



UNIVERSIDAD MAYOR

INFORME FINAL
TOMO IIA: RESULTADOS

PROYECTO FONDO SAG

***“Desarrollo de una metodología para la
evaluación y mitigación de la contaminación
de aguas y suelo: Aplicación a la cuenca del
río Aconcagua”***

SANTIAGO, MAYO 2005

INDICE

INTRODUCCIÓN.....	14
CAPÍTULO 1: USO DEL SUELO AGRÍCOLA Y ACTUALIZACIÓN DE LA INFORMACIÓN DE USO DE PLAGUICIDAS Y FERTILIZANTES EN LA CUENCA DEL RÍO ACONCAGUA.....	15
1.1 CARACTERIZACIÓN DEL USO DEL SUELO.....	15
CAPÍTULO 2: ACTUALIZACIÓN DE INFORMACIÓN DE USO DE PLAGUICIDAS Y FERTILIZANTES EN LA CUENCA DEL RÍO ACONCAGUA	18
2.1 ANÁLISIS DE LA ENCUESTA DE USO DE AGROQUÍMICOS	18
2.1.1 Disponibilidad de Riego	18
2.1.2 Aplicación de plaguicidas	20
2.1.3 Motivo de compra de plaguicidas.....	25
2.1.4 Metodologías de aplicación de plaguicidas	26
2.1.5 Métodos de protección utilizados para la aplicación de plaguicidas	28
2.1.6 Problemas de Salud	29
2.1.7 Responsables de la aplicación de plaguicidas	31
2.1.8 Definición de las dosis de aplicación	32
2.1.9 Almacenaje de pesticidas	33
2.1.10 Utilización de plaguicidas prohibidos y con restricciones.....	34
2.1.11 Destino de los envases de plaguicidas.....	35
2.1.12 Fiscalización del uso de plaguicidas.....	37
2.1.13 Uso de fertilizantes.....	39
2.1.14 Destino de la producción agrícola de los predios encuestados	43
2.2 CONCLUSIONES.....	45
CAPÍTULO 3: IDENTIFICACIÓN DE LAS FUENTES PUNTUALES DE CONTAMINACIÓN QUE AFECTAN DIRECTA O INDIRECTAMENTE AL RÍO ACONCAGUA O ALGUNO DE SUS AFLUENTES.....	46
3.1 REFERENCIAS	48
CAPÍTULO 4: CALIDAD DE LAS AGUAS SUPERFICIALES	49
4.1 INTRODUCCIÓN	49
4.2 ANÁLISIS DE CORRESPONDENCIA.....	50
4.2.1 Análisis de correspondencia en función de los metales totales	50
4.2.1.1 Conclusiones.....	52
4.2.2 Análisis de correspondencia en función de metales disueltos	54
4.2.3 Análisis de correspondencia en función de los Aniones.....	55
4.3 ECOTOXICOLOGÍA.....	56

4.3.1	Análisis para el Bioensayo de toxicidad aguda con <i>Daphnia pulex</i>	56
4.3.2	Análisis para el Bioensayo de Inhibición del crecimiento algal con <i>Selenastrum capricornutum</i>	59
4.4	CONTAMINACIÓN MICROBIOLÓGICA	63
4.4.1	Análisis para coliformes totales.....	63
4.5	ANÁLISIS DE PLAGUICIDAS	64
4.6	REFERENCIAS.....	66
CAPÍTULO 5: CALIDAD DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.....		67
5.1.	INTRODUCCIÓN	67
CAPÍTULO 6: RESULTADOS DEL ESTUDIO DE LAS CARACTERÍSTICAS SEDIMENTOLÓGICAS DEL RÍO ACONCAGUA Y SUS PRINCIPALES AFLUENTES		74
6.1	MUESTREO DE SEDIMENTOS.....	74
CAPÍTULO 7: RESULTADOS DEL ESTUDIO DE CALIDAD DE SUELOS EN ZONAS DE USO AGROPECUARIO.....		81
7.1	MACRONUTRIENTES Y MATERIA ORGÁNICA.....	81
7.1.1	Fosfatos.....	81
7.1.2	Materia Orgánica	88
7.2	Metales Pesados	88
7.2.1	Arsénico	90
7.2.2	Cadmio.....	91
7.2.3	Cobre.....	93
7.2.4	Hierro.....	98
7.2.5	Manganeso	99
7.2.6	Molibdeno	100
7.2.7	Plomo	102
7.2.8	Zinc	104
7.3	Plaguicidas.....	105
7.4	CONCLUSIONES.....	106
7.5	REFERENCIAS	106
8.1	ANUROS.....	110
8.1.1	Comparación entre especies.	110
8.1.2	Comparaciones intraespecíficas	111
8.2	ROEDORES	115
8.2.1	Comparación entre especies	115
8.2.2	Análisis de las tres especies más abundantes	115
8.2.3	Análisis de la especie más representativa.....	116

8.3. AVES.....	119
8.3.1. Comparación entre especies	119
8.3.2. Comparaciones intraespecíficas	119
8.4 CONCLUSIONES.....	125
8.5 REFERENCIAS	126
 CAPÍTULO 9: RESULTADOS DE LA MODELACIÓN DE CALIDAD DE AGUAS SUPERFICIALES Y SUBTERRÁNEAS.....	 127
9.1 IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO QUAL2Kw.....	127
9.1.1 Introducción	127
9.1.2 Descripción del Sistema y Área de Estudio.....	128
9.1.3 Recopilación de Antecedentes.....	129
9.1.3.1 Supuestos básicos y definición de la escala temporal.....	129
9.1.3.2 Información de caudales	130
9.1.3.3 Información de calidad de aguas	141
9.1.3.3.1 Estaciones DGA.....	141
9.1.3.3.2 Campañas U. Mayor	142
9.1.3.3.3 Gráficos de las concentraciones de las campañas de muestreo superficial.....	148
9.1.4 Esquema topológico del área de estudio.....	167
9.1.5 Implementación Computacional del Modelo de Calidad	171
9.1.5.1 Hoja “Qual2K”	171
9.1.5.2 Hoja “Headwater”.....	172
9.1.5.3 Hoja “Reach”	173
9.1.5.4 Shade, Met1, Met2, Met3, Met4, Met5, Light.....	178
9.1.5.5 Point sources.....	179
9.1.5.6 Diffuse Sources	180
9.1.5.7 Rates	182
9.1.5.8 Temperature Data	183
9.1.5.9 WQ Data.....	184
9.1.5.10 Hydraulics.....	184
9.1.5.11 Otras hojas de cálculo.....	185
9.1.5.12 Preparación de datos de entrada.....	186
 9.2. RESULTADOS DE LA CALIBRACIÓN DEL MODELO DE CALIDAD DE AGUAS SUPERFICIALES	 188
9.2.1 Introducción	188
9.2.2 Resultados hidráulicos.....	188
9.2.3 Tablas de resultados de calidad	191
9.2.4 Gráficos de resultados de calidad	195
9.2.5 Análisis de los resultados	209
9.2.5.1.A Oxígeno disuelto	210
9.2.5.1.B Temperatura	211
9.2.5.1.C pH	212
9.2.5.1.D Conductividad eléctrica	212
9.2.5.1.E DBO ₅	212
9.2.5.1.F Coliformes fecales	213
9.2.5.1.G Cobre	213
9.2.5.1.H Manganeseo	213
 9.3 RESULTADOS CALIBRACIÓN DE MODELOS SUBTERRÁNEOS.....	 217
9.3.1 Resultados Calibración Modelo 2	217
9.3.1.1 Calibración Modelo de Flujo	217

9.3.1.2 Calibración Modelo de Calidad, MT3DMS	223
9.3.2 Resultados Calibración Modelo 3	236
9.3.2.1 Calibración Modelo de Flujo	236
9.3.2.2 Calibración Modelo de Calidad, MT3DMS	247
9.4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	260
9.4.1 Conclusiones generales relativas al modelo superficial	260
9.4.2 Recomendaciones relativas al modelo superficial	261
9.4.3 Conclusiones Modelación Hidrogeológica	263
9.4.3.1 En General	263
9.4.3.2 Modelo Subterráneo Sector 2	263
9.4.3.3 Modelo Subterráneo Sector 3	265
9.4.4 Recomendaciones Generales a los modelos de Calidad Subterránea	266
CAPÍTULO 10: MEDIDAS DE MITIGACIÓN	268
10.1 INTRODUCCIÓN	268
10.2 PROGRAMA DE VIGILANCIA DE LA CALIDAD DE LAS AGUAS SUPERFICIALES DE LA CUENCA DEL RÍO ACONCAGUA.....	269
10.2.1 Propuesta de clases de calidad para las aguas superficiales continentales de la cuenca del río Aconcagua.	270
10.2.2 Parámetros a medir en el Programa de Vigilancia.....	272
10.2.3 Descripción de las Estaciones de Monitoreo por segmentos:.....	274
10.2.4 Valoración Económica del Programa de Vigilancia.....	282
10.2.5 Conclusiones	284
10.2.6 Referencias	285
10.3 MANEJO DE ENVASES VACÍOS DE PLAGUICIDAS.....	286
10.3.1 Programa de Recolección y Eliminación Adecuada de Envases Vacíos de Productos Fitosanitarios.....	286
10.3.1.1 Requisitos de ingreso al Programa.....	287
10.3.1.2 Aplicación del Triple lavado	288
10.3.1.3 Centros de acopio de la V Región	290
10.3.2 Referencias	292
10.4 MEDIDAS DE MITIGACIÓN EN LA MINERÍA DE COBRE.....	293
10.4.1 Proyecto Despacho de Drenajes de Botaderos para la Utilización Externa CODELCO- Chile División Andina (información recopilada del Estudio de Impacto Ambiental del mismo nombre).	293
10.4.1.1 Objetivos y justificación	294
10.4.1.2 Localización geográfica.....	294
10.4.1.3 Superficie y cronograma de fases	295
10.4.1.3 Acciones del Proyecto	295
EQUIPO EJECUTOR DEL PROYECTO	300

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Mapa temático relativo al uso del suelo en la cuenca del río Aconcagua.....	16
Figura 2: Distribución de la superficie regada según tipo de riego y estrato	19
Figura 3: Uso de riego gravitacional y tecnificado en cultivos comunes a los tres estratos de productores.	20
Figura 4: Distribución de la aplicación de plaguicidas en los tres estratos de productores durante el año.	21
Figura 5: Motivo de compra de plaguicidas en los predios incluidos en el estudio.	25
Figura 6: Motivo de compra de plaguicidas por estrato de productores.	26
Figura 7: Métodos de aplicación de plaguicidas en el área de estudio.....	27
Figura 8: Métodos de aplicación de plaguicidas por estrato de productores.....	27
Figura 9: Protección utilizada al momento de la aplicación de plaguicidas	28
Figura 10: Protección utilizada en los tres estratos durante la pulverización	29
Figura 11: Conocimiento de problemas de salud provocados por el uso de plaguicidas	30
Figura 12: Conocimiento de problemas de salud, por estrato, derivados del mal uso de plaguicidas.....	30
Figura 13: Persona que aplica plaguicidas en el predio	31
Figura 14: Aplicador de plaguicidas por estrato	32
Figura 15: Responsable de determinar dosis de aplicación de plaguicidas en predios encuestados	33
Figura 16: Porcentajes de predios en que se almacenan plaguicidas	33
Figura 17: Porcentajes de almacenamiento de plaguicidas por estrato	34
Figura 18: Porcentaje de plaguicidas prohibidos y con restricción de uso, aplicados en el área de estudio.	35
Figura 19: Destino de los envases de plaguicidas en el área de estudio	36
Figura 20: Destino de los envases de plaguicidas por estrato de productores	37
Figura 21: Porcentajes de fiscalización del uso de plaguicidas por estrato.....	37
Figura 22: Entidades fiscalizadoras de los predios en el área de estudio.....	38
Figura 23: Entidades fiscalizadoras del uso de plaguicidas en los diferentes estratos	39
Figura 24: Distribución del N° de aplicaciones de fertilizantes durante el año en el área de estudio	41
Figura 25: Distribución de la cantidad de fertilizantes aplicada durante el año.....	42
Figura 26: Destino de los productos agrícolas por estrato de agricultores del área de estudio	44
Figura 27: Estaciones de monitoreo de aguas superficiales de la cuenca del río Aconcagua.	49
Figura 28: Asociación de las estaciones monitoreadas en el río Aconcagua, en función de los metales totales.....	51
Figura 29: Concentraciones de cobre (fracción total) medidas durante las 7 campañas de monitoreo.	53
Figura 30: Concentraciones de manganeso (fracción total) medidas durante las 7 campañas de monitoreo	54
Figura 31: Análisis de correspondencia de las estaciones del río Aconcagua en función a los aniones monitoreados en la cuenca.	55
Figura 32: Valores de cobre monitoreados en la primera sección de la cuenca, durante las siete campañas de muestreo.	57

