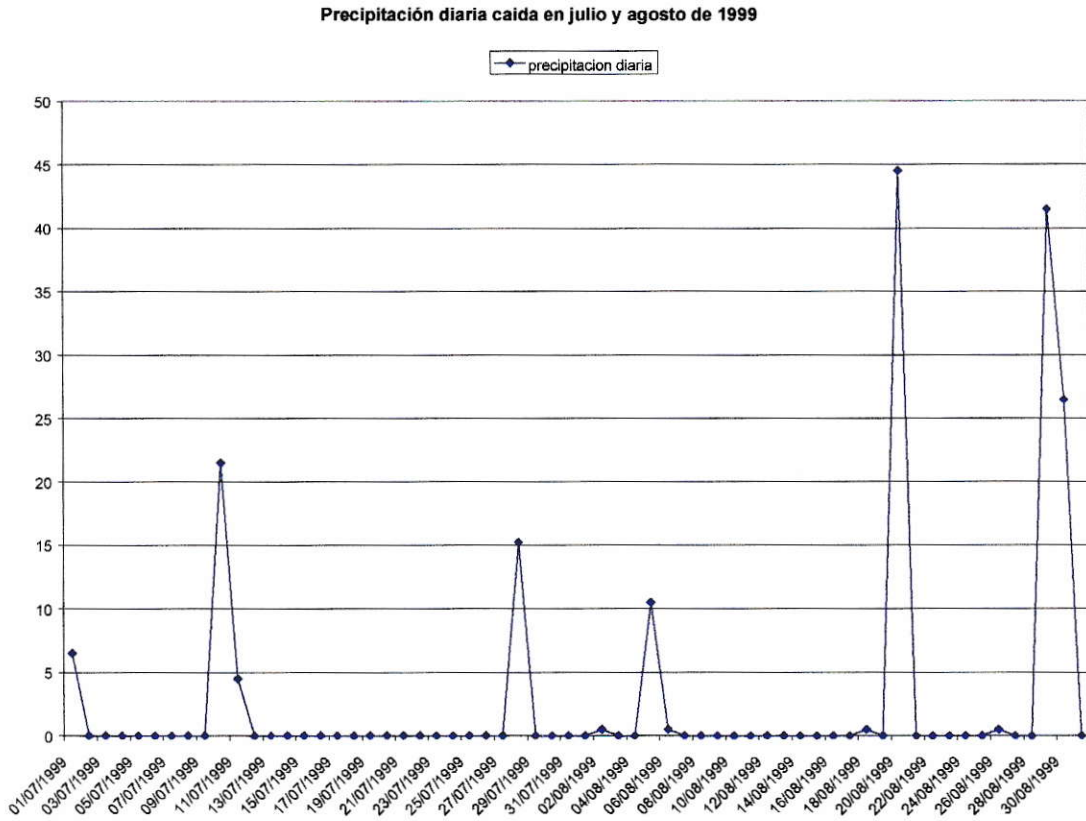
• Figura IV.1.4 Gráfico de precipitación caída en los meses de julio y agosto de 1998



IV.1.1.2.4 AÑO 1999

No hubo lluvias en los nueve días anteriores al período. Sin embargo, el 10 de julio (once días antes de la mortandad) llovió siendo el máximo de precipitaciones en 48 h (26 mm llovidos el 10 y 11 de julio)

• Figura IV.1.5 Gráfico de precipitación caída en los meses de julio y agosto de 1999



En resumen, se puede ver que el año 1990 es bastante distinto de los otros casos por mayor cantidad de precipitación en la zona previamente a la mortandad.

En el año 1998, en cambio, no llovió en un amplio período anterior.

Los años 1989 y 1999 son casos intermedios.

SECCIÓN IV.1.2 FLUVIOMETRÍA

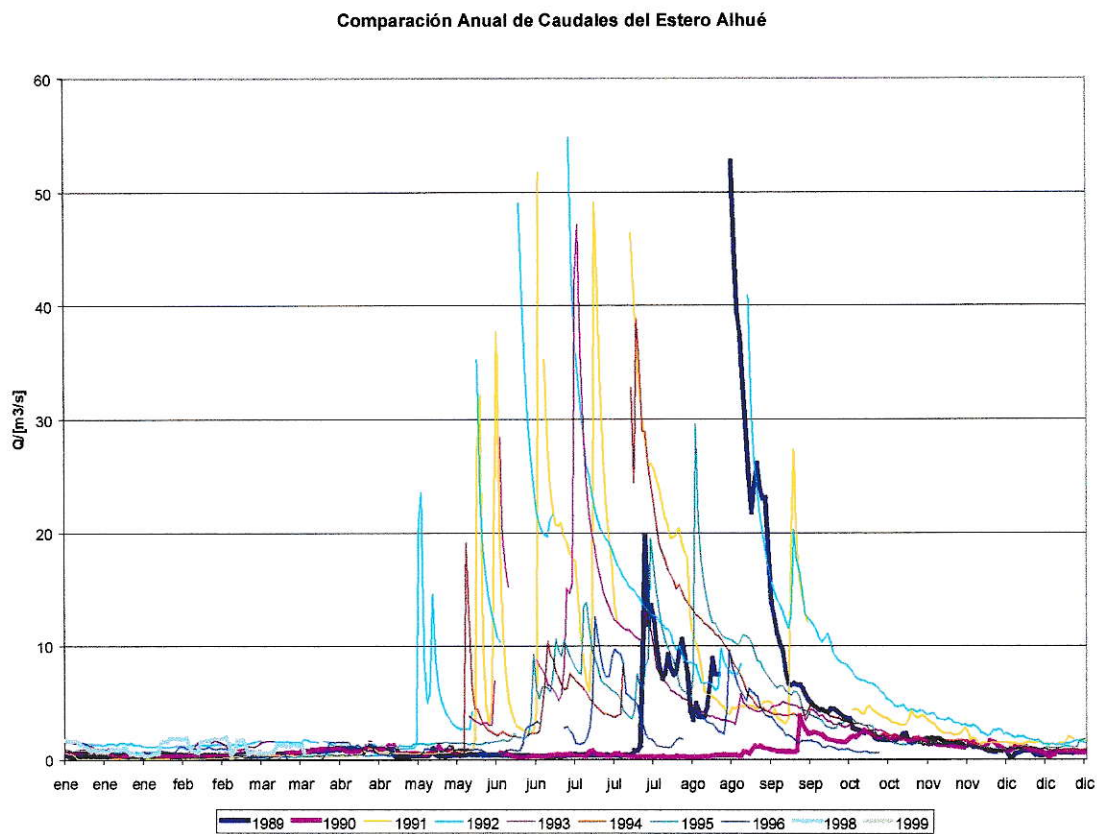
A continuación se muestran los caudales del Estero Alhué. La estadística de los caudales del río Cachapoal y Tinguiririca que se recopilaron, aunque no se

consideraron relevantes, debido a que no tenían una fuerte influencia en el área de las mortandades de peces se muestran en el Anexo B.

SUBSECCIÓN IV.1.2.1 ESTERO ALHUÉ

Para este estero se tomaron los datos en Quilamuta, a una altura s.n.m.m. de 130 m y a 34° 04' L.S y 71° 17' L.W. Se puede ver para el caso de esta estación que los valores mayores se encuentra en el invierno y que disminuyen bastante en verano, con lo cuál el aporte mayor lo constituyen las aguas lluvias. Los valores de caudales, en general, para los años de mortandades de peces son más bajos que los otros años observados.

• Figura IV.1.6 Comparación de caudales medios diarios en distintos años del Estero Alhué.



Para en el año 1989 se observan caudales medios descendentes en el período de la mortandad desde el valor de $0,363 \text{ m}^3/\text{s}$ del día 14 de junio de ese año a $0,343 \text{ m}^3/\text{s}$ del día 19 de ese mes. Los valores anteriores son levemente más altos.

En el caso del año 1990 se observan que los valores descienden de $0,4 \text{ m}^3/\text{s}$ del día 19 de julio de ese año hasta $0,256 \text{ m}^3/\text{s}$ del día 27 de ese mes. En los tres días anteriores los valores eran más altos y fueron descendiendo con un valor de $0,509 \text{ m}^3/\text{s}$ del día 16 de ese mes subiendo a $0,521 \text{ m}^3/\text{s}$ el día siguiente hasta llegar al período de la mortandad.

En el 1998 no hay valores para el mes de la mortandad y en el año 1999 no hay valores en todo el año.

SECCIÓN IV.1.3 PARÁMETROS FÍSICO QUÍMICOS

Para los parámetros fisicoquímicos se observó los datos de la Estudio de la Universidad Católica del Norte para cubrir el período 1990-1992.

Luego se tomó los datos de la Red de Monitoreo mantenida por Codelco en el Embalse Rapel en los cuáles se analizarán las tendencias de algunos de los datos disponibles.

SUBSECCIÓN IV.1.3.1 ANÁLISIS DE LOS DATOS DEL ESTUDIO DE INFLUENCIA DE EFLUENTES INDUSTRIALES DEL EMBALSE CARÉN.

En el estudio de la Universidad Católica del Norte se tomó las siguientes variables

Parámetro fisicoquímico

pH, pH

Temperatura (Celsius), t

Sólidos Disueltos, SD

Sólidos Totales, ST

Concentración (de masa) de sulfato, $\rho(\text{SO}_4^{2-})$

Concentración (de masa) de metales: cadmio, $\rho(\text{Cd})$; cobre, $\rho(\text{Cu})$; manganeso, $\rho(\text{Mn})$; molibdeno, $\rho(\text{Mo})$; y plomo, $\rho(\text{Pb})$

Oxígeno disuelto, OD

Demanda bioquímica de oxígeno, DBO

Concentración (de masa) de anhídrido carbónico, $\rho(\text{CO}_2)$

Concentración (de masa) de nitratos, $\rho(\text{NO}_3^-)$

Concentración (de masa) de nitritos, $\rho(\text{NO}_2^-)$

Concentración (de masa) de silicatos, $\rho(\text{SiO}_3^{2-})$

Concentración (de masa) de cloruros, $\rho(\text{Cl}^-)$

Concentración (de masa) de ortofosfatos, $\rho(\text{PO}_4^{3-})$

Concentración (de cantidad de sustancia) de nitratos, $c(\text{NO}_3^-)$

Concentración (de cantidad de sustancia) de silicatos, $c(\text{SiO}_3^{2-})$

Concentración (de cantidad de sustancia) de ortofosfatos, $c(\text{PO}_4^{3-})$

Dureza total

Dureza cálcica

Conductividad eléctrica, CE

Turbidez (o turbiedad)

En su mayoría, los datos disponibles en tablas eran los datos de temperatura Celsius, t ; pH, pH ; concentración (de masa) de los metales Cd, Cu, Mn, Mo y Pb; $\rho(\text{Cd})$, $\rho(\text{Cu})$, $\rho(\text{Mn})$, $\rho(\text{Mo})$ y $\rho(\text{Pb})$; y los otros datos estaban disponibles para algunas estaciones en un período de tiempo reducido. A esto hay que sumar otro problema. En varias de las estaciones del Lago Rapel se realizaron sólo unas pocas mediciones, no siguiendo con la periodicidad de las demás. Se tiene que tomar en cuenta de que en algunos meses se disponen de dos mediciones y en otras sólo de una, con lo cuál no hay una periodicidad muy alta. Además no se dispone en todos los casos de las fechas de muestreo con lo cuál hay una pérdida en la utilización de algunos datos. Al no tener datos con una periodicidad más alta (por ejemplo una vez cada cuatro días, en una misma hora determinada; o un perfil diario o semanal realizado con mediciones en cada hora), no puede haber un estudio estadístico de los datos ya que éste carecería de sentido, debido a que simplemente cada dato se consideraría como una "fotografía" de la situación en un día y hora dado. Así, sólo se puede observar las tendencias de los distintos datos y observar los patrones de otras estaciones cuando se registra un pico en las concentraciones de los metales. Además, se puede ver dentro de rango de unidades fluctúan los valores de los distintos parámetros en las distintas estaciones. Para poder observar estos aspectos se han tomado las tablas de datos disponibles en este estudio.

Así, los datos se consideraron para darnos un indicio del comportamiento de las diferentes subcuencas o cubetas del Lago Rapel en la concentración de masa de Cd, Cu, Mn, Mo y Pb, en las distintas estaciones frente a un episodio en alguna de las subcuencas. Se hará así, un análisis de algunos de estos valores con respecto a la norma chilena de uso de agua (con respecto a los valores para riego, en el caso del informe de la Universidad Católica del Norte, Sede Coquimbo (1990) y también con respecto a los valores para vida acuática para los datos de la Red de Monitoreo mantenida por Codelco) (NCh 1 333/1978, ver Anexo D) aunque sólo para ver ciertas tendencias en algunos valores, si es posible ver, y los niveles de concentración de los metales pesados medidos.

IV.1.3.1.1 ESTACIÓN ESTERO CARÉN, ANTES DE CONFLUIR CON LA CANOA DE RELAVES DE LA DIVISIÓN EL TENIENTE DE LA CORPORACIÓN NACIONAL DEL COBRE CODELCO CHILE

IV.1.3.1.1.1 Temperatura Celsius Superficial

Como es de esperar es fría en invierno. Desciende de 17 °C en marzo del 1990 a 9,5 °C en junio de 1990. La temperatura Celsius aumenta luego en el mes de agosto y luego empieza a fluctuar entre 29 °C (28-11-1990) y 14 °C (13-11-1990) Luego, en enero de 1991 tiende a reducirse.

IV.1.3.1.1.2 pH

El pH fluctúa entre 9,0 y 6,5 aproximadamente.

IV.1.3.1.1.3 Concentración de masa de metales pesados

Las concentraciones de masa mayores siguieron el siguiente patrón:

$$\rho(\text{Mo})_{\text{máx.}} > \rho(\text{Cu})_{\text{máx.}} > \rho(\text{Pb})_{\text{máx.}} > \rho(\text{Mn})_{\text{máx.}} > \rho(\text{Cd})_{\text{máx.}}$$

Salvo el caso del Molibdeno, todos los demás metales se encuentran bajo la norma, considerando los datos obtenidos del estudio para esta estación. A continuación se hace un pequeño análisis de cada elemento.

IV.1.3.1.1.3.1 Concentración de masa de Cadmio ($\rho(\text{Cd})$):

Los valores de concentración de masa de Cadmio mayores son de $0,0096 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ del 13-11-1990 que es la máxima, y $0,009 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ registrado el 25-11-1991. Las concentraciones de masa del Cadmio están bajo la norma chilena de uso de aguas para riego (NCh 1 333/1978), aunque fluctúan bastante con varios picos y valles de concentración de masa de baja intensidad.

IV.1.3.1.1.3.2 Concentración de masa de Cobre ($\rho(\text{Cu})$):

Hay un episodio de Concentración de masa de Cobre el día 12-04-1990 en que alcanza un valor de $0,236 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$.

La mayoría de los valores de concentración de masa considerados están bajo la norma chilena de uso de aguas para riego (NCh 1 333/1978), salvo el mencionado anteriormente que corresponde al de la fecha 12-04-1990, en que supera la norma con un valor de $0,236 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ de concentración de masa de Cobre.

IV.1.3.1.1.3.3 Concentración de masa de Manganeso ($\rho(\text{Mn})$):

Hay varios picos de concentración de masa de Manganeso de distintas intensidades. Los valores de mayor intensidad son:

$0,057 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ del 01-05-1990.

$0,076 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ del 14-01-1992.

$0,105 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ del 30-07-1992

Los valores analizados están bajo la norma chilena de uso de aguas para riego (NCh 1 333/1978)

IV.1.3.1.1.3.4 Concentración de masa de Molibdeno ($\rho(\text{Mo})$):

Hay un valor de concentración de masa de Molibdeno que corresponde al episodio del día 13-11-1990 con un valor de $11,57 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$.

Todos los valores analizados están en el límite o por sobre la norma chilena de uso de aguas para riego (NCh 1 333/1978)

IV.1.3.1.1.3.5 Concentración de masa de Plomo ($\rho(\text{Pb})$):

El mayor valor que se ve en los datos del estudio es un pico de concentración de masa de Plomo de $0,1752 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ del 14-01-1992.

Todos los valores están bajo la norma chilena de uso de aguas para riego (NCh 1 333/1978)

IV.1.3.1.2 ESTACIÓN CANOA DE RELAVES DE LA DIVISIÓN EL TENIENTE DE LA CORPORACIÓN NACIONAL DEL COBRE CODELCO CHILE.

IV.1.3.1.2.1 Temperatura Celsius Superficial

En marzo de 1990 desciende de $12 \text{ }^\circ\text{C}$ a $8 \text{ }^\circ\text{C}$ en mayo del mismo año y luego sube a alrededor de $15 \text{ }^\circ\text{C}$. Desde septiembre de 1990 empieza a fluctuar entre $9 \text{ }^\circ\text{C}$ y $28 \text{ }^\circ\text{C}$, con tendencia al ascenso hasta enero de 1990, en donde se estabiliza en torno a los $20 \text{ }^\circ\text{C}$.

IV.1.3.1.2.2 pH

Es estable en torno a los 9,0 entre los meses de marzo y julio de 1990, para tener un valle de 5,3 el 07-08-1990. Luego el pH, vuelve a estar entre 8 y 9, descendiendo y fluctuando entre los meses de septiembre y diciembre de 1990. Tiende a subir a principios de 1991, nuevamente.

IV.1.3.1.2.3 Concentración de masa de metales pesados

Los máximos de concentración de masa de los metales están en el orden siguiente:

$$\rho(\text{Mo})_{\text{máx.}} > \rho(\text{Mn})_{\text{máx.}} > \rho(\text{Cu})_{\text{máx.}} > \rho(\text{Cd})_{\text{máx.}}$$

En general los valores de Molibdeno, Manganeso, y ocasionalmente el Cadmio, están por sobre la norma de uso de agua para riego (NCh 1 333/1978) En cuanto al cobre se observa un valor de los registrados en el gráfico que está por sobre la norma de uso de agua para riego.

IV.1.3.1.2.3.1 Concentración de masa de Cadmio ($\rho(\text{Cd})$):

De los valores de concentración de masa de Cadmio que se dispone, los siguientes son los mayores y que, además, exceden la norma de uso de agua para riego (NCh 1 333/ 1978)

0,020 6 g·m⁻³ del 16-05-1990

0,011 28 g·m⁻³ del 30-05-1990

0,010 9 g·m⁻³ del 13-11-1990

IV.1.3.1.2.3.2 Concentración de masa de Cobre ($\rho(\text{Cu})$):

Los valores en las concentraciones de masa fluctúan en la tabla. El valor máximo de concentración de masa de los datos del estudio para esta estación, que supera la norma de uso de agua para riego es de 0,117 [g·m⁻³] correspondiente a la muestra tomada el día 16-05-1990, aunque los otros valores no sobrepasan dicha norma (NCh 1 333/1978)

IV.1.3.1.2.3.3 Concentración de masa de Manganeso ($\rho(Mn)$):

Los valores de concentración de masa de Manganeso por sobre la norma de uso de agua para riego son los siguientes:

1,079 $\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ del 07-08-1990
0,654 5 $\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ del 04-09-1990.
0,84 $\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ del 15-09-1990
0,204 1 $\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ del 16-10-1990
0,346 9 $\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ del 31-10-1990

IV.1.3.1.2.3.4 Concentración de masa de Molibdeno ($\rho(Mo)$):

Todos los valores registrados superan la norma de uso de agua para riego (NCh 1333/1978)

Los seis valores de concentración de masa de Molibdeno más altos y que superan bastante a la norma son:

7,53 $\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ del día 02-10-1990
12,36 $\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ del día 16-10-1990
17,8 $\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ del día 31-10-1990
15,45 $\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ del día 28-11-1990
14,22 $\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ del día 10-12-1990
17,81 $\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ del día 27-12-1990

IV.1.3.1.3 ESTACIÓN SALIDA DE LA CORTINA DEL EMBALSE DE RELAVES CARÉN DE LA DIVISIÓN EL TENIENTE DE LA CORPORACIÓN NACIONAL DEL COBRE CODELCO CHILE.

IV.1.3.1.3.1 Temperatura Celsius Superficial

Tiende a bajar entre marzo y julio de 1990, para subir desde julio a octubre del mismo año y empezar a fluctuar entre fines de 1990 y principios de 1991, con

tendencia al ascenso. Debido a falta de datos en los años siguientes del estudio en cuestión, no se puede ver con la misma resolución, pero las tendencias de ascenso y descenso son las mismas.

IV.1.3.1.3.2 pH

Este parámetro fluctúa en torno a 8 (Entre 10 y 6) En 1990 se puede ver que sube en otoño (marzo a mayo de 1990), e inclusive hasta el mes de julio, para luego descender en agosto. Luego asciende en forma fluctuante, incluso a principios de 1991.

IV.1.3.1.3.3 Concentración de masa de metales pesados

Los valores máximos de concentración de masa van en el siguiente orden descendente:

$$\rho_{\text{máx.}}(\text{Mo}) > \rho_{\text{máx.}}(\text{Mn}) > \rho_{\text{máx.}}(\text{Cu}) > \rho_{\text{máx.}}(\text{Pb}) > \rho_{\text{máx.}}(\text{Cd})$$

El análisis de las tendencias de la concentración de masa con respecto al tiempo se dan a continuación. Cabe notar que en esta estación como en la anterior hay bastantes valores que sobrepasan la norma de los que se destaca el Molibdeno, el cuál sobrepasa ampliamente la norma de uso de aguas para riego (NCh 1333/1978), y le sigue el Manganeso con algunos valores bastante altos. Los demás valores para metales están por lo general bajo la norma citada.

IV.1.3.1.3.3.1 Concentración de masa de Cadmio ($\rho(\text{Cd})$):

El valor mayor de los registrados sobrepasa la norma, los demás tienen una tendencia a la baja. El valor más alto corresponde a $0,0192 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ del día 16-05-1990.

Salvo el valor mayor de los registrados, los demás valores cumplen con la norma chilena de uso de aguas para riego (NCh 1 333/1978)

IV.1.3.1.3.3.2 Concentración de masa de Cobre ($\rho(\text{Cu})$):

Los valores son bastantes variables. En general los valores están bajo 0,04 [$\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$] Los valores más altos son:

0,087 2 $\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ del 30-03-1990

0,080 05 $\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ del 24-07-1990

0,054 25 $\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ del 07-08-1990

Hay una tendencia a la baja. Los valores registrados en el estudio para esta estación están bajo la norma chilena de uso de agua para riego (1 333/1978)

IV.1.3.1.3.3.3 Concentración de masa de Manganeso ($\rho(\text{Mn})$):

Los últimos valores de concentración de masa del Manganeso tienden a subir. Los valores más altos son:

5,379 $\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ del 21-05-1992

1,99 $\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ del 14-01-1992

1,162 $\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ del 23-04-1992

Los valores en general y al principio están bajo la norma chilena de uso de agua para riego (NCh 1 333/1978), los valores altos están por sobre la norma citada anteriormente.

IV.1.3.1.3.3.4 Concentración de masa de Molibdeno ($\rho(\text{Mo})$):

Los valores son variables y altos de concentración de masa del Molibdeno para esta estación. Entre el período entre octubre de 1990 y febrero de 1991 se ven valores bastantes altos en los datos del estudio para esta estación. En el mismo período de meses entre los años 1991 y 1992, los valores continúan siendo altos, aunque son más bajos en relación con los primeros.. Así de los valores disponibles en el estudio en forma global y a pesar de estar por sobre la norma chilena de uso de agua para riego (1 333/1978), tienden a disminuir. Los valores más altos son:

22,25 g·m⁻³ del 28-01-1991
21,52 g·m⁻³ del 06-02-1991
15,52 g·m⁻³ del 28-11-1990
15,06 g·m⁻³ del 10-12-1990
12,62 g·m⁻³ del 16-10-1990
12,52 g·m⁻³ del 06-02-1991
12,21 g·m⁻³ del 02-10-1990
11,91 g·m⁻³ del 13-11-1990
8,5 g·m⁻³ del 31-10-1990
7,741 g·m⁻³ del 23-04-1992
6,737 g·m⁻³ del 21-05-1992

Como se comentó anteriormente, los valores en general están por sobre la norma chilena de uso de agua para riego (NCh 1 333/1978) para este parámetro de calidad de agua.

IV.1.3.1.3.3.5 Concentración de masa de Plomo ($\rho(\text{Pb})$):

Los valores fluctúan bastante y no pasan de los 0,08 g·m⁻³

Los valores disponibles no sobrepasan la norma chilena de uso de agua para riego (NCh 1 333/1978)

IV.1.3.1.4 ESTACIÓN ESTERO CARÉN, ANTES DE CONFLUIR CON EL ESTERO ALHUÉ.

IV.1.3.1.4.1 Temperatura Celsius Superficial

Tendencia a bajar entre otoño e invierno (hasta julio), para luego subir en forma sostenida hasta octubre de 1990. A fines de este mes comienza a ascender en forma fluctuante para empezar a descender a fines de enero de 1991.

IV.1.3.1.4.2 pH

Este parámetro fluctúa en torno a 8, entre 9 y 6,5 (datos 1990, principios 1991)

IV.1.3.1.4.3 Concentración de masa de metales pesados

Los valores máximos siguen el siguiente comportamiento para la concentración de masa de los metales registrados:

$$\rho(\text{Mo})_{\text{máx.}} > \rho(\text{Mn})_{\text{máx.}} > \rho(\text{Cd})_{\text{máx.}} > \rho(\text{Cu})_{\text{máx.}}$$

Aunque para el caso del Cadmio y el Cobre en los demás valores tiende a invertirse esta tendencia.

IV.1.3.1.4.3.1 Concentración de masa de Cadmio ($\rho(\text{Cd})$):

El valor mayor de este metal en esta estación es de $0,132 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ del 16-05 1990. Después de esto los valores tienden a reducirse.

Salvo el valor máximo, los demás valores no sobrepasan la Norma Chilena de uso de agua para riego (NCh 1 333/ 1978)

IV.1.3.1.4.3.2 Concentración de masa de Cobre ($\rho(\text{Cu})$):

Hay una tendencia al descenso, y existen dos valores altos los cuáles son:

0,111 2 $\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ del 10-07-1990

0,071 25 $\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ del 24-07-1990

Los demás valores se encuentran bajo 0,03 $\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ y por lo tanto están bajo la norma chilena de uso de agua para riego (NCh 1 333/1978)

IV.1.3.1.4.3.3 Concentración de masa de Manganeso ($\rho(\text{Mn})$):

Los valores tienden a descender con respecto al tiempo. Hay dos valores altos, uno de los cuales está por sobre la norma de uso de aguas para riego (1 333/1978) el que es de 0,204 35 $\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ del 24-07-1990, el otro está bajo la norma y corresponde a 0,193 $\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$

IV.1.3.1.4.3.4 Concentración de masa de Molibdeno ($\rho(\text{Mo})$):

Hay valores muy altos desde mediados de septiembre de 1990 y se extienden a principios de 1991, después de los cuáles no hay registros en esta estación, en este estudio. Los valores más altos son:

21,77 $\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ del 28-01-1991

17,75 $\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ del 28-11-1990

12,84 $\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ del 10-12-1990

11,96 $\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ del 16-10-1990

11,66 $\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ del 02-10-1990

Todos los valores disponibles sobrepasan la norma chilena de uso de agua para riego (NCh 1 333/1978)

IV.1.3.1.5 ESTACIÓN ESTERO ALHUÉ, ANTES DE CONFLUIR CON EL ESTERO CARÉN.

IV.1.3.1.5.1 Concentración de masa de Metales Pesados

Esta estación no está intervenida por la canoa de relaves. Sin embargo, algunos casos presentan valores muy altos, que no se pueden explicar aunque son muy puntuales.

El orden de valores máximos de concentración de masa es el siguiente:

$$\rho(\text{Mo})_{\text{máx.}} > \rho(\text{Mn})_{\text{máx.}} > \rho(\text{Pb})_{\text{máx.}} > \rho(\text{Cu})_{\text{máx.}} > \rho(\text{Cd})_{\text{máx.}}$$

A continuación se analiza los datos de esta estación

IV.1.3.1.5.1.1 Concentración de masa de Cadmio ($\rho(\text{Cd})$):

Los valores disponibles en el estudio para esta estación son fluctuantes y están bajo la norma de uso de agua para riego (NCh 1333/ 1978)

IV.1.3.1.5.1.2 Concentración de masa de Cobre ($\rho(\text{Cu})$):

Los valores son bastante fluctuantes. Hay un pico de concentración de masa máximo de $0,0548 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ del 21-08-1990

Las concentraciones de masa están bajo la norma chilena de uso de agua para riego(NCh 1 333/1978)

IV.1.3.1.5.1.3 Concentración de masa de Manganeso ($\rho(\text{Mn})$):

En los datos disponibles del estudio para esta estación se pueden observar dos episodios de Manganeso con los valores de $0,863 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ del 14-01-1992 y de $0,289$ del día 30-07-1992 por lo que los valores mayores sobrepasan la norma chilena de uso de agua para riego(NCh 1 333/1978)

IV.1.3.1.5.1.4 Concentración de masa de Molibdeno ($\rho(\text{Mo})$):

Hay un episodio con una concentración de $10,52 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ del 13-11-1990, que no se puede explicar, suponiendo que este estero no tiene la influencia de la canoa de relaves.

Los valores registrados están por sobre la norma chilena de uso de agua para riego (NCh 1 333/1978), en esta estación.

IV.1.3.1.5.1.5 Concentración de masa de Plomo ($\rho(\text{Pb})$):

Los valores fluctúan bastante con varios picos y valles. Los valores están bajo la norma de uso de agua para riego (NCh 1 333/1978)

IV.1.3.1.6 ESTACIÓN ESTERO ALHUÉ, PUENTE, ANTES DE LLEGAR AL EMBALSE RAPEL.

IV.1.3.1.6.1 Temperatura Celsius Superficial

De marzo a julio hay descenso de la temperatura Celsius. Luego, empieza a subir en forma fluctuante, incluso hasta principios de febrero de 1991

IV.1.3.1.6.2 pH

Fluctúa en torno a 8 entre 9 y 6.

IV.1.3.1.6.3 Concentración de masa de metales pesados

Los valores máximos de concentración de masa van en el siguiente orden:

$$\rho(\text{Mo})_{\text{máx.}} > \rho(\text{Mn})_{\text{máx.}} > \rho(\text{Cu})_{\text{máx.}} > \rho(\text{Pb})_{\text{máx.}} > \rho(\text{Cd})_{\text{máx.}}$$

A continuación se analizan los valores de cada metal.

IV.1.3.1.6.3.1 Concentración de masa de Cadmio ($\rho(\text{Cd})$):

Hay dos valores mayores en la gráfica, que son $0,011\ 09\ \text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ del 01-05-1990 y $0,019\ 65\ \text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ del 16-05-1990.

Los dos valores mayores sobrepasan la norma chilena de uso de agua para riego(NCh 1 333/1978)

IV.1.3.1.6.3.2 Concentración de masa de Cobre ($\rho(\text{Cu})$):

Los valores son bastante variables y están en general bajo $0,04\ \text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Los picos de concentración de masa son:

$0,072\ 7\ \text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ del 10-07-1990

$0,054\ 1\ \text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ del 21-08-1990

$0,054\ 9\ \text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ del 14-01-1992

Los valores están bajo la norma chilena de uso de agua para riego (NCh 1 333/1978)

IV.1.3.1.6.3.3 Concentración de masa de Manganeso ($\rho(\text{Mn})$):

Los valores más altos son:

$1,08\ \text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ del día 14-01-1992

$1,994\ \text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ del día 23-04-1992

$1,999\ \text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ del día 21-05-1992

Hay varios valores sobre la norma chilena de uso de agua para riego (NCh 1 333/1978)

IV.1.3.1.6.3.4 Concentración de masa de Molibdeno ($\rho(\text{Mo})$):

Los siguientes son los valores mayores de esta estación:

5,1 g·m⁻³ del 10-01-1991

15,74 g·m⁻³ del 28-01-1991

20,23 g·m⁻³ del 06-02-1991

La gran mayoría de los datos supera la norma chilena de uso de agua para riego (NCh 1 333/1978)

IV.1.3.1.6.3.5 Concentración de masa de Plomo ($\rho(\text{Pb})$):

Los valores tienden a descender con respecto al período analizado. El mayor valor es de 0,073 05 g·m⁻³ del 29-08-1991.

Los valores están muy por debajo de la norma de uso de agua para riego (NCh 1 333/1978)

IV.1.3.1.7 ESTACIÓN EMBALSE RAPEL, CUBETA ALHUÉ ORIENTE.

IV.1.3.1.7.1 Concentración de masa de Metales Pesados

El siguiente es el orden en esta estación ubicada en la Parte Oriente de la cubeta Alhué:

$$\rho(\text{Mo})_{\text{máx.}} > \rho(\text{Mn})_{\text{máx.}} > \rho(\text{Pb})_{\text{máx.}} > \rho(\text{Cu})_{\text{máx.}} > \rho(\text{Cd})_{\text{máx.}}$$

El breve análisis del comportamiento del comportamiento de estos metales se hace a continuación.

IV.1.3.1.7.1.1 Concentración de masa de Cadmio ($\rho(\text{Cd})$):

El mayor valor de los registrados en los datos del estudio para esta estación es de $0,0061 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ del 17-12- 1991.

Todos los valores están bajo la norma de uso de agua para riego (NCh 1 333/1978)

IV.1.3.1.7.1.2 Concentración de masa de Cobre ($\rho(\text{Cu})$):

Hay una serie de valores que superan la norma de uso de agua para riego (NCh 1 333/1978)

$0,0262 \text{ g m}^{-3}$ del día 25-11-1991

$0,0224 \text{ g m}^{-3}$ del día 17-12-1991

$0,0229 \text{ g m}^{-3}$ del día 14-01-1992

$0,028 \text{ g m}^{-3}$ del día 23-04-1992

IV.1.3.1.7.1.3 Concentración de masa de Manganeso ($\rho(\text{Mn})$):

En general, los valores están bajo $0,07 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$.

Hay un valor de $0,11825 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ del 28-07-1991.

Los valores en general están bajo la norma chilena de uso de agua para riego (NCh 1 333/ 1978)

IV.1.3.1.7.1.4 Concentración de masa de Molibdeno ($\rho(\text{Mo})$):

Los valores mayores son $1,134 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ del 17-12-1991 y $4,513 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ del 23-04-1992.

Todos los valores están por sobre la norma chilena de uso de agua para riego(NCh 1 333/1978)

IV.1.3.1.7.1.5 Concentración de masa de Plomo ($\rho(\text{Pb})$):

El valor máximo de los datos disponibles del estudio para esta estación lo alcanza el día 17-12-1991 con $0,08 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$

Todos los valores están debajo de la norma de uso de agua para riego (NCh 1 333/1978)

IV.1.3.1.8 ESTACIÓN EMBALSE RAPEL, CUBETA ALHUÉ PONIENTE.

IV.1.3.1.8.1 Concentración de masa de Metales Pesados

El orden en los valores máximos es el siguiente:

$$\rho(\text{Mo})_{\text{máx.}} > \rho(\text{Mn})_{\text{máx.}} > \rho(\text{Pb})_{\text{máx.}} > \rho(\text{Cu})_{\text{máx.}} > \rho(\text{Cd})_{\text{máx.}}$$

A continuación se hace un análisis de los metales en las estaciones.

IV.1.3.1.8.1.1 Concentración de masa de Cadmio ($\rho(\text{Cd})$):

El valor mayor es de $0,023 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ del 16-05-1990.

Salvo el valor mayor presentado arriba, los de más valores están por debajo de la norma de uso de agua para riego (NCh 1 333/1978)

IV.1.3.1.8.1.2 Concentración de masa de Cobre ($\rho(\text{Cu})$):

Los valores en general fluctúan bajo los $0,03 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$. El valor mayor de los datos disponibles es $0,112 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ del 16-05-1990.

Todos los valores están bajo la norma chilena de uso de agua para riego (NCh 1 333/1978)

IV.1.3.1.8.1.3 Concentración de masa de Manganeso ($\rho(\text{Mn})$):

En los datos disponibles en el estudio hay una tendencia al alza hasta el valor mayor de $0,4 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$, luego de lo cuál los valores bajan a menos de $0,05 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$.

Hay valores que superan la norma chilena de uso de agua para riego (NCh 1 333/1978)

IV.1.3.1.8.1.4 Concentración de masa de Molibdeno ($\rho(\text{Mo})$):

En el período de finales de 1991 y el año 1992 se observan tres picos:

Uno el día 17-12-1991 con una concentración de masa de $1,366 \text{ g}/\text{m}^3$

Uno el día 23-04-1992 con una concentración de masa de $7,538 \text{ g}/\text{m}^3$

Uno el día 23-08-1992 con una concentración de masa de $0,57 \text{ g}/\text{m}^3$

Cada uno de estos picos de concentración de masa sobrepasa la norma chilena de uso de aguas para riego (NCh 1 333/1978) Cabe señalar que la mayoría de los valores obtenidos en este estudio para el Molibdeno superan la norma para regadío.

IV.1.3.1.8.1.5 Concentración de masa de Plomo ($\rho(\text{Pb})$):

Los valores están por debajo de $0,1 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$. Los valores mayores son:

$0,091 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ del 17-12-1991

$0,06 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ del 30-07-1992

$0,093 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ del 06-12-1992.

Los valores están bajo la norma chilena de uso de agua para riego (NCh 1 333/1978)

IV.1.3.1.9 ESTACIÓN EMBALSE RAPEL, PARTE CENTRAL (CUBETA ALHUÉ AL LLEGAR A CUBETA CACHAPOAL)

IV.1.3.1.9.1 Concentración de masa de Metales Pesados

El orden de valores máximos es el siguiente:

$$\rho(\text{Mo})_{\text{máx.}} > \rho(\text{Mn})_{\text{máx.}} > \rho(\text{Pb})_{\text{máx.}} > \rho(\text{Cu})_{\text{máx.}} > \rho(\text{Cd})_{\text{máx.}}$$

El análisis por metales es el siguiente:

IV.1.3.1.9.1.1 Concentración de masa de Cadmio ($\rho(\text{Cd})$):

Los valores tienden a la baja. El valor mayor es de $0,0364 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ del 16-05-1990. Salvo el valor mayor, los valores están bajo la norma chilena de uso de agua para riego (NCh 1 333/1978)

IV.1.3.1.9.1.2 Concentración de masa de Cobre ($\rho(\text{Cu})$):

El valor máximo de los datos disponibles del estudio es de $0,0313 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ del 14-01-1992. Asimismo hay otros valores mayores de $0,0266 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ del 24-10-1991 y de $0,0281 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ del 25-11-1991

Los valores están bajo la norma chilena de uso de agua para riego (NCh 1 333/1978)

IV.1.3.1.9.1.3 Concentración de masa de Manganeso ($\rho(\text{Mn})$):

En los datos disponibles se observa una tendencia de subida desde valores bajo los $0,02 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ hasta el valor mayor de 21-05-1992 de $0,134 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$.

Las mayores concentraciones en la tabla son:

$0,086 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ del 14-01-1992.

$0,134 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ del 21-05-1992.

Hay valores por sobre la norma chilena de uso de agua para riego (NCh 1 333/1978)

IV.1.3.1.9.1.4 Concentración de masa de Molibdeno ($\rho(\text{Mo})$):

Los siguientes son los valores mayores:

1,35 g·m⁻³ del 28-07-1991

0,783 g·m⁻³ del 25-11-1991

0,68 g·m⁻³ del 17-12-1991

2,752 g·m⁻³ del 23-04-1992

Los valores están por sobre la norma chilena de uso de agua para riego (NCh 1 333/1978)

IV.1.3.1.9.1.5 Concentración de masa de Plomo ($\rho(\text{Pb})$):

El valor mayor es de 0,068 1 g·m⁻³ del 17-12-1991.

Los valores están muy por debajo de la norma chilena de uso de agua para riego (NCh 1 333/1978)

IV.1.3.1.10 ESTACIÓN EMBALSE RAPEL, CUBETA CACHAPOAL.

IV.1.3.1.10.1 Concentración de masa de Metales Pesados

El orden de valores máximos es el siguiente:

$$\rho(\text{Mn})_{\text{máx.}} > \rho(\text{Mo})_{\text{máx.}} > \rho(\text{Pb})_{\text{máx.}} > \rho(\text{Cu})_{\text{máx.}} > \rho(\text{Cd})_{\text{máx.}}$$

El análisis por metales es el siguiente:

IV.1.3.1.10.1.1 Concentración de masa de Cadmio ($\rho(\text{Cd})$)

Los valores son fluctuantes y están bajo la norma chilena de uso de agua para riego (NCh 1 333/1978)

IV.1.3.1.10.1.2 Concentración de masa de Cobre ($\rho(\text{Cu})$):

Los valores están bajo la norma chilena de uso de agua para riego (NCh 1 333/1978) y en general están fluctuando en el orden de las centésimas de gramos por metro cúbico

IV.1.3.1.10.1.3 Concentración de masa de Manganeso ($\rho(\text{Mn})$):

Los valores fluctúan entre las milésimas y unidades de gramos por metro cúbico. Los valores máximos son:

1,78 $\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ del 14-01-1992
3,467 $\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ del 30-07-1992.

Salvo por los valores mayores, los demás están por debajo de la norma chilena de uso de agua para riego (NCh 1 333/1978)

IV.1.3.1.10.1.4 Concentración de masa de Molibdeno ($\rho(\text{Mo})$):

Los valores más altos son los siguientes:

1,238 $\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ del 28-07-1991
1,191 $\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ del 17-12-1991

Todos los valores están por sobre la norma de uso de agua para riego (NCh 1 333/1978)

IV.1.3.1.10.1.5 Concentración de masa de Plomo ($\rho(\text{Pb})$):

Los valores fluctúan entre las centésimas de gramo por metro cúbico, salvo un valor mayor de $0,183 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ del 06-12-1992

Los valores están bajo la norma chilena de uso de agua para riego (NCh 1 333/1978)

IV.1.3.1.11 ESTACIÓN EMBALSE RAPEL, CUBETA RAPEL (CUBETA CORTINA)

IV.1.3.1.11.1 Concentración de masa de Metales Pesados

El orden de valores máximos es el siguiente:

$$\rho(\text{Mn})_{\text{máx.}} > \rho(\text{Mo})_{\text{máx.}} > \rho(\text{Cd})_{\text{máx.}} > \rho(\text{Pb})_{\text{máx.}} > \rho(\text{Cu})_{\text{máx.}}$$

El análisis por metales es el siguiente:

IV.1.3.1.11.1.1 Concentración de masa de Cadmio ($\rho(\text{Cd})$):

Hay un valor mayor ocurrido el 14-01-1992 de $0,077 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$

Todos los valores debajo de la norma chilena de uso de agua para riego (NCh 1 333/1978) salvo el valor mencionado anteriormente.

IV.1.3.1.11.1.2 Concentración de masa de Cobre ($\rho(\text{Cu})$):

Los siguientes son los valores mayores:

$0,058 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ del 14-01-1992

$0,0384 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ del 25-11-1991

$0,0219 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ del 24-08-1992

Los valores están bajo la norma chilena de uso de agua para riego (NCh 1 333/1978)

IV.1.3.1.11.1.3 Concentración de masa de Manganeso ($\rho(\text{Mn})$):

Los valores mayores son:

1,981 g·m⁻³ del 14-01-1992

1,207 g·m⁻³ del 30-07-1992

En general, los valores están por debajo de la norma chilena de uso de agua para riego (NCh 1 333/1978), salvo los valores mayores.

IV.1.3.1.11.1.4 Concentración de masa de Molibdeno ($\rho(\text{Mo})$):

Salvo los valores mayores, los demás fluctúan entre las centésimas y décimas de gramo por metro cúbico. Los valores mayores son los siguientes:

1,369 g·m⁻³ del 12-09-1992

1,134 g·m⁻³ del 04-10-1992

1,431 g·m⁻³ del 15-11-1992

Todos los valores superan la norma chilena de uso de agua para riego (NCh 1 333/1978)

IV.1.3.1.11.1.5 Concentración de masa de Plomo ($\rho(\text{Pb})$):

Los valores son bastante variables y están debajo de la norma chilena de uso de agua para riego (NCh 1 333/1978)

IV.1.3.1.12 ESTACIÓN EMBALSE RAPEL, RÍO CACHAPOAL.

IV.1.3.1.12.1 Temperatura Celsius Superficial

No hay muchos datos, pero entre marzo y septiembre fluctúa entre 15 °C y 10 °C, luego aumenta la Temperatura hasta bajo lo 25 °C, aproximadamente, en forma fluctuante hasta enero de 1991.

IV.1.3.1.12.2 pH

Fluctúa entre 9 y 5,6, y es bastante variable.

IV.1.3.1.12.3 Concentración de masa de Metales Pesados

El orden de valores máximos es el siguiente:

$$\rho(\text{Mo})_{\text{máx.}} > \rho(\text{Cu})_{\text{máx.}} > \rho(\text{Mn})_{\text{máx.}} > \rho(\text{Cd})_{\text{máx.}}$$

El análisis por metales es el siguiente:

IV.1.3.1.12.3.1 Concentración de masa de Cadmio ($\rho(\text{Cd})$):

El valor mayor es 0,021 2 g·m⁻³ del 16-05-1990.

Todos los valores están bajo la norma chilena de uso de agua para riego (NCh 1 333/1978) salvo por el valor mayor.

IV.1.3.1.12.3.2 Concentración de masa de Cobre ($\rho(\text{Cu})$):

En general los valores están bajo los 0,04 g·m⁻³, y con tendencia a la baja. El valor mayor corresponde a 0,193 35 g·m⁻³ del 24-07-1990

Los valores están bajo la norma chilena de uso de agua para riego (NCh 1 333/1978)

IV.1.3.1.12.3.3 Concentración de masa de Manganeso ($\rho(\text{Mn})$):

Los valores en general tienden estar bajo los $0,02 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$, salvo los siguientes valores mayores de $0,069 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ del 16-05-1990 y de $0,038 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ del 24-07-1990

Los valores están bastante debajo de la norma chilena de uso de agua para riego (NCh 1 333/1978)

IV.1.3.1.12.3.4 Concentración de masa de Molibdeno ($\rho(\text{Mo})$):

Los valores más altos son:

$2,66 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ del 10-01-1991

$2,09 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ del 10-01-1991

$1,7 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ del 28-01-1991

$1,37 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ del 06-02-1991

Los valores están sobre la norma de uso chilena de agua para riego (NCh 1 333/1978)

SUBSECCIÓN IV.1.3.2 ANÁLISIS DE LOS DATOS DE LA RED DE MONITOREO DEL EMBALSE RAPEL

Se ha hecho tomas de muestras mensuales en una red de monitoreo que se estableció en el sistema Carén - Alhué, pero como se comentó anteriormente debido a que no se tiene una mayor cantidad de datos se verán los valores máximos principalmente de estos valores mensuales puntuales (o sea de datos de cada mes y que corresponden a una muestra diaria y no a un promedio), y si sobrepasan la Norma de Riego (NCh 1 333/1978) que es con la cuál se ha comparado hasta ahora.

Sin embargo hay un detalle positivo el cuál es la toma de muestras a distintas profundidades en algunas estaciones del Embalse Rapel.

A continuación se verán las tendencias de valores de ciertos parámetros y se compararán con la Norma NCh 1 333/1978, en estaciones que ya se vio en el Estudio de la Universidad Católica del Norte.

IV.1.3.2.1 EMBALSE CARÉN

IV.1.3.2.1.1 pH

Los valores máximos de mediciones puntuales mensuales sobrepasan el valor máximo de pH fijado por la norma NCh 1 333/1978 de uso de agua para riego.

IV.1.3.2.1.2 Oxígeno Disuelto

En general, los valores mensuales puntuales están sobre 7 g/m^3 , lo que está por sobre la Norma NCh 1 333/1978 de aguas destinadas para la vida acuática(6 g/m^3)

IV.1.3.2.1.3 Conductividad Eléctrica

Los valores máximos mensuales puntuales han subido a niveles en que pueden tener efectos adversos para las plantas y hay que usar métodos cuidadosos.

IV.1.3.2.1.4 Sulfatos

Se han incrementado los valores máximos mensuales puntuales desde 1997 a 1999.

IV.1.3.2.1.5 Metales Pesados Totales

Los valores disponibles para el Molibdeno superan el valor de 1 g/m^3 , pasando así la Norma NCh 1 333/1978. El Cobre se supera levemente por algunos valores máximos mensuales puntuales. Y los valores máximos mensuales puntuales de 27/12/1993 ($0,47 \text{ g/m}^3$) y 5/1/1994 ($0,54 \text{ g/m}^3$) han sobrepasado la norma NCh 1 333/1978, luego de lo cuál han descendido.

IV.1.3.2.2 ESTERO CARÉN ANTES DE JUNTA CON EL EFLUENTE

IV.1.3.2.2.1 pH

Sólo en un valor máximo puntual mensual en 24/9/1997 (que corresponde a 9,2) supera la NCh 1 333/ 1978

IV.1.3.2.2.2 Temperatura Celsius del Agua

Los valores más alto en esta estación son $27,3 \text{ }^\circ\text{C}$ (23/12/1998) y el más bajo es de $8,5 \text{ }^\circ\text{C}$ del 23/7/1995.

IV.1.3.2.2.3 Oxígeno Disuelto

Los valores mensuales puntuales están por sobre los $6,5 \text{ g/m}^3$ sobre el mínimo de la Norma NCh 1 333/1978 de aguas para la vida acuática

IV.1.3.2.2.4 Conductividad Eléctrica

Los valores son bajos y no se consideran perjudiciales para el riego.

IV.1.3.2.2.5 Sulfatos

Los valores son en general salvo por los valores máximos puntuales de 1995 y 1998

IV.1.3.2.2.6 Metales Pesados

El Molibdeno se sobrepasa muy levemente en varios años. El cobre se sobrepasa por una valor puntual mensual del 16/5/1996 ($0,39 \text{ g/m}^3$) Los demás valores permanecen bajos.

IV.1.3.2.3 CANOA DE RELAVES

IV.1.3.2.3.1 pH

El pH supera en varios de los valores puntuales el valor máximo de la norma NCh 1 333/1978 de uso de agua para riego

IV.1.3.2.3.2 Oxígeno Disuelto

Los valores están por sobre el mínimo de los requerimientos aguas para la vida acuática (NCh 1333/1978)

IV.1.3.2.3.3 Conductividad Eléctrica

Los valores según la norma son bastante altos y requieren manejo para el riego y se han incrementado los máximos mensuales puntuales estos últimos años.

IV.1.3.2.3.4 Sulfato

Todos los valores disponibles están sobre la norma 1 333/1978

IV.1.3.2.3.5 Metales Pesados

Se observa que todos los valores disponibles superan la norma 1 333/1978. Ocasionalmente se observan valores más altos de Cobre y Manganeso.

IV.1.3.2.4 ESTERO ALHUÉ EN QUILAMUTA

IV.1.3.2.4.1 pH

Los valores están dentro de la norma 1 333/1978

IV.1.3.2.4.2 Oxígeno Disuelto

Los valores están por sobre el recomendado por la norma 1 333/1978 para la vida acuática

IV.1.3.2.4.3 Conductividad Eléctrica

Los valores son bastante altos según la norma y requieren control de manejo para el riego.

IV.1.3.2.4.4 Sulfato

Los valores máximos mensuales puntuales han ido creciendo en los últimos años del período observado y sobrepasan la norma 1 333/1978

IV.1.3.2.4.5 Metales Pesados

El Molibdeno sobrepasa en todos los valores disponibles la norma 1 333/1978 aunque en un nivel menor que las estaciones Embalse Carén y de la Canoa de Relaves. El Manganeso sobrepasa también en forma leve en varios de los valores máximos mensuales puntuales.

IV.1.3.2.5 ESTERO ALHUÉ ANTES DE LLEGAR AL ESTERO CARÉN

IV.1.3.2.5.1 pH

Todos los valores disponibles están dentro de la norma 1 333/1978

IV.1.3.2.5.2 Conductividad Eléctrica

La Conductividad ha sido variable con el valor máximo de 1996 que está en un nivel en el que se requiere de control para el riego. En los demás casos se tiene bajo efecto o efecto en cultivos sensibles según la norma 1 333/1978

IV.1.3.2.5.3 Sulfato

Hay algunos valores máximos altos de los cuales el que más sobresale es el del día 17/12/1996 que es de 1 790 g/m³.

IV.1.3.2.5.4 Metales Pesados

Hay varios valores máximos mensuales puntuales de Molibdeno levemente altos y un valor máximo mensual puntual más alto correspondiente al 17/12/1996 que es de 2,20 g/m³.

Hay otros valores máximos mensuales puntuales levemente altos de Manganeso.

IV.1.3.2.6 ESTERO ALHUÉ EN EL PUE NTE (DESEMBOCADURA EN EL EMBALSE RAPEL)

IV.1.3.2.6.1 pH

Los valores están dentro del norma 1 333/1978 de uso de agua para riego.

IV.1.3.2.6.2 Oxígeno Disuelto

Los valores están sobre el mínimo de la norma 1 333/1978 de requerimientos para la vida acuática

IV.1.3.2.6.3 Conductividad Eléctrica

Los valores se han incrementado a niveles que para el uso de riego requieren de control de manejo.

IV.1.3.2.6.4 Sulfato

Todos los valores disponibles superan la norma de uso de agua para riego 1 333/1978

IV.1.3.2.6.5 Metales Pesados

Los valores de Molibdeno sobrepasan la norma 1 333/1978 de uso de agua para riego, aunque a niveles menores de las estaciones aguas arriba que reciben las aguas del Embalse Carén. Hay algunos valores máximos mensuales puntuales que superan la norma 1 333 de uso de agua para riego. Asimismo ocurre, con la concentración de masa de Manganeso en la cuál en algunos casos tiene valores mensuales puntuales más altos que la norma: 1,94 g/m³ del 30/11/1996; 1,49 g/m³ del 24/11/1998 y 1,20 g/m³ del 17/6/1999.

IV.1.3.2.7 EMBALSE RAPEL (CUBETA ALHUÉ LADO ORIENTE) FRENTE A DESEMBOCADURA DEL ESTERO LAS PALMAS

IV.1.3.2.7.1 pH

Hay algunos valores máximos mensuales puntuales que superan el valor máximo de pH en la norma de uso de agua para riego 1 333/1978

IV.1.3.2.7.2 Oxígeno Disuelto

Los valores de Oxígeno Disuelto se encuentran por sobre los niveles recomendados para la vida acuática por la norma 1 333/1978

IV.1.3.2.7.3 Conductividad Eléctrica

Los valores son bajos y no están en niveles perjudiciales para el riego de cultivos según la norma 1 333/1978 de uso de agua para riego.

IV.1.3.2.7.4 Sulfato

Algunos valores máximos mensuales puntuales superan la norma 1 333/1978 aunque son mucho menores que en otras estaciones aguas arriba que vienen del Embalse Carén.

IV.1.3.2.7.5 Metales Pesados

Los valores de Molibdeno superan levemente la norma 1 333/1978 y son muchos menores que los de otras estaciones de la Cuenca Carén - Alhué. El Cobre y el Manganeso se superan levemente en algunos valores máximos mensuales puntuales.

IV.1.3.2.8 EMBALSE RAPEL FRENTE A LA DESEMBOCADURA DEL RÍO CACHAPOAL

IV.1.3.2.8.1 pH

Sólo un valor supera levemente el valor máximo de la norma 1 333/1978 de uso de agua para riego.

IV.1.3.2.8.2 Oxígeno Disuelto

Los valores superan el mínimo de los requerimientos para la vida acuática de la norma 1 333/1978.

IV.1.3.2.8.3 Conductividad Eléctrica

Los valores no son perjudiciales para los cultivos según la norma 1 333/1978, salvo por el valor máximo mensual puntual de 1999 que sube a la categoría siguiente (perjudicial para cultivos de especies sensibles)

IV.1.3.2.8.4 Sulfato

Valores bajo la norma de uso de agua para riego 1 333/1978

IV.1.3.2.8.5 Metales Pesados

Los valores para el Molibdeno son levemente superiores aunque han ido bajando paulatinamente los máximos mensuales puntuales. El Cobre supera varias veces la norma a veces a niveles más altos como $1,30 \text{ g/m}^3$ del 24/4/1997, fecha en que también se eleva el Manganeso a $6,10 \text{ g/m}^3$. El Manganeso a su vez tiene bastantes valores sobre la norma, aunque en el año 1999 todos los valores disponibles se encuentran bajo ella.

IV.1.3.2.9 EMBALSE RAPEL FRENTE A DESEMBOCADURA DEL RÍO TINGUIRIRICA

IV.1.3.2.9.1 pH

los valores están dentro de la norma 1 333/1978 de uso de agua para riego salvo por el valor máximo mensual puntual de 1996, en que se supera levemente.

IV.1.3.2.9.2 Oxígeno Disuelto

Los valores superan el mínimo de los requerimientos para la vida acuática de la norma 1 333/1978, salvo el valor de 3,9 g/m³ del 23/10/1998.

IV.1.3.2.9.3 Conductividad Eléctrica

Los valores son bajos y están dentro de la categoría de no ser perjudiciales para el riego por la norma 1 333/1978.

IV.1.3.2.9.4 Sulfato

Los valores están bajo la norma 1 333/1978 de uso de agua para riego.

IV.1.3.2.9.5 Metales Pesados

Los valores máximos mensuales puntuales de Molibdeno superan muy levemente la norma 1 333/1978 de uso de agua para riego. Los valores máximos mensuales puntuales de Cobre ocasionalmente superan la norma siendo más alto, el valor del 24/4/1997 de 0,56 g/m³, que ocurre en la misma fecha de otro valor bastante alto de Manganeso de 8,40 g/m³. Hay otros valores máximos mensuales puntuales que superan la norma aunque en menor grado.

IV.1.3.2.10 EMBALSE RAPEL CUBETA ALHUÉ LADO ESTE A DISTINTAS PROFUNDIDADES

IV.1.3.2.10.1 pH

Hay ciertos valores máximos que superan la norma 1 333/1978 en la superficie. En la profundidad media de la que se disponen pocos datos, estos valores no superan la norma. En la profundidad correspondiente al fondo, se sobrepasa ligeramente el valor fijado por la norma en algunos valores máximos.

IV.1.3.2.10.2 Oxígeno Disuelto

El Oxígeno Disuelto está por sobre los requerimientos planteados en la norma 1 333/1978 para la vida acuática, en las tres profundidades. En el medio no se disponen de muchos valores.

IV.1.3.2.10.3 Conductividad Eléctrica

En la superficie y en el fondo los valores, en general, son bajos con categoría de sin efectos en los cultivos a efectos en cultivos sensibles en algunos valores máximos de acuerdo a la norma 1 333/1978. No se disponen de muchos datos para la profundidad media.

IV.1.3.2.10.4 Sulfato

Hay ciertos valores máximos que sobrepasan la norma 1 333/1978 de uso de agua para riego tanto en la superficie como en el fondo, aunque en nivel relativamente bajo en comparación con otras estaciones. No se dispone de muchos datos a profundidad media

IV.1.3.2.10.5 Metales Pesados

El Molibdeno sobrepasa ligeramente la norma 1 333/1978 en la superficie y en el fondo y el Manganeso ligeramente sobrepasa la norma por un valor máximo en el fondo.

IV.1.3.2.11 EMBALSE RAPEL PARTE CENTRAL (CUBETA ALHUÉ AL LLEGAR A CUBETA CACHAPOAL) A DISTINTAS PROFUNDIDADES

IV.1.3.2.11.1 pH

El pH ha sobrepasado el máximo de la norma 1 333/1978 en algunas ocasiones en la superficie, tendencia que disminuye a profundidad media y en el fondo, en la que se sobrepasa una vez.

IV.1.3.2.11.2 Oxígeno Disuelto

El Oxígeno Disuelto en las tres profundidades muestra valores sobre el mínimo recomendado para la vida acuática por la norma 1 333/1978.

IV.1.3.2.11.3 Conductividad Eléctrica

La conductividad ha sido baja en general en las tres profundidades aunque aumentan los valores máximos en el fondo. Los valores están en la categoría desde no causar perjuicio a cultivos, hasta causar perjuicios a cultivos sensibles en algunos casos en el fondo, los cuáles disminuyen a un valor máximo en las profundidades media y superficial. Hay así una mayor diferencia entre el fondo con las dos primeras profundidades que entre la superficie y la profundidad media.

IV.1.3.2.11.4 Sulfato

Los valores máximos de sulfatos sobrepasan levemente en dos ocasiones la norma 1 333/1978 en la superficie y a profundidad media y aumentan en el fondo a cuatro veces.

IV.1.3.2.11.5 Metales Pesados

Los valores de Molibdeno sobrepasan ligeramente a la norma 1 333/1978 de uso de agua para riego en las tres profundidades con valores relativamente similares.

IV.1.3.2.12 EMBALSE RAPEL CUBETA CACHAPOAL A DISTINTAS PROFUNDIDADES

IV.1.3.2.12.1 pH

El pH supera ligeramente en una ocasión el máximo de la norma de uso de agua para riego 1 333/1978, en las tres profundidades. Los valores son relativamente similares con algunas variaciones.

IV.1.3.2.12.2 Oxígeno Disuelto

Los valores de Oxígeno Disuelto tienden a disminuir con la profundidad y aunque la mayoría cumple los requerimientos del mínimo de Oxígeno Disuelto de la norma 1 333/1978, hay un valor en el fondo que es más bajo que éste y que corresponde al valor mínimo de 3,8 g/m³ del 17/12/1996.

IV.1.3.2.12.3 Conductividad Eléctrica

Los valores tienden a aumentar con respecto a la profundidad, aunque en general son bajos.

IV.1.3.2.12.4 Sulfato

Los valores de sulfato para las tres profundidades están bajo la norma 1 333/1978 de uso de agua para riego.

IV.1.3.2.12.5 Metales Pesados

Los valores que sobrepasan la norma son:

En la superficie el Molibdeno varias ocasiones levemente y el Manganeso en dos valores máximos en forma leve.

En el medio el patrón es parecido y los valores son parecidos

En el fondo el Molibdeno con valores similares y hay un aumento en intensidad de los valores máximos (1,17 g/m³ el 23/10/1994) y en número. Además se agrega el Cobre que adquiere valores mucho más altos de 3,80 g/m³ el 23/11/1994 y de 8,90 g/m³ el 23/6/1995

IV.1.3.2.13 EMBALSE RAPEL CUBETA RAPEL (CORTINA) A DISTINTAS PROFUNDIDADES

IV.1.3.2.13.1 pH

Se sobrepasa ligeramente dos veces en la superficie el valor máximo de la norma 1 333/1978 de uso de agua para riego. En las otras dos profundidades el pH baja, siendo los valores un poco más parecidos entre sí que con el de la superficie.

IV.1.3.2.13.2 Oxígeno Disuelto

Los valores en la superficie cumplen con el mínimo de los requerimientos para la vida acuática de la norma 1 333/1978. Para el caso de profundidad media dichos requerimientos no se cumplen en dos valores mínimos correspondientes a 3,3 g/m³ del 17/12/1996 y de 4,7 g/m³ del 22/3/1999. En el fondo de 2,1 g/m³ del 17/12/1996. Los valores tienden a descender con la profundidad.

IV.1.3.2.13.3 Conductividad Eléctrica

Los valores en general son bajos y tienden aumentar ligeramente con la profundidad

IV.1.3.2.13.4 Sulfato

Los valores varían un poco entre las tres profundidades y salvo por un valor máximo que sobrepasa ligeramente la norma 1 333/1978 de uso de agua para riego los demás valores disponibles están debajo de ella.

IV.1.3.2.13.5 Metales Pesados

En las tres profundidades es ligeramente sobrepasada la norma de uso de agua para riego 1 333/1978 para los valores de concentración de masa de Molibdeno. A profundidad se sobrepasa muy ligeramente la norma por un valor máximo de Cobre, y en el fondo se sobrepasa en dos ocasiones la norma para el valor de Manganeso.

SUBCAPÍTULO IV.2 EL MOLIBDENO

De acuerdo a los datos disponibles, en el ámbito de los metales, se observa un mayor nivel de Concentración de masa de molibdeno proveniente de las aguas del estero Carén que el de la Norma Chilena de uso de aguas para riego.

Debido a esto, a continuación se verá información acerca del molibdeno.

SECCIÓN IV.2.1 EL MOLIBDENO

En los sistemas biológicos el molibdeno es un constituyente de las enzimas que catalizan reacciones redox, y reducción de Nitrato y Nitrógeno molecular.

En su química general el molibdeno es muy diferentes de los metales pesados tóxicos comunes tales como el cadmio, plomo, y el mercurio. El molibdeno es ingerido, transportado y excretado como un anión $[\text{MoO}_4]^{2-}$ que es estructuralmente similar al fosfato y el sulfato. El molibdeno tiene un número de estados de oxidación estables y así participa en los procesos redox. El molibdeno forma complejos relativamente débiles y lábiles con compuestos fisiológicamente importantes, especialmente aquellos con grupos hidroxilos y carboxilos y también tiene afinidades por compuestos con grupos amino y tiol. Así, el molibdeno, mientras tiene un rol bioquímico esencial en varios procesos redox, no se combina suficientemente fuerte con compuestos fisiológicamente importantes para tener un serio efecto de bloqueo en los procesos metabólicos y así su toxicidad, ciertamente con consideración de los seres humanos es baja.