Figura 33: Concentraciones de manganeso en mg/L, detectadas en la primera sección de la cuenca, durante las siete campañas de muestreo.	58
Figura 34: Concentraciones de hierro detectadas en la primera sección de la cuenca, durante las siete campañas de monitoreo.	58
Figura 35: Distribución de las absorbancias desde las 0 a 96 hrs., de la estación A11b junto al control a 750 nm....	60
Figura 36: Distribución de las absorbancias desde las 0 a 96 hrs. de la estación A11b junto al control a 750 nm....	60
Figura 37: Distribución de las absorbancias desde las 0 a 96 hrs. de la estación A11c junto al control a 750 nm.	61
Figura 38: Distribución de las absorbancias desde las 0 a 96 hrs. de la estación A19b junto al control a 750 nm....	62
Figura 39: Medias establecidas para los coliformes totales medidos en las estaciones de monitoreo de aguas superficiales de la cuenca del río Aconcagua.	64
Figura 40: Estaciones de muestreo de aguas subterráneas.	67
Figura 41: Porcentajes de mortalidades de <i>Daphnia pulex</i> en bioensayo de toxicidad aguda para muestras de pozo durante los muestreos de 2001 a 2004.	68
Figura 42: Porcentaje de inhibición del crecimiento algal con respecto al control a las 96 hrs del bioensayo, para muestras de aguas subterráneas, de 2001 a 2004.	69
Figura 43: Excedencias de cobre en aguas subterráneas de 2001 a 2004 (NCh 409).	69
Figura 44: Excedencias de hierro para las muestras de aguas subterráneas desde 2001 a 2004 (NCh 409).	70
Figura 45: Concentraciones de manganeso detectadas para las muestras de pozo, desde 2001 a 2004.	71
Figura 46: Índices de coliformes fecales para aguas subterráneas de 2001 a 2004.	72
Figura 47: Concentraciones de As detectadas en sedimentos en diciembre de 2001.	75
Figura 48: Concentraciones de Cd detectadas en sedimentos en diciembre de 2001.	76
Figura 49: Concentraciones de Cu detectadas en sedimentos durante diciembre de 2001.	76
Figura 50: Concentraciones de Fe detectadas en sedimentos durante diciembre de 2001.	77
Figura 51: Concentraciones de Mn detectadas en sedimentos durante diciembre de 2001.	77
Figura 52: Concentraciones de Pb detectadas en sedimentos durante diciembre de 2001.	78
Figura 53: Concentraciones de Pb detectadas en sedimentos durante diciembre de 2001.	78
Figura 54: Comparación de la actividad de la AChE determinada en cerebro de dos especies de anuros.	110
Figura 55: Comparación de la actividad de la AChE determinada en muestras de sangre de dos especies de anuros.	111
Figura 56: Comparación de la actividad de la AChE determinada en cerebro de <i>P. thaul</i> en diferentes localidades y fechas.	112
Figura 57: Comparación de la actividad de la AChE determinada en muestras de sangre de <i>P. thaul</i> en diferentes localidades y fechas.	112
Figura 58: Comparación de la actividad de la AChE determinada en cerebro de <i>X. laevis</i> en diferentes localidades y fechas.	113
Figura 59: Comparación de la actividad de la AChE determinada en muestras de sangre de <i>X. laevis</i> en diferentes localidades y fechas.	114
Figura 60: Actividad de la AChE determinada en cerebro de tres especies de roedores.	115
Figura 61: Comparación de la actividad de la AChE determinada en cerebro de roedores en diferentes localidades. Los valores corresponden al valor promedio y D.E. de las tres especies de roedores más representadas, consideradas como una muestra única.	116

Figura 62: Comparación en cerebro de roedores en diferentes localidades. Los valores corresponden al valor promedio y D.E. de las tres especies de roedores más representadas, consideradas como una muestra única.	117
Figura 63: Comparación de la actividad de la AChE determinada en cerebro del roedor <i>A. Olivaceus</i> en diferentes fechas.....	117
Figura 64: Comparación de la actividad de la AChE determinada en cerebro del roedor <i>A. Olivaceus</i> en diferentes localidades.....	118
Figura 65: Comparación de la actividad de la AChE registrada en muestras de cerebro de <i>Z. Capensis</i> , colectadas en diferentes fechas.	119
Figura 66: Comparación de la actividad de la AChE registrada en muestras de cerebro de <i>Z. Capensis</i> , colectadas en diferentes localidades.	120
Figura 67: Comparación de la actividad de la AChE registrada en muestras de sangre de <i>Z. Capensis</i> , colectadas en diferentes fechas.	121
Figura 68: Comparación de la actividad de la AChE registrada en muestras de sangre de <i>Z. Capensis</i> , colectadas en diferentes localidades.	121
Figura 69: Comparación de la actividad de la AChE registrada en muestras de cerebro de <i>T. Aedon</i> colectadas en diferentes fechas.	122
Figura 70: Comparación de la actividad de la AChE registrada en muestras de cerebro de <i>T. Aedon</i> colectadas en diferentes localidades.	122
Figura 71: Comparación de la actividad de la AChE registrada en muestras de sangre de <i>T. Aedon</i> colectadas en distintas fechas.	123
Figura 72: Comparación de la actividad de la AChE registrada en muestras de sangre de <i>T. Aedon</i> , provenientes de diferentes localidades.	124
Figura 73: Área de estudio seleccionada para la modelación	129
Figura 74: Ubicación espacial de las estaciones fluviométricas consideradas para el presente estudio	131
Figura 75: Ubicación espacial de los puntos aforados en las campañas realizadas en octubre (Campaña 1) y diciembre de 2004 (Campaña 2).....	131
Figura 76: Gráfico de los resultados de las campañas de aforos realizadas en octubre (Campaña I) y diciembre (Campaña II) de 2004.....	132
Figura 77: Parte del esquema topológico del modelo MOS de la DGA comprendida dentro del área de estudio....	133
Figura 78: Ubicación de los nodos y delimitación de acuíferos considerados en el modelo MOS de la DGA.	134
Figura 79: Ubicación espacial de las estaciones de calidad de aguas de la DGA consideradas para este estudio (en amarillo).	141
Figura 80: Estaciones de muestreo de calidad de agua de las campañas realizadas por la Universidad Mayor en septiembre (Campaña I), noviembre (Campaña II) y diciembre (Campaña III) de 2004.	144
Figura 81: Pozos de muestreo de calidad de agua considerados en las campañas realizadas por la Universidad Mayor en septiembre (Campaña I), noviembre (Campaña II) y diciembre (Campaña III) de 2004.	148
Figura 82: Perfil de temperatura a lo largo del área considerada, en septiembre de 2004.	149
Figura 83: Perfil de pH a lo largo del área considerada, en septiembre de 2004.	149
Figura 84: Perfil de OD a lo largo del área considerada, en septiembre de 2004.	150
Figura 85: Perfil de conductividad eléctrica a lo largo del área considerada, en septiembre de 2004.	150
Figura 86: Perfil de DBO5 a lo largo del área considerada, en septiembre de 2004.....	151
Figura 87: Perfil de coliformes fecales del área considerada, en septiembre de 2004.	151

Figura 88: Perfil de cobre a lo largo del área considerada, en septiembre de 2004.	152
Figura 89: Perfil de manganeso a lo largo del área considerada, en septiembre de 2004.	152
Figura 90: Perfil de N-NO ₃ a lo largo del área considerada, en septiembre de 2004.	153
Figura 91: Perfil de temperatura a lo largo del área considerada, en noviembre de 2004.	153
Figura 92: Perfil de pH a lo largo del área considerada, en noviembre de 2004.....	154
Figura 93: Perfil de OD a lo largo del área considerada, en noviembre de 2004.....	154
Figura 94: Perfil de conductividad eléctrica a lo largo del área considerada, en noviembre de 2004.	155
Figura 95: Perfil de DBO ₅ a lo largo del área considerada, en noviembre de 2004.....	155
Figura 96: Perfil de coliformes fecales a lo largo del área considerada, en noviembre de 2004.	156
Figura 97: Perfil de cobre a lo largo del área considerada, en noviembre de 2004.....	156
Figura 98: Perfil de manganeso a lo largo del área considerada, en noviembre de 2004.....	157
Figura 99: Perfil de N-NO ₃ a lo largo del área considerada, en noviembre de 2004.	157
Figura 100: Perfil de temperatura a lo largo del área considerada, en diciembre de 2004.....	158
Figura 101: perfil de pH a lo largo del área considerada, en diciembre de 2004.....	158
Figura 102: Perfil de oxígeno disuelto a lo largo del área considerada, en diciembre de 2004.	159
Figura 103: Perfil de conductividad eléctrica a lo largo del área considerada, en diciembre de 2004.....	159
Figura 104: Perfil de DBO ₅ a lo largo del área considerada, en diciembre de 2004.....	160
Figura 105: Perfil de coliformes fecales a lo largo del área considerada, en diciembre de 2004.....	160
Figura 106: Perfil de cobre a lo largo del área considerada, en diciembre de 2004.....	161
Figura 107: Perfil de manganeso a lo largo del área considerada, en diciembre de 2004.....	161
Figura 108: Perfil de N-NO ₃ a lo largo del área considerada, en diciembre de 2004.....	162
Figura 109: Evolución temporal de los perfiles de temperatura, durante SEP, NOV y DIC de 2004.....	162
Figura 110: Evolución temporal de los perfiles de pH, durante SEP, NOV y DIC de 2004.....	163
Figura 111: Evolución temporal de los perfiles de oxígeno disuelto, durante SEP, NOV y DIC de 2004.	163
Figura 112: Evolución temporal de los perfiles de conductividad eléctrica, durante SEP, NOV y DIC de 2004.....	164
Figura 113: Evolución temporal de los perfiles de DBO ₅ , durante SEP, NOV y DIC de 2004.	164
Figura 114: Evolución temporal de los perfiles de coliformes fecales, durante SEP, NOV y DIC de 2004.....	165
Figura 115: Evolución temporal de los perfiles de cobre, durante SEP, NOV y DIC de 2004.....	165
Figura 116: Evolución temporal de los perfiles de manganeso, durante SEP, NOV y DIC de 2004.....	166
Figura 117: Evolución temporal de los perfiles de N-NO ₃ , durante SEP, NOV y DIC de 2004.....	166
Figura 118: Simbología utilizada en los esquemas topológicos de las figuras siguientes	167
Figura 119: Esquema topológico de la representación de la Segunda Sección del río Aconcagua, utilizada en el modelo superficial de aguas Qual2Kw.	169
Figura 120: Esquema topológico de la representación de la Tercera Sección del río Aconcagua, utilizada en el modelo superficial de aguas Qual2Kw.	170
Figura 121: Hoja "Qual2K" del modelo Qual2Kw	172
Figura 122: Hoja "Headwater" del modelo Qual2Kw	173
Figura 123: Puntos utilizados para la definición de los tramos de río en el modelo Qual2Kw.	174