SECCIÓN IV.2.2 COMPUESTOS COMUNES DEL MOLIBDENO

El molibdeno es usado principalmente como un elemento de aleación en el acero, hierro fundido y la superaleaciones, y en la industria electrónica.

El Trióxido de molibdeno y los compuestos de molibdeno - oxígeno se agregan al acero y las aleaciones resistentes a la corrosión.

SUBSECCIÓN IV.2.2.1 ESPECIES EN DISOLUCIONES ACUOSAS

A concentraciones de molibdeno mayores que 10^{-3} kmol/m³ a pH>6 la especie predominante es el ión tetraédrico $[\text{MoO}_4]^{2-}$. Mientras el pH disminuye, aparecen otras especies dando a pH 5 a 6 el ión heptamolibdato $[\text{Mo}_7\text{O}_{24}]^{6-}$ y a pH 3 a 5 el ión octamolibdato $[\text{Mo}_8\text{O}_{26}]^{4-}$. Ambos iones forman parte de los octaedros enlazados de MoO_6 enlazados. A pH 0,9 el MoO_3 precipita y en muchas disoluciones acídicas se forma el ión $[\text{MoO}_2]^{2+}$. La fuente normal de molibdeno en el trabajo fisiológico es un molibdato, aunque no está claramente establecido en la literatura, según Mitchel (1999), qué especie es. Las analogías químicas de varias especies de molibdatos y el hecho de que ellos están en equilibrio en el medio acuoso significan que es poco probable de que haya diferencias mayores en sus efectos fisiológicos. La tabla de abajo resume la química acuosa del Mo(VI)

Así, las especies de molibdato en disoluciones acuosas dependen de la concentración del molibdeno y el pH como se muestra en la Tabla IV.2.1. Debido a que los equilibrios son establecidos rápidamente (i.e. dentro del tiempo de disolución o mezclado) éstas son las especies cualquiera que sea las especies de partida. En disoluciones alcalinas o neutras los molibdatos están presentes como ión monomérico MoO_4^{2-} . Mientras el pH es bajado el anión comienza a protonarse. Si se polimeriza a hepta- u octamolibdato depende del pH y la concentración del molibdeno. La polimerización sucede a altas concentraciones de Mo. A Concentraciones de molibdeno de 10^{-3} kmol/m³ y pH 5 a 6 se forma el ión heptamolibdato y a pH 3 a 5 se forma el octamolibdato. Hay que notar que

estás son sólo las especies poliméricas. Los compuestos que cristalizan de la disolución bajo varias condiciones cuentan con varios iones molibdato enlazados. Que se pueda cristalizar un “Dimolibdato” no significa que el ión $\text{Mo}_2\text{O}_7^{2-}$ esté presente en la disolución. A pH 0,9 precipita el MoO_3 .

• Tabla IV.2.1 Especies en disoluciones acuosas de molibdato a 20 °C

$c_{\text{Mo(VI)}} / [\text{kmol/m}^3]$	PH	Especies Principales
Todo	>6	MoO_4^{2-}
10^{-8}	>5	MoO_4^{2-} (ca 100 %)
10^{-8}	4	MoO_4^{2-} (30 %), HMoO_4^- o $\text{MoO}(\text{OH})_5$ (10 %) H_2MoO_4 o $\text{Mo}(\text{OH})_6$ (60 %)
10^{-8}	2 a 3	H_2MoO_4 o $\text{Mo}(\text{OH})_6$ (ca 100 %)
10^{-8}	1	H_2MoO_4 o $\text{Mo}(\text{OH})_6$ (80 %) H_3MoO_4^+ o $\text{Mo}(\text{OH})_5(\text{H}_2\text{O})^+$ (20 %)
$<10^{-3}$	>1	Sólo especies monoméricas
$>10^{-3}$	5 a 6	$\text{Mo}_7\text{O}_{24}^{6-}$, $\text{HMo}_7\text{O}_{24}^{5-}$, $\text{H}_2\text{Mo}_7\text{O}_{24}^{4-}$.
$>10^{-3}$	4 a 5	$\text{Mo}_8\text{O}_{26}^{4-}$

Sacado de la Tabla “Species in aqueous molybdate solutions at ca 20 °C” de *Database of Molybdenum in the Environment* por Philip C.H.Mitchell, 1999

En el estado de oxidación 5+ EL molibdeno es menos ácido que en el estado de oxidación 6+. El óxido de molibdeno (V), Mo_2O_5 , y el hidróxido $\text{MoO}(\text{OH})_3$, son insolubles en las disoluciones neutras y alcalinas. Se han estudiado las especies de molibdeno (V) en los ácidos halogenhídricos. En ácido clorhídrico la especie principal es el ión mononuclear $[\text{MoOCl}_5]^{2-}$. A concentraciones de ácido más bajas se forman los iones binucleares $[\text{Mo}_2\text{O}_3]^{4+}$ y $[\text{Mo}_2\text{O}_4]^{2+}$.

Contrario a los artículos más tempranos ahora se cree que el Mo(IV) es estable en disoluciones acuosas y no está sujeto a desproporción (dismutación)

Para el Mo(III) se ha demostrado la existencia del ión $[\text{Mo}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$ y los iones diméricos relacionados.

En las reacciones de intercambio de ligandos en disoluciones acuosas de Mo(VI) y (V) son cinéticamente lábiles y de Mo(IV) y (III) son inertes.

SECCIÓN IV.2.3 INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA DEL MOLIBDENO EN SISTEMAS ACUÁTICOS

El crecimiento algal se potencia al añadir Vanadio a un nivel de 12,5 [mg/m³], aunque si se aumenta a niveles mayores puede inhibir el crecimiento en 7 [d] (Eisler, R. y referencias dentro, 1989)

En los peces la presencia natural de molibdeno se ha estimado en fracción másica sobre base seca en 1,0 [mg/kg] Los estudios toxicológicos realizados por el IMOA en su programa de Ensayos de Toxicidad los valores de CL_{50} de 96 h de toxicidad aguda de peces en la especie Trucha Arcoiris da los siguientes resultados de acuerdo a varios compuestos:

Trióxido de molibdeno (puro): 130 [g/m³]

Trióxido de molibdeno (grado técnico): 77 [g/m³]

Dimolibdato de Amonio: 420 [g/m³]

Molibdato de sodio: 7 600 [g/m³]

De acuerdo a estos valores podemos ver que el molibdato tiene un a toxicidad bastante baja.

En la siguiente tabla se entrega información toxicológica para otras especies:

• Tabla IV.2.2 Información Toxicológica para algunas especies de peces y animales marinos.

Compuesto	Especies	CL_{50} [g/m ³]			
		24 h	48 h	96 h	Nivel sin efecto
Trióxido de molibdeno	Bluegill	(87 a 120)	(87 a 120)	87	75
	Trucha Arcoiris	102	(65 a 87)	(65 a 87)	65
Dimolibdato de Amonio	Bluegill	166	157	157	140
	Trucha arcoiris	138	135	120	87
molibdato de sodio	Bluegill	> 10 000	-	6 790	2 400
	Trucha Arcoiris	> 10 000	-	7 340	3 200

Compuesto	Especies	CL_{50} / [g/m ³]			Nivel sin efecto
		24 h	48 h	96 h	
	Channel catfish	> 10 000	-	> 10 000	7 500
	Fathead minnow	> 10 000	-	7 630	5 600
molibdato de sodio	Camarón	3 997	-	-	-
	Minnow (pez pequeño)	6 590	-	-	-
	American oyster (ostra americana) (CE_{50})	3 526	-	-	-

Modificado de Tabla 2a(i) de *Database of Molybdenum in the environment* por Philip H.C. Mitchell, 1999 (ver referencias allí dentro)

Hay otros estudios expuestos por R. Eisler en los cuáles se muestran los siguientes valores de toxicidad

Cyprionodon variegatus: $CL_{50-96\text{ h}}(\text{Mo})=3\ 057\ \text{g/m}^3$

Lepomis macrochirus: $CL_{50-96\text{ h}}(\text{Mo})=1\ 320\ \text{g/m}^3$

Pimephales promelas: $CL_{50-96\text{ h}}(\text{Mo})=70\ \text{g/m}^3$, en agua blanda

$CL_{50-96\text{ h}}(\text{Mo})=36\ \text{g/m}^3$, en agua dura

Además se encontró que exponiendo el estado embrionario y larval de los *Oncorhynchus mykiss* por 28 [d] la concentración letal media de molibdeno podía alcanzar $790\ \text{mg/m}^3$. Lo cuál es un valor más bajo que los obtenidos en otros bioensayos. (Eisler, R. y referencia dentro, 1990)

En los Estudios complementarios del sistema hidrobiológico del estero Carén en su Segunda Parte (Toxicología) para la trucha Arcoiris se obtuvo un valor de CL_{50} de $200\ 200\ [\text{mg/m}^3]$, que de acuerdo a una evaluación de riesgo ecológico hecha en este estudio, basándose en mediciones mensuales hechas en el Lago se determinó que era Bajo el riesgo para la Trucha arcoiris (*Oncorhynchus mykiss*) y por lo tanto para otros consumidores secundarios.

Como se ha podido ver, los valores para el molibdato son bastante altos por lo que no es tan tóxico en dosis agudas.

En cuanto a los efectos fisiológicos no se dispone de información para los peces, sino que para otras especies usadas más ampliamente en los laboratorios como

los conejillos de Indias, ratas y ratones, en los cuáles se ha investigado mayormente.

SECCIÓN IV.2.4 BIBLIOGRAFÍA

SUBSECCIÓN IV.2.4.1 LIBROS

Lagowski, J.J. CAPÍTULO 16 ELEMENTOS DE TRANSICIÓN en QUÍMICA INORGÁNICA MODERNA, pp 605 – 633. Ed. Reverté. Barcelona. España. 1975. Traducido de la obra en inglés MODERN INORGANIC CHEMISTRY. Publicado por Marcell Dekker, Inc., Nueva York, EE UU, 1973.

SUBSECCIÓN IV.2.4.2 PÁGINAS WORLD WIDE WEB

Mitchell, Philip C.H. DATABASE OF MOLYBDENUM IN THE ENVIRONMENT. Publicado por el IMO, Londres, Reino Unido. 1999.
http://www.imoa.org.uk/imoadata/Mo_dbas2.htm

SUBSECCIÓN IV.2.4.3 PUBLICACIONES

Eisler, Ronald. MOLYBDENUM HAZARDS TO FISH, WILDLIFE AND INVERTEBRATES. A Synoptic Review. Biological Report 85(1.19), Agosto 1989. Contamination Hazard Reviews Report N° 19. Fish and Wildlife Service: US Department of the Interior. 74 pp.

CAPÍTULO V DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

SUBCAPÍTULO V.1 VALORACIÓN DE ANTECEDENTES

Los antecedentes recopilados en este seminario corresponden tanto a estudios encargados por Codelco, como a publicaciones y estudios hechos por otras instituciones públicas.

Dentro de los estudios encargados por Codelco, el de la Universidad Católica del Norte, tiene falencias en el aspecto analítico de los datos de la concentración de metales en aguas, como los siguientes:

- No se expresa el límite de cuantificación (LC), el límite de detección (LD) de los métodos, con lo cuál no se sabe a partir de que valor considerar los datos obtenidos.
- No se expresa los volúmenes a los cuáles llegaron en el proceso de preconcentración de muestras para estimar el error cometido.
- No se menciona el número de réplicas realizadas, si es que se realizaron.
- No se expresa el error, ni la desviación de los datos, si es que se hizo con replicas.
- No se expresa la profundidad a la que se tomaron las muestras, sino que se mencionó que fueron hechas en la superficie.
- No se expresa con total claridad el lugar exacto donde tomaron las muestras.

Aunque, también es cierto que en el tiempo en que se hizo el estudio aún no había un procedimiento con más exigencias, ni era común la utilización de algunos índices y valores para ver la calidad de las mediciones. Todo esto hace considerar los datos con discreción, con los requerimientos actuales para las mediciones en los que se pone énfasis en la calidad par dar datos con una mayor confiabilidad para la toma de decisiones.

Otros aspectos en los que se falló fueron:

- No se tomó los parámetros a distintas profundidades en las estaciones correspondientes al lago, con lo cuál no se sabe el comportamiento de los parámetros con respecto a esta variable, aspecto de vital importancia en el estudio de los sistemas limnológicos lénticos.

Se observa una mejoría en la cantidad de parámetros estudios en el segundo período.

En el Estudio del EULA, se mejoraron bastante algunas características en la toma de muestras, aunque el hecho de que se haya hecho el estudio en un período de tiempo corto, no permitió sacarle todo el provecho que pudo haber tenido para ayudar a comprender de mejor forma el comportamiento de diversos componentes en el embalse, aunque los objetivos eran distintos a los del primer estudio. Además este estudio tomó como base de datos histórica el estudio anterior que tenía una limitación en los datos en muchas de las estaciones. Además hay publicaciones sobre diversos aspectos del embalse. Estos estudios, en general, tienen temas más acotados y se han hecho por diversas campañas realizadas en el embalse que tienen distintos objetivos. A pesar de esto, son aportes interesantes por el hecho de que hay un equipo involucrado, que constantemente ha estado realizando estudios en el mismo lugar. De esto se recopiló sobre ciertos aspectos ambientales del embalse.

Los antecedentes de Catastro de Residuos Industriales Líquidos, sin embargo son de carácter más que nada informativo debido a que es una actualización de datos hecha en general con un grupo pequeño de muestras que busca más que nada estimar las cargas en la cuenca.

La información sobre la presencia de pesticidas es aún más reducida, sacado por una lado de un estudio hecho en la década de los ochenta. En estudios más recientes las concentraciones están bajo el límite de detección, a diferencia del primero. Además, por lo acotado del muestreo, no se tiene de una noción clara

de las áreas que tienen una mayor influencia para determinar en dónde ahondar en estudios posteriores sobre las fuentes difusas de estos contaminantes.

Los antecedentes sobre causas de mortandad de peces son tomadas de páginas de instituciones de investigación, algunas publicaciones científicas y de instituciones gubernamentales de EEUU que son basados en la experiencia de investigadores en este ámbito y en su investigación.

Los datos pluviométricos corresponden a una estación ubicada en Rancagua. A pesar de que está un poco alejada del embalse influye en el río Cachapoal que es un afluente importante del Embalse y aunque pueden haber diferencias con la lluvia caída en el embalse puede dar cuenta de la escorrentía que se puede producir en el área que posteriormente puede llevar sus aguas al embalse. Los datos de temperaturas máximos y mínimas corresponden a los de la Estación La Rosa de la Dirección Meteorológica de Chile, que posee datos para las fechas en que sucedieron las mortandades, y nos da una idea aproximada del comportamiento de la temperatura (Celsius) del aire (Anexo F) ocurrida en esos días. Sin embargo, se descartó su uso por tratarse de un sistema lóxico en donde la relación de la temperatura del aire y la del agua no es lineal, necesariamente (Manuel Contreras, comunicación personal). Los datos fluviométricos, a pesar de se dispone de una mayor cantidad de datos para el período de 1989 a 1999 corresponden a estaciones en el curso alto para el caso del Cachapoal (Anexo B), y la curso medio para el caso del Tinguiririca (Anexo B) con lo cuál no se sabe todo el efecto que puede producirse en toda su magnitud en el Embalse, además que no influye en la subcubeta Alhué. Por esto se consideró sólo los datos fluviométricos del Estero Alhué en Quilamuta (Anexo B) de la recopilación de datos en la Dirección General de Aguas, de los cuáles se descartó los mayores de $55 \text{ m}^3/\text{s}$ que estaban en un área de extrapolación que se salía de la realidad.

En el caso de los volúmenes del Embalse Rapel (Anexo G) se pudo obtener los datos del último día de cada mes reportados a la Dirección General de Aguas por ENDESA, y que son de carácter referencial debido a que pueden haber

cambios importantes en medio de cada mes, por lo que se descartaron del análisis.

Para el caso de los datos de la red de monitoreo en el Embalse Rapel mantenido por Codelco que se realiza en forma mensual, se observó principalmente el comportamiento de los valores máximos para ver que valores se encuentran sobre la norma de uso de agua para riego (NCh 1 333/1978) debido a que no se disponía de datos par las fechas de los sucesos de mortandad de peces.

En resumen, se puede ver que hay información sobre el embalse, pero ésta está dispersa en varios estudios y en general los estudios no son de largo plazo con lo cuál no se cuenta con una base de datos con criterios comunes en las estaciones de muestreo y en la periodicidad así como en el enfoque de los mismos. Existe también una red mínima manejada por la Dirección General de Agua, aunque sus tomas de muestras se realizan unas cuantas veces al año. Por otro lado no hay información disponible en todos los sucesos de mortandad de peces, y la que se encuentra disponible no es lo suficientemente completa como para dar una respuesta tajante sobre la causa. Así, las observaciones hechas por la Universidad Católica del Norte Sede Coquimbo, a pesar de que se hicieron por varios equipos de científicos que observaron distintos aspectos, se ven como un conjunto de estudios hechos aparte en algunos de los que hacen mención acerca los otros, pero no da la impresión de un claro trabajo en equipo de tipo multidisciplinario que dé una respuesta más acertada con un objetivo claro y en la que no se desperdicien los esfuerzos en parcializar el tema sin llegar al final a una verdadera visión unificadora. Faltaron además otros antecedentes para saber, por ejemplo, cómo se comportó el florecimiento de algas y si generó algún tipo de toxicidad, ni tampoco hay información sobre la presencia de pesticidas. Esto hace que no se puedan descartar posibles causas para reducirlas hasta poder estimar cuál pudo ser la verdadera causa.

En el caso del otro informe hecho por Worldclean no se puede confiar en los datos entregados debido a que faltó criterio en la toma de muestras, y de un criterio estadístico al no poseer un tamaño muestral lo suficientemente grande

para el caso del estudio de presencia de metales que se realizó en un solo ejemplar de pez.

Este seminario intentó ver si con los datos disponibles de los estudios encargados por Codelco y los que se recopilaron durante la ejecución del seminario podían aportar antecedentes claros para vislumbrar alguna posible causa de la mortandad de peces. De estas se puede descartar una influencia directa de la contaminación traída por los ríos Cachapoal y Tinguiririca, debido a que la subcubeta o brazo Alhué tiene una condición de aislamiento de acuerdo a estudios hechos por Hillmer, I. y Niño, Y. (2000) y otros investigadores antes de ellos (Contreras, M., comunicación personal)

Tampoco se puede atribuir una disminución de oxígeno, ya que en general los niveles de oxígeno no son lo suficientemente bajos para causar la muerte de los peces y en el caso de la mortandad de 1990, de acuerdo al informe de la Universidad Católica del Norte Sede Coquimbo en la parte de Calidad de Agua y Condiciones Físico – Químicas del Embalse Rapel (Olivares, J., 1990)

En general los florecimientos de algas causan una disminución de oxígeno o la emisión de toxinas que pueden llegar a niveles de toxicidad en el agua, pero lo primero queda descartado y sobre las toxinas no se hicieron estudios de toxicidad en el agua, pero las algas que pueden producir esto actualmente no están en una proporción importante en el Embalse debido al cambio de composición en el embalse después de 1987 (Contreras, M., comunicación personal)

También se podría descartar la supersaturación de gases ya que el área se encuentra en el mismo embalse y no aguas abajo de éste.

Según el informe hecho por la Universidad del Norte Sede Coquimbo, en su parte Informe de la Flora Microbiana de Peces en el Embalse Rapel (Miranda, C. y Bennett, X., 1990), se plantea que los peces no tienen alguna patología de tipo bacteriana, con lo que se puede pensar que esta no sería la causa.

Lo que aún no se puede descartar del todo es la muerte por envenenamiento con sulfuro de hidrógeno, ya que aún no se sabe si hay presencia de bacterias sulfato – reductoras como lo hay, aguas arriba, según el estudio de la

Universidad Católica del Norte, las que podrían mediar la reducción de sulfato a sulfuro de hidrógeno, aunque en el informe de la mortandad de 1990 de la Universidad Católica del Norte Sede Coquimbo hay ciertas descripciones que no hacen que se estime del todo esta causa, como el color de las agallas que debería ser café, y, sin embargo, no se menciona este detalle, si no que la presencia de cristales en las laminillas branquiales. (Flores, H. y Acuña, E., 1990) Tampoco no se puede descartar los plaguicidas, los cuales podrían provenir de los canales de regadío. De acuerdo a descripciones hechas en el Informe de la Universidad Católica del Norte de acuerdo a ciertos comportamientos de los peces (pérdida de equilibrio, rumbo errático) podría pensarse que podría ser esta una posible causa de acuerdo a la recopilación del capítulo segundo, en su primer subcapítulo, además que, lamentablemente, no hay análisis de presencia de plaguicidas hechos por la Universidad Católica del Norte en su informe respecto de la mortandad de peces de 1990.

SUBCAPÍTULO V.2 ASPECTOS INSTITUCIONALES

En Chile, el tema de mortandad de peces no es un problema recurrente, como ha llegado a constituirse en otros países en que ocurre en forma constante, sino que ha ocurrido en forma puntual y ocasional, por alguna contaminación provocada accidentalmente. Sin embargo, en la normativa vigente sobre pesca no se detalla un procedimiento normalizado para la investigación de mortandad de peces, sino más bien se preocupa de las funciones de la Subsecretaría de Pesca, el Servicio Nacional de Pesca, y de Consejos de Pesca (Nacional, Zonal y Regional) y aspectos del control y manejo y control de recursos hidrobiológicos para la extracción, de exportación y sobre las salmoneerías, entre otras cosas. En la parte ambiental se preocupa de la relación de actividades de acuicultura con su entorno y cuando se generan problemas con algunos recursos hidrobiológicos en el nivel regional, los integrantes del Consejo de Pesca de ese nivel pueden informarlo. Además de éstos y otros pormenores no hay una clara definición en el tema de las mortandades. Así, no hay un lineamiento legal al cuál se ciñan los estudios hechos respecto de las mortandades de peces.

En países en que el tema está más desarrollado hay procedimientos mucho más definidos fruto de la experiencia de años. Se considera que estos se deberían aplicar adaptándolos a la realidad nacional.

SUBCAPÍTULO V.3 CONCLUSIONES

Según los antecedentes recopilados se puede afirmar lo siguiente:

- Las condiciones pluviométricas son distintas en las fechas de las cuatro mortandades de que se tiene referencia. Los años 1990 y 1998 fueron globalmente menos lluviosos, en cambio los años 1989 y 1999, están en un nivel intermedio si se toma en cuenta el total de agua caída en el año
- La mortandad ocurrida en 1990 fue precedida por una gran lluvia registrada en Rancagua, durante dos días. Este hecho viene a corroborar la mayor concentración de nutrientes registrado a la salida del río Cachapoal en las observaciones hechas por la Universidad Católica del Norte debido a la mortandad de peces que ocurrió en el embalse en ese año en el que efectuaban un estudio por encargo de la División El Teniente de Codelco, Sin embargo esto no afecta al Sistema de la Subcubeta de Alhué, que según se comentó anteriormente.
- Debido a que las condiciones pluviométricas son distintas, no se puede afirmar que haya un patrón climático específico asociado a los eventos de mortandad de peces.
- En las observaciones hechas por el equipo de la Universidad Católica del Norte, en la mortandad de 1990 ocurrió un florecimiento de algas, de acuerdo a mediciones de clorofila "a", la que se encuentra en mayor cantidad en la Cubeta Rapel (Cortina), que en el sitio de la mortandad, el cuál fue en Bahía Skorprios (en la Cubeta Alhué), actualmente conocido como Punta Verde.
- Se detectó una gran presencia de una especie de rotífero, no identificada la que no había sido detectada en estudios anteriores, y de la cuál se plantea la hipótesis que habría sido la causa de la mortandad por asfixia, al obstruir las

laminillas de las branquias. Sin embargo, esta posible causa es discutida y no se puede confirmar.

- No hay mediciones hechas para las otras mortandades (1989 y 1998) y no se puede confiar de los datos entregados para el caso de 1999, como se comentó anteriormente.
- Las concentraciones máximas de elementos que generalmente sobrepasan los requisitos de la norma de uso de agua para riego (NCh 1 333/1978) y que son atribuibles al Embalse Carén son las de sulfato, del cuál no hay muchos estudios toxicológicos, y de Molibdeno, del que por toxicidad aguda de acuerdo a documentos de la Agencia de Protección Ambiental de EEUU (inglés USEPA) y del IMOA los peces adultos toleran concentraciones mucho más altas que la que se encuentra presente en el embalse (debido a que las CL_{50-96h} para toxicidad aguda son mucho mayores) Esto hace improbable que la causa directa sea el molibdeno en la columna de agua (al menos por toxicidad aguda) Sin embargo, no se tiene información sobre cómo puede estar afectando las concentraciones de los metales presentes en el agua en forma crónica, ni de sus efectos acumulativos por la emisión constante en el lago, ni tampoco se tiene una información concluyente de qué es lo que está pasando con los metales que se están acumulando en los sedimentos con el paso del tiempo, que podrían convertirse en un peligro latente si no se controlan.
- No se puede concluir definitivamente la causa de las mortandades de peces del embalse Rapel. Aunque de las causas, según se comentó anteriormente en el primer subcapítulo (de este capítulo) todavía no se puede descartar totalmente el envenenamiento por sulfuro de hidrógeno. Tampoco se descarta la influencia de los plaguicidas, o alguna una sobreposición de otros factores. Se descarta la disminución de oxígeno, un florecimiento de algas que cause disminución de oxígeno o que cause envenenamiento por las toxinas. Se descarta la causa de mortandad por influencia de patologías con bacterias.

SUBCAPÍTULO V.4 RECOMENDACIONES

Según se comentó, no hay una normativa que detalle la investigación de mortandad de peces, ni quién es el organismo a cargo. Mientras esto no exista, otros tendrán que asumir este rol, como las Universidades, a petición de los distintos actores involucrados en estos hechos. Sin embargo, se debe liberar al equipo de investigaciones lo más posible de presiones externas que puedan afectar en los resultados de su investigación. La investigación puede ceñirse a los lineamientos que se utilizan generalmente en países con más experiencia en estos casos como el que se muestra en el Tercer Capítulo en su primer subcapítulo. Es deseable que el equipo que esté a cargo sea multidisciplinario. Se debe obtener no sólo un gran número de antecedentes tanto en el área afectada y en un lugar que sirva de control, sino que se debe asegurar la calidad de la toma de muestras que es en donde a menudo se incurre en errores que pueden afectar los resultados finales. Si se pide a laboratorios externos el análisis de muestras se debe asegurar una buena gestión en el transporte de las muestras y que los laboratorios a los cuales llegue tengan una calidad en sus análisis reconocida, para que sus resultados puedan ser confiables.

Se ve que también es importante considerar el aspecto del nivel del embalse, que no pudo ser integrado a este trabajo al no poder obtener dicha información, de lo cuál hay que poner atención en el futuro, y de las condiciones meteorológicas.

Por otro lado se debe trabajar en una caracterización de la cuenca del llamado río Rapel (el embalse Rapel y sus afluentes) con la consideración de las fuentes emisoras tanto fijas como la señalización de las áreas de fuentes difusas con sus estimaciones, con el objeto de hacer un mejor manejo de la cuenca, y según el uso que se le quiera dar, controlar los niveles de concentraciones de los

contaminantes y los nutrientes vertidos en él. Esto pasa por la participación del gobierno regional y de las distintas autoridades locales y las empresas.

Otro aspecto que hay que hacer es un estudio de la acumulación de metales en los peces, ya que estos pueden afectar a los peces en forma crónica, así como el efecto acumulativo en la biota de este sistema hídrico.

Además hay un tema que también es de importancia y es el de los sedimentos del embalse en el que se están acumulando los metales y que puede convertirse en un problema en el futuro frente a cambios en las condiciones del embalse que puedan promover una redisolución que pueda afectar no sólo la calidad del agua del sistema sino también a la biota.

Se necesita un mayor contacto entre los distintos usuarios del embalse y las empresas para desarrollar una cooperación mutua para un mejor aprovechamiento de los recursos hídricos, como la propulsión de programas de investigación a cargo de universidades, evitando la duplicación de esfuerzos y recursos.

BIBLIOGRAFÍA

ESTUDIOS

- ACTUALIZACIÓN DEL CATASTRO NACIONAL DE RESIDUOS INDUSTRIALES LÍQUIDOS DEL AÑO 1992, Informe Final, Figuereido Ferraz, Consultoría e Ingeniería de Proyecto Ltda., Santiago, Agosto de 1998.
 - Tomo I Universo de Industrias
 - Tomo II Encuestas
 - Tomo III Marco regional
 - Tomo IV Evaluación del grado de contaminación de las cuencas
 - Tomo VI Conclusiones
 - Resumen Ejecutivo
- Edding V., M. (ed.) IMPACTO AMBIENTAL DE EFLUENTES DEL EMBALSE CARÉN, Universidad Católica del Norte Sede Coquimbo
 - Informe Final, Primera Etapa. 1991
 - Informe Final. Segunda Etapa Tomo I. Octubre 1992.
 - Informe Final. Período julio – diciembre 1992.
- ESTUDIOS COMPLEMENTARIOS DEL SISTEMA HIDROBIOLÓGICO DEL ESTERO CARÉN. Universidad de Concepción. Centro EULA – Chile. Unidad de Sistemas Acuáticos. Enero 1996.
 - Informe Final. Resumen Ejecutivo y Parte I: Modelación
 - Informe Final. Parte II: Ecotoxicología
 - Informe Final. Parte III: Limnología.

- OBSERVACIONES HIDROBIOLÓGICAS REALIZADAS EN EL EMBALSE RAPEL ENTRE EL 18 Y EL 27 DE JUNIO DE 1990. Anexo de IMPACTO AMBIENTAL DE EFLUENTES DEL EMBALSE CARÉN. Universidad Católica del Norte Sede Coquimbo. Julio 1990
 - Aron, A. ZOOPLANCTON DEL EMBALSE RAPEL FRENTE A LA LOCALIDAD DE BAHÍA SKORPIOS
 - Flores, H. y Acuña, E. MORTALIDAD DE PECES EN EL LAGO RAPEL
 - Miranda, C. y Bennett, X. INFORME DE LA FLOR MICROBIANA DE PECES EN EMBALSE RAPEL
 - Olivares, J. CALIDAD QUÍMICA DE AGUA. CONDICIONES FISICO – QUÍMICAS DEL EMBALSE RAPEL
 - Trucco, R.; Inda, J. y Fernández, M.L. CONTENIDO DE METALES PESADOS EN MÚSCULO DE PECES
 - Uribe, E. y Heyn, M. FITOPLANCTON. INFORME EMBALSE RAPEL.

- MONITOREO Y ANÁLISIS QUÍMICO DE AGUAS Y ESPECIES EN EL LAGO RAPEL. Informe Técnico. WORLDCLEAN CHILE S.A. Agosto 1999. Valparaíso.

- “RESIDUOS DE PLAGUICIDAS ORGANOCORADOS EN SUELOS Y AGUAS SUPERFICIALES” en PROYECTO FUENTES DE CONTAMINACIÓN CON RESIDUOS DE PLAGUICIDAS ORGANOCORADOS Y METALES PESADOS EN SECTORES AGRÍCOLAS. REGIONES IV A XI. Registro FIA 1/86. Informe Final. Instituto de Investigación Agropecuaria. Ministerio de Agricultura. Octubre 1990. Pp. 175 a 179.

LIBROS

- DICCIONARIO DE LA LENGUA ESPAÑOLA, REAL ACADEMIA ESPAÑOLA, Vigésima Primera Edición, Editorial Espasa-Calpe S.A., Madrid, 1992.
- GUÍA PARA EL USO DEL SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES (SI) (“GUIDE FOR THE USE OF THE INTERNATIONAL SYSTEM OF UNITS (SI)”), Publicación Especial 811 del Instituto Nacional de Normas y Tecnología del Departamento de Comercio de Estados Unidos, Barry N. Taylor, Edición de 1995, Oficina de Imprenta del Gobierno de los Estados Unidos, Washington 1995. Versión PDF obtenible en la dirección <http://physics.nist.gov/Document/sp811.pdf>
- INVESTIGATION AND VALUATION OF FISH KILLS. American Fisheries Society. Special Publication 24. Bethesda. Maryland. EEUU. 1992.
- Lagowski, J.J. CAPÍTULO 16 ELEMENTOS DE TRANSICIÓN en QUÍMICA INORGÁNICA MODERNA, pp 605 – 633. Ed. Reverté. Barcelona. España. 1975. Traducido de la obra en inglés MODERN INORGANIC CHEMISTRY. Publicado por Marcell Dekker, Inc. , Nueva York, EE UU, 1973.
- LE SYSTÈME INTERNATIONAL D'UNITÉS (SI), Bureau International des Poids et Mesures, Septième Edition, 1998, Organisation intergouvernementale de la Convention du Mètre, Paris, Francia. Versión PDF obtenible en la dirección <http://www.bipm.fr/pdf/brochure-si.pdf> o a la traducción en inglés en <http://www.bipm.fr/pdf/si-brochure.pdf>
- Meyer, Fred P. & Barclay, Lee A (eds.) FIELD MANUAL FOR INVESTIGATION OF FISH KILLS. United States Department of the Interior.

Fish and Wildlife Service/ resource Publication 177. US Governmet Printing Office, Washington. EEUU. 1990

- Hunn, J.B. y Rosalie A. Schnick. CHAPTER 4 TOXIC SUBSTANCES. Pp 19-26.
- Herman, R.L. y Meyer F.P. CHAPTER 5 FISH KILLS DUE TO NATURAL CAUSES. Pp 41-44.
- Herman, R.L. Chapter 6 THE ROLE OF INFECTIOUS AGENTS IN FISH KILLS. Pp 45-52

PÁGINAS WORLD WIDE WEB

- Elston, Ralph. FISH KILLS IN RESIDENT AND CAPTIVE FISH CAUSED BY SPILL AT GRAND COULEE DAM IN 1997. Aqua Technics. Inc. January 1998. <http://www.newsdata.com/enernet/fishletter/documents/fl52doc2a.html>
- Página del Instituto Nacional de Normas y Tecnología (National Institute of Standards and Technology, NIST) <http://physics.nist.com/>
- Página de la Oficina Internacional de Pesos y Medidas (Bureau International des Poids et Mesures, BIPM) <http://www.bipm.fr/>
- SEXTO CENSO AGROPECUARIO, Instituto Nacional de Estadísticas, <http://www.ine.cl/censo/index.htm>
- TOXIC ALGAE IN LAKE SAMAMISH! King County. Washington. Agosto 1998. <http://splash.metrokc.gov7wlr/waterres/lakes/bloom.htm>
- Veitch, Vern. FISH KILLS by Vern Veitch. A report on water quality related fish kills on the North Queensland Coast between Sarina and Cardwell from August 1997 to December 1998". <http://www.sunfish.org.au/Fishkills/Default.htm>

- St. Pe, Kerry M. Cover Story. Solving the Mystery of Fish Kills. FISH KILLS OFFER CHALLENGE TO DEQ. Diagnosing Them Is Like a Detective Solving a Mystery. Text and Photos by Kerry M. St. Pe. Louisiana Environmentalist, Marzo - Abril de 1994. <http://www.leeric.lsu.edu/le/cover/lead034.htm>

PUBLICACIONES

- Barica, J. COLLAPSES OF APHANIZOMENON FLOS-AQUA BLOOMS RESULTING IN MASSIVE FISH KILLS IN EUTROPHIC LAKES: EFECT OF WEATHER. Verh. Internat. Verein. Limnol. 20. 208 – 218. septiembre 1978. Stuttgart, Alemania.
- Castillo, G.; Dutka, B. y Mc Innis, R. "ECOTOXICIDAD EN AGUAS SUPERFICIALES Y SEDIMENTOS. UN CASO DE ESTUDIO EN LA CUENCA DEL RÍO RAPEL, VI REGIÓN, CHILE" en TALLER " CUENCA RAPEL, DIAGNÓSTICO, EVALUACIÓN Y LINEAS DE ACCIÓN". Centro Nacional del Medio Ambiente CENMA. 7 y 8 de Marzo de 2000. Pp 108-123. Santiago. 2000
- Centro Nacional del Medio Ambiente CENMA. "CARACTERIZACIÓN QUÍMICA Y BACTERIOLÓGICA DE AGUAS SUPERFICIALES DE LA CUENCA DEL RÍO RAPEL" en TALLER " CUENCA RAPEL, DIAGNÓSTICO, EVALUACIÓN Y LINEAS DE ACCIÓN". Centro Nacional del Medio Ambiente CENMA. 7 y 8 de Marzo de 2000. Pp 129-143. Santiago. 2000.
- González, S. Riesgo Ambiental para los suelos de Chile. IPA La Platina N° 70, pp 44-50, Santiago.

- Hillmer, I. & Niño, Y. "ANÁLISIS DE LA HIDRODINÁMICA DEL EMBALSE RAPEL Y SUS CONSECUENCIAS EN EL TRANSPORTE Y MEZCLA DE CONTAMINANTES" en TALLER " CUENCA RAPEL, DIAGNÓSTICO, EVALUACIÓN Y LINEAS DE ACCIÓN". Centro Nacional del Medio Ambiente CENMA. 7 y 8 de Marzo de 2000. Pp 124-127. Santiago. 2000
- Moreno, C.; Urzúa, R. y Bahamonde, N. BREEDING SEASON; SEXUAL RATE AND FECUNDITY OF *BASILICHTHYS AUSTRALIS*, EIGENMANN 1927, FROM MAIPO RIVER, CHILE. (ATHERINIDAE, PISCES) Studies on Neotropical Fauna and Environment. **12**, 217-223, 1977.
- Ochumba, P.B.O. PERIODIC MASSIVE FISH KILLS IN THE KENYAN PORTION OF LAKE VICTORIA. EN Committee for Inland Fisheries of Africa. Report of the Fourth Session of the Sub-committee for the Development and Management of the Fisheries of Lake Victoria, Kisumu, Kenya, 6 – 10 April 1987 pp. 47 – 60, FAO, Rome, (Italy) FAO Fish. Rep., N° 388, 1988.
- Vila, I. y Soto, D.; ATHERINIDAE (PISCES) OF RAPEL RESERVOIR, CHILE. Verh. Internat. Verein. Limnol. **21**, 1 334-1 338, Diciembre 1981, Stuttgart.
- Vila, I. , M. Contreras y J. Pizarro, EUTROPHICATION AND PHYTOPLANKTON SELECTIVE RESPONSES IN A TEMPERATE RESERVOIR, **26**, 798 – 802, Verh. Internat. Verein. Limnol., Diciembre 1997, Stuttgart, Alemania.
- Vila, I. & al. , RAPEL: A 30 YEARS TEMPERATE RESERVOIR. EUTROPHICATION OR CONTAMINATION? Manuscrito (en prensa) y en TALLER " CUENCA RAPEL, DIAGNÓSTICO, EVALUACIÓN Y LINEAS DE ACCIÓN". Centro Nacional del Medio Ambiente CENMA. 7 y 8 de Marzo de 2000. Pág. 61. Santiago. 2000

ANEXO A TABLA CON ESTADÍSTICA DE MEDICIONES DE PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS EN EL EMBALSE RAPEL Y EL ESTERO ALHUÉ

■ Tabla A.1 Tabla de Estadística de Parámetros Físicoquímicos del Embalse Carén

Fecha	pH	OD	CE	$\rho(\text{SO}_4)$	$\rho(\text{Mg})$	$\rho(\text{Mo})$	$\rho(\text{Cu})$	$\rho(\text{Cd})$	$\rho(\text{Mn})$
				[g/m ³]	[g/m ³]	[g/m ³]	[g/m ³]	[g/m ³]	[g/m ³]
n 1993	2	0	2	2	0	2	2	1	2
PROM 1993	8,2		2315	1880		1,3	0,17	0,02	0,41
MAX 1993	7,9		2440	1960		1,5	0,12	0,02	0,54
MIN 1993	7,6		2360	1940		1,4	0,01	0,02	0,47
n 1994	12	4	12	12	7	12	11	0	12
PROM 1994	8,5	11,8	2160	1753	20,1	1,1	0,09		0,18
MAX 1994	9,0	13,1	2650	2290	32,0	2,0	0,38		0,54
MIN 1994	7,8	10,4	1530	1260	9,6	0,4	0,01		0,08
n 1995	12	12	12	12	12	12	12	0	12
PROM 1995	8,8	12,0	2568	1708	14,3	1,1	0,08		0,05
MAX 1995	9,5	14,7	3100	2110	32,0	1,6	0,30		0,11
MIN 1995	6,3	8,7	2030	1210	4,7	0,5	0,02		0,02
n 1996	12	11	12	12	12	12	11	0	12
PROM 1996	9,1	11,5	2723	1800	4,5	1,8	0,06		0,03
MAX 1996	9,5	13,1	2980	1950	5,1	2,4	0,18		0,08
MIN 1996	8,5	10,0	2390	1570	3,7	1,3	0,02		0,01
n 1997	12	12	12	11	12	12	10	0	10
PROM 1997	9,1	10,9	2183	1352	3,8	1,4	0,06		0,02
MAX 1997	9,9	14,2	3090	2060	5,0	3,2	0,12		0,03
MIN 1997	8,4	7,4	1310	730	3,3	0,3	0,02		0,01
n 1998	12	12	12	12	12	12	11	0	11
PROM 1998	8,9	9,7	2658	1837	7,4	1,8	0,07		0,03
MAX 1998	9,4	10,9	3040	2010	11,0	2,6	0,23		0,06
MIN 1998	8,4	7,9	2270	1720	4,1	1,1	0,01		0,01
n 1999	7	7	7	7	7	7	7	0	5
PROM 1999	8,7	10,1	3044	2036	9,9	2,4	0,07		0,04
MAX 1999	9,5	12,4	3320	2230	11,0	2,8	0,18		0,06
MIN 1999	7,6	8,2	2660	1640	8,7	1,8	0,03		0,02

■ Tabla A.2 Tabla de Estadística de parámetros físicoquímicos en la estación Estero Carén antes del Embalse de relaves.

Fecha	pH	OD	CE	$\rho(\text{SO}_4)$	$\rho(\text{Mg})$	$\rho(\text{Mo})$	$\rho(\text{Cu})$	$\rho(\text{Cd})$	$\rho(\text{Mn})$
				[g/m ³]	[g/m ³]	[g/m ³]	[g/m ³]	[g/m ³]	[g/m ³]
n 1993	2	0	2	2	0	1	2	0	2
PROM 1993	8,3		108	49		0,01	0,09		0,02
MAX 1993	8,4		110	90		0,01	0,11		0,02
MIN 1993	8,2		105	7		0,01	0,07		0,01
n 1994	12	4	12	12	7	4	6	0	6

Fecha	pH	OD /[g/m ³]	CE /[μS/cm]	ρ(SO ₄) /[g/m ³]	ρ(Mg) /[g/m ³]	ρ(Mo) /[g/m ³]	ρ(Cu) /[g/m ³]	ρ(Cd) /[g/m ³]	ρ(Mn) /[g/m ³]
PROM 1994	8,0	11,9	109	36	3,4	0,06	0,06		0,01
MAX 1994	8,7	13,2	130	130	4,2	0,17	0,12		0,01
MIN 1994	7,1	10,8	75	4	2,4	0,01	0,01		0,01
n 1995	12	12	12	12	12	3	6	0	4
PROM 1995	8,2	12,1	123	50	4,0	0,03	0,04		0,02
MAX 1995	8,6	14,2	155	320	4,8	0,03	0,07		0,04
MIN 1995	7,8	10,4	90	2	2,8	0,02	0,02		0,01
n 1996	12	11	12	12	12	1	10	0	4
PROM 1996	7,9	11,4	136	57	4,4	0,09	0,08		0,02
MAX 1996	8,4	13,7	180	140	5,3	0,09	0,39		0,03
MIN 1996	7,5	7,9	110	8	3,5	0,09	0,01		0,01
n 1997	8	8	8	8	8	0	4	0	7
PROM 1997	8,0	11,5	95	12	2,8		0,03		0,01
MAX 1997	9,2	12,7	120	35	3,6		0,06		0,02
MIN 1997	7,5	10,0	10	3	2,4		0,02		0,01
n 1998	12	12	12	12	12	4	10	0	5
PROM 1998	7,9	10,6	137	88	4,1	0,02	0,03		0,02
MAX 1998	8,7	12,4	170	300	4,8	0,02	0,10		0,03
MIN 1998	7,3	9,1	120	10	3,6	0,01	0,01		0,01
n 1999	4	4	4	4	4	1	4	0	4
PROM 1999	7,9	10,5	150	65	4,4	0,01	0,05		0,01
MAX 1999	8,3	12,5	160	200	4,6	0,01	0,13		0,02
MIN 1999	7,4	6,6	140	3	4,1	0,01	0,01		0,01

■ Tabla A.3 Tabla de Estadística de parámetros fisicoquímicos en la estación de los efluentes de la canoa de relaves.

Fecha	pH	OD /[g/m ³]	CE /[μS/cm]	ρ(SO ₄) /[g/m ³]	ρ(Mg) /[g/m ³]	ρ(Mo) /[g/m ³]	ρ(Cu) /[g/m ³]	ρ(Cd) /[g/m ³]	ρ(Mn) /[g/m ³]
n 1993	1	0	1	1	0	1	1	0	1
PROM 1993	7,7		2350	1930		1,3	0,14		0,35
MAX 1993	7,7		2350	1930		1,3	0,14		0,35
MIN 1993	7,7		2350	1930		1,3	0,14		0,35
n 1994	12	2	12	12	7	12	11	0	12
PROM 1994	8,1	11,9	2197	1757	20,0	1,2	0,06		0,19
MAX 1994	8,9	12,1	2650	2300	31,0	2,0	0,11		0,70
MIN 1994	7,2	11,6	1670	1380	12,0	0,5	0,02		0,04
n 1995	12	10	12	12	12	12	11	0	10
PROM 1995	8,9	11,8	2561	1701	14,9	1,1	0,06		0,06
MAX 1995	9,5	13,8	3100	2160	34,0	1,6	0,24		0,12
MIN 1995	8,2	8,6	1980	1210	4,7	0,5	0,01		0,01
n 1996	12	11	12	12	12	12	10	0	11
PROM 1996	8,7	11,3	2716	1803	4,5	1,8	0,05		0,03
MAX 1996	9,2	13,3	2940	1960	5,1	2,4	0,24		0,05
MIN 1996	7,6	9,2	2490	1650	3,7	1,3	0,01		0,02
n 1997	12	12	12	11	12	12	8	0	5
PROM 1997	8,8	11,8	2274	1405	3,8	1,5	0,03		0,02

Fecha	pH	OD /[g/m ³]	CE /[μS/cm]	ρ(SO ₄) /[g/m ³]	ρ(Mg) /[g/m ³]	ρ(Mo) /[g/m ³]	ρ(Cu) /[g/m ³]	ρ(Cd) /[g/m ³]	ρ(Mn) /[g/m ³]
MAX 1997	9,4	14,4	3100	2040	5,0	3,2	0,05		0,02
MIN 1997	7,9	10,1	1530	830	3,2	0,3	0,01		0,02
n 1998	12	12	12	12	12	12	9	0	8
PROM 1998	8,8	9,8	2662	1811	8,2	1,8	0,03		0,03
MAX 1998	9,2	11,3	3030	2130	11,0	2,7	0,06		0,07
MIN 1998	8,5	6,6	2320	1550	4,1	1,0	0,01		0,02
n 1999	7	4	7	7	7	7	6	0	6
PROM 1999	8,7	10,0	2981	1989	14,2	2,29	0,04		0,12
MAX 1999	9,4	11,7	3240	2190	26,0	2,60	0,08		0,41
MIN 1999	8,1	9,2	2700	1610	8,5	1,80	0,01		0,03

■ Tabla A.4 Tabla de los Estadística de parámetros fisicoquímicos en la estación Estero Alhué en Quilamuta

Fecha	pH	OD /[g/m ³]	CE /[μS/cm]	ρ(SO ₄) /[g/m ³]	ρ(Mg) /[g/m ³]	ρ(Mo) /[g/m ³]	ρ(Cu) /[g/m ³]	ρ(Cd) /[g/m ³]	ρ(Mn) /[g/m ³]
n 1993	1	0	1	1	0	1	1	0	1
PROM 1993	7,5		2170	1700		1,0	0,07		0,24
MAX 1993	7,5		2170	1700		1,0	0,07		0,24
MIN 1993	7,5		2170	1700		1,0	0,07		0,24
n 1994	12	3	12	12	7	12	10	0	12
PROM 1994	7,7	11,5	1588	1235	16,9	0,8	0,03		0,14
MAX 1994	8,2	11,7	2530	2240	33,0	1,6	0,08		0,33
MIN 1994	7,2	11,2	270	80	4,3	0,1	0,01		0,04
n 1995	12	12	12	12	12	12	8	0	12
PROM 1995	8,1	11,2	2029	1293	19,8	0,7	0,05		0,15
MAX 1995	8,7	13,8	2970	2030	45,0	1,3	0,11		0,41
MIN 1995	7,6	9,1	550	210	4,9	0,1	0,01		0,05
n 1996	12	11	12	12	12	12	9	1	12
PROM 1996	7,9	12,1	2298	1440	11,2	1,3	0,04	0,01	0,14
MAX 1996	8,3	13,4	2770	1850	16,0	2,2	0,08	0,01	0,29
MIN 1996	7,6	9,4	1040	520	6,2	0,5	0,01	0,01	0,05
n 1997	12	12	12	11	12	12	7	0	11
PROM 1997	8,2	11,5	1680	937	7,3	1,1	0,03		0,09
MAX 1997	8,6	13,6	3010	1920	14,0	2,8	0,04		0,19
MIN 1997	7,6	9,7	310	110	3,7	0,1	0,01		0,04
n 1998	12	12	12	12	12	12	6	0	12
PROM 1998	8,2	10,4	2225	1487	13,6	1,3	0,02		0,15
MAX 1998	8,6	12,4	2910	2050	17,0	2,3	0,03		0,29
MIN 1998	8,0	8,8	1750	1120	8,7	0,8	0,01		0,01
n 1999	7	7	7	7	7	7	4	0	6
PROM 1999	7,90	11,11	2774	1806	20,43	1,87	0,04		0,24
MAX 1999	8,40	11,60	3050	2060	26,00	2,10	0,07		0,56
MIN 1999	7,50	10,10	2190	1210	17,00	1,20	0,01		0,12

■ Tabla A.5 Tabla de Estadística de parámetros fisicoquímicos en la estación Estero Alhué antes del Estero Carén

Fecha	pH	OD /[g/m ³]	CE /[μS/cm]	ρ(SO ₄) /[g/m ³]	ρ(Mg) /[g/m ³]	ρ(Mo) /[g/m ³]	ρ(Cu) /[g/m ³]	ρ(Cd) /[g/m ³]	ρ(Mn) /[g/m ³]
n 1993	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PROM 1993									
MAX 1993									
MIN 1993									
n 1994	7	0	7	7	7	0	6	0	7
PROM 1994	7,9		217	69	7,4		0,04		0,03
MAX 1994	8,3		430	170	18,0		0,12		0,05
MIN 1994	7,4		130	17	3,3		0,01		0,01
n 1995	8	0	8	8	8	4	5	0	8
PROM 1995	8,3		440	214	15,4	0,05	0,06		0,15
MAX 1995	8,7		1190	760	70,0	0,10	0,14		0,91
MIN 1995	7,9		130	10	4,6	0,01	0,01		0,01
n 1996	6	0	6	6	6	1	3	0	6
PROM 1996	8,1		625	355	8,2	2,20	0,02		0,06
MAX 1996	8,5		2570	1790	13,0	2,20	0,03		0,23
MIN 1996	7,7		160	30	5,1	2,20	0,02		0,01
n 1997	8	0	8	8	8	4	2	0	8
PROM 1997	8,0		163	33	4,6	0,02	0,04		0,08
MAX 1997	9,0		210	60	6,7	0,02	0,04		0,24
MIN 1997	7,6		120	10	3,5	0,01	0,04		0,01
n 1998	12	0	12	12	12	10	5	0	11
PROM 1998	8,4		431	200	12,7	0,06	0,02		0,08
MAX 1998	8,9		840	420	32,0	0,30	0,04		0,29
MIN 1998	8,0		240	60	7,7	0,01	0,01		0,01
n 1999	1	0	1	1	1	1	0	0	1
PROM 1999	7,8		410	110	13,0	0,02			0,07
MAX 1999	7,8		410	110	13,0	0,02			0,07
MIN 1999	7,8		410	110	13,0	0,02			0,07

■ Tabla A.6 Tabla de Estadística de parámetros fisicoquímicos en la estación de la Desembocadura del Estero Alhué en el Embalse Rapel

Fecha	pH	OD /[g/m ³]	CE /[μS/cm]	ρ(SO ₄) /[g/m ³]	ρ(Mg) /[g/m ³]	ρ(Mo) /[g/m ³]	ρ(Cu) /[g/m ³]	ρ(Cd) /[g/m ³]	ρ(Mn) /[g/m ³]
n 1993	1	0	1	1	0	1	1	0	1
PROM 1993	7,8		850	450		0,2	0,07		0,07
MAX 1993	7,8		850	450		0,2	0,07		0,07
MIN 1993	7,8		850	450		0,2	0,07		0,07
n 1994	12	3	12	12	7	11	10	0	12
PROM 1994	8,1	14,1	783	484	13	0,2	0,09		0,12
MAX 1994	8,7	18,8	1470	980	19	0,5	0,20		0,32
MIN 1994	7,4	11,5	90	200	7	0,1	0,03		0,03
n 1995	12	12	12	12	12	12	12	0	12
PROM 1995	8,1	12,9	1208	643	12	0,3	0,13		0,16

Fecha	pH	OD /[g/m ³]	CE /[μS/cm]	ρ(SO ₄) /[g/m ³]	ρ(Mg) /[g/m ³]	ρ(Mo) /[g/m ³]	ρ(Cu) /[g/m ³]	ρ(Cd) /[g/m ³]	ρ(Mn) /[g/m ³]
MAX 1995	8,9	17,6	2550	1480	24	0,9	0,50		0,51
MIN 1995	7,7	10,7	600	210	7	0,1	0,03		0,04
n 1996	12	11	12	12	12	12	10	0	12
PROM 1996	8,1	12,1	1354	738	11	0,6	0,04		0,36
MAX 1996	8,9	15,7	2620	1640	18	1,8	0,11		1,94
MIN 1996	7,5	9,4	640	250	8	0,1	0,01		0,03
n 1997	12	12	12	11	12	12	7	0	12
PROM 1997	7,9	10,9	1470	772	9	0,8	0,07		0,21
MAX 1997	8,5	13,6	2920	1800	18	2,3	0,18		0,98
MIN 1997	7,4	9,8	420	215	5	0,1	0,01		0,06
n 1998	12	12	12	12	12	12	5	0	12
PROM 1998	7,8	11,1	1866	1142	14	1,1	0,12		0,36
MAX 1998	8,7	12,6	2620	1740	21	3,0	0,53		1,49
MIN 1998	7,5	10,0	760	350	7	0,2	0,02		0,02
n 1999	7	7	7	7	7	7	6	0	7
PROM 1999	8,2	12,0	1919	1086	21	0,9	0,04		0,60
MAX 1999	8,4	18,9	2620	1730	25	1,7	0,07		1,20
MIN 1999	7,8	6,6	1100	420	16	0,3	0,02		0,34

■ Tabla A.7 Tabla de Estadística de parámetros fisicoquímicos en la estación Del Embalse en Cubeta Alhué frente a la Desembocadura del Estero Las Palmas.

Fecha	pH	OD /[g/m ³]	CE /[μS/cm]	ρ(SO ₄) /[g/m ³]	ρ(Mg) /[g/m ³]	ρ(Mo) /[g/m ³]	ρ(Cu) /[g/m ³]	ρ(Cd) /[g/m ³]	ρ(Mn) /[g/m ³]
n 1993	6	0	6	2	0	2	2	0	2
PROM 1993	8,7		428	165		0,04	0,09		0,10
MAX 1993	9,2		480	180		0,04	0,11		0,13
MIN 1993	8,3		350	150		0,04	0,06		0,07
n 1994	12	2	12	12	7	12	12	0	12
PROM 1994	8,5	12,5	476	154	10,3	0,04	0,07		0,09
MAX 1994	8,9	13,9	725	230	14,0	0,16	0,20		0,17
MIN 1994	7,5	11,1	380	70	7,7	0,01	0,01		0,04
n 1995	12	11	12	12	12	10	11	0	12
PROM 1995	8,7	14,1	503	162	11,0	0,04	0,09		0,08
MAX 1995	9,3	17,9	600	380	14,0	0,06	0,28		0,16
MIN 1995	8,0	10,5	405	75	9,0	0,02	0,02		0,02
n 1996	10	9	10	10	10	9	6	0	10
PROM 1996	8,7	14,6	537	170	12,9	0,03	0,05		0,07
MAX 1996	9,2	18,6	640	220	17,0	0,05	0,14		0,12
MIN 1996	8,0	10,6	440	135	9,0	0,01	0,02		0,02
n 1997	11	11	11	10	11	9	9	0	11
PROM 1997	8,6	11,7	513	148	11,0	0,05	0,06		0,11
MAX 1997	9,6	14,0	860	300	18,0	0,17	0,10		0,21
MIN 1997	8,0	8,6	90	25	5,4	0,01	0,03		0,02
n 1998	12	12	12	12	12	7	10	0	12
PROM 1998	8,4	11,0	590	206	13,7	0,05	0,05		0,22
MAX 1998	9,0	12,7	690	320	19,0	0,07	0,13		0,41
MIN 1998	7,8	9,6	460	125	8,3	0,01	0,02		0,08

Fecha	pH	OD /[g/m ³]	CE /[μS/cm]	ρ(SO ₄) /[g/m ³]	ρ(Mg) /[g/m ³]	ρ(Mo) /[g/m ³]	ρ(Cu) /[g/m ³]	ρ(Cd) /[g/m ³]	ρ(Mn) /[g/m ³]
n 1999	7	7	7	7	7	3	7	0	7
PROM 1999	8,5	10,6	704	204	17,7	0,02	0,04		0,11
MAX 1999	8,9	12,7	870	300	26,0	0,03	0,06		0,18
MIN 1999	8,1	9,3	640	150	15,0	0,01	0,02		0,07

■ Tabla A.8 Tabla de Estadística de parámetros fisicoquímicos en la estación del Embalse Rapel frente a la Desembocadura del Río Cachapoal.

Fecha	pH	OD /[g/m ³]	CE /[μS/cm]	ρ(SO ₄) /[g/m ³]	ρ(Mg) /[g/m ³]	ρ(Mo) /[g/m ³]	ρ(Cu) /[g/m ³]	ρ(Cd) /[g/m ³]	ρ(Mn) /[g/m ³]
n 1993	5	0	5	2	0	1	2	2	2
PROM 1993	8,0		404	87		0,03	0,74	0,02	1,31
MAX 1993	8,1		490	90		0,03	0,77	0,03	1,86
MIN 1993	7,8		360	84		0,03	0,70	0,01	0,76
n 1994	12	3	12	12	7	1	10	0	12
PROM 1994	8,0	11,1	420	97	10,1	0,02	0,21		0,20
MAX 1994	8,3	11,7	540	125	12,0	0,02	0,42		0,80
MIN 1994	7,4	10,5	180	35	5,4	0,02	0,08		0,05
n 1995	12	11	12	12	12	5	12	0	12
PROM 1995	8,3	11,9	508	119	11,2	0,03	0,23		0,18
MAX 1995	8,8	13,0	630	240	16,0	0,04	0,69		0,73
MIN 1995	7,7	10,1	400	85	9,3	0,02	0,07		0,05
n 1996	12	11	12	12	12	2	10	0	12
PROM 1996	8,4	12,7	553	119	12,3	0,02	0,10		0,11
MAX 1996	9,0	16,9	590	150	15,0	0,02	0,19		0,31
MIN 1996	7,6	10,5	500	105	10,0	0,02	0,01		0,03
n 1997	12	12	12	11	12	8	12	1	12
PROM 1997	8,2	10,6	441	92	16,0	0,03	0,43	0,02	0,76
MAX 1997	8,7	14,7	570	120	64,0	0,04	1,30	0,02	6,10
MIN 1997	7,7	7,0	320	70	8,6	0,01	0,04	0,02	0,04
n 1998	12	12	12	12	12	7	10	0	12
PROM 1998	8,2	10,6	531	150	10,8	0,01	0,14		0,11
MAX 1998	8,8	14,0	610	220	14,0	0,02	0,44		0,50
MIN 1998	7,8	8,6	360	115	9,0	0,01	0,04		0,02
n 1999	7	7	7	7	7	1	7	0	7
PROM 1999	8,7	11,0	641	148	12,4	0,01	0,05		0,06
MAX 1999	9,1	14,0	820	230	13,0	0,01	0,09		0,19
MIN 1999	8,2	8,5	550	120	12,0	0,01	0,02		0,03

■ Tabla A.9 Tabla de Estadística de parámetros fisicoquímicos en la estación del Embalse Rapel frente a la Desembocadura del río Tinguiririca.

Fecha	pH	OD /[g/m ³]	CE /[μS/cm]	ρ(SO ₄) /[g/m ³]	ρ(Mg) /[g/m ³]	ρ(Mo) /[g/m ³]	ρ(Cu) /[g/m ³]	ρ(Cd) /[g/m ³]	ρ(Mn) /[g/m ³]
n 1993	5	0	5	2	0	0	1	0	1
PROM 1993	8,0		256	49			0,15		0,17

Fecha	pH	OD /[g/m ³]	CE /[μS/cm]	ρ(SO ₄) /[g/m ³]	ρ(Mg) /[g/m ³]	ρ(Mo) /[g/m ³]	ρ(Cu) /[g/m ³]	ρ(Cd) /[g/m ³]	ρ(Mn) /[g/m ³]
MAX 1993	8,3		320	50			0,15		0,17
MIN 1993	7,8		220	48			0,15		0,17
n 1994	12	3	12	12	7	0	12	0	12
PROM 1994	7,8	11,1	275	67	6,5		0,12		0,14
MAX 1994	8,1	11,9	405	105	7,5		0,45		0,28
MIN 1994	7,4	10,0	180	32	5,6		0,01		0,04
n 1995	12	11	12	12	12	3	12	0	12
PROM 1995	8,1	11,9	321	85	7,9	0,02	0,09		0,12
MAX 1995	8,8	13,5	470	245	12,0	0,03	0,21		0,18
MIN 1995	7,6	10,3	220	38	4,8	0,01	0,05		0,08
n 1996	12	11	12	12	12	2	9	0	12
PROM 1996	8,3	11,7	439	93	11,6	0,03	0,05		0,15
MAX 1996	9,1	14,4	560	140	18,0	0,03	0,11		0,49
MIN 1996	7,5	10,7	290	60	6,7	0,02	0,02		0,04
n 1997	11	11	11	10	11	1	10	1	11
PROM 1997	8,2	12,0	352	58	19,3	0,01	0,11	0,04	0,98
MAX 1997	8,8	18,2	610	105	110,0	0,01	0,56	0,04	8,40
MIN 1997	7,6	9,8	210	30	4,6	0,01	0,02	0,04	0,08
n 1998	12	12	12	12	12	5	9	0	12
PROM 1998	8,1	10,2	447	111	11,2	0,01	0,05		0,23
MAX 1998	8,8	16,0	680	200	19,0	0,01	0,08		0,94
MIN 1998	7,6	3,9	210	50	5,7	0,01	0,02		0,02
n 1999	7	7	7	7	7	2	6	0	7
PROM 1999	8,5	10,4	524	114	13,7	0,02	0,02		0,07
MAX 1999	8,9	13,0	580	160	15,0	0,02	0,03		0,13
MIN 1999	8,2	9,2	440	95	9,7	0,01	0,01		0,04

■ Tabla A.10 Tabla de Estadística de parámetros fisicoquímicos en la estación del Embalse Rapel en la Cubeta Alhué en la superficie.