Figura 124: Tramos de río definidos para el modelo Qual2Kw.....	175
Figura 125: Ubicación relativa de las secciones de aforo, con respecto a los tramos de río definidos para el modelo Qual2Kw	176
Figura 126: Hoja "Reaches" del modelo Qual2Kw	177
Figura 127: Hoja "Met1" del modelo Qual2Kw	178
Figura 128: Hoja "Point Sources" del modelo Qual2Kw.....	179
Figura 129: Relaciones entre Fuente Puntual, kilometraje y muestra de calidad asociada a esa fuente puntual	180
Figura 130: Hoja "Diffuse Sources" del modelo Qual2Kw	181
Figura 131: Relaciones entre fuente difusa, kilometraje y muestra de calidad asociada a esa fuente difusa.....	181
Figura 132: Hoja Rates del modelo QUAL2K.....	182
Figura 133: Hoja "Temperature Data" del modelo Qual2Kw	183
Figura 134: Hoja "WQ Data" del modelo Qual2Kw	184
Figura 135: Hoja Hydraulics del modelo Qual2Kw	185
Figura 136: Hoja de cálculo de preparación de datos para la Hoja "Point Sources" de Qual2Kw.	186
Figura 137: Hoja de cálculo de preparación de datos para la Hoja "Diffuse Sources" de Qual2Kw.....	187
Figura 138: Gráfico de oxígeno disuelto simulado v/s observado durante septiembre de 2004	196
Figura 139: Gráfico de temperatura simulada v/s observada durante septiembre de 2004.....	197
Figura 140: Gráfico de conductividad eléctrica simulada v/s observada durante septiembre de 2004.....	197
Figura 141: Gráfico de DBO simulada v/s observada durante septiembre de 2004	198
Figura 142: Gráfico de coliformes fecales simulados v/s observados durante septiembre de 2004	198
Figura 143: Gráfico de cobre simulado v/s observado durante septiembre de 2004.....	199
Figura 144: Gráfico de manganeso simulado v/s observado durante septiembre de 2004.....	199
Figura 145: Gráfico de nitratos + nitritos simulados v/s observados durante septiembre de 2004	200
Figura 146: Gráfico de oxígeno disuelto simulado v/s observado durante noviembre de 2004	200
Figura 147: Gráfico de temperatura simulada v/s observada durante noviembre de 2004	201
Figura 148: Gráfico de pH simulado v/s observado durante noviembre de 2004	201
Figura 149: Gráfico de conductividad eléctrica simulada v/s observada durante noviembre de 2004	202
Figura 150: Gráfico de DBO simulada v/s observada durante noviembre de 2004.....	202
Figura 151: Gráfico de coliformes fecales simulados v/s observados durante noviembre de 2004.....	203
Figura 152: Gráfico de cobre simulado v/s observado durante noviembre de 2004.....	203
Figura 153: Gráfico de manganeso simulado v/s observado durante noviembre de 2004.....	204
Figura 154: Gráfico de nitratos + nitritos simulados v/s observados durante noviembre de 2004	204
Figura 155: Gráfico de oxígeno disuelto simulado v/s observado durante diciembre de 2004.....	205
Figura 156: Gráfico de temperatura simulada v/s observada durante diciembre de 2004	205
Figura 157: Gráfico de pH simulado v/s observado durante diciembre de 2004	206
Figura 158: Gráfico de conductividad eléctrica simulada v/s observada durante diciembre de 2004	206
Figura 159: Gráfico de DBO simulada v/s observada durante diciembre de 2004	207

Figura 160: Gráfico de coliformes fecales simulados v/s observados durante diciembre de 2004	207
Figura 161: Gráfico de cobre simulado v/s observado durante diciembre de 2004	208
Figura 162: Gráfico de manganeso simulado v/s observado durante diciembre de 2004	208
Figura 163: Gráfico de nitritos + nitratos simulados v/s observados durante diciembre de 2004	209
Figura 159: Estándares de Calibración MOD2	217
Figura 160: Niveles calculados versus niveles simulados.	218
Figura 161: Curvas equipotenciales en el tiempo final.	220
Figura 162: Profundidad de la napa.	221
Figura 163: Mapa de Magnitud de Velocidades.	222
Figura 164: Mapa de Dirección de Velocidades	222
Figura 165: Zona de Entrada – COBRE	224
Figura 166: Zona de Entrada - MANGANESO.....	225
Figura 167: Zona de Entrada - NITRATOS.....	225
Figura 168: Zona de Entrada - CLORUROS.	226
Figura 169: Zona de Entrada - SULFATOS.	226
Figura 170: Zona Media Aconcagua - COBRE.	227
Figura 171: Zona Media Aconcagua - MANGANESO.....	228
Figura 172: Zona Media Aconcagua - NITRATOS.....	228
Figura 173: Zona Media Aconcagua - CLORUROS.	229
Figura 174: Zona Media Aconcagua – SULFATOS	229
Figura 175: Zona Media Aconcagua - COBRE.....	230
Figura 176: Zona Media Aconcagua – MANGANESO	231
Figura 177: Zona Media Aconcagua – NITRATOS.....	231
Figura 178: Zona Media Aconcagua – CLORUROS	232
Figura 179: Zona Media Aconcagua – SULFATOS	232
Figura 180: Zona Valle Catemu – COBRE	233
Figura 181: Zona Valle Catemu – MANGANESO	234
Figura 182: Zona Valle Catemu – MANGANESO	234
Figura 183: Zona Valle Catemu – NITRATOS	235
Figura 184: Zona Valle Catemu – NITRATOS.....	235
Figura 185: Zona Valle Catemu – SULFATOS.....	236
Figura 186: Estándares de Calibración MOD3	237
Figura 187: Niveles calculados versus niveles simulados	238
Figura 188: Niveles calculados versus niveles simulados	239
Figura 189: Niveles calculados versus niveles simulados	240
Figura 190: Zonas de Balance definitivas.....	242
Figura 191: Curvas equipotenciales en el tiempo final.....	243

Figura 192: Profundidad de la napa	244
Figura 193: Mapa de Magnitud de Velocidades	245
Figura 194: Mapa de Dirección de Velocidades	246
Figura 195: Modelación de Concentraciones de Cloruro	248
Figura 196: Modelación de Concentraciones de Nitrato.....	249
Figura 197: Modelación de Concentraciones de Sulfato	249
Figura 198: Modelación de Concentraciones de Cobre	250
Figura 199: Modelación de Concentraciones de Manganeseo.....	250
Figura 200: Modelación de Concentraciones de Cloruro	251
Figura 201: Modelación de Concentraciones de Nitrato.....	252
Figura 202: Modelación de Concentraciones de Sulfato	252
Figura 203: Modelación de Concentraciones de Cobre	253
Figura 204: Modelación de Concentraciones de Manganeseo.....	253
Figura 205: Modelación de Concentraciones de Cloruro	254
Figura 206: Modelación de Concentraciones de Nitrato.....	255
Figura 207: Modelación de Concentraciones de Sulfato	255
Figura 208: Modelación de Concentraciones de Cobre	256
Figura 209: Modelación de Concentraciones de Manganeseo.....	256
Figura 210: Modelación de Concentraciones de Cloruro	257
Figura 211: Modelación de Concentraciones de Nitrato.....	258
Figura 212: Modelación de Concentraciones de Sulfato	258
Figura 213: Modelación de Concentraciones de Cobre	259
Figura 214: Modelación de Concentraciones de Manganeseo.....	259
Figura 215: Tramos del río Aconcagua para la determinación de las clases de calidad.	269
Figura 216: Clases de calidad de uso según la Guía de CONAMA, donde el color azul está ausente en todos los cauces e indicaría la clase de excepción. El color verde representa la clase 1; el amarillo la clase 2; el naranja la clase 3 y el rojo la clase 4. Sólo el río Juncal presenta clase 1 y el río Colorado clase 2, los demás ríos y esteros, clases 3 y 4. El color gris indica no analizado.	272
Figura 217: Los asteriscos indican las estaciones de muestreo y los segmentos del río Aconcagua y sus afluentes están demarcados con colores. No está incluida la estación de monitoreo del estero San Isidro por no existir como segmento.	279
Figura 218: Ubicación de las estaciones de muestreo en los distintos segmentos descritos.	280
Figura 219. Pasos del tripe lavado y logo.	288
Figura 220: Muestra de un plástico triturado.	289
Figura 221: Escolares en clases del “Programa Agricultores del Futuro” que dicta AFIPA.	291

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Caracterización del uso del suelo en la cuenca del río Aconcagua	15
Tabla 2: Caracterización del uso del suelo agrícola en la cuenca del río Aconcagua	17
Tabla 3a: Principales plaguicidas utilizados por cultivo y diferenciados por grupo químico	22
Tabla 3b: Principales plaguicidas utilizados por cultivo y diferenciados por grupo químico	23
Tabla 4: Grupos químicos más utilizados en el área encuestada	24
Tabla 5: Determinación de uso de fertilizantes	39
Tabla 6: Determinación de la superficie de aplicación de fertilizantes	40
Tabla 7: Determinación de uso de fertilizantes	42
Tabla 8: Fuentes puntuales que descargan sus residuos líquidos al río Aconcagua y sus afluentes	47
Tabla 9: Concentraciones de plaguicidas detectados en la 1ª campaña	65
Tabla 10: Índice de coliformes fecales v/s enterococos fecales aguas subterráneas	73
Tabla 11a: Concentraciones de metales y materia orgánica en sedimentos de la cuenca del río Aconcagua	74
Tabla 11b: Concentraciones de metales y materia orgánica en sedimentos de la cuenca del río Aconcagua	74
Tabla 11c: Concentraciones de metales y materia orgánica en sedimentos de la cuenca del río Aconcagua	75
Tabla 12: Concentraciones de metales detectadas en sedimentos, durante enero de 2004.	79
Tabla 13: Resultados analíticos de la campaña de monitoreo de suelos	82
Tabla 19: Relación de concentración (mg/k) de elementos traza en suelos de uso agrícola, forestal, parque nacional y áreas industriales	90
Tabla 20: Niveles referenciales de arsénico en los suelos	91
Tabla 21: Niveles referenciales de cadmio en los suelos	93
Tabla 22: Niveles referenciales de cobre en los suelos	95
Tabla 23: Abundancia de los elementos micronutrientes y rango de concentración habitual en los suelos (mg/k)	96
Tabla 24: Niveles referenciales de hierro en los suelos	99
Tabla 25: Niveles referenciales de manganeso en los suelos	100
Tabla 26: Niveles referenciales de molibdeno en los suelos	101
Tabla 27: Niveles referenciales de plomo en los suelos	103
Tabla 28: Niveles referenciales de zinc en los suelos	105
Tabla 29: Muestras efectivamente procesadas. Quillota y San Felipe, 2001 -2004	108
Tabla 30: Lugares, uso del suelo y fechas de muestreo. Quillota y San Felipe, 2001 - 2004	109
Tabla 31: Valores mínimos y máximos de actividad de AChE. Quillota y San Felipe 2001 - 2004	110
Tabla 32: Resultados de la campaña de aforos realizadas en octubre y diciembre de 2004	132
Tabla 33: Identificación y descripción de los caudales utilizados del modelo MOS de la D.G.A.	134
Tabla 34: Valores de los flujos aportantes y de extracción consideradas en el modelo MOS para los meses de septiembre a diciembre de 1994.	137

Tabla 35: Valores de los flujos aportantes y de extracción consideradas en el modelo MOS para los meses de septiembre a diciembre de 1994.	140
Tabla 36: Estaciones de muestreo en el río Aconcagua	142
Tabla 37: Puntos de muestreo en los esteros afluentes al río Aconcagua	143
Tabla 38: Estaciones de muestreo en las descargas contaminantes consideradas	143
Tabla 39: Resultados de la Campaña I de aguas superficiales para modelación (sept 04).....	145
Tabla 40: Resultados de la Campaña II de aguas superficiales para modelación (nov-04).....	146
Tabla 41: Resultados de la Campaña III de calidad de aguas realizada por la Universidad Mayor (DIC-04)	147
Tabla 42: Resultados hidráulicos entregados por Qual2Kw para el mes de septiembre de 2004	189
Tabla 43: Resultados hidráulicos entregados por Qual2Kw para el mes de noviembre de 2004.....	190
Tabla 44: Resultados de calidad entregados por Qual2Kw para el mes de septiembre de 2004.....	191
Tabla 45: Resultados de calidad entregados por Qual2Kw para el mes de noviembre de 2004.	192
Tabla 46: Resultados de calidad entregados por Qual2Kw para el mes de diciembre de 2004.	193
Tabla 47: Balance de Masa Global sector 2	219
Tabla 48: Flujos para las zonas de balance	219
Tabla 49: Resultados de la Calibración.....	223
Tabla 50: Balance de Masa Global sector 2.....	241
Tabla 51: Flujos Subterráneos pasantes en zonas de balance	242
Tabla 52: Resultados de la Calibración.....	247
Tabla 53: Estaciones de monitoreo para el Programa de Vigilancia y las que tiene la DGA.....	281
Tabla 54: Unidades, límite de detección y costos de los parámetros de muestreo.....	282
Tabla 55: Estaciones de monitoreo, sus segmentos, y el costo total de 1 año de muestreo (cuatro campañas).	283
Tabla 56: Caudales de Drenaje del Área de Botaderos de Lastre (L/s).....	296

INTRODUCCIÓN

En el Tomo I del presente informe se entregó en detalle, la metodología tipo para evaluar la contaminación de las cuencas hidrográficas del país, a través de la aplicación específica a la cuenca del río Aconcagua. Se debe reiterar, que para efectos de la evaluación ecotoxicológica, en lo que respecta a aguas muy salinas correspondientes a zonas áridas, deben utilizarse organismos test adaptados a dichos biomas, para lo cual existen bioensayos de toxicidad debidamente estandarizados.