Fecha	pH	OD /[g/m ³]	CE /[μS/cm]	ρ(SO ₄) /[g/m ³]	ρ(Mg) /[g/m ³]	ρ(Mo) /[g/m ³]	ρ(Cu) /[g/m ³]	ρ(Cd) /[g/m ³]	ρ(Mn) /[g/m ³]
n 1993	5	0	5	1	0	1	1	0	1
PROM 1993	8,7		526	140		0,04	0,07		0,07
MAX 1993	9,2		740	140		0,04	0,07		0,07
MIN 1993	8,1		420	140		0,04	0,07		0,07
n 1994	12	9	12	12	7	11	9	0	12
PROM 1994	8,6	14,7	421	152	8,5	0,04	0,03		0,04
MAX 1994	8,9	17,1	490	185	10,0	0,05	0,07		0,06
MIN 1994	8,0	12,7	370	125	7,7	0,02	0,01		0,01
n 1995	12	12	12	12	12	11	9	0	11
PROM 1995	8,7	14,3	478	164	8,8	0,03	0,03		0,04
MAX 1995	9,1	19,8	625	370	10,0	0,04	0,05		0,06
MIN 1995	7,9	11,5	385	115	6,9	0,01	0,01		0,02
n 1996	11	10	11	11	11	11	4	0	11
PROM 1996	8,8	15,3	483	164	9,6	0,04	0,02		0,02
MAX 1996	9,2	16,8	570	220	13,0	0,08	0,04		0,05
MIN 1996	8,3	13,6	400	130	7,4	0,02	0,01		0,01

Fecha	pH	OD /[g/m ³]	CE /[μS/cm]	ρ(SO ₄) /[g/m ³]	ρ(Mg) /[g/m ³]	ρ(Mo) /[g/m ³]	ρ(Cu) /[g/m ³]	ρ(Cd) /[g/m ³]	ρ(Mn) /[g/m ³]
n 1997	12	12	12	11	12	11	6	0	11
PROM 1997	8,6	12,6	498	156	8,7	0,05	0,03		0,04
MAX 1997	9,2	14,0	670	195	13,0	0,07	0,06		0,06
MIN 1997	8,1	9,1	320	90	4,9	0,02	0,01		0,02
n 1998	12	12	12	12	12	12	5	0	11
PROM 1998	8,4	13,1	564	222	14,8	0,07	0,02		0,04
MAX 1998	8,9	17,0	770	320	65,0	0,15	0,02		0,12
MIN 1998	7,9	10,1	470	160	6,3	0,02	0,01		0,02
n 1999	7	7	7	7	7	7	3	0	6
PROM 1999	8,7	12,5	630	218	14,0	0,05	0,03		0,02
MAX 1999	9,0	15,4	690	300	16,0	0,08	0,04		0,04
MIN 1999	8,3	9,0	540	125	12,0	0,02	0,02		0,01

■ Tabla A.11 Tabla de Estadística de parámetros fisicoquímicos en la estación del Embalse Rapel en la Cubeta Alhué a profundidad media

Fecha	pH	OD /[g/m ³]	CE /[μS/cm]	ρ(SO ₄) /[g/m ³]	ρ(Mg) /[g/m ³]	ρ(Mo) /[g/m ³]	ρ(Cu) /[g/m ³]	ρ(Cd) /[g/m ³]	ρ(Mn) /[g/m ³]
n 1993	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PROM 1993									
MAX 1993									
MIN 1993									
n 1994	5	3	5	5	2	4	1	0	4
PROM 1994	8,6	15,1	419	154	8,1	0,04	0,08		0,04
MAX 1994	8,7	16,7	465	175	8,2	0,05	0,08		0,06
MIN 1994	8,4	13,3	375	125	8,0	0,03	0,08		0,02
n 1995	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PROM 1995									
MAX 1995									
MIN 1995									
n 1996	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PROM 1996									
MAX 1996									
MIN 1996									
n 1997	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PROM 1997									
MAX 1997									
MIN 1997									
n 1998	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PROM 1998									
MAX 1998									
MIN 1998									
n 1999	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PROM 1999									
MAX 1999									
MIN 1999									

■ Tabla A.12 Tabla de Estadística de parámetros fisicoquímicos en la estación del Embalse Rapel en la Cubeta Alhué en el fondo.

Fecha	pH	OD /[g/m ³]	CE /[μS/cm]	ρ(SO ₄) /[g/m ³]	ρ(Mg) /[g/m ³]	ρ(Mo) /[g/m ³]	ρ(Cu) /[g/m ³]	ρ(Cd) /[g/m ³]	ρ(Mn) /[g/m ³]
n 1993	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PROM 1993									
MAX 1993									
MIN 1993									
n 1994	11	9	11	11	7	11	6	0	11
PROM 1994	8,4	13,0	518	220	9,4	0,07	0,04		0,08
MAX 1994	9,0	16,1	820	450	13,0	0,25	0,08		0,16
MIN 1994	7,8	10,1	385	125	7,1	0,01	0,02		0,03
n 1995	12	12	12	12	12	11	9	0	12
PROM 1995	8,7	13,2	475	160	9,0	0,04	0,03		0,05
MAX 1995	9,2	18,2	525	370	10,0	0,06	0,06		0,08
MIN 1995	8,0	9,7	380	125	7,0	0,02	0,01		0,02
n 1996	11	10	11	11	11	10	5	0	11
PROM 1996	8,8	13,7	496	168	9,8	0,05	0,02		0,04
MAX 1996	9,2	16,9	580	240	13,0	0,10	0,02		0,06
MIN 1996	8,3	10,7	410	135	7,4	0,02	0,01		0,02
n 1997	12	12	12	11	12	11	8	0	12
PROM 1997	8,3	10,4	522	163	8,9	0,06	0,04		0,08
MAX 1997	8,8	12,7	690	210	14,0	0,11	0,10		0,25
MIN 1997	7,9	7,9	360	110	5,0	0,03	0,01		0,01
n 1998	12	12	12	12	12	12	3	0	12
PROM 1998	8,4	11,3	574	211	10,1	0,07	0,03		0,07
MAX 1998	8,9	15,2	810	340	16,0	0,16	0,04		0,15
MIN 1998	7,8	7,1	480	150	6,9	0,04	0,01		0,01
n 1999	7	7	7	7	7	7	5	0	7
PROM 1999	8,7	11,1	640	219	13,9	0,05	0,02		0,03
MAX 1999	9,0	13,0	700	290	15,0	0,09	0,03		0,06
MIN 1999	8,3	7,6	550	130	12,0	0,02	0,02		0,01

■ Tabla A.13 Tabla de Estadística de parámetros fisicoquímicos en la estación de l Embalse Rapel en la Parte Central(Cubeta Alhué antes de llegar a la Cubeta Cachapoal) en la superficie.

Fecha	pH	OD /[g/m ³]	CE /[μS/cm]	ρ(SO ₄) /[g/m ³]	ρ(Mg) /[g/m ³]	ρ(Mo) /[g/m ³]	ρ(Cu) /[g/m ³]	ρ(Cd) /[g/m ³]	ρ(Mn) /[g/m ³]
n 1993	6	0	6	2	0	1	1	0	2
PROM 1993	8,5		379	108		0,03	0,06		0,08
MAX 1993	8,8		430	115		0,03	0,06		0,10
MIN 1993	8,0		310	100		0,03	0,06		0,06
n 1994	12	9	12	12	7	10	4	0	12
PROM 1994	8,4	14,0	385	123	8,2	0,03	0,03		0,03
MAX 1994	8,9	15,7	485	165	10,0	0,03	0,04		0,06
MIN 1994	7,7	11,9	345	90	6,9	0,01	0,02		0,01
n 1995	12	12	12	12	12	11	7	0	12
PROM 1995	8,7	14,2	429	136	8,4	0,03	0,03		0,03
MAX 1995	9,3	17,7	510	315	9,5	0,05	0,08		0,06

Fecha	pH	OD /[g/m ³]	CE /[μS/cm]	ρ(SO ₄) /[g/m ³]	ρ(Mg) /[g/m ³]	ρ(Mo) /[g/m ³]	ρ(Cu) /[g/m ³]	ρ(Cd) /[g/m ³]	ρ(Mn) /[g/m ³]
MIN 1995	8,1	12,5	350	100	6,5	0,01	0,01		0,01
n 1996	11	10	11	11	11	10	4	0	9
PROM 1996	8,8	15,2	469	152	9,6	0,04	0,02		0,02
MAX 1996	9,3	18,0	540	210	13,0	0,07	0,03		0,05
MIN 1996	8,3	12,6	370	125	7,0	0,02	0,01		0,01
n 1997	12	12	12	11	12	10	7	0	9
PROM 1997	8,4	12,9	469	124	8,6	0,04	0,05		0,04
MAX 1997	8,9	15,3	630	190	13,0	0,06	0,16		0,09
MIN 1997	8,1	11,3	260	65	4,7	0,02	0,01		0,01
n 1998	12	12	12	12	12	12	3	0	12
PROM 1998	8,5	13,0	548	195	9,6	0,06	0,01		0,03
MAX 1998	8,9	16,6	760	270	15,0	0,14	0,08		0,06
MIN 1998	8,0	10,3	410	155	5,8	0,02	0,01		0,01
n 1999	7	7	7	7	7	7	4	0	6
PROM 1999	8,7	12,6	624	209	13,9	0,05	0,04		0,03
MAX 1999	9,0	16,3	670	290	15,0	0,09	0,08		0,04
MIN 1999	8,4	10,4	550	130	12,0	0,02	0,02		0,02

■ Tabla A.14 Tabla de Estadística de parámetros fisicoquímicos en la estación de l Embalse Rapel en la Parte Central(Cubeta Alhué antes de llegar a la Cubeta Cachapoal) a profundidad media.

Fecha	pH	OD /[g/m ³]	CE /[μS/cm]	ρ(SO ₄) /[g/m ³]	ρ(Mg) /[g/m ³]	ρ(Mo) /[g/m ³]	ρ(Cu) /[g/m ³]	ρ(Cd) /[g/m ³]	ρ(Mn) /[g/m ³]
n 1993	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PROM 1993									
MAX 1993									
MIN 1993									
n 1994	10	7	10	10	6	9	5	0	10
PROM 1994	8,4	13,1	384	115	8,0	0,02	0,03		0,03
MAX 1994	8,8	15,4	430	135	8,6	0,04	0,06		0,06
MIN 1994	7,6	11,7	345	100	7,3	0,01	0,01		0,01
n 1995	12	12	12	12	12	11	6	0	12
PROM 1995	8,7	12,9	444	137	8,5	0,03	0,03		0,04
MAX 1995	9,3	15,7	515	310	9,6	0,05	0,06		0,06
MIN 1995	8,0	10,7	355	110	6,6	0,01	0,02		0,02
n 1996	9	8	9	9	9	9	4	0	9
PROM 1996	8,8	13,8	461	141	8,9	0,03	0,02		0,02
MAX 1996	9,2	17,3	490	210	9,8	0,04	0,03		0,04
MIN 1996	8,3	12,4	390	115	6,8	0,02	0,01		0,01
n 1997	12	12	12	11	12	11	9	0	12
PROM 1997	8,3	10,9	462	129	8,8	0,04	0,03		0,06
MAX 1997	8,9	12,8	640	185	13,0	0,06	0,07		0,13
MIN 1997	8,0	8,4	250	60	5,0	0,01	0,01		0,02
n 1998	12	12	12	12	12	12	6	0	11
PROM 1998	8,4	11,5	541	183	9,7	0,05	0,02		0,04
MAX 1998	8,9	14,8	760	260	15,0	0,12	0,03		0,07
MIN 1998	7,8	8,7	400	130	5,8	0,03	0,01		0,02
n 1999	7	7	7	7	7	7	5	0	6
PROM 1999	8,7	11,9	623	204	13,7	0,04	0,02		0,03

Fecha	pH	OD	CE	$\rho(\text{SO}_4)$	$\rho(\text{Mg})$	$\rho(\text{Mo})$	$\rho(\text{Cu})$	$\rho(\text{Cd})$	$\rho(\text{Mn})$
		/[g/m ³]	/[μS/cm]	/[g/m ³]	/[g/m ³]	/[g/m ³]	/[g/m ³]	/[g/m ³]	/[g/m ³]
MAX 1999	8,9	13,8	670	280	15,0	0,07	0,03		0,04
MIN 1999	8,4	9,7	550	125	12,0	0,02	0,01		0,02

■ Tabla A.15 Tabla de Estadística de parámetros fisicoquímicos en la estación de l Embalse Rapel en la Parte Central(Cubeta Alhué antes de llegar a la Cubeta Cachapoal) en el fondo.

Fecha	pH	OD	CE	$\rho(\text{SO}_4)$	$\rho(\text{Mg})$	$\rho(\text{Mo})$	$\rho(\text{Cu})$	$\rho(\text{Cd})$	$\rho(\text{Mn})$
		/[g/m ³]	/[μS/cm]	/[g/m ³]	/[g/m ³]	/[g/m ³]	/[g/m ³]	/[g/m ³]	/[g/m ³]
n 1993	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PROM 1993									
MAX 1993									
MIN 1993									
n 1994	12	9	12	12	7	11	7	0	12
PROM 1994	8,4	12,6	403	123	8	0,02	0,03		0,06
MAX 1994	8,8	15,4	490	155	10	0,05	0,06		0,22
MIN 1994	7,7	10,5	350	100	7	0,01	0,01		0,02
n 1995	11	11	11	11	11	11	9	0	11
PROM 1995	8,7	12,4	452	136	9	0,03	0,04		0,04
MAX 1995	9,0	14,0	540	255	10	0,05	0,07		0,08
MIN 1995	8,1	10,3	345	105	7	0,01	0,01		0,02
n 1996	11	10	11	11	11	11	5	0	11
PROM 1996	8,7	13,1	479	144	9	0,04	0,02		0,04
MAX 1996	9,2	18,0	550	210	13	0,08	0,03		0,06
MIN 1996	8,3	10,9	390	110	7	0,02	0,01		0,02
n 1997	12	12	12	11	12	10	9	0	12
PROM 1997	8,2	10,6	523	164	9	0,06	0,05		0,11
MAX 1997	8,5	12,8	850	390	15	0,16	0,12		0,31
MIN 1997	7,9	7,9	210	35	5	0,03	0,01		0,01
n 1998	12	12	12	12	12	11	7	0	12
PROM 1998	8,3	10,1	565	190	10	0,07	0,02		0,06
MAX 1998	9,0	14,2	810	290	15	0,15	0,03		0,15
MIN 1998	7,8	7,1	350	90	5	0,02	0,01		0,01
n 1999	7	7	7	7	7	7	5	0	7
PROM 1999	8,6	11,4	636	203	14	0,05	0,03		0,03
MAX 1999	9,0	13,1	680	270	16	0,08	0,06		0,05
MIN 1999	8,3	9,1	560	130	12	0,02	0,01		0,01

■ Tabla A.16 Tabla de Estadística de parámetros fisicoquímicos en la estación del Embalse Rapel en la Cubeta Cachapoal en la superficie.

Fecha	pH	OD	CE	$\rho(\text{SO}_4)$	$\rho(\text{Mg})$	$\rho(\text{Mo})$	$\rho(\text{Cu})$	$\rho(\text{Cd})$	$\rho(\text{Mn})$
		/[g/m ³]	/[μS/cm]	/[g/m ³]	/[g/m ³]	/[g/m ³]	/[g/m ³]	/[g/m ³]	/[g/m ³]
n 1993	6	0	6	2	0	1	2	0	2
PROM 1993	8,4		357	76		0,02	0,05		0,05
MAX 1993	8,8		400	80		0,02	0,08		0,07
MIN 1993	7,9		320	72		0,02	0,02		0,03

Fecha	pH	OD /[g/m ³]	CE /[μS/cm]	ρ(SO ₄) /[g/m ³]	ρ(Mg) /[g/m ³]	ρ(Mo) /[g/m ³]	ρ(Cu) /[g/m ³]	ρ(Cd) /[g/m ³]	ρ(Mn) /[g/m ³]
n 1994	12	9	12	12	7	3	10	0	11
PROM 1994	8,3	12,4	362	85	7,6	0,01	0,06		0,07
MAX 1994	9,0	14,0	420	115	9,5	0,01	0,17		0,16
MIN 1994	7,6	11,1	295	60	5,6	0,01	0,02		0,02
n 1995	12	12	12	12	12	4	11	0	12
PROM 1995	8,5	13,8	429	100	8,6	0,03	0,05		0,09
MAX 1995	8,9	21,9	570	200	10,0	0,03	0,11		0,24
MIN 1995	8,0	9,2	330	55	6,0	0,01	0,01		0,02
n 1996	11	10	11	11	11	5	6	0	10
PROM 1996	8,7	14,0	475	117	9,8	0,03	0,04		0,05
MAX 1996	9,6	21,1	540	180	13,0	0,05	0,08		0,10
MIN 1996	8,3	10,2	400	75	7,0	0,01	0,01		0,02
n 1997	12	12	12	11	12	5	8	0	12
PROM 1997	8,3	12,3	438	90	13,4	0,04	0,04		0,06
MAX 1997	8,9	14,7	600	150	60,0	0,10	0,10		0,12
MIN 1997	7,7	10,2	190	25	4,9	0,01	0,01		0,02
n 1998	12	12	12	12	12	6	11	0	12
PROM 1998	8,2	11,3	513	124	11,0	0,03	0,05		0,12
MAX 1998	9,0	13,1	660	180	17,0	0,06	0,13		0,38
MIN 1998	7,9	9,6	310	70	4,9	0,01	0,02		0,03
n 1999	7	7	7	7	7	5	7	0	7
PROM 1999	8,5	11,9	589	156	13,1	0,02	0,04		0,05
MAX 1999	8,9	14,8	620	220	14,0	0,04	0,06		0,09
MIN 1999	8,3	9,9	560	115	12,0	0,01	0,02		0,02

■ Tabla A.17 Tabla de Estadística de parámetros fisicoquímicos en la estación del Embalse Rapel en la Cubeta Cachapoal a profundidad media.

Fecha	pH	OD /[g/m ³]	CE /[μS/cm]	ρ(SO ₄) /[g/m ³]	ρ(Mg) /[g/m ³]	ρ(Mo) /[g/m ³]	ρ(Cu) /[g/m ³]	ρ(Cd) /[g/m ³]	ρ(Mn) /[g/m ³]
n 1993	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PROM 1993									
MAX 1993									
MIN 1993									
n 1994	11	8	11	11	6	3	9	0	11
PROM 1994	8,2	12,1	367	84	7,6	0,01	0,04		0,07
MAX 1994	8,9	13,2	440	110	9,3	0,01	0,06		0,19
MIN 1994	7,5	11,3	295	60	6,1	0,01	0,02		0,01
n 1995	12	12	12	12	12	4	12	0	12
PROM 1995	8,4	12,9	429	98	8,8	0,03	0,06		0,10
MAX 1995	8,9	16,0	575	200	11,0	0,04	0,12		0,23
MIN 1995	7,8	9,6	330	55	6,0	0,01	0,01		0,02
n 1996	11	10	11	11	11	3	6	0	11
PROM 1996	8,5	11,9	476	110	10,1	0,02	0,04		0,07
MAX 1996	9,3	17,0	560	180	13,0	0,04	0,06		0,17
MIN 1996	7,8	6,6	390	80	8,0	0,01	0,02		0,02
n 1997	12	12	12	11	12	5	10	0	12
PROM 1997	8,2	10,9	416	87	9,0	0,02	0,05		0,09

Fecha	pH	OD /[g/m ³]	CE /[μS/cm]	ρ(SO ₄) /[g/m ³]	ρ(Mg) /[g/m ³]	ρ(Mo) /[g/m ³]	ρ(Cu) /[g/m ³]	ρ(Cd) /[g/m ³]	ρ(Mn) /[g/m ³]
MAX 1997	8,6	13,4	600	150	14,0	0,04	0,10		0,18
MIN 1997	7,7	7,0	270	45	5,6	0,01	0,01		0,02
n 1998	12	12	12	12	12	8	10	0	12
PROM 1998	8,2	10,6	513	123	10,9	0,02	0,05		0,11
MAX 1998	9,0	13,7	660	180	17,0	0,05	0,12		0,39
MIN 1998	7,8	8,3	330	70	5,2	0,01	0,01		0,01
n 1999	7	7	7	7	7	5	7	0	6
PROM 1999	8,5	10,4	591	170	13,4	0,03	0,05		0,05
MAX 1999	8,9	12,3	620	240	14,0	0,05	0,11		0,11
MIN 1999	8,2	8,1	570	115	12,0	0,01	0,02		0,03

■ Tabla A.18 Tabla de Estadística de parámetros fisicoquímicos en la estación del Embalse Rapel en la Cubeta Cachapoal en el fondo.

Fecha	pH	OD /[g/m ³]	CE /[μS/cm]	ρ(SO ₄) /[g/m ³]	ρ(Mg) /[g/m ³]	ρ(Mo) /[g/m ³]	ρ(Cu) /[g/m ³]	ρ(Cd) /[g/m ³]	ρ(Mn) /[g/m ³]
n 1993	0	2	5	13	14	15	17	18	19
PROM 1993									
MAX 1993									
MIN 1993									
n 1994	12	9	12	12	7	6	11	0	12
PROM 1994	8,1	11,3	370	87	9,5	0,01	0,47		0,17
MAX 1994	8,6	12,7	450	110	19,0	0,02	3,80		1,17
MIN 1994	7,6	9,1	275	55	6,3	0,01	0,02		0,01
n 1995	12	12	12	12	12	5	12	0	12
PROM 1995	8,2	12,4	441	99	8,9	0,04	0,91		0,12
MAX 1995	8,8	16,3	580	180	11,0	0,06	8,90		0,23
MIN 1995	7,2	9,4	350	57	6,4	0,01	0,05		0,04
n 1996	11	10	11	11	11	4	10	0	11
PROM 1996	8,4	10,5	481	108	10,3	0,03	0,09		0,11
MAX 1996	9,2	13,5	560	170	13,0	0,04	0,30		0,25
MIN 1996	7,7	3,8	410	80	8,3	0,02	0,05		0,04
n 1997	12	12	12	11	12	7	10	0	12
PROM 1997	8,0	9,7	408	81	9,6	0,02	0,15		0,18
MAX 1997	8,5	12,6	610	145	14,0	0,04	0,30		0,39
MIN 1997	7,5	6,4	260	45	5,9	0,01	0,06		0,01
n 1998	12	12	12	12	12	9	12	0	12
PROM 1998	8,1	9,7	513	123	11,1	0,03	0,10		0,15
MAX 1998	9,0	13,0	670	180	17,0	0,09	0,21		0,43
MIN 1998	7,6	7,2	300	65	6,2	0,01	0,02		0,04
n 1999	7	7	7	7	7	4	7	0	7
PROM 1999	8,5	9,1	603	146	13,4	0,02	0,06		0,06
MAX 1999	8,9	12,3	630	200	15,0	0,03	0,10		0,12
MIN 1999	8,2	6,5	580	115	12,0	0,01	0,04		0,02

■ Tabla A.19 Tabla de Estadística de parámetros fisicoquímicos en la estación del Embalse Rapel en la Cubeta Rapel (Cortina) en la superficie.

Fecha	pH	OD /[g/m ³]	CE /[μS/cm]	ρ(SO ₄) /[g/m ³]	ρ(Mg) /[g/m ³]	ρ(Mo) /[g/m ³]	ρ(Cu) /[g/m ³]	ρ(Cd) /[g/m ³]	ρ(Mn) /[g/m ³]
n 1993	5	0	5	2	0	2	2	0	1
PROM 1993	8,4		358	90		0,02	0,02		0,01
MAX 1993	8,9		400	95		0,02	0,03		0,01
MIN 1993	8,0		280	85		0,01	0,01		0,01
n 1994	12	9	12	12	7	3	8	0	11
PROM 1994	8,2	12,8	356	88	7,4	0,01	0,02		0,04
MAX 1994	8,7	16,7	460	115	8,1	0,02	0,05		0,16
MIN 1994	7,6	11,0	200	40	6,0	0,01	0,01		0,01
n 1995	12	12	12	12	12	5	7	0	10
PROM 1995	8,4	12,4	391	91	7,6	0,02	0,03		0,03
MAX 1995	9,1	14,3	480	170	9,5	0,04	0,07		0,09
MIN 1995	8,2	9,2	310	64	5,5	0,01	0,01		0,01
n 1996	11	10	11	11	11	8	2	0	7
PROM 1996	8,6	13,4	445	110	8,9	0,02	0,02		0,02
MAX 1996	9,1	18,7	540	170	12,0	0,04	0,03		0,03
MIN 1996	8,0	11,1	340	70	5,9	0,01	0,01		0,01
n 1997	12	12	12	11	12	7	7	0	8
PROM 1997	8,2	11,8	417	95	8,5	0,02	0,03		0,05
MAX 1997	8,9	14,2	620	160	13,0	0,04	0,05		0,14
MIN 1997	7,7	10,0	210	35	4,9	0,01	0,02		0,01
n 1998	12	12	12	12	12	10	4	0	10
PROM 1998	8,4	11,4	502	135	9,4	0,03	0,02		0,02
MAX 1998	8,9	14,4	650	210	14,0	0,05	0,04		0,02
MIN 1998	8,0	9,7	330	80	5,0	0,01	0,01		0,01
n 1999	7	7	7	7	7	7	4	0	5
PROM 1999	8,61	10,16	619	181	13,71	0,04	0,02		0,02
MAX 1999	9,00	13,30	650	250	14,00	0,05	0,03		0,02
MIN 1999	8,50	7,90	550	120	12,00	0,02	0,01		0,02

■ Tabla A.20 Tabla de Estadística de parámetros fisicoquímicos en la estación del Embalse Rapel en la Cubeta Rapel(Cortina) a profundidad media.

Fecha	pH	OD /[g/m ³]	CE /[μS/cm]	ρ(SO ₄) /[g/m ³]	ρ(Mg) /[g/m ³]	ρ(Mo) /[g/m ³]	ρ(Cu) /[g/m ³]	ρ(Cd) /[g/m ³]	ρ(Mn) /[g/m ³]
n 1993	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PROM 1993									
MAX 1993									
MIN 1993									
n 1994	12	9	12	12	7	3	8	0	10
PROM 1994	8,2	12,5	357	87	7,4	0,01	0,04		0,05
MAX 1994	8,7	14,8	460	115	8,0	0,01	0,08		0,20
MIN 1994	7,4	10,7	200	40	6,4	0,01	0,02		0,01
n 1995	12	12	12	12	12	6	8	0	10
PROM 1995	8,4	12,0	392	92	7,5	0,02	0,03		0,04

Fecha	pH	OD /[g/m ³]	CE /[μS/cm]	ρ(SO ₄) /[g/m ³]	ρ(Mg) /[g/m ³]	ρ(Mo) /[g/m ³]	ρ(Cu) /[g/m ³]	ρ(Cd) /[g/m ³]	ρ(Mn) /[g/m ³]
MAX 1995	9,0	13,7	480	175	9,5	0,05	0,06		0,09
MIN 1995	8,1	9,6	315	65	5,7	0,01	0,01		0,01
n 1996	11	10	11	11	11	8	5	0	8
PROM 1996	8,5	11,4	445	111	8,9	0,02	0,02		0,02
MAX 1996	9,0	18,9	530	180	12,0	0,04	0,05		0,03
MIN 1996	7,8	3,3	340	70	5,8	0,01	0,01		0,01
n 1997	12	12	12	11	12	8	9	0	9
PROM 1997	8,1	10,6	417	95	8,5	0,02	0,07		0,05
MAX 1997	8,9	12,5	620	160	13,0	0,04	0,22		0,16
MIN 1997	7,5	8,2	210	40	4,9	0,01	0,02		0,01
n 1998	12	12	12	12	12	11	6	0	11
PROM 1998	8,3	10,2	513	140	9,2	0,03	0,02		0,02
MAX 1998	8,9	13,5	660	200	13,0	0,07	0,03		0,04
MIN 1998	7,6	5,2	340	80	5,0	0,01	0,01		0,01
n 1999	7	7	7	7	7	7	6	0	6
PROM 1999	8,4	9,1	623	180	13,7	0,04	0,03		0,02
MAX 1999	8,9	12,8	650	270	14,0	0,05	0,04		0,03
MIN 1999	8,0	4,7	560	120	12,0	0,03	0,01		0,01

■ Tabla A.21 Tabla de Estadística de parámetros fisicoquímicos en la estación del Embalse Rapel en la Cubeta Rapel (Cortina) en el fondo.

Fecha	pH	OD /[g/m ³]	CE /[μS/cm]	ρ(SO ₄) /[g/m ³]	ρ(Mg) /[g/m ³]	ρ(Mo) /[g/m ³]	ρ(Cu) /[g/m ³]	ρ(Cd) /[g/m ³]	ρ(Mn) /[g/m ³]
n 1993	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PROM 1993									
MAX 1993									
MIN 1993									
n 1994	12	9	12	12	7	5	11	0	11
PROM 1994	8,2	12,2	358	88	7,4	0,01	0,04		0,05
MAX 1994	8,5	13,5	460	115	8,0	0,02	0,09		0,19
MIN 1994	7,7	11,0	200	40	6,4	0,01	0,01		0,01
n 1995	12	12	12	12	12	5	8	0	11
PROM 1995	8,3	12,0	395	91	7,6	0,03	0,05		0,04
MAX 1995	9,0	13,8	480	175	9,6	0,05	0,10		0,10
MIN 1995	8,1	10,2	315	62	5,6	0,01	0,01		0,01
n 1996	11	10	11	11	11	8	7	0	9
PROM 1996	8,3	10,9	448	110	8,8	0,02	0,03		0,11
MAX 1996	8,9	18,0	530	180	10,0	0,04	0,04		0,82
MIN 1996	7,5	2,1	340	75	5,8	0,01	0,02		0,01
n 1997	12	12	12	11	12	8	9	0	10
PROM 1997	8,0	9,9	426	98	8,6	0,03	0,05		0,05
MAX 1997	8,7	12,5	620	160	13,0	0,05	0,12		0,17
MIN 1997	7,4	6,5	200	35	5,0	0,01	0,01		0,02
n 1998	12	12	12	12	12	10	7	0	10
PROM 1998	8,1	8,6	513	132	9,2	0,03	0,02		0,11
MAX 1998	9,0	12,4	640	160	13,0	0,04	0,05		0,77
MIN 1998	7,6	5,1	330	80	5,0	0,02	0,01		0,01

Fecha	pH	OD /[g/m ³]	CE /[μS/cm]	ρ(SO ₄) /[g/m ³]	ρ(Mg) /[g/m ³]	ρ(Mo) /[g/m ³]	ρ(Cu) /[g/m ³]	ρ(Cd) /[g/m ³]	ρ(Mn) /[g/m ³]
n 1999	7	7	7	7	7	7	6	0	7
PROM 1999	8,4	8,6	636	176	13,4	0,03	0,02		0,03
MAX 1999	8,8	13,3	730	260	14,0	0,05	0,03		0,05
MIN 1999	8,0	5,0	560	115	11,0	0,01	0,01		0,01

ANEXO B ESTADÍSTICA DE CAUDALES DE LOS RÍOS CACHAPOAL Y TINGUIRIRICA Y DEL ESTERO ALHUÉ

■ Tabla B.1 Estadística de los Caudales del Río Cachapoal

1989	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC
Q MEDIO	-	-	-	-	-	21,4	20,1	25,9	31	44,6	84,6	100
Q,MED,MAX,	-	-	-	-	-	22,4	21,5	45,8	35,8	52,5	128	117
DIA	-	-	-	-	-	30	1	24	30	31	29	21
Q,MED,MIN,	-	-	-	-	-	21,1	16,3	20,2	27,1	36	51,4	76,3
DIA	-	-	-	-	-	28	27	4	13	2	3	5
Q,INST,MAX,	-	-	-	-	-	28,6	24,9	89,2	36,3	56,3	150	129
DIA	-	-	-	-	-	30	1	23	30	31	27	30
Q,INST,MIN,	-	-	-	-	-	19,9	12,5	19,5	26,8	35,7	49,5	71,3
DIA	-	-	-	-	-	30	26	4	13	2	3	5
1990	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC
Q MEDIO	94,5	84,6	34,6	21,2	19,6	15,9	13,7	15	21,4	29,1	54	67,1
Q,MED,MAX,	109	98,2	45,8	23,4	24,5	17,5	15,8	22,9	24,3	41,9	89,8	93
DIA	1	6	22	19	9	4	7	30	30	25	26	29
Q,MED,MIN,	78,6	61,4	24,5	19,5	17,1	14,3	7,21	13,7	18	21,7	30,9	42,6
DIA	13	18	31	24	31	30	17	6	1	6	4	13
Q,INST,MAX,	126	110	58	24	37,7	18,5	17,6	35,3	33,5	45,2	102	111
DIA	9	5	21	19	9	3	8	30	10	26	26	30
Q,INST,MIN,	47	49,7	22,5	17,1	16,7	14,2	6,25	13,3	17,4	21,3	30,3	41,4
DIA	13	18	31	25	31	30	18	6	1	6	4	13
1991	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC
Q MEDIO	66,3	59,5	43,7	26,8	32	-	-	-	-	-	-	-
Q,MED,MAX,	87,9	66,8	54,4	58,9	255	-	-	-	-	-	-	-
DIA	1	8	5	13	28	-	-	-	-	-	-	-
Q,MED,MIN,	47,7	52,2	31,8	19,2	17,4	-	-	-	-	-	-	-
DIA	29	20	31	30	10	-	-	-	-	-	-	-
Q,INST,MAX,	104	88,2	67,5	128	487	-	-	-	-	-	-	-
DIA	11	8	5	13	28	-	-	-	-	-	-	-
Q,INST,MIN,	42,3	42,4	28,9	19,2	17,3	-	-	-	-	-	-	-
DIA	29	20	31	30	10	-	-	-	-	-	-	-
1992	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC
Q MEDIO	-	-	71,7	27,1	32,9	29,9	23,8	20,8	27,2	48,8	95,3	123
Q,MED,MAX,	-	-	86,2	33,5	69,3	35,2	28,2	23,6	36,6	72,3	144	135
DIA	-	-	6	29	25	5	3	30	30	26	19	10

Q,MED,MIN,	-	-	50,1	24,9	23,9	26,5	20,5	19,4	21,7	31,8	56,5	104
DIA	-	-	20	27	4	25	29	10	2	6	3	6
Q,INST,MAX,	-	-	96,2	42,1	150	38,8	30	25,6	37,5	78,2	157	142
DIA	-	-	5	29	25	5	3	22	29	26	19	8
Q,INST,MIN,	-	-	50,1	24,2	23,7	23	20,4	19,2	21,7	31,2	55,2	92,5
DIA	-	-	19	27	2	25	29	10	2	6	3	6
1993	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC
Q MEDIO	-	79,5	48,8	-	-	-	-	-	-	-	75,7	123
Q,MED,MAX,	-	125	53,7	-	-	-	-	-	-	-	82,1	229
DIA	-	4	1	-	-	-	-	-	-	-	28	20
Q,MED,MIN,	-	57,5	43,9	-	-	-	-	-	-	-	67	47,9
DIA	-	28	8	-	-	-	-	-	-	-	30	2
Q,INST,MAX,	-	138	58,3	-	-	-	-	-	-	-	90,6	295
DIA	-	20	1	-	-	-	-	-	-	-	28	20
Q,INST,MIN,	-	50,3	42,6	-	-	-	-	-	-	-	59	44,9
DIA	-	27	8	-	-	-	-	-	-	-	30	2
1994	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC
Q MEDIO	-	72	59	27,6	21,3	21,5	31	22,2	19	31,9	90,4	151
Q,MED,MAX,	-	76,8	86,1	66,4	31,2	25,1	78,4	28,7	43,1	52,1	131	187
DIA	-	21	8	27	23	21	25	1	23	30	23	27
Q,MED,MIN,	-	63,8	36	21,1	18,2	19,7	17,7	19,5	4,33	6,2	52,5	78,3
DIA	-	28	31	25	21	28	14	31	20	4	1	6
Q,INST,MAX,	-	86,1	96,3	96,2	58,3	36,1	104	29,3	54,5	55,4	141	227
DIA	-	20	8	27	23	21	24	1	23	30	23	27
Q,INST,MIN,	-	57,7	33,3	20,8	18	19,6	17,6	19,4	4,13	5,77	48,9	76,4
DIA	-	28	31	25	22	28	13	31	20	5	1	6
1995	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC
Q MEDIO	102	64,8	33,9	16,2	7,78	8,55	6,24	5,11	14,9	18,1	78,4	127
Q,MED,MAX,	127	85,4	50,9	51,7	15	35	8,72	6,41	23,2	53,4	106	208
DIA	2	8	5	30	1	27	1	31	17	31	29	28
Q,MED,MIN,	83,1	40,5	3,17	2,54	6,39	6,16	4,24	4,5	6,33	4,88	50,4	91,8
DIA	12	25	31	10	30	8	30	15	2	9	4	1
Q,INST,MAX,	162	96,5	60,9	101	26	61,6	14,4	10,4	25,6	64	114	228
DIA	1	7	4	29	1	27	1	31	17	31	29	26
Q,INST,MIN,	79,1	33,6	2,92	2,54	6,36	6,09	4,1	4,45	6,15	4,58	45,4	84,9
DIA	31	26	31	9	29	9	30	14	2	9	4	1
1996	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC
Q MEDIO	82,4	64,6	42,8	19,8	16,7	14,1	11,4	10,5	-	-	-	-
Q,MED,MAX,	123	76,1	56,2	29,6	17,6	17,3	12,7	11,2	-	-	-	-
DIA	1	1	6	1	5	14	7	18	-	-	-	-
Q,MED,MIN,	59,9	57,3	29,3	16,7	15,2	11,9	10,3	9,73	-	-	-	-
DIA	23	29	31	30	31	30	31	14	-	-	-	-
Q,INST,MAX,	138	86,7	69,7	34,6	18,3	24	12,8	11,4	-	-	-	-
DIA	1	17	6	1	4	13	7	18	-	-	-	-
Q,INST,MIN,	55,1	45,2	25,8	16,5	15,1	11,8	10,2	9,46	-	-	-	-

DIA	26	29	31	30	31	30	23	14	-	-	-	-
1997	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC
Q MEDIO	-	-	21,4	22,3	11,7	21,9	-	20,9	12,2	10,4	16	23,2
Q,MED,MAX,	-	-	25,6	79,4	13,4	42,3	-	28	23,3	10,4	28,3	34,1
DIA	-	-	31	23	28	16	-	31	1	1	29	7
Q,MED,MIN,	-	-	19,2	15,6	10,7	10,6	-	18,8	10,4	10,4	10,4	15,7
DIA	-	-	27	22	31	1	-	23	11	1	1	12
Q,INST,MAX,	-	-	34	305	16,4	63,6	-	38,1	32	10,4	30,3	38,8
DIA	-	-	31	23	28	15	-	31	1	1	29	7
Q,INST,MIN,	-	-	17,6	14,7	10,6	10,5	-	18,6	10,4	10,4	10,4	14,5
DIA	-	-	28	21	31	1	-	23	10	1	1	12
1998	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC
Q MEDIO	25,1	12,4	-	-	-	20,9	17,4	15	14,4	23	44,8	69
Q,MED,MAX,	35,6	14,7	-	-	-	26	19	15,9	15	40,1	67,6	91,5
DIA	5	10	-	-	-	5	1	1	11	31	23	11
Q,MED,MIN,	13,2	11,5	-	-	-	19,1	15,7	14,3	13,9	14,6	31,6	46
DIA	31	26	-	-	-	30	30	21	9	1	8	21
Q,INST,MAX,	40,7	14,9	-	-	-	38,8	19,3	16	15,6	44,4	75,7	108
DIA	5	10	-	-	-	5	1	1	11	29	23	30
Q,INST,MIN,	12,6	11,5	-	-	-	19	15,5	14,2	13,8	14,4	29,3	39
DIA	31	23	-	-	-	30	30	19	9	2	8	21
1999	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC
Q MEDIO	68	55,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Q,MED,MAX,	97,6	76,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DIA	2	19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Q,MED,MIN,	52	44,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DIA	18	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Q,INST,MAX,	118	112	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DIA	1	19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Q,INST,MIN,	40,4	33,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DIA	18	16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

■ Tabla B.2 Tabla de Estadística de Caudales del Río Tinguiririca

1989	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC
Q MEDIO	76,5	65	32	17,9	16,1	12,5	12,7	47	39	52,3	91,4	83,9
Q,MED,MAX,	111	78,7	49,5	20,4	20,4	16,6	21,5	201	51,2	63,4	124	102
DIA	3	4	1	2	4	1	26	24	4	19	28	21
Q,MED,MIN,	56,1	50,4	20,9	16,3	13,1	11,3	10,4	16	27,3	43,1	55	61,8
DIA	20	28	31	25	29	24	12	2	13	8	3	5
Q,INST,MAX,	132	98,2	62,3	21,5	22,3	19,5	30,3	361	64,8	75,5	144	117
DIA	2	4	1	1	6	1	26	23	4	19	27	22
Q,INST,MIN,	48,4	41,4	20,4	15,1	13	11,1	10,4	15,6	26,7	40,6	49,6	57,5
DIA	20	28	31	25	29	30	12	2	13	3	3	7

	1990	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC
Q MEDIO		86,1	-	28,2	18,4	15,6	13	14,3	17,9	32,8	38	56,7	62,1
Q,MED,MAX,		90,3	-	34,4	26,6	26,9	14,5	21,6	38	42,8	61,6	90,3	87,3
DIA		1	-	13	1	9	23	7	31	10	24	28	30
Q,MED,MIN,		76,4	-	20,4	14,9	13,1	12,1	11,8	15,4	25,6	25,7	31,3	39,4
DIA		13	-	28	30	31	21	3	2	18	8	14	13
Q,INST,MAX,		108	-	43,8	36,1	78,7	17,9	26,6	54,7	85,9	75,3	107	107
DIA		1	-	14	1	9	23	7	30	10	24	28	29
Q,INST,MIN,		72	-	19,1	14,5	12,4	11,7	10,9	15	24,8	24,5	29,3	35,2
DIA		4	-	28	28	31	30	17	2	18	8	15	13
	1991	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC
Q MEDIO		60,5	51,8	34,7	24,9	35,2	-	-	40,2	49,8	47,7	66,8	74,6
Q,MED,MAX,		77,9	57	48,1	87,5	306	-	-	45,3	74	65,4	80,9	135
DIA		1	10	5	13	28	-	-	30	16	31	21	25
Q,MED,MIN,		38,9	44,8	22,1	16,3	13,4	-	-	37,1	38	37,9	60,4	60
DIA		21	4	31	30	13	-	-	2	7	15	25	16
Q,INST,MAX,		92,8	71	60,7	193	565	-	-					
DIA		12	9	6	13	28	-	-					
Q,INST,MIN,		34,2	36,3	20	15,7	12,9	-	-					
DIA		21	20	31	30	13	-	-					
	1992	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC
Q MEDIO		106	-	-	-	-	-	-	32,8	42,8	67,1	114	127
Q,MED,MAX,		128	-	-	-	-	-	-	74,7	58,9	98,8	164	157
DIA		12	-	-	-	-	-	-	30	30	24	18	28
Q,MED,MIN,		75	-	-	-	-	-	-	27,8	35,9	40,7	64,2	95,6
DIA		1	-	-	-	-	-	-	13	5	6	4	6
Q,INST,MAX,													
DIA		-	-	-	-	-	-	-					
Q,INST,MIN,													
DIA		-	-	-	-	-	-	-					
	1993	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC
Q MEDIO		124	77,5	41,5	41,9	-	-	-	-	-	47,8	78,8	116
Q,MED,MAX,		162	115	50,7	170	-	-	-	-	-	81,7	111	167
DIA		2	4	1	18	-	-	-	-	-	8	28	31
Q,MED,MIN,		85	53,7	34	22,2	-	-	-	-	-	0	41	47,2
DIA		31	28	31	9	-	-	-	-	-	1	1	1
Q,INST,MAX,											118	154	287
DIA											27	23	3
Q,INST,MIN,											33,7	38,4	36,9
DIA											24	1	2
	1994	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC
Q MEDIO		136	67,7	46	27,7	29,7	34,2	75	25	31,8	45,1	94,1	113
Q,MED,MAX,		178	96,7	75,2	118	84,5	68	488	26,5	59,5	53,4	149	142
DIA		1	1	8	27	24	21	25	20	23	29	24	23
Q,MED,MIN,		89,7	48	26,4	21,6	25,6	28,2	27,2	23,8	23,6	37,1	49,8	54,1

DIA	25	17	31	25	21	13	13	31	1	4	5	6	
Q,INST,MAX,	214	110	90,6	226	118	115	565	26,8	76,8	62,2	179	162	
DIA	1	1	7	27	24	21	25	20	23	14	24	15	
Q,INST,MIN,	80,7	44,3	25,7	21,6	25,4	27,9	26,9	23,5	23,2	35,9	45,9	49,3	
DIA	25	18	30	26	20	13	14	26	1	4	6	6	
	1995	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC
Q MEDIO	87,3	58,2	37,2	32,2	24,2	44,9	39,1	39,6	53,5	58,9	107	140	
Q,MED,MAX,	114	70,9	47,6	165	107	157	51	67,6	73,9	106	122	190	
DIA	2	8	2	30	1	27	5	31	5	31	29	28	
Q,MED,MIN,	70,1	45,7	29,4	20,3	12,5	26	34,3	34,5	43,9	42,4	93,7	97,4	
DIA	11	28	31	25	29	8	17	23	28	8	8	1	
Q,INST,MAX,	130	85,4	49,7	180	145	212	60,7	87,6	85,7	136	141	226	
DIA	1	8	3	30	1	27	5	30	5	31	29	28	
Q,INST,MIN,	60,6	39	26,9	19,6	12,4	22,3	33,2	30,8	42,5	41,4	84,7	87,9	
DIA	12	28	31	24	29	1	17	15	28	10	9	1	
	1996	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC
Q MEDIO	110	79,1	45,3	20,9	14,2	18,5	16,2	20,7	24,1	28,9	58,8	43,6	
Q,MED,MAX,	125	109	67,4	31,3	16,6	47,9	22,1	27,6	32,2	44,3	78,6	56,6	
DIA	3	1	6	5	16	13	5	18	11	31	25	30	
Q,MED,MIN,	95	56,1	25,1	15,5	12,1	11,3	13,4	13,5	17,2	20,1	37,2	26	
DIA	13	20	31	30	30	8	2	3	3	19	9	10	
Q,INST,MAX,	139	122	77,4	38	21,2	83,9	26,1	34,3	39,7	51,4	91,2	72,7	
DIA	10	1	6	4	16	13	7	24	30	31	25	30	
Q,INST,MIN,	91,6	50,3	23,2	15,2	11,5	11	12,8	13,2	15,6	19,3	35,7	23,7	
DIA	13	15	31	29	30	11	4	3	3	19	9	10	
	1997	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC
Q MEDIO	57,8	46,7	18,2	19,1	64	101	42,5	61,6	81,1	71,7	-	147	
Q,MED,MAX,	65,2	59,5	18,2	146	70,6	239	109	136	164	94	-	175	
DIA	3	15	31	24	30	21	30	17	7	14	-	9	
Q,MED,MIN,	39,6	30,8	18,2	3,51	57,5	48,5	26,5	38,8	47,6	53,2	-	120	
DIA	8	4	31	21	31	2	23	7	15	31	-	14	
Q,INST,MAX,	88,4	79,8	21,9	331	73,3	281	146	168	288	107	-	204	
DIA	24	15	31	23	30	16	30	16	6	14	-	8	
Q,INST,MIN,	26,7	26,4	17,4	3,35	53,9	47	25,7	37,1	44,2	52,3	-	103	
DIA	29	27	31	21	31	3	23	7	15	31	-	14	
	1998	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC
Q MEDIO	151	76,3	42,1	31,9	19,8	16,9	14,3	11,5	12,4	18,6	26,9	49,6	
Q,MED,MAX,	201	122	69,5	68,8	26,8	17,8	16,1	13,2	15,4	26,3	68,4	67	
DIA	9	1	2	10	11	26	1	1	15	30	24	27	
Q,MED,MIN,	96,3	59,9	28,6	20,8	17,2	15,6	12,8	10,7	10,6	12,9	14,9	36,1	
DIA	29	25	29	30	22	4	26	21	9	1	12	16	
Q,INST,MAX,	222	146	76,9	87,9	42,2	18,7	16,9	13,7	19,7	31,1	82	89,8	
DIA	9	1	3	10	23	25	1	1	15	25	24	27	
Q,INST,MIN,	86,4	56,2	27,4	20,4	17	15,2	12,3	9,82	9,91	11,9	14,3	31,9	
DIA	29	26	30	30	22	5	28	13	7	1	12	16	

	1999	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC
Q MEDIO		48,2	43,3	36,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Q,MED,MAX,		67,9	63,2	36,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DIA		3	20	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Q,MED,MIN,		40	35	36,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DIA		21	7	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Q,INST,MAX,		98,1	93,6	40	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DIA		3	20	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Q,INST,MIN,		33,1	29,6	32,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DIA		31	7	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-

■ Tabla B.3 Tabla de Estadística de Caudales del Estero Alhué

	1989	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC
Q MEDIO		0,233	0,181	0,478	0,858	0,395	0,358	2,85	27	12	2,54	1,34	0,576
Q,MED,MAX,		0,347	0,292	0,776	1,08	1	0,428	19,7	246	29	4,42	1,86	0,798
DIA		6	28	28	24	12	4	27	24	1	2	6	2
Q,MED,MIN,		0,161	0,138	0,31	0,247	0,247	0,286	0,345	3,51	4,14	1,57	0,683	0,21
DIA		31	6	7	30	2	24	18	13	30	31	29	5
Q,INST,MAX,		0,368	0,336	0,83	1,13	1,07	0,601	28,9	377	30,8	4,52	1,89	0,896
DIA		6	28	31	21	12	29	27	24	1	1	4	3
Q,INST,MIN,		0,126	0,118	0,289	0,19	0,184	0,221	0,296	2,93	3,96	1,43	0,626	0,095
DIA		30	6	1	30	3	24	18	13	30	30	29	4
	1990	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC
Q MEDIO		0,555	0,404	0,599	0,932	0,666	0,372	0,384	0,304	1,42	1,91	1,33	0,748
Q,MED,MAX,		0,839	0,484	0,863	1,25	1,19	0,597	0,756	0,68	3,82	2,54	1,86	1,17
DIA		16	27	30	28	14	5	8	31	20	13	1	6
Q,MED,MIN,		0,334	0,336	0,44	0,571	0,438	0,209	0,24	0,19	0,539	1,51	1,04	0,129
DIA		20	7	15	30	9	12	30	5	2	6	17	18
Q,INST,MAX,		1,15	0,554	0,905	5,57	5,46	0,626	0,824	0,725	4,68	2,67	1,91	1,2
DIA		16	27	30	28	14	5	8	31	20	13	1	6
Q,INST,MIN,		0,278	0,296	0,386	0,47	0,404	0,158	0,191	0,149	0,482	1,44	0,948	0,056
DIA		20	6	15	30	9	12	28	4	2	6	24	18
	1991	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC
Q MEDIO		0,119	0,088	0,361	0,494	2,95	16	28,5	11,2	8,21	3,8	2,32	1,48
Q,MED,MAX,		0,601	0,202	0,482	0,99	32,1	60,5*	105*	23,8	27,3	4,66	3,82	2,03
DIA		1	27	8	19	29	20	20	1	18	15	3	25
Q,MED,MIN,		0,024	0,022	0,144	0,237	0,51	2,18	6,01	3,94	3,09	3	1,18	1,3
DIA		29	8	1	5	11	16	7	26	15	27	23	7
Q,INST,MAX,		0,656	0,488	0,545	1,02	64,9*	129*	174*	24,2	32,9	4,77	3,85	2,7
DIA		1	28	8	19	28	19	20	1	17	14	4	25
Q,INST,MIN,		0,006	0,005	0,11	0,222	0,508	2,16	5,91	3,83	3,04	2,84	1,05	1,22

DIA	28	3	1	4	10	16	7	25	14	29	23	9
	1992											
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC
Q MEDIO	1,4	1,26	1,55	1,25	11,7	63,4*	19,2	13,2	16,3	6,38	3,18	1,67
Q,MED,MAX,	1,69	1,42	1,81	1,62	116*	240*	36,5	98,7*	40,9	9,41	4,32	2,32
DIA	1	17	26	2	26	25	1	30	1	1	1	2
Q,MED,MIN,	1,17	1,07	1,28	0,962	0,975	10,4	12,2	6,13	10,4	4,19	2,1	1,31
DIA	30	6	3	30	1	4	31	20	27	31	25	22
Q,INST,MAX,	1,74	1,44	2,71	1,63	187*	311*	38,7	216*	49,2	9,7	4,34	2,49
DIA	2	17	26	2	26	5	1	30	1	1	1	1
Q,INST,MIN,	1,15	1,06	1,25	0,933	0,956	10,2	12,1	5,78	9,28	4,12	2,02	1,19
DIA	30	5	3	28	1	4	31	21	30	31	26	21
	1993											
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC
Q MEDIO	0,916	0,983	1,21	1,64	3,35	12,7	16,8	4,75	4,35	2,41	1,29	0,674
Q,MED,MAX,	1,55	1,7	1,59	1,64	3,77	66,3	47,1	7,51	5,05	3,32	1,71	0,899
DIA	2	19	14	20	25	4	3	1	14	1	17	4
Q,MED,MIN,	0,371	0,428	0,877	1,64	3,06	2,98	8,01	3,06	3,34	1,3	0,84	0,522
DIA	28	6	4	19	29	2	31	28	30	30	28	29
Q,INST,MAX,	1,67	1,76	1,64	1,67	3,8	113*	60,3*	7,63	5,08	3,44	1,77	1,01
DIA	2	19	14	19	25	4	2	1	14	1	8	3
Q,INST,MIN,	0,279	0,315	0,81	1,62	2,92	2,9	7,63	3,03	1,89	1,26	0,802	0,382
DIA	28	6	3	20	30	2	31	28	22	30	26	24
	1994											
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC
Q MEDIO	0,522	0,514	-	-	4,3	4,09	16,9	12,6	4,33	2,6	1,42	0,893
Q,MED,MAX,	0,852	0,655	-	-	19,1	10,4	75	19	6,04	3,74	1,85	1,11
DIA	2	6	-	-	24	22	21	1	1	1	1	4
Q,MED,MIN,	0,32	0,302	-	-	0,384	1,95	3,7	6,83	3,78	1,77	0,699	0,728
DIA	19	2	-	-	22	13	16	31	20	29	29	2
Q,INST,MAX,	0,885	0,68	-	-	27,1	11,3	153	19,7	6,45	3,85	1,88	1,24
DIA	2	3	-	-	24	22	20	1	1	1	1	4
Q,INST,MIN,	0,286	0,238	-	-	0,34	1,91	3,63	6,45	3,74	1,68	0,694	0,68
DIA	31	3	-	-	22	14	16	31	14	29	28	20
	1995											
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC
Q MEDIO	0,717	0,632	0,306	0,5	1,4	4,77	8,26	11,3	6,2	2,39	1,26	1,12
Q,MED,MAX,	0,843	0,753	0,56	1,29	1,52	10,6	19,5	29,6	10,9	3,53	1,47	1,83
DIA	1	6	2	30	31	25	29	14	1	9	12	31
Q,MED,MIN,	0,632	0,563	0,092	0,354	1,18	1,49	3,56	5,13	2,82	1,3	0,91	0,866
DIA	28	18	15	19	3	1	22	12	30	26	30	2
Q,INST,MAX,	0,948	0,823	0,659	1,37	1,58	13,6	21,7	39,1	11,1	3,65	1,51	1,9
DIA	14	6	3	30	31	17	29	14	1	9	14	31
Q,INST,MIN,	0,505	0,498	0,086	0,322	1,12	1,43	3,5	5,03	2,8	1,22	0,84	0,737
DIA	9	8	14	18	3	1	22	12	30	26	30	2
	1996											
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC
Q MEDIO	0,944	0,865	0,533	0,914	0,763	1,71	5,15	3,68	2,73	0,743	-	-
Q,MED,MAX,	1,81	1,18	0,812	1,57	1,3	3,34	12,6	9,64	6,23	1,05	-	-
DIA	1	11	8	10	17	17	8	25	1	1	-	-

Q,MED,MIN,	0,571	0,429	0,29	0,29	0,353	0,525	1,17	1,05	1,05	0,561	-	-	
DIA	27	29	21	1	4	4	31	3	28	15	-	-	
Q,INST,MAX,	1,85	1,19	0,851	1,65	1,4	3,48	14,1	10	6,34	1,19	-	-	
DIA	1	11	8	4	17	16	8	25	1	1	-	-	
Q,INST,MIN,	0,399	0,399	0,29	0,29	0,29	0,503	1,12	1,01	0,897	0,446	-	-	
DIA	23	29	20	1	4	1	31	3	27	14	-	-	
	1997	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC
Q MEDIO	0,517	0,839	0,888	0,694	3,43	80,4	20,6	29	42,2	14,9	7,18	2,59	
Q,MED,MAX,	0,719	1,26	1,2	1,01	7,7	432*	55,2	37,7	219	39,3	9,36	4,53	
DIA	31	26	16	24	31	21	31	1	7	14	2	1	
Q,MED,MIN,	0,351	0,674	0,17	0,188	0,947	3,44	7,53	25,3	13,3	10,2	4,99	1,59	
DIA	28	3	27	3	28	3	25	3	30	10	30	30	
Q,INST,MAX,	0,76	1,33	1,24	1,56	13,8	547*	72,4	45,9	323	55,3	9,48	4,84	
DIA	31	26	15	23	30	20	30	1	7	14	2	1	
Q,INST,MIN,	0,314	0,652	0,17	0,17	0,92	3,36	7,25	24,6	12,9	9,33	4,84	1,54	
DIA	28	3	27	3	28	3	26	3	30	31	30	30	
	1998	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC
Q MEDIO	0,897	1,52	1,02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Q,MED,MAX,	1,7	2,05	1,83	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DIA	1	27	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Q,MED,MIN,	0,334	0,471	0,402	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DIA	30	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Q,INST,MAX,	1,78	2,1	1,88	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DIA	2	27	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Q,INST,MIN,	0,294	0,38	0,21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DIA	30	28	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

* Dato descartado por estar en zona de extrapolación por sobre los 55 m³/s

ANEXO C PRECIPITACIÓN ACUMULADA MENSUAL

■ Tabla C.1 Tabla de Precipitaciones acumuladas mensuales en Rancagua

AÑO	e	f	m	a	m	j	j	a	s	o	n	d
1989	0	0	0	28,1	50,9	22,6	92,4	141,9	24,8	7,5	0,7	0,2
1990	0	13,2	18,2	3,7	9	4,3	99,4	67	55,6	23,4	0,6	0,3
1991	-	-	0	35,7	99,5	119,3	99,4	26,2	42	22,5	0	32,9
1992	0	0	5,5	28,6	187	183,7	20,6	78,6	23,3	0,5	5,6	0
1993	0	0	0	-	116,9	89,6	62,5	21,6	10,9	33,4	17,9	4,1
1994	0	0	0	56,2	87,6	73,3	125,5	10,5	21,5	11	0	10
1995	0	6,5	0	62,7	3,1	126	105,5	30	25	12	1	0
1996	0,5	0	0	45,5	8	66	31	93	5	8,2	0	1,5
1997	0	0	10	13,3	140,5	311,7	56,6	101,5	85	71,2	9	4
1998	0	0,1	0	34,1	31,1	25	0	0,2	14,2	0	0	0
1999	0	0	4,5	4,5	26	48	47,7	125	106,9	23,2	-	-

ANEXO D LEGISLACIÓN

SECCIÓN D.1 NORMA 1 333 DEL AÑO 1978

Esta norma regula ciertos parámetros que debe cumplir el agua de acuerdo al uso que se le dé. Se comparó los resultados con el uso para riego debido al potencial uso que se le puede dar en la agricultura a las aguas del Estero Carén, además que muchos autores ha procedido de la misma forma. También se ha tomado algunos de los valores para la vida acuática. Existe un anteproyecto de norma de calidad para la protección de las aguas continentales, pero como aún no sale la norma definitiva, no se han comparado los valores con dicho anteproyecto.

SUBSECCIÓN D.1.1 USO DE AGUA PARA RIEGO

A continuación se muestran los valores normados con los que se compararon los valores en el primer subcapítulo del Tercer Capítulo.

- Tabla D.1 Tabla con algunos valores de parámetros normados para uso de agua para riego

Elemento	Unidad	Límite Máximo
Cadmio (Cd)	mg/l	0,010
Cobre (Cu)	mg/l	0,20
Manganeso (Mn)	mg/l	0,20
Molibdeno (Mo)	mg/l	0,010
Plomo (Pb)	mg/l	5,00
Sulfato (SO ₄ ⁻)	mg/l	250,00

Además la norma sostiene sobre la Tabla 1 de la cuál se extrajo la Tabla D.1:

El Ministerio de Obras Públicas podrá autorizar valores mayores o menores para los límites máximos de cada uno de los elementos de la Tabla 1 mediante Resolución fundada en aquellos casos calificados que así lo determinen.