El presente volumen entrega los resultados de la ejecución del proyecto que se inició el 2001 y finalizó en enero de 2005, a través de una secuencia ordenada de 10 capítulos, relacionados directamente con los capítulos que describieron los aspectos metodológicos en el Tomo precedente.

A pesar de que ya fue entregado un informe relativo a la modelación de las aguas superficiales con los softwares QUAL2E y QUAL2K y para aguas subterráneas con Visual MODFLOW, también se incluye el capítulo correspondiente a los resultados y su aplicación con el SIG. No obstante, la extensión de este capítulo parece indicar que éste debe ir en un informe separado.

En el capítulo final, se entrega una propuesta de clases de calidad por tramos de la cuenca, sobre la base de la aplicación del percentil 66, a los resultados de los parámetros medidos durante el monitoreo de las aguas superficiales. Dicha propuesta se preparó considerando la “Guía CONAMA para el Establecimiento de las Normas Secundarias de Calidad Ambiental para Aguas Continentales Superficiales y Marinas”.

Con respecto a las medidas de mitigación, se plantea un Programa de Vigilancia de la calidad de las aguas superficiales de la cuenca y su correspondiente valoración económica. A su vez, se propone incentivar la instalación de centros de acopio de envases vacíos de plaguicidas, con el fin de evitar la quema, entierro o eliminación de éstos en los canales de regadío.

Se presenta un tercer tomo, el cual adjunta los anexos con tablas y gráficos de resultados de aguas y suelos, así como material bibliográfico de apoyo. Los anexos de la modelación, se entregan en un CD.

Desde el punto de vista académico, el proyecto significó un aporte valioso para la formación de estudiantes de pregrado, desarrollándose 10 tesis, siete finalizadas y las restantes en proceso de revisión. Además se realizaron prácticas profesionales para cinco estudiantes y una práctica intermedia. Por otra parte, se contó con el apoyo de 11 estudiantes voluntarios, quienes apoyaron, principalmente, las actividades de terreno para elaborar la carta de uso del suelo, la aplicación de la encuesta de uso de agroquímicos y las campañas de captura de fauna silvestre.

CAPÍTULO 1: USO DEL SUELO AGRÍCOLA Y ACTUALIZACIÓN DE LA INFORMACIÓN DE USO DE PLAGUICIDAS Y FERTILIZANTES EN LA CUENCA DEL RÍO ACONCAGUA

1.1 CARACTERIZACIÓN DEL USO DEL SUELO

Tal como se describió en la metodología para determinar el uso del suelo (Tomo I), debido a la gran cantidad de polígonos que contaban con más de un cultivo, lo cual pese a contar con los porcentajes designados, generó dificultades al momento de analizar los datos y considerando la necesidad de incorporar parte de las especies de frutales –tanto caducos como perennes- en una tabla, es que se procedió a aislar todos los cultivos y frutales relevantes para su posterior análisis. Con ayuda de la información del catastro frutícola, superponiendo la información sobre la carta de uso del suelo, se indicó la especie del frutal contenida y se procedió a corregir (cuando fue necesario) la delimitación del rodal. De esta manera se chequearon cerca de 40.000 ha de la zona agrícola, que se traducen en los más de 5 mil polígonos contenidos en el catastro. La tabla contiene un campo adicional llamado Especie, el cual indica el nombre del frutal que contenía el catastro. Todos los cultivos de interés finalmente quedaron aislados y las únicas agrupaciones que se conservaron, son aquellas que no tienen mayor relevancia para las posteriores manipulaciones de datos.

Considerando que la superficie de la cuenca es de 736.475,73 ha (tabla 1), se observa que el uso agrícola está conformado por 95.253,20 ha, lo que representa el 12,93% de la superficie total. Con respecto a las áreas urbanas e industriales, se ubican en 1.453,86 ha con un 0,2% del total. Los bosques ocupan una superficie 47.853,06 ha (6,5% del total) y las pradera y matorrales cubren 332.150,33 ha (45,1% del total).

Tabla 1: Caracterización del uso del suelo en la cuenca del río Aconcagua

Uso	Cantidad Polígonos	Superficie (ha)	Porcentual respecto de la cuenca (%)
Áreas Desprovistas de Vegetación	28	187251.55	25.43
Áreas Urbanas e Industriales	19	1453.86	0.20
Bosques	59	47853.06	6.50
Ciudad	13	5113.73	0.69
Cuerpos de Agua	10	722.93	0.10
Humedales	6	525.48	0.07
Nieves y Glaciares	10	66151.59	8.98
Praderas y Matorrales	72	332150.33	45.10
Uso Agrícola	96	95253.20	12.93
TOTAL		736475.73	100.00

La figura 1 muestra con diferentes colores las áreas que conforman el uso del suelo, considerando cantidad de polígonos, superficie en ha y la proporción porcentual respecto de la superficie total de la cuenca.

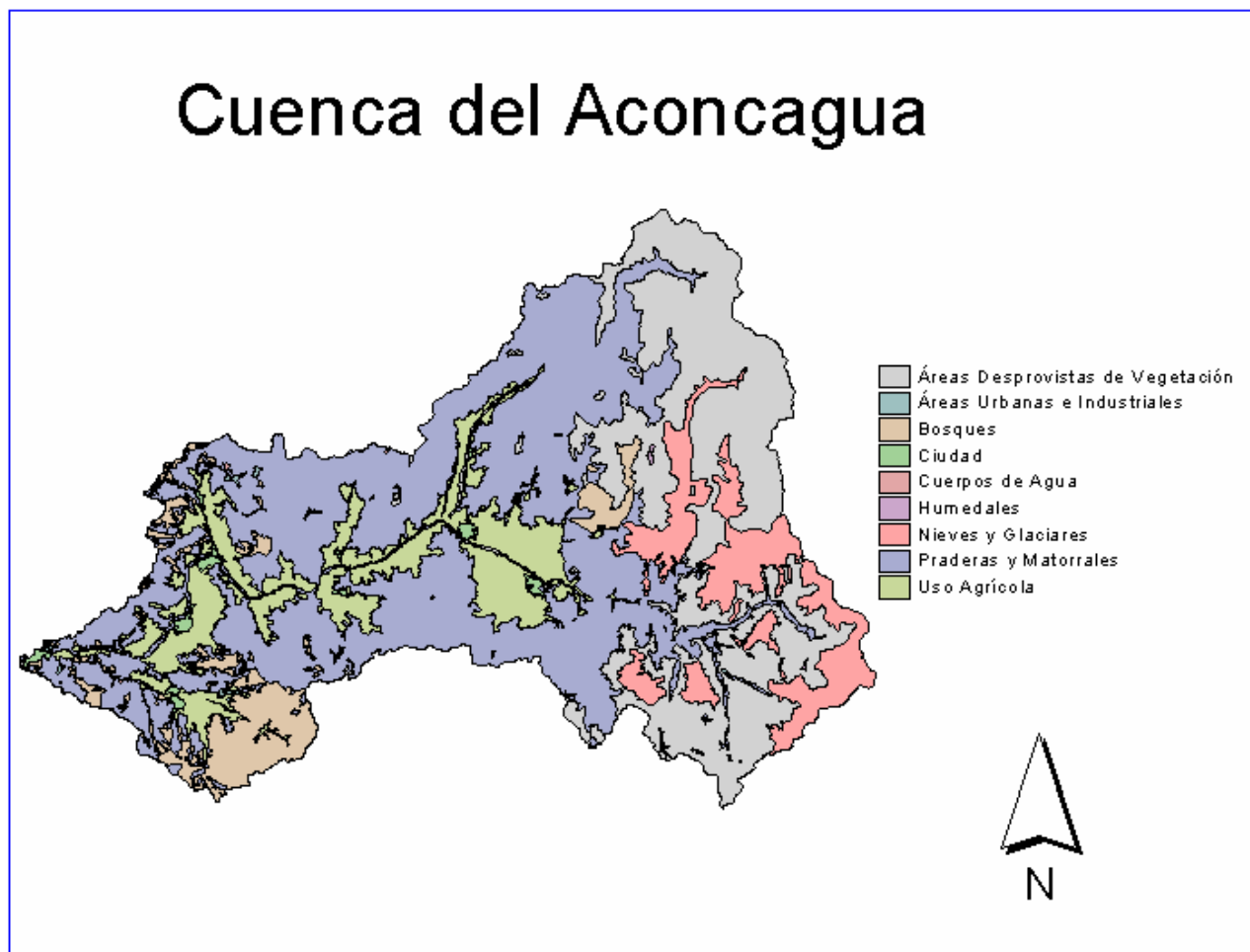


Figura 1: Mapa temático relativo al uso del suelo en la cuenca del río Aconcagua

Respecto del uso agrícola (tabla 2), las chacras ocupan la superficie más importante con 24.106,38 ha, lo que equivale al 25,3% del total de la superficie agrícola. La uva representa el 2° cultivo más importante, si se incluye uva de mesa y viñas, correspondiendo a cerca del 16,3% del área total.

La alfalfa también se aprecia como un cultivo de cierta relevancia con casi 4.000 ha, que equivalen a 4,2% del área agrícola.

Dentro de *gramíneas*, se agrupó a los cultivos avena, cebada, centeno, maíz y trigo, los cuales ocupan una superficie de 2.854,82 ha, equivalentes a casi el 3% del área de uso agrícola.

Llama la atención la presencia de invernaderos de tomates, los cuales cubren una superficie de 1.997 ha, igual al 2,1% del área.