Además se fija una clasificación de aguas para riego de acuerdo a su salinidad

■ Tabla D.2 Clasificación de aguas de acuerdo a su salinidad

Clasificación	Conductividad específica, c, $\mu\text{mhos/cm}$ a 25 °C	Sólidos disueltos totales, s, mg/l a 105°C
Agua con la cual generalmente no se observarán efectos perjudiciales	$c \leq 750$	$s \leq 500$
Agua que puede tener efectos perjudiciales en cultivos sensibles	$750 < c \leq 1\ 500$	$500 < s \leq 1\ 000$
Agua que puede tener efectos adversos en muchos cultivos y necesita de métodos de manejo cuidadosos	$1\ 500 < c \leq 3\ 000$	$1\ 000 < s \leq 2\ 000$
Agua que puede ser usada para plantas tolerantes en suelos permeables con métodos de manejo cuidadosos	$3\ 000 < c \leq 7\ 500$	$2\ 000 < s \leq 5\ 000$

En cuánto a requisitos bacteriológicos para aguas de riego verduras y frutas que se desarrollan aras de suelo y se consumen habitualmente en estado crudo, los coliformes fecales deben ser menor o igual a 1 000 coliformes fecales/100ml

El pH del agua de riego debe estar entre 5,5 y 9,0

SUBSECCIÓN D.1.2 VIDA ACUÁTICA

Para la vida acuática se fija que el pH debe estar entre 6,0 Y 9,0

- El Oxígeno Disuelto debe ser mínimo de 5 mg/l
- La Alcalinidad Total minima debe ser de 20 mg/l de CaCO_3

ANEXO E FOTOGRAFÍAS

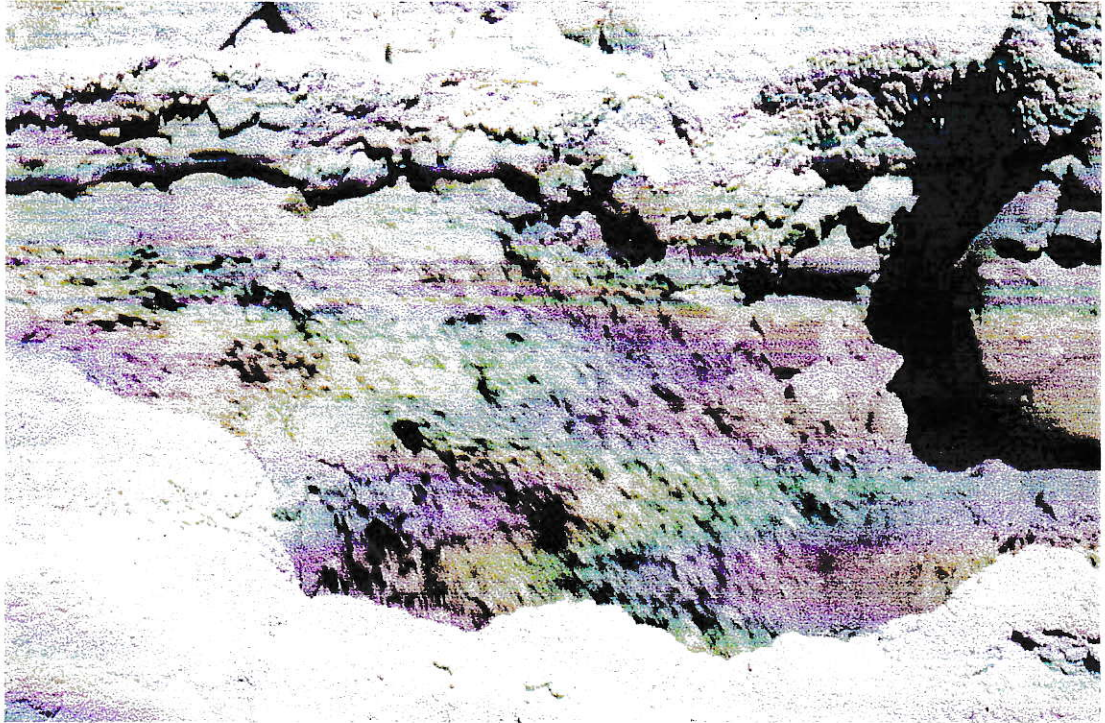
• Figura E.1 Estero Carén antes de llegar a los relaves



• Figura E.2 Canoa de los relaves



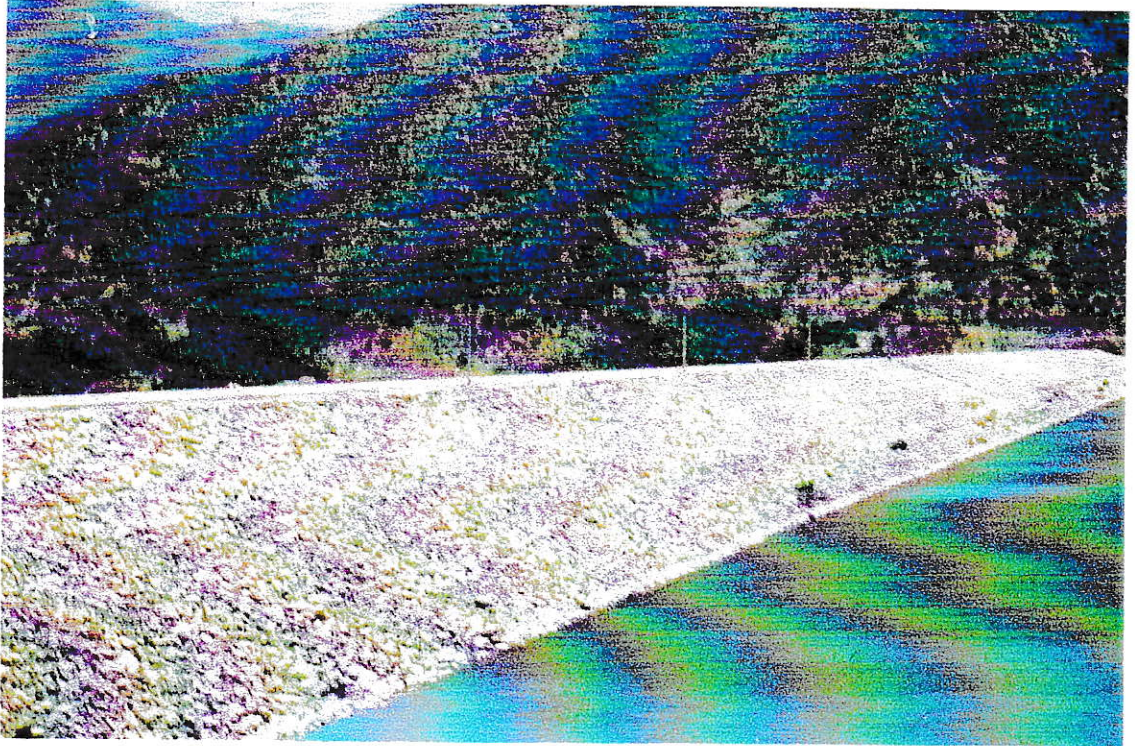
• Figura E.3 Relaves



• Figura E.4 Embalse Carén desde la Cortina



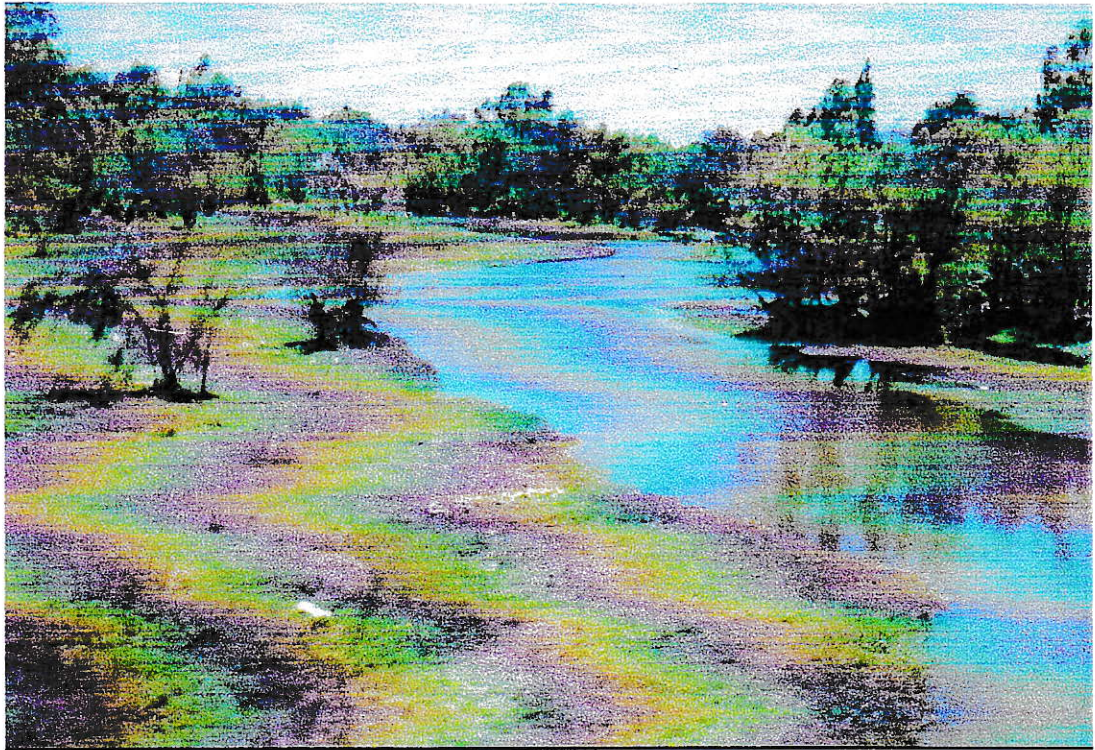
• Figura E.5 Cortina del Embalse Carén



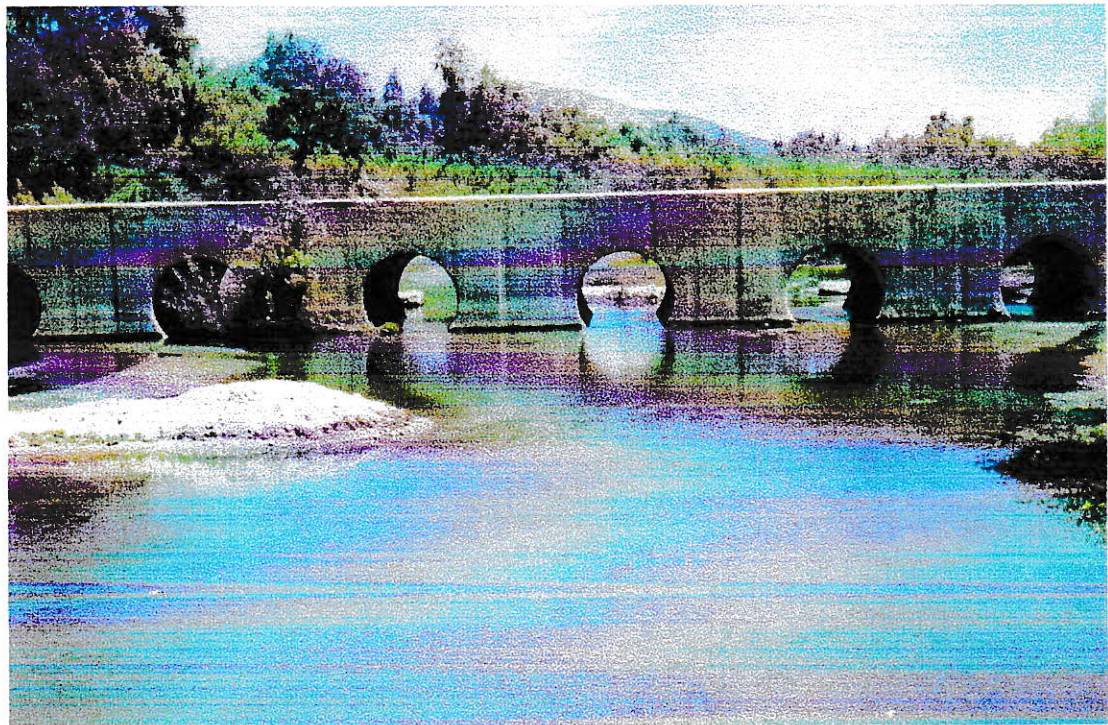
• Figura E.6 Vista desde la Cortina del embalse hacia canal de filtraciones y el valle



• Figura E.7 Estero Carén antes de confluencia con Estero Alhué



• Figura E.8 Estero Alhué después de confluencia con Estero Carén



• Figura E.9 Estero Alhué desde puente Alhué



ANEXO F TEMPERATURAS MÍNIMAS Y MÁXIMAS DEL AIRE EN LA ESTACIÓN LA ROSA

■ Tabla F.1 Temperaturas mínimas y máximas del aire de la estación La Rosa.

AÑO	1989		1990		1998		1999	
	t _{Min} /°C	t _{MAX} /°C	t _{Min} /°C	t _{MAX} /°C	t _{Min} /°C	t _{MAX} /°C	t _{Min} /°C	t _{MAX} /°C
15/may	3,8	20,4	4,0	18,9	1,8	24,2	9,0	19,6
16/may	4,7	21,9	5,1	18,9	1,4	27,0	11,2	16,4
17/may	3,2	19,8	3,9	17,6	1,5	25,0	6,5	23,8
18/may	3,1	24,3	3,5	21,5	5,0	20,0	4,2	22,0
19/may	2,7	22,1	1,0	20,3	9,0	15,0	2,0	19,0
20/may	2,6	20,4	5,8	19,2	12,0	16,0	7,2	17,9
21/may	9,1	21,0	4,5	21,3	7,8	19,0	6,2	18,2
22/may	7,0	21,2	2,9	22,6	5,0	13,4	4,6	19,0
23/may	6,9	18,9	5,0	12,9	9,0	20,0	4,0	14,2
24/may	2,6	21,7	3,5	14,7	8,0	21,0	0,6	17,2
25/may	1,4	15,0	3,2	14,4	10,0	21,4	0,6	14,6
26/may	6,2	12,5	6,9	13,1	7,5	17,5	4,6	13,0
27/may	2,6	13,5	3,3	16,3	10,0	15,0	9,0	13,0
28/may	6,3	17,5	-1,6	16,3	11,0	17,0	8,6	17,0
29/may	2,6	17,7	1,6	15,9	5,0	18,4	2,6	16,0
30/may	8,0	15,0	-0,3	17,1	3,6	15,2	5,0	19,2
31/may	2,8	13,0	-0,7	16,2	2,0	18,5	2,0	19,2
01/jun	5,7	11,0	3,0	16,1	2,0	15,5	7,0	12,6
02/jun	9,0	15,0	4,5	12,0	4,9	17,3	6,6	17,4
03/jun	2,8	21,4	8,5	12,9	6,0	19,2	2,0	13,4
04/jun	7,7	21,3	2,4	15,0	8,8	15,4	1,5	18,4
05/jun	7,3	13,9	-1,0	17,4	9,2	16,2	-1,0	13,2
06/jun	9,9	13,2	3,1	19,0	7,6	19,6	3,0	18,2
07/jun	8,5	15,6	4,2	18,6	4,0	19,0	2,5	14,6
08/jun	9,0	19,5	3,8	19,5	4,5	14,0	6,2	14,2
09/jun	6,9	19,5	7,4	19,9	9,0	17,5	1,2	14,6
10/jun	4,5	17,0	1,1	16,0	7,0	19,6	-1,0	18,0
11/jun	2,8	21,2	2,0	14,7	2,2	18,0	2,2	11,4
12/jun	3,4	16,4	8,0	10,0	7,5	19,0	1,4	18,0
13/jun	5,0	17,0	6,0	14,4	6,0	14,0	7,0	18,8
14/jun	3,4	16,0	3,7	19,3	4,5	11,4	9,0	17,0

AÑO DÍA/MES	1989		1990		1998		1999	
	t _{Min} /°C	t _{MAX} /°C	t _{Min} /°C	t _{MAX} /°C	t _{Min} /°C	t _{MAX} /°C	t _{Min} /°C	t _{MAX} /°C
15/jun	0,6	16,7	6,6	19,9	5,9	13,0	11,0	14,6
16/jun	5,6	16,8	4,5	12,3	4,8	17,0	7,5	13,0
17/jun	2,8	17,3	9,8	17,2	9,0	20,2	5,4	14,0
18/jun	-0,6	17,6	4,6	12,6	3,5	15,8	10,0	18,8
19/jun	-0,5	17,8	2,3	13,8	10,5	19,6	4,8	12,5
20/jun	1,6	13,5	0,2	20,0	8,0	18,4	1,2	14,6
21/jun	6,0	18,0	4,3	18,2	6,0	14,0	5,5	10,6
22/jun	0,6	15,8	8,4	12,2	0,0	16,8	4,0	16,0
23/jun	-1,5	11,3	7,1	16,1	1,2	15,0	7,2	15,0
24/jun	7,8	16,5	5,4	15,1	1,9	19,2	9,0	12,8
25/jun	4,7	17,5	0,7	19,3	1,0	18,0	8,2	12,8
26/jun	10,6	17,0	4,9	19,1	2,6	19,3	1,7	17,2
27/jun	8,8	16,0	4,3	15,7	0,1	17,2	5,0	15,0
28/jun	5,6	19,4	4,9	15,3	4,0	14,0	9,8	12,8
29/jun	7,4	15,4	0,3	18,8	9,0	17,2	7,2	13,4
30/jun	5,2	16,0	5,8	12,7	2,0	17,8	7,2	17,0
01/jul	2,0	16,0	4,5	13,6	3,0	12,0	8,2	14,8
02/jul	0,3	15,6	3,3	16,8	0,7	17,0	0,5	16,4
03/jul	-1,7	11,9	0,2	17,9	1,5	17,5	0,6	16,4
04/jul	-1,5	15,0	1,5	7,9	0,2	14,5	0,5	15,0
05/jul	0,0	16,1	5,2	12,4	10,0	17,0	0,1	17,0
06/jul	-2,2	14,8	3,3	14,1	5,0	18,4	0,8	14,6
07/jul	7,0	18,0	7,9	13,2	10,0	17,4	1,8	15,6
08/jul	0,1	14,0	5,0	14,8	3,5	18,0	0,5	10,5
09/jul	8,4	12,5	2,6	13,7	2,0	17,4	7,0	10,5
10/jul	3,5	16,8	3,3	19,8	-3,0	15,4	7,0	10,6
11/jul	1,0	19,3	3,6	21,9	0,5	7,8	8,0	15,6
12/jul	6,6	20,8	6,0	14,2	6,4	9,3	1,8	12,5
13/jul	6,9	22,5	7,6	14,4	5,0	10,0	-2,4	13,5
14/jul	5,8	25,6	8,3	15,2	1,8	13,6	-1,2	12,6
15/jul	6,0	16,4	-1,7	15,6	5,2	12,4	-3,5	12,3
16/jul	4,0	16,9	3,3	9,6	5,0	14,6	-3,0	15,5
17/jul	5,8	18,8	5,0	13,0	7,6	16,7	-3,3	12,5
18/jul	5,4	20,6	0,0	12,0	2,0	17,0	-1,0	16,2
19/jul	2,6	16,0	-0,7	8,4	1,0	18,2	6,0	16,2
20/jul	4,5	19,2	-2,4	14,2	2,0	19,0	1,5	15,8
21/jul	4,1	18,2	-1,7	17,1	4,8	13,0	1,2	14,4
22/jul	-0,1	14,6	0,5	15,2	-0,5	13,0	3,4	18,8
23/jul	8,2	12,7	-2,4	13,4	5,3	13,5	0,2	20,4
24/jul	2,6	11,8	5,3	18,3	1,7	19,9	4,2	20,2

AÑO	1989		1990		1998		1999	
	DÍA/MES	t _{Min} /°C	t _{MAX} /°C	t _{Min} /°C	t _{MAX} /°C	t _{Min} /°C	t _{MAX} /°C	t _{Min} /°C
25/jul	6,0	13,5	2,6	14,2	2,7	22,0	4,2	20,6
26/jul	8,4	14,3	1,8	16,8	4,0	15,8	3,4	19,2
27/jul	2,3	16,3	2,6	17,5	6,0	15,5	-0,2	19,0
28/jul	5,8	12,7	3,8	17,9	5,5	18,6	0,3	14,0
29/jul	6,4	15,3	4,5	23,9	2,8	20,0	6,4	14,8
30/jul	1,5	15,0	6,6	10,7	6,0	15,0	-2,0	15,0
31/jul	-0,9	15,9	7,7	17,6	3,8	21,6	-3,0	21,8
01/ago	7,4	12,4	1,9	14,9	0,1	18,4	1,0	22,2
02/ago	2,4	18,8	5,7	23,5	5,9	17,0	7,0	13,7
03/ago	9,0	14,2	5,4	23,1	8,0	16,6	10,0	16,2
04/ago	0,4	18,5	5,7	13,7	0,0	20,2	3,8	16,8
05/ago	3,8	21,5	7,0	13,8	6,0	21,0	9,0	13,5
06/ago	5,0	20,6	4,0	17,2	3,0	15,4	7,0	17,2
07/ago	9,4	16,4	9,7	20,9	5,0	17,7	3,0	19,2
08/ago	2,2	18,3	8,9	23,0	5,2	18,4	4,4	21,2
09/ago	4,4	19,6	1,8	22,2	1,8	18,0	7,2	24,4
10/ago	3,7	24,0	2,4	20,8	0,0	19,0	3,4	25,0
11/ago	2,0	22,0	6,5	22,5	-0,3	19,0	5,8	25,0
12/ago	7,3	16,1	9,5	13,3	0,8	16,0	3,2	25,0
13/ago	4,7	20,6	10,1	16,6	1,5	18,0	-1,2	20,0
14/ago	4,8	20,9	8,0	17,1	-1,3	18,5	-1,8	19,0
15/ago	3,3	12,2	3,0	18,3	6,8	19,4	1,6	18,0

ANEXO G VOLÚMENES DEL ÚLTIMO DÍA DEL MES DEL EMBALSE RAPEL

■ Tabla G.1 Volúmenes del último día de cada mes del Embalse Rapel

AÑO	V/ [hm ³]												PROM	MIN	MAX
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D			
1970							558	480	434	381	384	470	451	381	558
1971	395	392	385	373	366	490	468	496	512	557	671	664	481	366	671
1972	667	676	663	582	457	664	464	686	693	686	554	662	621	457	693
1973	683	657	674	640	619	401	485	463	420	440	559	664	559	401	683
1974	681	667	569	507	577	645	400	399	394	378	493	639	529	378	681
1975	685	674	687	525	417	410	448	383	458	597	679	617	548	383	687
1976	685	666	649	515	356	319	323	309	334	576	689	603	502	309	689
1977	560	521	553	478	360	344	683	583	508	373	502	621	507	344	683
1978	689	684	680	577	474	417	693	410	620	569	603	618	586	410	693
1979	688	586	627	572	359	354	565	582	674	606	662	650	577	354	688
1980	691	672	679	607	681	686	697	372	369	368	559	562	579	368	697
1981	661	683	686	497	604	434	431	434	484	363	505	650	536	363	686
1982	696	689	678	616	417	688	684	689	655	682	629	681	650	417	696
1983	693	684	646	563	437	537	549	677	577	485	670	651	597	437	693
1984	659	639	554	463	493	700	537	540	602	628	532	642	582	463	700
1985	674	665	624	398	430	406	530	435	357	558	681	671	536	357	681
1986	662	674	679	541	625	475	460	655	548	439	543	667	581	439	679
1987	678	681	664	534	462	471	659	579	432	504	664	611	578	432	681
1988	654	632	583	566	440	423	482	502	585	557	679	648	563	423	679
1989	625	673	652	540	563	418	450	618	558	613	623	655	582	418	673
1990	666	683	523	527	423	391	406	421	630	657	670	595	549	391	683
1991	614	633	440	499	679	647	628	413	512	368	515	671	552	368	679
1992	649	675	653	535	685	680	422	677	642	377	678	670	612	377	685
1993	669	681	677	455	445	666	555	598	377	442	596	643	567	377	681
1994	679	681	666	633	455	507	675	529	676	456	654	660	606	455	681
1995	660	683	677	621	518	664	667	633	566	416	593	648	612	416	683
1996	602	622	674	628	598	523	577	645	572	379	365	362	546	362	674
1997	352	355	461	453	555	624	619	665	624	592	684	654	553	352	684
1998	654	648	594	454	497	445	373	378	447	447	322	338	466	322	654
1999	317	299	213	192	256	351	418	470	491	426	355	424	351	192	491

PROMEDIO	631	627	604	520	491	510	530	524	525	497	577	610	552	384	673
MIN	317	299	213	192	256	319	323	309	334	363	322	338	351	192	491
MAX	696	689	687	640	685	700	697	689	693	686	689	681	650	463	700

SECCIÓN 1 UNIDADES Y SÍMBOLOS

Se utilizarán las unidades correspondientes al Nuevo Sistema Métrico Decimal:

El Sistema Internacional de Unidades (“Système International d’Unités”, SI)

El Sistema Internacional de Unidades contaba con Unidades Básicas Unidades Suplementarias y Unidades Derivadas hasta 1995. Luego de la Vigésima Conferencia Internacional de Pesos y Medidas (“Conférence Générale des Poids et Mesures”, CGPM), se suprimió la clase de Unidades Suplementarias, luego de considerar las unidades de ésta (el radián rad y el estereorradián sr) como Unidades Derivadas. Se utilizaron los nombres de la nomenclatura española aceptados por el Diccionario de la R.A.E. en su Vigésima Primera Edición del año 1992 cuando la definición de la unidad estaba bajo la acepción de este nombre, y no se nombra en la nomenclatura internacional. Cuando la definición de la unidad (esto es la forma y condiciones en la que se determina la unidad) aparecía como la acepción del termino correspondiente al nombre en la nomenclatura internacional, y en la acepción del nombre en la nomenclatura española se envía al nombre en la nomenclatura internacional; se puso en primer lugar el nombre en la nomenclatura española y en segundo lugar (o entre paréntesis) el nombre en la nomenclatura internacional, dando a entender la vacilación que había entre las dos formas. Cuando no estaba definido o no existía un nombre especial en la nomenclatura española se utilizó exclusivamente el nombre de la nomenclatura internacional.

Otra observación útil respecto de los símbolos de las unidades es que los que fueron originados por nombres propios de científicos se escriben con mayúscula

y los que fueron originados por fenómenos objetos u otros se escriben con minúscula.

SUBSECCIÓN 1.1 CANTIDADES BÁSICAS

A continuación se da un listado de las magnitudes o cantidades básicas en el SI.

■ Tabla 1 Unidades Básicas del Sistema Internacional de Unidades

CANTIDAD (BÁSICA)	NOMBRE	SÍMBOLO
Longitud	Metro	m
Masa	Kilogramo	kg
Tiempo	Segundo	s
Corriente Eléctrica	Amperio	A
Temperatura termodinámica	Kelvinio, Kelvin	K
Cantidad de Substancia	Mol	mol
Intensidad Luminosa	Candela	cd

SUBSECCIÓN 1.2 UNIDADES DERIVADAS

Hay magnitudes que se forman a partir de las magnitudes anteriores, y por lo tanto son magnitudes derivadas de estas. Así, una magnitud derivada Q puede expresarse en términos de las magnitudes SI básicas longitud (l), masa (m), tiempo (t), corriente eléctrica (I), temperatura termodinámica (T), cantidad de substancia (n), e intensidad luminosa (I_V) por una ecuación de la siguiente forma:

■ Ecuación 1 Ecuación de una magnitud derivada SI.

$$Q = l^\alpha m^\beta t^\gamma I^\delta T^\epsilon n^\zeta I_V^{\eta \sum_{k=1}^K a_k}$$

En esta ecuación los exponentes $\alpha, \beta, \gamma, \delta, \varepsilon, \zeta$ y η son números; y los factores a_k también.

La dimensión de Q está definida por la siguiente ecuación:

- Ecuación 2 Definición de la dimensión de una cantidad derivada Q .

$$\dim Q = L^\alpha M^\beta T^\gamma I^\delta \Theta^\varepsilon N^\zeta J^\eta$$

En esta ecuación L, M, T, I, Θ , N y J son las dimensiones de las magnitudes SI básicas longitud, masa, tiempo, corriente eléctrica, temperatura termodinámica, cantidad de sustancia e intensidad luminosa, respectivamente. Los exponentes $\alpha, \beta, \gamma, \delta, \varepsilon, \zeta$ y η son llamados exponentes dimensionales. La unidad SI derivada de Q es $m^\alpha \cdot \text{kg}^\beta \cdot \text{s}^\gamma \cdot \text{A}^\delta \cdot \text{K}^\varepsilon \cdot \text{mol}^\zeta \cdot \text{cd}^\eta$, la cuál se obtiene reemplazando las dimensiones de las magnitudes SI básicas en la dimensión de Q con los símbolos de las respectivas unidades básicas.

Ejemplo: Considere una partícula no relativística de masa m en un movimiento uniforme la cuál viaja una distancia l en un tiempo t . Su velocidad es $v = l/t$ y su energía cinética $E_c = m v^2/2 = l^2 m t^{-2}/2$. La dimensión de E_c es $\dim E_c = L^2 M T^{-2}$ y los exponentes dimensionales son 2, 1, y -2. La unidad SI derivada de E_c es entonces $[\text{m}^2 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-2}]$, al cuál se le da el nombre especial julio y su símbolo [J]

Las siguientes son algunas de las unidades derivadas en el SI. Existen unidades compuestas por unidades básicas y existe un grupo de unidades derivadas con nombres especiales. Además, existen unidades derivadas compuestas por unidades derivadas con nombres especiales y unidades básicas. A continuación se dará un listado de los primeros casos.

■ Tabla 2 Ejemplos de Unidades Derivadas del Sistema Internacional de Unidades.

CANTIDAD DERIVADA	UNIDAD DERIVADA DEL SI	
	NOMBRE	SÍMBOLO
Área	metro cuadrado	m ²
Volumen	metro cúbico	m ³
Rapidez, velocidad	metro por segundo	m/s
Aceleración	metro por segundo cuadrado	m/s ²
Número de onda	metro recíproco	m ⁻¹
Densidad de masa, Concentración de masa	kilogramo por metro cúbico	kg/m ³
Volumen específico	metro cúbico por kilogramo	m ³ /kg
Densidad de corriente	amperio por metro cuadrado	A/m ²
Intensidad del campo magnético	amperio por metro	A/m
Concentración de cantidad de masa	mol por metro cúbico	mol/m ³
Luminancia	andela por metro cuadrado	cd/m ²
Fracción de masa (fracción másica)	kilogramo por kilogramo, que puede ser representado por el número 1	kg/kg=1

■ Tabla 3 Unidades derivadas del Sistema Internacional de Unidades que tienen nombres especiales y símbolos particulares.

CANTIDAD DERIVADA	UNIDAD DERIVADA DEL SI			
	NOMBRE	SÍMBOLO	EXPRESIÓN QUE UTILIZA OTRAS UNIDADES DEL SI	EXPRESIÓN EN TÉRMINOS DE UNIDADES BÁSICAS DEL SI
Ángulo Plano	Radián ^(a)	rad		m·m ⁻¹ =1 ^(b)
Ángulo Sólido	Estereorradián ^(a)	sr ^(c)		m ² ·m ⁻² =1 ^(b)
Frecuencia	Hercio	Hz		s ⁻¹
Fuerza	neutonio, newton	N		m·kg·s ⁻²
Presión, Compresión	pascalio, pascal	Pa	N/m ²	m ⁻¹ ·kg·s ⁻²
Energía, Trabajo, Cantidad De Calor	Julio	J	N·m	m ² ·kg·s ⁻²
Potencia, Flujo Radiante	Vatio	W	J/s	m ² ·kg·s ⁻³
Cantidad De Electricidad, Carga Eléctrica	Culombio	C		s·A
Diferencia De Potencial Eléctrico, Fuerza Electromotriz	Voltio	V	W/A	m ² ·kg·s ⁻³ ·A ⁻¹

CANTIDAD DERIVADA	NOMBRE	UNIDAD DERIVADA DEL SI			EXPRESIÓN EN TÉRMINOS DE UNIDADES BÁSICAS DEL SI
		SÍMBOLO	EXPRESIÓN QUE UTILIZA OTRAS UNIDADES DEL SI		
Capacitancia Eléctrica	Faradio	F	C/V	$m^{-2} \cdot kg^{-1} \cdot s^4 \cdot A^2$	
Resistencia Eléctrica	Ohmio	Ω	V/A	$m^2 \cdot kg^{-3} \cdot A^{-2}$	
Conductancia Eléctrica	Siemensio	S	A/V	$m^{-2} \cdot kg^{-1} \cdot s^3 \cdot A^2$	
Flujo De Inducción Magnética	Weberio	Wb	V·s	$m^2 \cdot kg^{-1} \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$	
Inducción Magnética (o Densidad De Flujo Magnético)	Tesla	T	Wb/m ²	$kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$	
Inductancia	Henrio	H	Wb/A	$m^2 \cdot kg^{-1} \cdot s^{-2} \cdot A^{-2}$	
Temperatura Celsius	grado celsius	°C		K	
Flujo Luminoso	Lumen	Lm	cd·sr ^(c)	$m^2 \cdot m^{-2} \cdot cd = cd$	
Iluminación	Lux	Lx	lm/m ²	$m^2 \cdot m^{-4} \cdot cd = m^{-2} \cdot cd$	
Actividad [De Un Radionúclido]	Becquerel	Bq		s ⁻¹	
Dosis Absorbida, Energía Másica (o Energía Específica) [Comunicada], Kerma	Gray	Gy	J/kg	m ² ·s ⁻²	
Equivalente De Dosis, Equivalente De Dosis Ambiental, Equivalente De Dosis Direccional, Equivalente De Dosis Individual (o Equivalente De Dosis Personal), Dosis Equivalente En Un Organismo (o Dosis Equivalente Orgánica)	Sievert	Sv	J/kg	m ² ·s ⁻²	
Actividad Catalítica	Katal	kat		s ⁻¹ ·mol	

^(a) El radián y el estereorradián pueden ser utilizados, en las expresiones de las unidades derivadas, para distinguir las magnitudes de naturaleza diferente que tienen la misma dimensión.

^(b) En la práctica, se emplea los símbolos [rad] y [sr] cuando es útil, pero la unidad derivada " 1 " no es mencionada habitualmente.

^(c) En fotometría, se mantiene generalmente el nombre y el símbolo de estereorradián, [sr], en la expresión de las unidades.

^(d) Esta unidad puede ser utilizada en asociación con los prefijos del SI, como por ejemplo para expresar el submúltiplo miligrado Celsius, [m°C]

SUBSECCIÓN 1.3 PREFIJOS DEL SI

Se usa para formar múltiplos y submúltiplos de las unidades. A continuación se da un listado de los prefijos usados actualmente en el SI, además de otros que se instauraron para no hacer mal uso de los prefijos del SI en el caso de números binarios.

■ Tabla 4 Prefijos del Sistema Internacional de Unidades.

FACTOR	PREFIJO	SÍMBOLO
10^{24}	yotta	Y
10^{21}	zetta	Z
10^{18}	exa	E
10^{15}	peta	P
10^{12}	tera	T
10^9	giga	G
10^6	mega	M
10^3	kilo	k
10^2	hecto	h
10^1	deca	da
10^{-1}	deci	d
10^{-2}	centi	c
10^{-3}	mili	m
10^{-6}	micro	μ
10^{-9}	nano	n
10^{-12}	pico	p
10^{-15}	femto	f
10^{-18}	atto	a
10^{-21}	zepto	z
10^{-24}	yocto	y

El uso de los prefijos es, en general, bastante simple. Se antepone a las respectivas unidades formando múltiplos y submúltiplos. Se prefiere que en las divisiones de las unidades los prefijos vayan en el numerador, salvo para el caso de la unidad kg, que cuando va en el denominador se prefiere que se use su prefijo.

Es importante notar que el kilogramo es la única unidad que lleva un prefijo en su símbolo y como parte de su nombre. Esto se ha conservado en forma histórica desde su instauración en Francia en el siglo XVIII. Para formar los múltiplos y submúltiplos se prefiere usar como base el gramo, debido a que no se pueden escribir dos prefijos en forma simultánea para acompañar a una unidad. Los símbolos de los prefijos se escriben siempre unidos a los símbolos de las unidades. La unidad °C como se mencionó anteriormente en una nota al pie de la tabla de las unidades derivadas con nombres especiales (Tabla 4), también puede usarse con los prefijos.

Cabe mencionar que existe otro prefijo, en algunos países en desuso, es el miria (“myria”), de símbolo my y valor 10^4 . Así, existían unidades tales como el mirímetro (mym) y el miríagramo (myg) Otra unidad menos usada aún fue el miríalítro (myl)

En Diciembre de 1998, la Comisión Internacional Electrotécnica (CIE, inglés IEC), la organización mundial que lidera la normalización mundial en la electrotecnología, aprobó como nombres y símbolos normales internacionales CIE para los prefijos para los múltiplos para el uso en los campos del procesamiento de datos y la transmisión de datos. Los prefijos son los siguientes:

■ Tabla 5 Prefijos para múltiplos binarios.