Tabla 2: Caracterización del uso del suelo agrícola en la cuenca del río Aconcagua

Uso	Cantidad Polígonos	Superficie (ha)	Porcentual respecto al área agrícola (%)	Porcentual respecto de la cuenca (%)
Alfalfa	580	3996.95	4.1953	0.5425
Arándano	3	3.95	0.0041	0.0006
Bosque	79	933.68	0.9805	0.1269
Chacra	1364	24106.38	25.3092	3.2739
Curagüilla	26	116.60	0.1225	0.0157
Eucaliptos	21	163.19	0.1715	0.0222
Flores	12	35.82	0.0376	0.0050
Frambuesas	14	114.18	0.1199	0.0154
Frutal hoja caduca	1560	11924.09	12.5200	1.6209
Frutal hoja perenne	1187	18368.33	19.2832	2.4946
Frutillas	1	1.46	0.0015	0.0002
Gramíneas	422	2854.82	2.9971	0.3872
Humedal	2	16.06	0.0169	0.0022
Inv. Tomate	320	1997.44	2.0981	0.2716
Invernadero de flores	6	22.22	0.0233	0.0031
Kiwi	35	357.69	0.3755	0.0488
Maravilla	3	4.22	0.0044	0.0006
Matorral	166	3280.03	3.4437	0.4457
Otros	1228	8143.44	8.5506	1.1041
Pradera	228	1778.85	1.8668	0.2422
Reserva Nacional Ecológica	2	45.46	0.0477	0.0062
Suelo arado	154	876.51	0.9200	0.1188
Suelo desnudo	80	439.11	0.4611	0.0597
Tabaco	21	110.80	0.1163	0.0150
Tunas	21	46.04	0.0483	0.0063
Uva	1109	15515.86	16.2887	2.1056
TOTAL		95253.18	100.0038	12.9350

Nota: Dentro de la categoría Otros se incluye: plantas ornamentales, álamos, malezas, secado de uva, basural clandestino, áridos, aserradero, caballeriza, cerro, carretera, cementerio, central eléctrica, centro ecuestre, construcciones, criadero (aves, cerdos), embalses, tranques de relave, escombros, ganado, agroindustrias, lecherías, parque, planta tratamiento de aguas, santuario, centrales hidroeléctricas, tierra de hoja, riberas de río, tranques, viveros y campamentos.

La elaboración de la carta de uso de suelo agrícola y la aplicación de la encuesta de agroquímicos, fueron hitos relevantes para desarrollar el análisis de riesgo de contaminación difusa generada por el uso de plaguicidas.

CAPÍTULO 2: ACTUALIZACIÓN DE INFORMACIÓN DE USO DE PLAGUICIDAS Y FERTILIZANTES EN LA CUENCA DEL RÍO ACONCAGUA

2.1 ANÁLISIS DE LA ENCUESTA DE USO DE AGROQUÍMICOS

Se encuestaron 93 predios, los cuales se distribuyeron en semejante proporción, con el fin de poder analizar los diferentes aspectos de la encuesta dentro de cada grupo definido por el tamaño de los predios. Es así como se analizaron las encuestas de 31 predios pequeños (de menos de 1 ha a 12 ha), 31 predios medianos de (más de 12 a 60 ha) y 31 predios grandes (más de 60 ha).

2.1.1 Disponibilidad de Riego

Del total del área encuestada, el 99,1% se encuentra cubierto por algún tipo de riego (el resto es seco). El sistema de riego predominante es el tradicional o gravitacional, formando parte del 84% de las explotaciones agrícolas regadas, mientras el tecnificado cubre casi un 16% del mismo terreno.

En lo que respecta a los distintos estratos, es únicamente en el grupo de los grandes productores donde predominan los sistemas tecnificados (representando al 63% del área regada por este grupo), mientras que en los otros dos estratos, es el riego de tipo tradicional el que abarca una mayor superficie, siendo de más del 48% en los medianos y alrededor del 90% de la superficie regada por pequeños productores (figura 2).

Se realizó un paralelo entre los sistemas de riego que predominan dentro de los cultivos incluidos en los tres estratos. Estos resultados quedan reflejados en los gráficos de la figura 3.

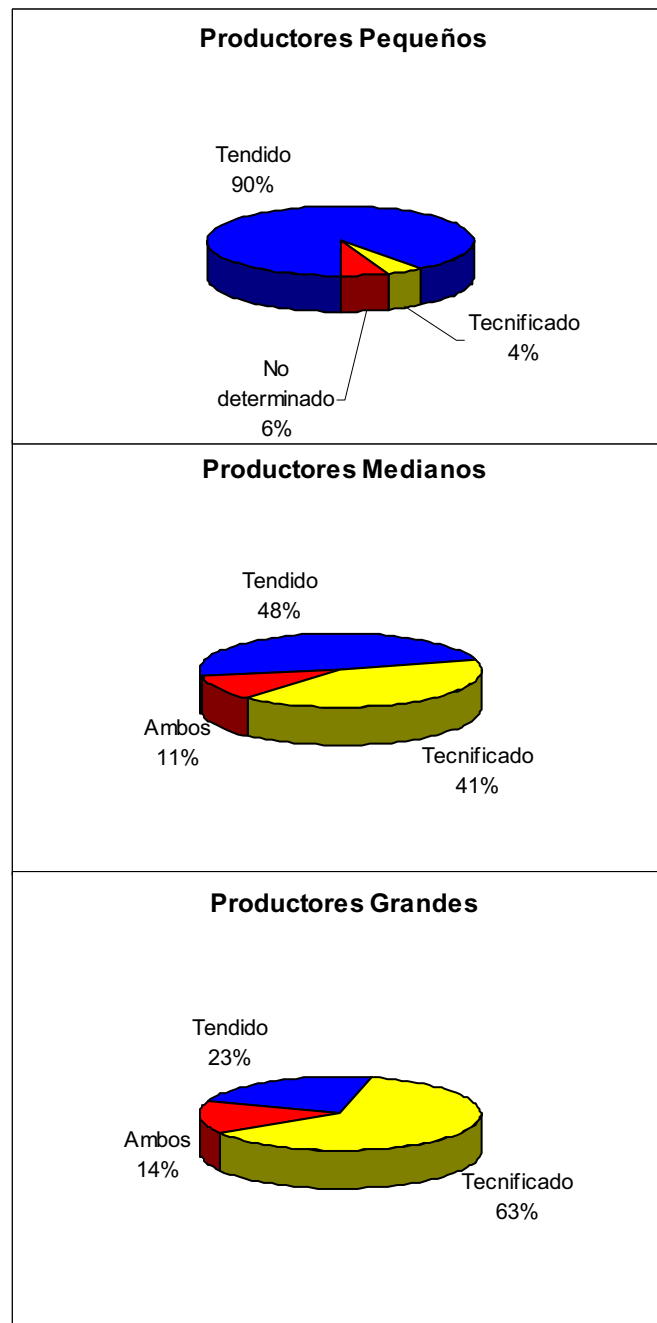


Figura 2: Distribución de la superficie regada según tipo de riego y estrato

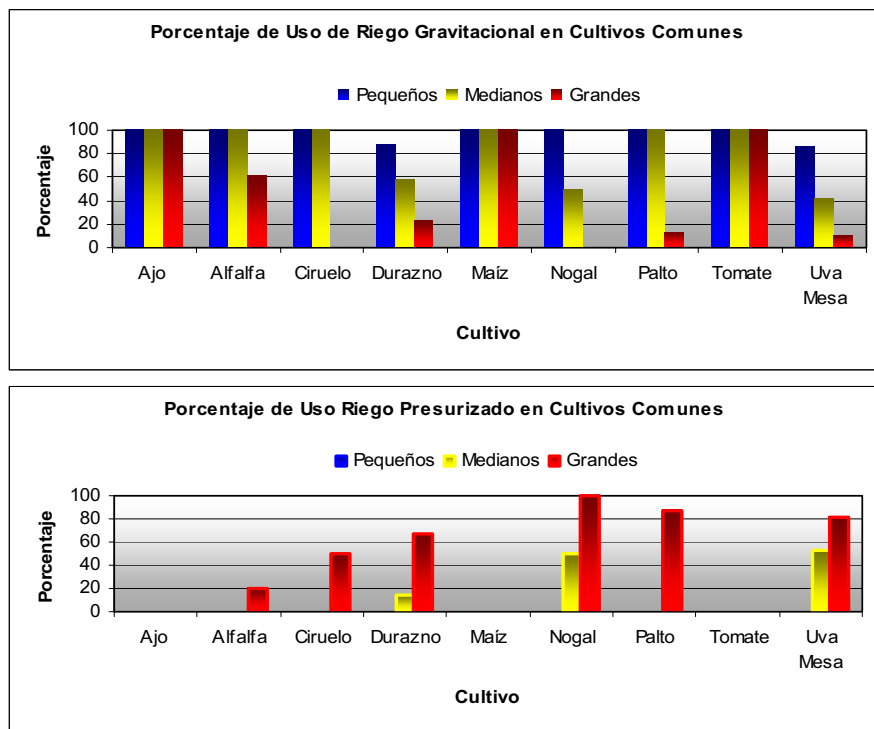


Figura 3: Uso de riego gravitacional y tecnificado en cultivos comunes a los tres estratos de productores.

Como se puede observar en la figura 3, mientras el riego gravitacional predomina entre los pequeños productores para los cultivos desarrollados por los tres estratos, entre los agricultores grandes, los cultivos en que se puede aplicar el sistema presurizado (como nogales y paltos), se ven, en su mayor porcentaje, cubiertos por este tipo de riego. El estrato de los medianos, presenta porcentajes intermedios de uso de riego presurizado en los cultivos que lo permiten, sistema que los pequeños productores casi no aplican a sus plantaciones.

2.1.2 Aplicación de plaguicidas

Para efectos de análisis de la distribución de plaguicidas durante el año, se dividió el año en cuatro trimestres o temporadas de aplicación, considerando las estaciones del año. De esta forma, se determinó que es la primavera la época donde se aplica la mayor cantidad de plaguicidas, proporción que se mantiene a inicios del verano, para decrecer al final de este trimestre. La aplicación aminorar aún más durante el otoño, para alcanzar y mantenerse en sus niveles mínimos durante el invierno, volviendo a aumentar de manera paulatina en el último mes de este trimestre.

Los peaks de aplicación de cada uno de los estratos son los siguientes: septiembre para los pequeños productores, noviembre para los medianos y diciembre para agricultores grandes (figura 4). La excepción se relaciona con el cultivo de hortalizas y los invernaderos de tomates, a los cuales se les aplica plaguicidas durante las cuatro temporadas.

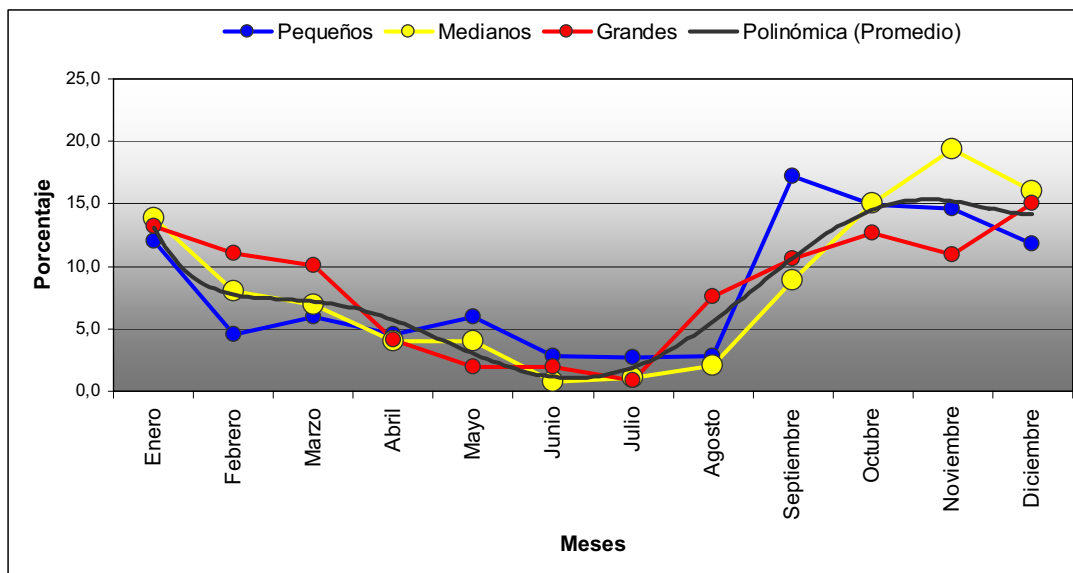


Figura 4: Distribución de la aplicación de plaguicidas en los tres estratos de productores durante el año.

Se puede concluir que el mes de mayor aplicación de plaguicidas es diciembre, donde se aplica el 14,8%, luego siguen los meses de noviembre, octubre y enero, con porcentajes de entre el 14,1 y 13,2% del total anual. En base a lo expuesto, se puede concluir que la época o trimestre de mayor riesgo ambiental asociado a la aplicación de los plaguicidas en la cuenca, es el trimestre de primavera.

Los plaguicidas utilizados se pueden agrupar por grupo químico y principios activos, identificándose 34 grupos químicos (tablas 3a y 3b) y 91 principios activos.

Tabla 3a: Principales plaguicidas utilizados por cultivo y diferenciados por grupo químico

Grupo químico	Hortalizas	Inv. Tomates	Uvas	Carozos	Cítricos	Paltos
Organofosforado	x	x	x	x	x	x
Ac.Benzoico						
Ac.Fosfinico				x		
Acidos cyninnamic	x					
Acilalaninas	x					x
Bencimidazoles	x	x	x	x		
Benzoylurea		x				
Biopesticida		x				
Bipiridilo			x			
Carbamato	x	x	x	x	x	x
Chloronitrilos	x					
Cloronicotinilo		x	x			
Cyclodiene				x		
Dicarboximidas			x	x		
Difeniléter	x					
Dinitroanilina	x		x	x		
Ditiocarbamato	x					
Fenoxipropionato		x				
Glicina	x	x	x	x	x	x
Hydroxianilida		x				
Imidazol		x				
Imidazolinás						
Inhibidor de esterol	x					
Inhibidor de quitina		x				
Neonicotenoide		x				
Oximinoacetate		x				
Piperazina				x		
Piretroides	x	x		x		
Piridamina +Fenilpirrol		x	x			x
Pirimidina			x	x		
Strobilurin type	x		x	x		
Thalimida	x	x	x	x		
Triazoles	x	x	x	x	x	
Tritiano amina		x				

Tabla 3b: Principales plaguicidas utilizados por cultivo y diferenciados por grupo químico

Grupo químico	Maíz	Alfalfa	Membrillos	Pl. ornam.	Trigo	Tunas
Organofosforado	x	x	x		x	
Ac.Benzoico	x					
Ac.Fosfinico						
Acidos cyninnamic						
Acilalaninas						
Bencimidazoles				x		
Benzoylurea						
Biopesticida						
Bipiridilo		x				
Carbamato						
Chloronitrilos						
Cloronicotinilo						
Cyclodiene						
Dicarboximidas						
Difeniléter						
Dinitroanilina						
Ditiocarbamato						
Fenoxipropionato						
Glicina	x	x				x
Hydroxianilida						
Imidazol						
Imidazolinas		x				
Inhibidor de esteroI						
Inhibidor de quitina						
Neonicotenoide						
Oximinoacetate						
Piperazina						
Piretroides						
Piridamina +Fenilpirrol						
Pirimidina						
Strobilurin type						
Thalimida				x		
Triazoles						
Tritiano amina						

Los organofosforados representan el grupo químico más utilizado (36,7% de los agricultores de la muestra), seguido de compuestos inorgánicos (12,3%) que corresponden a las distintas formulaciones en las que se aplica el azufre (entre otros).

Los inorgánicos no están indicados en las tablas precedentes, ya que fueron excluidos del análisis de riesgo de contaminación difusa. Otros grupos químicos de relevancia son los triazoles, thalimidas, difeniléteres y bencimidazoles (tabla 4)

Tabla 4: Grupos químicos más utilizados en el área encuestada

Grupo químico	% Productores que aplican
Organofosforados	36,7%
Inorgánicos	12,3%
Triazoles	7,3%
Thalimidas	4,8%
Difeniléteres	4,5%
Benzimidazoles	4,3%

Los **organofosforados** representan el grupo químico de mayor uso por más productores dentro de cada uno de los estratos, siendo alrededor de un 37% de los pequeños productores quienes los aplican, por el 27% de los medianos y 18% de los agricultores grandes. También los Inorgánicos cumplen un rol protagónico, en cuanto a que son los plaguicidas usados por una gran cantidad de productores de los tres estratos (entre un 11 y un 28% de los productores, dependiendo de los estratos).

Como ya se señaló previamente, los organofosforados son los que se ocupan en más cultivos diferentes, que otros grupos. Existen algunas excepciones, sobre todo asociadas a los productos que ocupan el tercer lugar en cuanto a la cantidad de cultivos en que se aplican. Tal es el caso, por ejemplo, en los productores medianos, donde las dinitroanilinas representan el tercer grupo químico que se ocupa en una gran variedad de cultivos diferentes (16% en el estrato), mientras que los triazoles, terceros en cuanto a número de productores, se ocupan en el 8% de los cultivos.

Entre los grandes agricultores también existen casos especiales, ya que los piretroides y aceites se utilizan en el gran porcentaje de los cultivos, junto a los inorgánicos y triazoles, con porcentajes del 25,9 y 22,2%, respectivamente.

Con respecto a los principios activos, el **glifosato** es el más utilizado por los productores del área encuestada (15,1%).

Entre los pequeños agricultores, los principios activos más usados son: glifosato (45%), metamidofos (29%) y azinfos metil, ocupado por casi el 25% de estos productores.

Más de la mitad de los agricultores medianos aplica glifosato y metamidofos en sus explotaciones, mientras cerca del 40% lo hace tanto con el azufre como con clorpirifos. Entre los grandes agricultores, glifosato y azufre son ocupados por más del 60% de ellos, metamidofos y clorpirifos por cerca del 40% y miclobutanil y azinfós metil por un cuarto de los productores de este grupo.

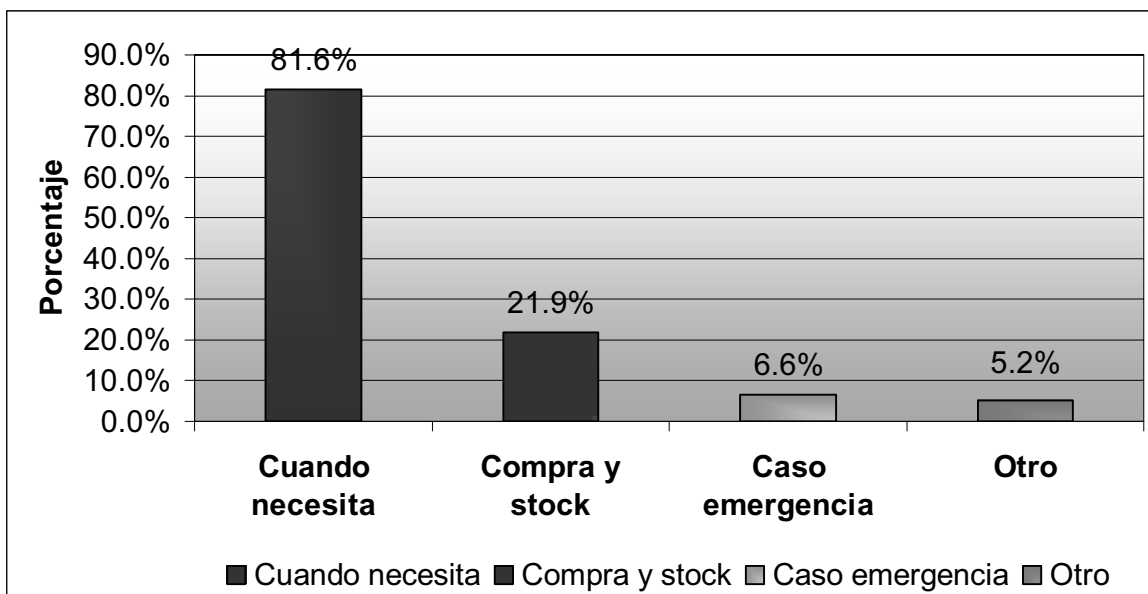
2.1.3 Motivo de compra de plaguicidas

Debe indicarse en el presente análisis, que la suma de porcentajes no entrega necesariamente el 100%, ya que para medir esta variable, se plantearon en la encuesta cinco alternativas y varios encuestados respondieron más de una, lo que permitió la construcción de la figura 5.

La figura 5 muestra que casi el 22% de los agricultores compra plaguicidas y los mantiene en stock.

La mayoría de los productores del área (81%), adquiere los pesticidas cuando los necesita, caso que se contrapone a lo mencionado en el párrafo anterior.

Por otra parte, los agricultores que compran pesticidas en caso de emergencia, representan ser el 6,6% del total de los productores.



Nota: La suma de los porcentajes, no necesariamente resulta 100% debido a que algunos productores contestaron más de una alternativa

Figura 5: Motivo de compra de plaguicidas en los predios incluidos en el estudio.

Los otros motivos de adquisición de plaguicidas, coinciden, como se ve en la figura 6, con productores pequeños que no compran directamente estos insumos, sino que se les son entregados, ya sea por parte de una empresa que compra su producción, o a trabajadores que aplican el saldo de las empresas donde trabajan, en sus propios cultivos.

Dentro de la alternativa **Otros motivos**, respondida por los pequeños productores están:

- Son regalados por terceros.
- Son entregados por la empresa que le compra los productos.

En el caso del productor grande que contestó esta alternativa, se identifica como otro motivo, cuando se compra según la programación de producción.

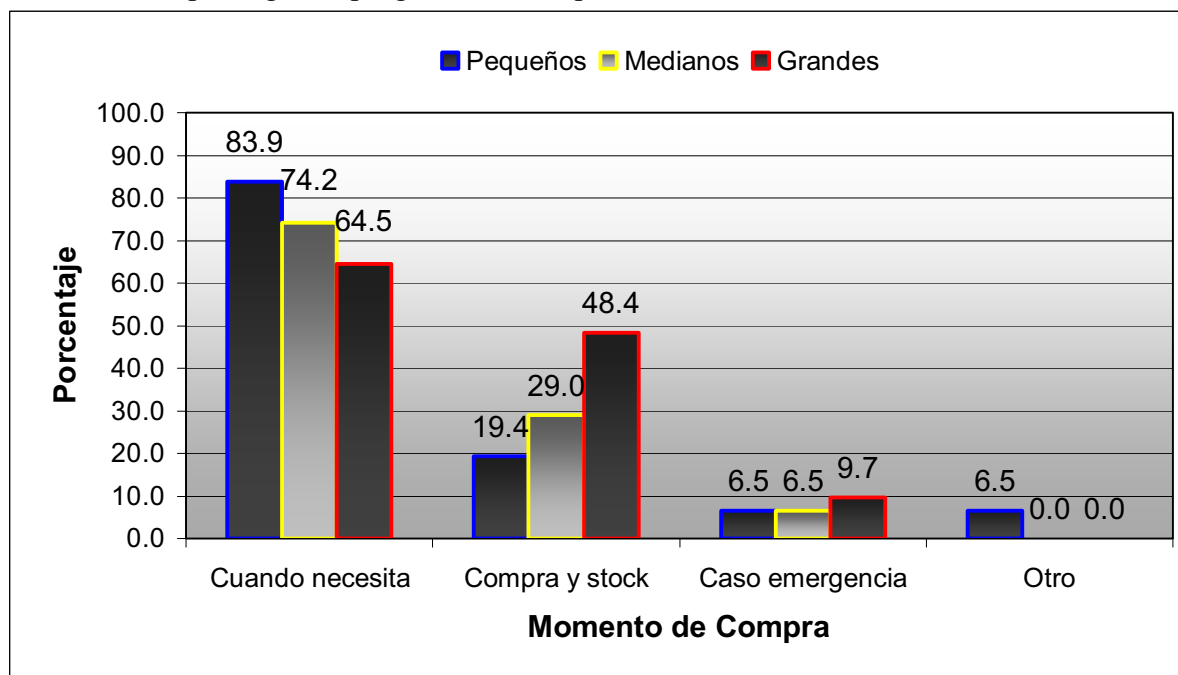


Figura 6: Motivo de compra de plaguicidas por estrato de productores.