FACTOR	NOMBRE	SÍMBOLO	ORIGEN	DERIVACIÓN
2^{10}	Kibi	Ki	kilobinary: $(2^{10})^1$	kilo: $(10^3)^1$
2^{20}	Mebi	Mi	megabinary: $(2^{10})^2$	mega: $(10^3)^2$
2^{30}	Gibi	Gi	gigabinary: $(2^{10})^3$	giga: $(10^3)^3$
2^{40}	Tebi	Ti	terabinary: $(2^{10})^4$	tera: $(10^3)^4$
2^{50}	Pebi	Pi	petabinary: $(2^{10})^5$	peta: $(10^3)^5$
2^{60}	Exbi	Ei	exabinary: $(2^{10})^6$	exa: $(10^3)^6$

Ejemplos y comparaciones con los prefijos del SI:

Un kibibitio 1 Kibit = 2^{10} bit = 1024 bit

Un kilobitio 1 kbit = 10^3 bit = 1000 bit

Un mebibyte 1 MiB = 2^{20} B = 1 048 576 B

Un megabyte 1 MB = 10^6 B = 1 000 000 B

Un gibibyte 1 GiB = 2^{30} B = 1 073 741 824 B

Un gigabyte 1 GB = 10^9 B = 1 000 000 000 B

Hay que destacar que estos nuevos prefijos no son parte del SI, aunque han sido originados a partir de él. Estos prefijos tienen el objetivo de evitar el significado de megabyte (MB) que para algunos significaba 1 048 576 B, para los ingenieros representaba 1 000 000 B y el megabyte de los disquetes de 1,44 MB representaba 1 024 000 B, con lo cuál la confusión era mayor.

SUBSECCIÓN 1.4 UNIDADES FUERA DEL SI

Existen además otras unidades que pueden ser usadas con el SI y que se muestran a continuación:

■ Tabla 6 Unidades fuera del SI.

NOMBRE	SÍMBOLO	VALOR EN UNIDADES SI
Minuto (tiempo)	min	1 min = 60 s
Hora	h	1 h = 60 min = 3600 s
Día	d	1 d = 24 h = 86 400 s
Grado(ángulo)	°	1° = ($\pi/180$) rad
Minuto(ángulo)	'	1' = (1/60)° = ($\pi/10\ 800$) rad
Segundo(ángulo)	"	1" = (1/60)' = ($\pi/648\ 000$) rad
Litro	l, L ^(a)	1 l = 1 dm ³ = 10 ⁻³ m ³
Tonelada métrica	t	1 t = 10 ³ kg
Neper	Np	1 Np = 1
Bel ^(b)	B	1 B = (1/2) ln 10 Np ^(c)
Electronvolt ^(d)	eV	1 eV = 1,602 18 · 10 ⁻¹⁹ J aproximadamente
unidad de masa atómica unificada ^(e)	u	1 u = 1,660 54 · 10 ⁻²⁷ kg aproximadamente
unidad astronómica ^(f)	ua	1 ua = 1,495 98 · 10 ¹¹ m aproximadamente

^(a) Ambos símbolos son aceptados internacionalmente, aunque en EEUU se usa L debido a que se argumenta que la l se puede confundir con el número 1.

^(b) El bel es más comúnmente usado con el prefijo deci: 1 dB = 0,1 B

^(c) Aunque el neper es coherente con las unidades Si y es aceptado por el CIPM, no ha sido por la Conferencia General de Pesos y Medidas (CGPM) y por eso no es una unidad SI

^(d) El electronvolt es la energía cinética adquirida por un electrón que pasa a través de una diferencia de potencial de 1V en el vacío. El valor tiene que ser obtenido experimentalmente, y es por eso que no es conocido exactamente.

^(e) La unidad de masa atómica unificada es igual a 1/12 de la masa de un átomo no enlazado del nuclido ¹²C, en reposo y en su estado basal. El valor es experimental y por eso no es conocido exactamente.

^(f) La unidad astronómica es una unidad de longitud. Su valor es tal que, cuando se usa para describir el movimiento de los cuerpos en el sistema solar, la constante de gravitación heliocéntrica es (0,017 202 098 95) ua³·d⁻². El valor es experimental y por eso no se conoce exactamente.

Adicionalmente hay una unidad de tiempo que el SI no considera, aunque si lo hace la ISO, y que es el año (annum) con símbolo a.

Los angloparlantes, sin embargo, utilizan yr como símbolo de la palabra year (año en inglés)

SECCIÓN 2 ESTILO DE ESCRITURA DE TEXTOS CIENTÍFICOS

SUBSECCIÓN 2.1 REGLAS Y CONVENCIONES DE ESTILO DE ESCRITURA DE LAS UNIDADES SI

Las reglas se pueden encontrar en varias publicaciones como lo es la Publicación Especial 811 (Special Publication 811) del Instituto Nacional de Normas y Tecnología (National Institute of Standards and Technology, NIST) del Departamento de Comercio de EEUU (United States Department of Commerce), de la cuál se extrajo un resumen hecho por la misma institución el cuál se presenta adaptado a continuación. Hay otras publicaciones al respecto de la UIQPA (IUPAC), y de la OIPM (BIPM)

SUBSECCIÓN 2.2 LISTA DE REVISIÓN DE MANUSCRITOS (NIST)

□ 1. General.

Sólo las unidades del SI y aquellas unidades reconocidas para el uso con el SI se usan para expresar los valores de las cantidades. Los valores equivalentes en otras unidades se dan entre paréntesis siguiendo los valores en las unidades aceptadas sólo cuando se juzga necesario debido a la audiencia a la que va dirigida.

□ 2. Abreviaturas

Las abreviaciones tales como seg. , c.c. o m.p.s. hay que evitarlas y sólo se deben usar los símbolos de unidades y prefijos y los nombres de unidades y prefijos normales.

Propio: s o segundo
cm³ o centímetro cúbico
m/s o metro por segundo

Impropio: seg. ; c.c.; m.p.s.

□ 3. Plurales

Los símbolos de las unidades son invariables en los plurales.

Propio: l = 75 cm
Impropio: l = 75 cms.

□ 4. Puntuación

Los símbolos de las unidades no son seguidos por un punto. Salvo que sea al final de una oración.

Propio: La longitud de la barra es 75 cm.
La barra es de 75 cm de largo.
Impropio: La barra es de 75 cm. de largo.

□ 5. Multiplicación y División

Un espacio o un punto a mitad de altura se usan para la multiplicación. Una raya oblicua, una línea horizontal, o un exponente negativo se usan para la división de unidades. La raya oblicua no debe usarse repetidamente en una línea salvo que sean usados paréntesis.

Propio: La velocidad del sonido es de aproximadamente 344 m·s⁻¹ (metros por segundo)

La velocidad de decaimiento del ^{113}Cs es de aproximadamente 21 ms^{-1} (milisegundos recíprocos)

m/s , $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$, $\text{m}\cdot\text{kg}/(\text{s}^3\cdot\text{A})$, $\text{m}\cdot\text{kg}\cdot\text{s}^{-3}\cdot\text{A}^{-1}$

m/s , $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$, $\text{m}\cdot\text{kg}/(\text{s}^3\cdot\text{A})$, $\text{m}\cdot\text{kg}\cdot\text{s}^{-3}\cdot\text{A}^{-1}$

Impropia: La velocidad del sonido es de aproximadamente 344 ms^{-1} (milisegundos recíprocos)

La velocidad de decaimiento de ^{113}Cs es de

aproximadamente $21 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (metros por segundo)

□ 6. Tipografía

Los símbolos de variables y de cantidad se usan en cursiva. Los símbolos de unidades se usan en normal. Estas reglas se aplican independiente del tipo que se use en el texto circundante.

□ 7. Tipografía

Los superíndices y subíndices se usan en cursiva si representan variables, cantidades, e índices variables. Se usan en normal si son descriptivos.

Las cantidades se usan en cursiva: c_p , Capacidad específica de calor a presión constante

Los índices variables se usan en cursiva: $x = \bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^N x_i$

Los descriptores se usan en normal: m_P , masa de un protón

□ 8. Abreviaturas

Las combinaciones de letras "ppm", "ppb", y "ppt", y los términos parte por millón, parte por billón y parte por trillón, y similares, no se usan para expresar valores de cantidades.

Propio: $2,0 \mu\text{L/L}$; $2,0\cdot 10^{-6} \text{ V}$;
 $4,3 \text{ nm/m}$; $4,3\cdot 10^{-9} \text{ l}$;

$$7 \text{ ps/s}; 7 \cdot 10^{-12} t;$$

donde V , l , y t son los símbolos de las cantidades para volumen, longitud, y tiempo.

Impropio: "ppm", "ppb" y "ppt", y los términos parte por millón, parte por billón y parte por trillón, y similares.

□ 9. Modificaciones de unidades.

Los símbolos (o nombres) de las unidades no se modifican por la adición de subíndices u otra información. Las siguientes formas se usan en vez de las primeras.

□ 10. Porcentaje

El símbolo % se usa para representar el número 0,01.

Propio: $l_1 = l_2(1 + 0,2 \%)$, o

$$D = 0,2 \%,$$

Donde D es definida por la relación $D = (l_1 - l_2) / l_2$.

Impropio: La longitud l_1 excede a la longitud l_2 en un 0,2 %.

□ 11. Información y unidades

La información no se mezcla con los símbolos o nombres de las unidades.

Propio: El contenido de agua es de 20 mL/kg

Impropio: 20 mL H₂O/kg

20 mL de agua/kg

□ 12: Notación matemática

Está claro a qué símbolo de la unidad pertenece un valor numérico y qué operación matemática se aplica al valor de una cantidad.

Propio: 35 cm · 48 cm

1 MHz a 10 MHz o (1 a 10) MHz

20 °C a 30 °C o (20 a 30) °C

123 g ± 2 g o (123 ± 2) g

70 % ± 5 % o (70 ± 5) %

240 ·(1±10 %) V

Impropio: 35·48 cm

1 MHz -10 MHz o 1 a 10 MHz

20 °C - 30 °C o 20 a 30 °C

123 ± 2 g

70 ± 5 %

240 V ± 10 % (no se puede sumar 240 V con 10 %)

□ 13. Símbolos de unidades y nombres

Los símbolos de las unidades y los nombres de las unidades no se mezclan y las operaciones matemáticas no se aplican a los nombres de las unidades.

Propio: kg/m^3 , $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$, o kilogramo por metro cúbico.

Impropio: kilogramo/ m^3 , kg/metro cúbico, kilogramo/metro cúbico, kg por m^3 , o kilogramo por metro³.

□ 14. Numerales y símbolos de unidades

Los valores de cantidades se expresan en las unidades aceptables usando números arábigos y símbolos para las unidades.

Propio: $m = 5 \text{ kg}$

La corriente fue de 15 A

Impropio: $m = \text{cinco kilogramos}$

$m = \text{cinco kg}$

La corriente fue de 15 amperios

□ 15. Espaciado de unidades

Hay un espacio entre el valor numérico y el símbolo de la unidad, aún cuando el valor se use con un sentido de adjetivo, excepto en el caso de los superíndices de las unidades del ángulo plano.

Propio: una esfera de 25 kg

Un ángulo de 2° 3' 4"

Impropio: un ángulo de 2 ° 3 ' 4 "

□ 16. Espaciado de dígitos

Los dígitos de los valores numéricos que tienen más de cuatro dígitos en cualquiera de los dos lados del marcador decimal se separan en grupos de a tres por un espacio fijo y delgado contando tanto desde la izquierda como desde la derecha del marcador decimal. Los puntos no se usan para separa los dígitos en grupos de a tres.

Propio: 15 739,012 53

Impropio: 15739,01253

15.739,012 53

□ 17. Ecuaciones de cantidad

Las ecuaciones entre las cantidades se usan de preferencia en vez que ecuaciones entre valores numéricos, y los símbolos que representan los valores numéricos se usan diferentes que los símbolos que representan las cantidades correspondientes. Cuando se usa una ecuación de valores numéricos, se escribe correctamente y la ecuación correspondiente de la cantidad se da en lo posible.

Propio: $(l/m) = 3,6^{-1} [v/(km/h)](t/s)$

Impropio: $l = 3,6^{-1} vt$, acompañado por un texto que dice, " en donde l está en metros, v en kilómetros y t en segundos"

□ 18. Símbolos normales

Se usan símbolos de cantidad normalizados. Similarmente, se usan los signos y símbolos matemáticos normalizados. Más específicamente, la base de "log" en ecuaciones es especificada cuando se requiere escribiendo $\log_a x$ (que significa log de base a de x), $\lg x$ (que significa $\log_2 x$), $\ln x$ (que significa $\log_e x$), o $\text{lg } x$ (que significa $\log_{10} x$)

Propio: $\tan x$

R para Resistencia

A_r para la masa atómica relativa

Impropio: $\text{tg } x$ para tangente de x

Palabras, abreviaturas, o grupos de letras ad hoc

□ 19. Peso vs. masa

Cuando se utiliza la palabra "peso", el significado previsto está claro. (En ciencias y tecnología, el peso es una fuerza, para la cuál la unidad SI es el Neutonio (Newton); en el comercio y el uso diario, el peso es normalmente un sinónimo de masa, para la cuál la unidad SI es el kilogramo.)

□ 20. Cantidad de Cuociente

Una cantidad de cuociente se escribe explícitamente.

Propio: masa dividida por volumen

Impropio: masa por unidad de volumen

□ 21. Objeto y cantidad

Un objeto y una cantidad que describe el objeto se deben distinguir. (Note la diferencia entre "superficie" y "área", "cuerpo" y "masa", "resistor" y "resistencia", "bobina" e "inductancia")

Propio: un cuerpo de masa 5 g

Impropio: una masa de 5 g

□ 22. Términos obsoletos

Los términos obsoletos tales como molaridad, normalidad y molal no se usan.

Propio: concentración de cantidad de sustancia de B (más comúnmente llamada concentración de B) y su símbolo c_B y la unidad SI mol/m^3 (o una unidad relacionada aceptable)

Molalidad del soluto B, y sus símbolos b_B o m_B y la unidad SI mol/kg (o una unidad SI relacionada aceptable)

Impropio: Molaridad y su símbolo M , normalidad y su símbolo N

Molal y su símbolo m

TODOS AL CINE !!!

Los mejores estrenos del 2009 en CineMundo ...

04/ MAYO
BELES Y DEMONIOS

21/ MAYO
UNA NOCHE EN EL MUSEO 2

04/ JUNIO
TERMINATOR 4

11/ JUNIO
UP

25/ JUNIO
TRANSFORMERS

02/ JULIO
LA ERA DEL HIELO 3

16/ JULIO
HARRY POTTER 6

06/ AGOSTO
G.I. JOE

CineMundo
Un mundo de película...

revisa la cartelera en www.cinemundo.cl

OLA, REAL ACADEMIA
Editorial Espasa-Calpe

INTERNACIONAL DE
E USE OF THE
,) Publicación Especial
s y Tecnología del
idos, Barry N. Taylor,
bierno de los Estados

Unidos, Washington 1995. Versión PDF obtenible en la dirección <http://physics.nist.gov/Document/sp811.pdf>

- LE SYSTÈME INTERNATIONAL D'UNITÉS (SI), Bureau International des Poids et Mesures, Septième Edition, 1998, Organisation intergouvernementale de la Convention du Mètre, Paris, Francia. Versión PDF obtenible en la dirección <http://www.bipm.fr/pdf/brochure-si.pdf> o a la traducción en inglés en <http://www.bipm.fr/pdf/si-brochure.pdf>

SUBSECCIÓN 3.2 PÁGINAS WORLD WIDE WEB

- Página del Instituto Nacional de Normas y Tecnología (National Institute of Standards and Technology, NIST) <http://physics.nist.com/>
- Página de la Oficina Internacional de Pesos y Medidas (Bureau International des Poids et Mesures, BIPM) <http://www.bipm.fr/>

GLOSARIO

A

- **Acantocéfalo:** Dícese de los nematelmintos que carecen de aparato digestivo y tiene en el extremo anterior de su cuerpo una trompa armada de ganchos, con lo que el animal, que es parásito, se fija a las paredes del intestino de su huésped || 2. Orden de estos nematelmintos.
- **Ambiente (Medio):** Conjunto integral de condiciones externas, de índole física, química, biológica, y estructuras tecnológicas, sociales y culturales que influyen sobre la calidad de vida de los seres vivos, incluido al hombre || Desde la perspectiva de los seres vivos, es la totalidad de variables que condicionan sus modelos de asociación con los recursos fisicoquímicos y energéticos que lo rodean, con individuos de las restantes especies y con miembros de su propia especie que comparten un mismo espacio geográfico; debe hablarse de medio ambiente natural (para los sistemas naturales) y humano (para lo modificado o construido por el ser humano)
- **Ambiente contaminado:** Aquél donde, por efecto de acciones antrópicas, la concentración de un elemento, sustancia o intensidad de energía aportada sea igual o exceda el nivel máximo permisible para ese elemento, sustancia o energía, lo que se pretende definir en normas de calidad ambiental || Aquél ambiente donde se ha sobrepasado la capacidad para reciclar un(os) agente(s) contaminante(s), por lo que puede esperarse un desencadenamiento de efecto(s) negativo(s), tanto desde el punto de vista del equilibrio ecosistémico como de sus potencialidades de usos.
- **Agente (de contaminación):** También llamado contaminante; toda sustancia, elemental o molecular, natural o de síntesis artificial, o

aporte energético o de materia ionizante, que es incorporado a los ambientes naturales, artificializados y/o antrópicos, como residuo(s) de actividades humanas, de cualquiera naturaleza.

- Antrópico: Dícese de lo relativo al hombre o ser humano
- Antropogénico: Dícese de lo que es producido o generado por la acción del hombre.
- Aprovechamiento (Racional del Ambiente): Utilización de los recursos naturales y del espacio por los seres humanos para su propio beneficio, de manera tal que pueda obtenerse de ellos el mejor rendimiento posible y sea sostenible en el tiempo, evitándose su dilapidación, deprecación y deterioro.

B

- Barlovento: Lado del cuál proviene el viento

C

- Calidad Ambiental: Conjunto de características de los ambientes, relativo a la disponibilidad y facilidad de acceso de los recursos naturales y a la ausencia o presencia de agentes nocivos, todo lo cuál es necesario para la mantención, crecimiento y diferenciación de los seres vivos, en especial de los seres humanos; en la práctica, el concepto ha servido para definir conjuntos de condiciones ambientales compatibles con diversos usos productivos de bienes o servicios.
- Calidad de Vida: Concepto que integra el bienestar físico, mental, ambiental y social como es percibido por cada uno de los individuos, en particular y como integrantes de un grupo.
- Céstodo: Dícese de los gusanos platelmintos de cuerpo largo y aplanado semejante a una cinta y dividido en segmentos y que carecen de aparato digestivo; viven en cavidades

del cuerpo de otros animales, a cuyas paredes se fijan mediante ventosas o ganchos, y se alimentan absorbiendo por su piel líquidos nutritivos del cuerpo de su huésped; como la solitaria || 2. Orden de estos animales

- Contaminación (Ambiental): Presencia en el ambiente de uno o más contaminantes o cualquiera combinación de ellos, que signifique o pudiera llegar a traducirse en perjuicios para los ciclos biológicos naturales o resulte o pudiera llegar a ser nocivo a la vida, la salud y el bienestar humano, la flora, y la fauna o degraden o pudiera llegar a degradar la calidad del aire, agua, suelos, paisajes y recursos en general.
- Contaminante: Agente de contaminación; toda materia, elemento o sustancia, sus combinaciones o compuestos, sus derivados químicos o biológicos, así como toda forma de energía, radiaciones ionizantes, vibraciones o ruidos que, incorporados en cierta cantidad en el ambiente y por un período de tiempo tal, puedan ser dañinos o afectar negativamente a la vida, salud o bienestar del hombre, la flora y la fauna o cualquier elemento ambiental o cause un deterioro, altere o modifique la composición del aire, agua, suelos, paisajes y recursos en general.
- Contaminar: Introducir contaminantes en un ambiente dado, en niveles tales y duración tal que produzcan contaminación.
- Copépodo: Dícese de cualquiera de los crustáceos marinos o de agua dulce que viven libres, formando parte del plancton || 2. Taxón al que corresponden estos crustáceos.

E

- Ecosistema: Sistema ecológico; unidad natural con modelo propio de estructura, funcionamiento y organización de la

Impropio: una masa de 5 g

□ 22. Términos obsoletos

Los términos obsoletos tales como molaridad, normalidad y molal no se usan.

Propio: concentración de cantidad de sustancia de B (más comúnmente llamada concentración de B) y su símbolo c_B y la unidad SI mol/m³ (o una unidad relacionada aceptable)

Molalidad del soluto B, y sus símbolos b_B o m_B y la unidad SI mol/kg (o una unidad SI relacionada aceptable)

Impropio: Molaridad y su símbolo **M**, normalidad y su símbolo *N*

Molal y su símbolo *m*

SECCIÓN 3 BIBLIOGRAFÍA

SUBSECCIÓN 3.1 LIBROS

- DICCIONARIO DE LA LENGUA ESPAÑOLA, REAL ACADEMIA ESPAÑOLA, Vigésima Primera Edición, Editorial Espasa-Calpe S.A., Madrid, 1992.
- GUÍA PARA EL USO DEL SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES (SI) ("GUIDE FOR THE USE OF THE INTERNATIONAL SYSTEM OF UNITS (SI)"), Publicación Especial 811 del Instituto Nacional de Normas y Tecnología del Departamento de Comercio de Estados Unidos, Barry N. Taylor, Edición de 1995, Oficina de Imprenta del Gobierno de los Estados

Unidos, Washington 1995. Versión PDF obtenible en la dirección <http://physics.nist.gov/Document/sp811.pdf>

- LE SYSTÈME INTERNATIONAL D'UNITÉS (SI), Bureau International des Poids et Mesures, Septième Edition, 1998, Organisation intergouvernementale de la Convention du Mètre, Paris, Francia. Versión PDF obtenible en la dirección <http://www.bipm.fr/pdf/brochure-si.pdf> o a la traducción en inglés en <http://www.bipm.fr/pdf/si-brochure.pdf>

SUBSECCIÓN 3.2 PÁGINAS WORLD WIDE WEB

- Página del Instituto Nacional de Normas y Tecnología (National Institute of Standards and Technology, NIST) <http://physics.nist.com/>
- Página de la Oficina Internacional de Pesos y Medidas (Bureau International des Poids et Mesures, BIPM) <http://www.bipm.fr/>

GLOSARIO

A

- **Acantocéfalo:** Dícese de los nematelmintos que carecen de aparato digestivo y tiene en el extremo anterior de su cuerpo una trompa armada de ganchos, con lo que el animal, que es parásito, se fija a las paredes del intestino de su huésped || 2. Orden de estos nematelmintos.
- **Ambiente (Medio):** Conjunto integral de condiciones externas, de índole física, química, biológica, y estructuras tecnológicas, sociales y culturales que influyen sobre la calidad de vida de los seres vivos, incluido al hombre || Desde la perspectiva de los seres vivos, es la totalidad de variables que condicionan sus modelos de asociación con los recursos fisicoquímicos y energéticos que lo rodean, con individuos de las restantes especies y con miembros de su propia especie que comparten un mismo espacio geográfico; debe hablarse de medio ambiente natural (para los sistemas naturales) y humano (para lo modificado o construido por el ser humano)
- **Ambiente contaminado:** Aquél donde, por efecto de acciones antrópicas, la concentración de un elemento, sustancia o intensidad de energía aportada sea igual o exceda el nivel máximo permisible para ese elemento, sustancia o energía, lo que se pretende definir en normas de calidad ambiental || Aquél ambiente donde se ha sobrepasado la capacidad para reciclar un(os) agente(s) contaminante(s), por lo que puede esperarse un desencadenamiento de efecto(s) negativo(s), tanto desde el punto de vista del equilibrio ecosistémico como de sus potencialidades de usos.
- **Agente (de contaminación):** También llamado contaminante; toda sustancia, elemental o molecular, natural o de síntesis artificial, o

aporte energético o de materia ionizante, que es incorporado a los ambientes naturales, artificializados y/o antrópicos, como residuo(s) de actividades humanas, de cualquiera naturaleza.

- Antrópico: Dícese de lo relativo al hombre o ser humano
- Antropogénico: Dícese de lo que es producido o generado por la acción del hombre.
- Aprovechamiento (Racional del Ambiente): Utilización de los recursos naturales y del espacio por los seres humanos para su propio beneficio, de manera tal que pueda obtenerse de ellos el mejor rendimiento posible y sea sostenible en el tiempo, evitándose su dilapidación, depreciación y deterioro.

B

- Barlovento: Lado del cuál proviene el viento

C

- Calidad Ambiental: Conjunto de características de los ambientes, relativo a la disponibilidad y facilidad de acceso de los recursos naturales y a la ausencia o presencia de agentes nocivos, todo lo cuál es necesario para la mantención, crecimiento y diferenciación de los seres vivos, en especial de los seres humanos; en la práctica, el concepto ha servido para definir conjuntos de condiciones ambientales compatibles con diversos usos productivos de bienes o servicios.
- Calidad de Vida: Concepto que integra el bienestar físico, mental, ambiental y social como es percibido por cada uno de los individuos, en particular y como integrantes de un grupo.
- Céstodo: Dícese de los gusanos platelmintos de cuerpo largo y aplanado semejante a una cinta y dividido en segmentos y que carecen de aparato digestivo; viven en cavidades

del cuerpo de otros animales, a cuyas paredes se fijan mediante ventosas o ganchos, y se alimentan absorbiendo por su piel líquidos nutritivos del cuerpo de su huésped; como la solitaria || 2. Orden de estos animales

- Contaminación (Ambiental): Presencia en el ambiente de uno o más contaminantes o cualquiera combinación de ellos, que signifique o pudiera llegar a traducirse en perjuicios para los ciclos biológicos naturales o resulte o pudiera llegar a ser nocivo a la vida, la salud y el bienestar humano, la flora, y la fauna o degraden o pudiera llegar a degradar la calidad del aire, agua, suelos, paisajes y recursos en general.
- Contaminante: Agente de contaminación; toda materia, elemento o sustancia, sus combinaciones o compuestos, sus derivados químicos o biológicos, así como toda forma de energía, radiaciones ionizantes, vibraciones o ruidos que, incorporados en cierta cantidad en el ambiente y por un período de tiempo tal, puedan ser dañinos o afectar negativamente a la vida, salud o bienestar del hombre, la flora y la fauna o cualquier elemento ambiental o cause un deterioro, altere o modifique la composición del aire, agua, suelos, paisajes y recursos en general.
- Contaminar: Introducir contaminantes en un ambiente dado, en niveles tales y duración tal que produzcan contaminación.
- Copépodo: Dícese de cualquiera de los crustáceos marinos o de agua dulce que viven libres, formando parte del plancton || 2. Taxón al que corresponden estos crustáceos.

E

- Ecosistema: Sistema ecológico; unidad natural con modelo propio de estructura, funcionamiento y organización de la

materia viva dentro de flujos definidos de energía y materia, consistente en los organismos vivos que coexisten en un lugar y en un tiempo determinados, y las variables ambientales fisicoquímicas donde habitan; un ecosistema es homeostático, estable, autosuficiente y evolutivo. Un ecosistema es una unidad paisajística, cuya personalidad externa está dada por el relieve de la tierra y la comunidad vegetal que la recubre.

- Efluente: Material o fluido líquido, tratado o no, producto residual de origen agrícola, industrial o urbano, que es descargado al ambiente a través de las aguas.
- Epizootia: Enfermedad que acomete a una o varias especies de animales, por una causa general y transitoria. Es como la epidemia en el hombre.
- Esporozoo: Dícese de los protozoos parásitos que en determinado momento de su vida se reproducen por medio de esporas. || 2. Clase de estos animales.
- Exoftalmia o Exoftalmía: Situación saliente del globo ocular.

H

- Hipersalina: Condición de alta presencia de sales disueltas
- Hiposalina: Condición de escasa presencia de sales disueltas.

I

- Isópodo Dícese de pequeños crustáceos de cuerpo deprimido y ancho, con los apéndices del pleón de aspecto foliáceo. Unas especies viven en aguas dulces o en el mar, otros son terrestres y habitan lugares húmedos, como la cochinilla de

humedad; algunos son parásitos de crustáceos marinos. || 2.
Orden de estos animales.

M

- Matriz: Substancia que hace de portador.
- Medio: Medio circundante o simplemente medio; es distinto y menos general que el concepto de ambiente: el medio se define en términos materiales, como el fluido material dentro del cuál el sistema está inmerso y a través del cual se realizan los intercambios con el exterior.
- Metabolito: Substancia derivada de un substrato, por degradación metabólica.
- Metal Pesado: Metal cuya densidad es, a lo menos, cinco veces mayor que la del agua; concepto inespecífico que agrupa a un número aproximado de 35 elementos, sólo por razones de masa específica.
- Monomítico Templado: Se refiere a los lagos que no bajan de los 4 °C y tienen una estratificación en el período de calentamiento de primavera – verano luego del cuál tienen circulación.

N

- Nematodo Dícese de los nematelmintos que tienen aparato digestivo, el cual consiste en un tubo recto que se extiende a lo largo del cuerpo, entre la boca y el ano. || 2. Orden de estos gusanos.

P

- Patógeno: Individuo biológico que produce o desarrolla alguna enfermedad.

- **Plaguicida:** Llamado también pesticida. Producto químico, de origen natural o de síntesis artificial, destinado a ser usado para combatir organismos capaces de producir daño en el hombre, animales, plantas, semillas y objetos inanimados; en general, los pesticidas son nombrados según el objetivo de uso (insecticidas, rodenticidas, nematocidas, fungicidas, acaricidas, mitocidas, herbicidas) Substancia destinada a prevenir, destruir, atraer, repeler o combatir cualquier plaga, incluidas las especies no deseadas de plantas o animales, durante la producción, almacenamiento, transporte, distribución y elaboración de alimentos, productos agrícolas o alimentos para animales, o que pueda administrarse a los animales para combatir ectoparásitos; incluye sustancias químicas destinadas a utilizarse como reguladores del crecimiento de plantas, defoliantes, desecantes, agentes para reducir la densidad de frutas o inhibidores de germinación, y las sustancias aplicadas a los cultivos antes o después de la cosecha para evitar su deterioro durante el almacenamiento y transporte; no incluye fertilizantes, nutrientes de origen vegetal y animal, aditivos alimentarios o medicamentos para animales.

S

- **Seca** Movimiento parecido al de un péndulo de un cuerpo de agua que se detiene las fuerzas que lo origina, por lo general el viento, una marea es un caso especial de seca.
- **Sotavento:** Lado contrario de barlovento

T

- Toxicidad: Calidad o grado en que una sustancia puede ser venenosa o nociva para los organismos vivos; habitualmente, el término se aplica a las sustancias que tienen la capacidad de interferir procesos enzimáticos, penetrando al interior de las células. La toxicidad de una sustancia se refiere a su potencial de tener efectos nocivos sobre los organismos vivos. La toxicidad es una función de la concentración y la duración de la exposición. Los datos de toxicidad de los ensayos agudos son, a menudo, informados como Concentración Letal Media CL_{50} en [mg/L], aunque deben utilizarse las unidades [kg/m³] o sus múltiplos o submúltiplos tal como [g/m³]. Un CL_{50} es la concentración estimada de una sustancia en agua que es letal para un 50 % de los organismos del ensayo después de una exposición por un tiempo establecido (e.g. 24 h, 48 h, 96 h). Así el valor CL_{50} mayor es la sustancia química menos tóxica para el pez; y el valor menor es la sustancia más tóxica. La toxicidad aguda relativa de las sustancias químicas a los peces ($CL_{50-96 h}$) puede ser categorizada como sigue:

<u>Categoría de Toxicidad</u>	<u>$CL_{50-96 h}$</u>
Prácticamente no tóxico	(100 a 1 000) g/m ³
Ligeramente tóxico	(10 a 100) g/m ³
Moderadamente tóxico	(1 a 10) g/m ³
Altamente tóxico	(0,1 a 1,0) g/m ³
Extremadamente tóxico	menor que 0,1 g/m ³

Esta escala es meramente referencial y se puede aplicar para el caso de los peces.

También se usa la Concentración efectiva media CE_{50} que es la concentración del tóxico que produce una respuesta concreta en *la mitad de la población expuesta*.

- Trematodo Dícese de los gusanos platelmintos que tienen cuerpo no segmentado, tubo digestivo ramificado y sin ano, dos o más ventosas y a veces también ganchos que les sirven para fijarse al cuerpo de su huésped; como la duela. || 2.
- Orden de estos animales
- Trófico: Relativo a funciones nutricionales; dice relación con las necesidades de alimentos.

U

- Ubicuo: Presente en muchas partes o lugares, simultáneamente.
- Uso (del medio ambiente): Utilización por los hombres del entorno natural que lo rodea, de modo de proveerse de los recursos que le permitan lograr su subsistencia y su desarrollo individual y colectivo.