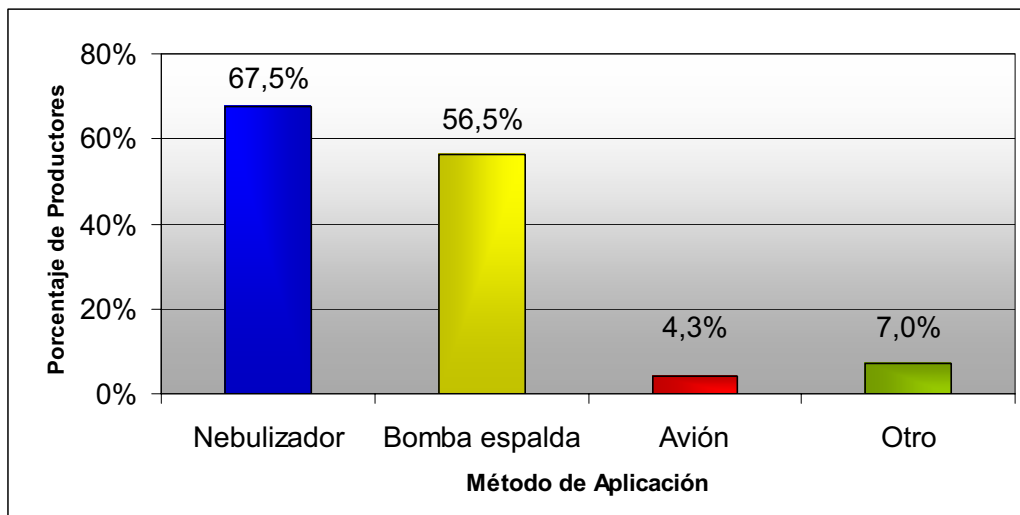
Asociando ambas figuras, se puede apreciar que el estrato pequeños productores es el que más adquiere plaguicidas cuando los necesita y es el que menos compra para mantener un stock. A su vez, a pesar de que en los productores grandes ocurre lo contrario (48,4%), casi el 65% de ellos compra estos insumos cuando los requiere.

2.1.4 Metodologías de aplicación de plaguicidas

A través de la encuesta, se determinó la manera en que los pesticidas se aplican en los predios de la cuenca del río Aconcagua. Para ello se presentaron, a los productores, cuatro alternativas de respuesta no excluyentes en la que se resumen, básicamente, las metodologías de aplicación.

Así se estableció (fig. 7) que el método de aplicación más utilizado es el nebulizador (por el 67,55 de los productores), seguido por la bomba de espalda, método más económico y, por ende, más asequible para cualquier productor. La aplicación de plaguicidas por avión es bastante escasa, ya que menos del 5% de los agricultores utiliza este método. Las formas de aplicación que más se mencionan dentro de la categoría “otro”, son el pitón y la barra (variantes del nebulizador convencional), la pulverizadora mecánica y el sistema de riego por goteo. Este último es un sistema de riego presurizado que, a diferencia del gravitacional o tradicional, posibilita la aplicación de algunos agroquímicos.

Si los resultados se analizan por estrato, se puede ver que el método más utilizado por pequeños productores es la bomba de espalda.



Nota: La suma de los porcentajes, no necesariamente resulta 100% debido a que algunos productores contestaron más de una alternativa

Figura 7: Métodos de aplicación de plaguicidas en el área de estudio

No se observan grandes diferencias en cuanto al uso del nebulizador por parte de productores medianos y grandes, diferencia que se acrecienta en el caso del uso de avión para la aplicación de pesticidas (figura 8).

Cabe destacar que, en la categoría “Otro”, fueron los grandes agricultores los que mayor porcentaje obtuvieron. Ya que las alternativas propuestas en la encuesta apuntaban a los métodos de aplicación más comunes o tradicionales, el 38,7% obtenido por dicho estrato pudiese referirse a que son éstos los que más incorporan nuevas metodologías de aplicación de plaguicidas en sus predios.

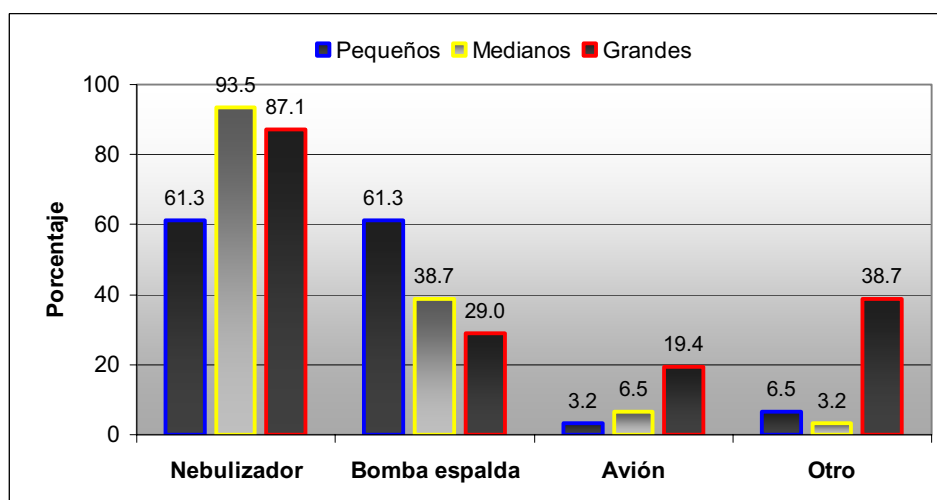
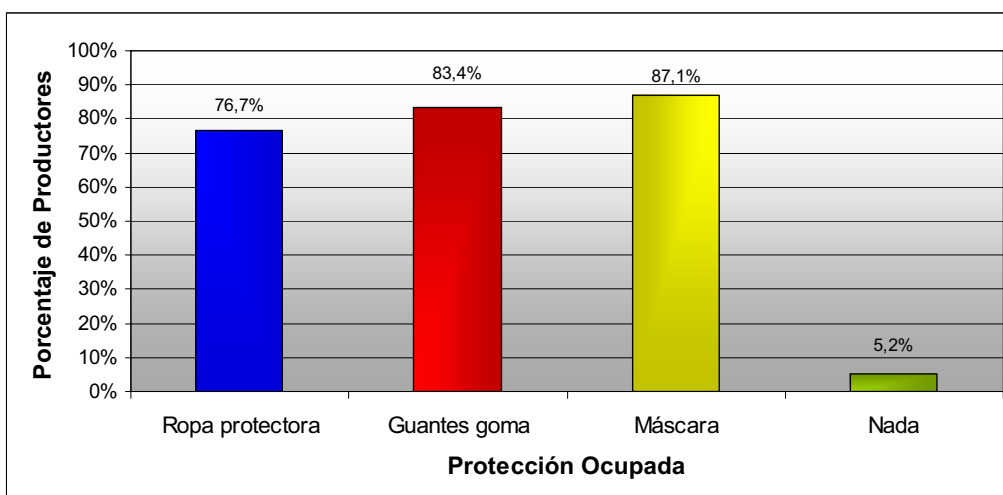


Figura 8: Métodos de aplicación de plaguicidas por estrato de productores

2.1.5 Métodos de protección utilizados para la aplicación de plaguicidas

Con la finalidad de determinar el grado de protección proporcionado y ocupado por los aplicadores, se les propuso, en la encuesta a los productores, cuatro alternativas no excluyentes de respuesta, a través de las que se obtuvieron los resultados que se exponen en la figura 9.



Nota: La suma de los porcentajes, no necesariamente resulta 100% debido a que algunos productores contestaron más de una alternativa

Figura 9: Protección utilizada al momento de la aplicación de plaguicidas

Las cifras obtenidas demuestran que sobre el 75% de los productores utiliza todos los métodos de protección señalados en la encuesta, al momento de la pulverización. Esta protección consta de ropa protectora, guantes de goma y máscara. Tan sólo el 5,2% de los productores del área de estudio no utiliza protección alguna durante la aplicación.

Si se desglosan los resultados, se puede determinar que el estrato de los pequeños productores es el que menos protección utiliza, comparándolo con los otros grupos de productores. La ropa protectora es el resguardo menos ocupado por este estrato, mientras que los guantes y la máscara son implementos usados por un porcentaje similar de los productores pertenecientes al estrato mencionado (por alrededor del 82% de ellos). Este estrato también es el único en el que existe un porcentaje de productores (6%), que no utiliza ningún tipo de protección al momento de aplicar los plaguicidas (figura 10).

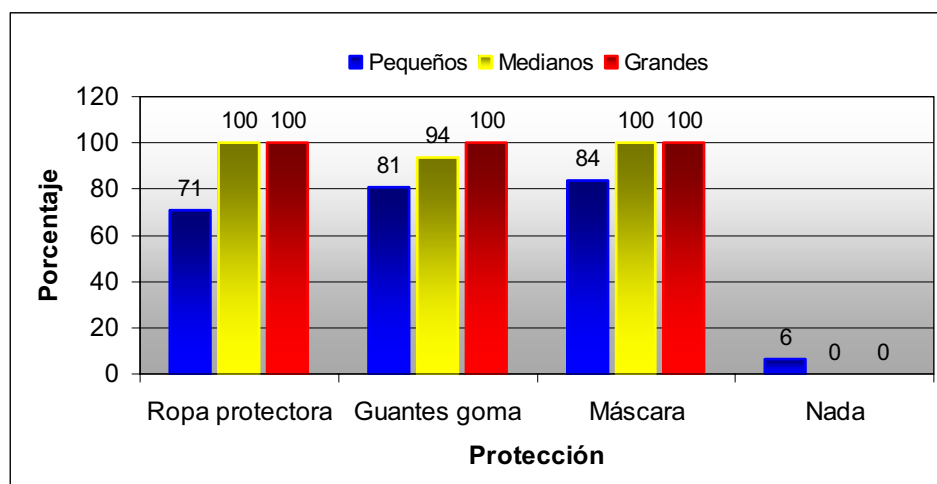


Figura 10: Protección utilizada en los tres estratos durante la pulverización

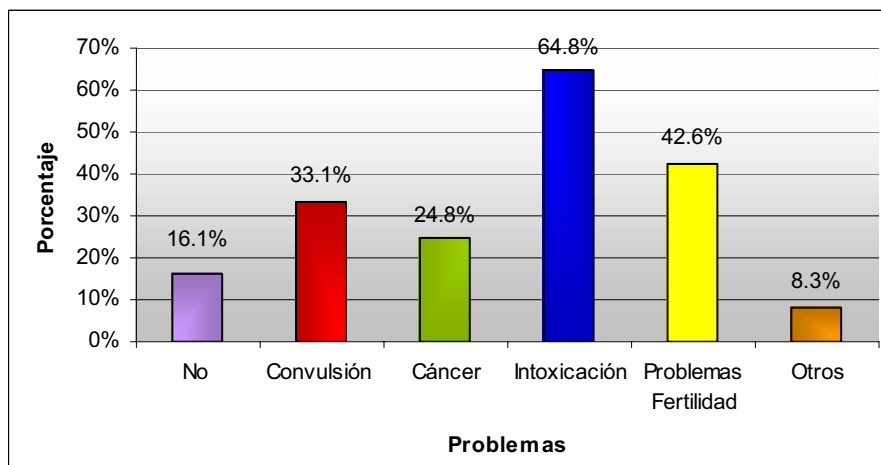
Sobre la base de los resultados obtenidos, se determinó que, el 100% de los productores medianos y grandes, ocupa todos los métodos de protección indicados en la encuesta. La única excepción es en el caso de los guantes de goma, los cuales son empleados por el 94% de los productores medianos.

2.1.6 Problemas de Salud

Dos fueron, a grandes rasgos, los parámetros evaluados en la encuesta acerca del tema de salud. El primero respecto del conocimiento que los productores acerca de los problemas de salud que pudiesen manifestarse por el mal uso de los pesticidas. Para ello, se indicaron seis alternativas, las que se podían responder de forma independiente. Como segundo parámetro evaluado, se determinó si los encuestados o alguna persona que trabajara con ellos, presentaban o habían presentado alguna enfermedad o problema por el mismo motivo. En el caso de que así fuere, se procedió a determinar cuál es o fue el motivo de esta alteración y si requirió o no tratamiento médico.

Como resultado, se determinó que el 83,9% de los productores del área de estudio, están concientes de que existen problemas de salud asociados al mal uso de plaguicidas.

Dentro de las alteraciones mencionadas por ellos, la intoxicación resultó ser la más conocida (señalada por casi el 65% de los agricultores encuestados). Le siguen a ésta los problemas de fertilidad y las convulsiones; el cáncer resultó ser la patología menos asociada al mal uso de estos productos, aunque un cuarto de los encuestados la mencionó. Entre las otras enfermedades o alteraciones nombradas, las más frecuentes fueron las alteraciones a la piel, náuseas, alergias, malformaciones (teratogénesis), entre otras. Los resultados en detalle y porcentajes correspondientes, se pueden apreciar en la figura 11.



Nota: La suma de los porcentajes, no necesariamente resulta 100% debido a que algunos productores contestaron más de una alternativa

Figura 11: Conocimiento de problemas de salud provocados por el uso de plaguicidas

Interesante es el hecho de que, si se desglosan las respuestas de este ítem entre los estratos (expuestas en la figura 12), el porcentaje de respuesta de los que no conocen problemas de salud producidos por la mala manipulación y uso de plaguicidas, es el mismo entre ellos, mientras el orden de mayor a menor conocimiento acerca de las distintas alternativas, es bastante similar. Existe una diferencia destacable en cuanto al cáncer, que es la 2ª patología reconocida por los grandes productores y que ocupa el último lugar, en su mención, entre los otros estratos.

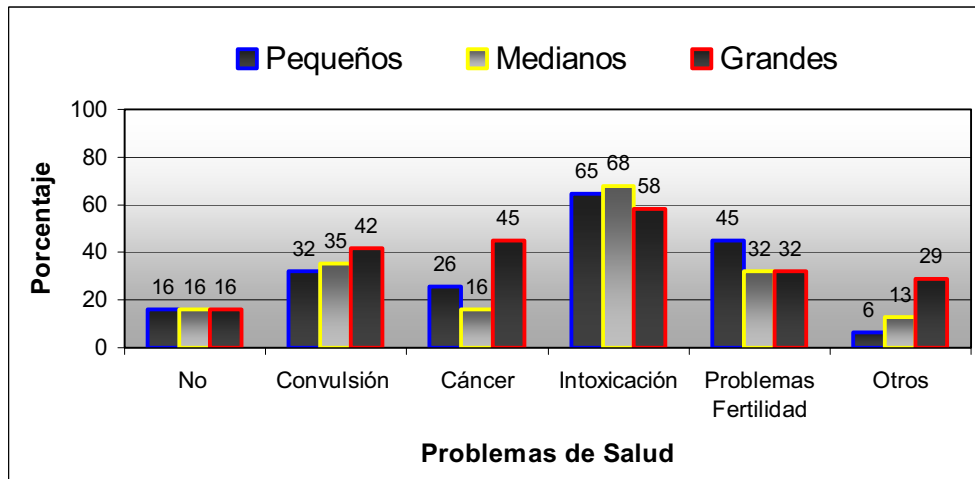


Figura 12: Conocimiento de problemas de salud, por estrato, derivados del mal uso de plaguicidas

Sobre la base de las respuestas de los encuestados, se evidencia que ellos han observado una baja frecuencia de problemas de salud provocados por plaguicidas. Es así como en los predios pequeños y medianos, se reconoce la ocurrencia de problemas de salud en un caso respectivamente. En los predios grandes se reconocen tres casos relacionados con el mal uso de plaguicidas.

El caso observado en los predios pequeños, fue una **fibrosis pulmonar**, debido a inhalación del químico.

En los predios medianos se observó un caso de intoxicación, cuya causa no se señala.

Los casos descritos en los predios grandes fueron dos por intoxicación, uno causado por derrame y otro por inhalación y el nacimiento de un niño con labio leporino, cuya causa no fue identificada en la encuesta.

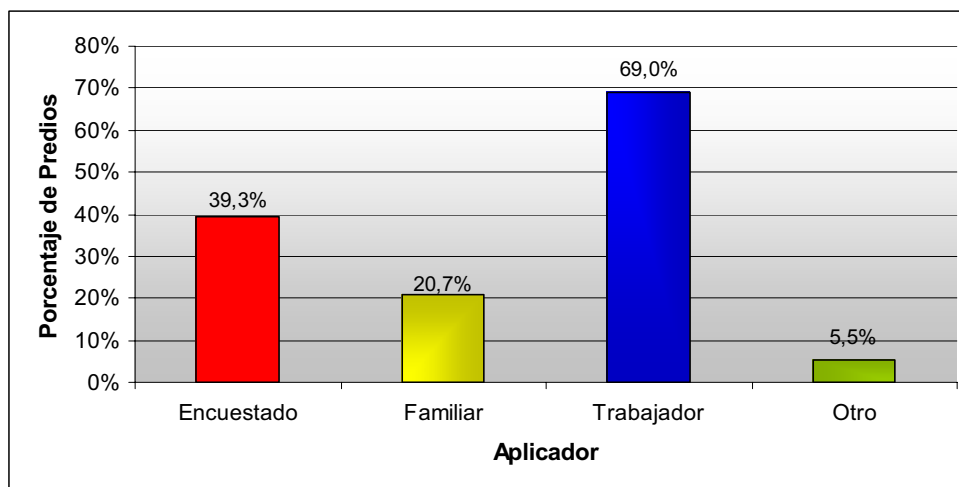
El 100% de los casos mencionados recibieron tratamiento médico.

2.1.7 Responsables de la aplicación de plaguicidas

Para la respuesta a esta pregunta, se indicaron cuatro alternativas a los productores:

- Ud.
- Familiar
- Trabajador
- Otros

Los resultados se exponen en la figura 13.



Nota: La suma de los porcentajes, no necesariamente resulta 100% debido a que algunos productores contestaron más de una alternativa

Figura 13: Persona que aplica plaguicidas en el predio

En el 69% de los predios agropecuarios, los pesticidas son aplicados por trabajadores capacitados para realizar dicho trabajo (esto fue recalado por varios encuestados). En segundo lugar (39,3%), se ubicó la alternativa que señala que el mismo encuestado es quien efectúa la aplicación. Siendo este porcentaje mayor en los predios pequeños, comparados con el resto de los estratos. El 20,7% respondió que algún familiar es el aplicador.

Entre las respuestas clasificadas como “Otro”, en el grupo de pequeños productores se menciona al dueño del predio, mientras que entre los grandes, esta alternativa se asocia a pilotos de empresas externas, contratadas para aplicar los plaguicidas mediante el uso de avión (fig. 14).

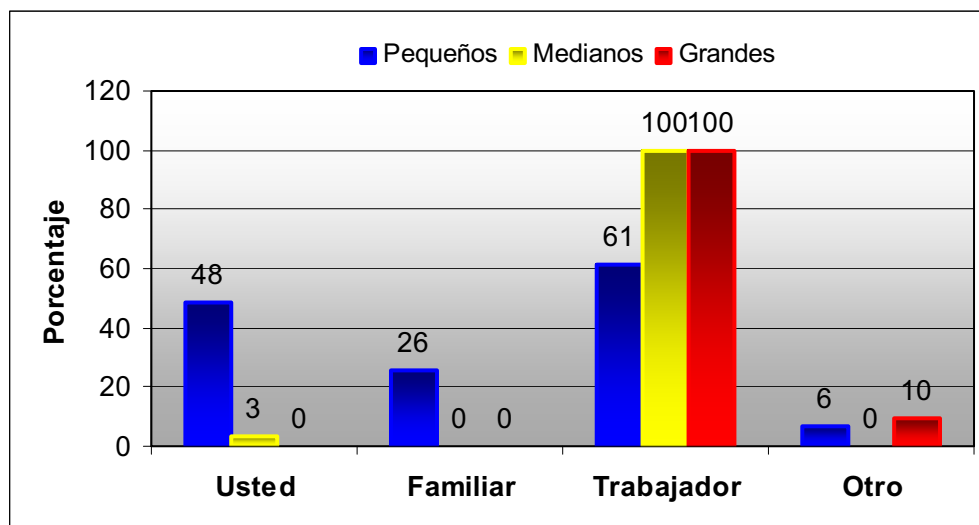
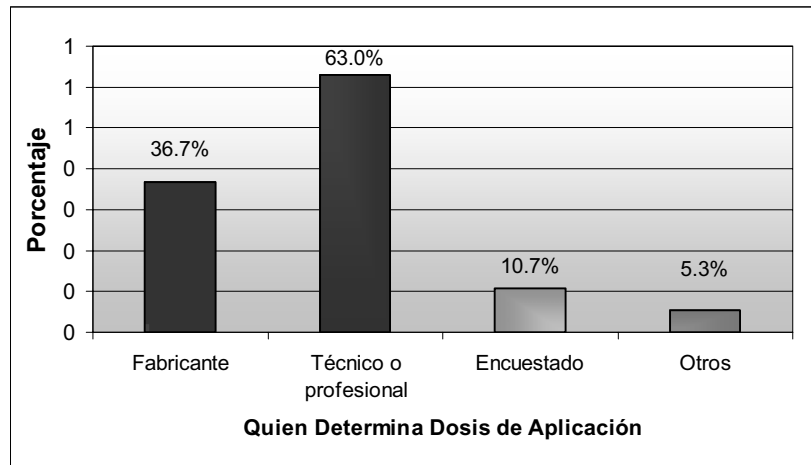


Figura 14: Aplicador de plaguicidas por estrato

2.1.8 Definición de las dosis de aplicación

En el 63% de los predios encuestados, las dosis de aplicación son determinadas por un técnico o profesional capacitado para este fin, mientras que en casi el 37%, las dosis se rigen por las indicaciones que el fabricante ha incluido en las etiquetas de los productos. En el 10,7% de las explotaciones, la cantidad de pesticidas utilizada es fijada por personas que no necesariamente poseen educación o capacitación formal para tal efecto, sino que se basa en la experiencia en el área o en resultados empíricos sobre sus cultivos (figura 15)

Al analizar este aspecto, según el tamaño de los predios encuestados, se observa que en los predios grandes y medianos la asesoría de los profesionales para la dosificación de plaguicidas es lo más frecuente, a diferencia de lo observado en los predios pequeños, en que este porcentaje es menor. En este último estrato se observa que la dosificación de plaguicidas está en mayor porcentaje en manos de los mismos productores (siempre comparándolo con los otros estratos).



Nota: La suma de los porcentajes, no necesariamente resulta 100% debido a que algunos productores contestaron más de una alternativa

Figura 15: Responsable de determinar dosis de aplicación de plaguicidas en predios encuestados

2.1.9 Almacenaje de pesticidas

Como se muestra en la figura 16, el 64,6% de los encuestados almacena pesticidas en sus predios. Entre éstos, los grandes productores son los que más lo realizan (80,6%), les siguen los medianos (77,4%) y finalmente los pequeños con 61,3% (fig. 17).

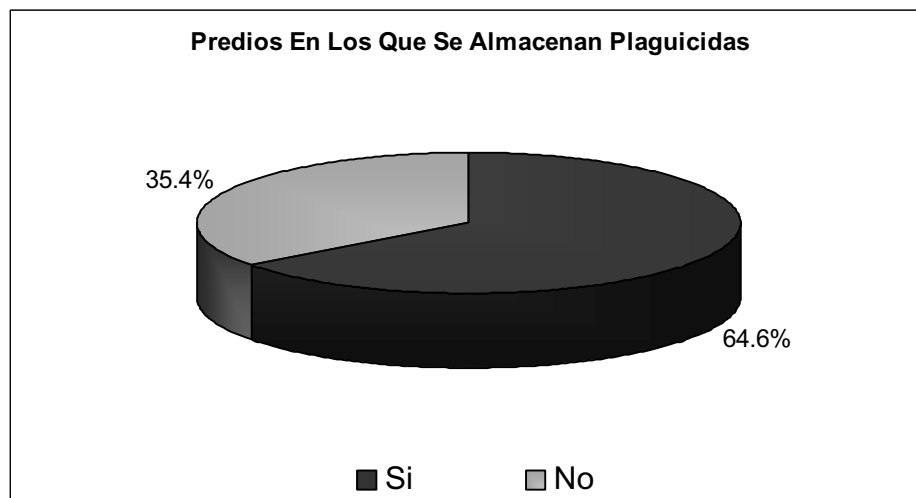


Figura 16: Porcentajes de predios en que se almacenan plaguicidas

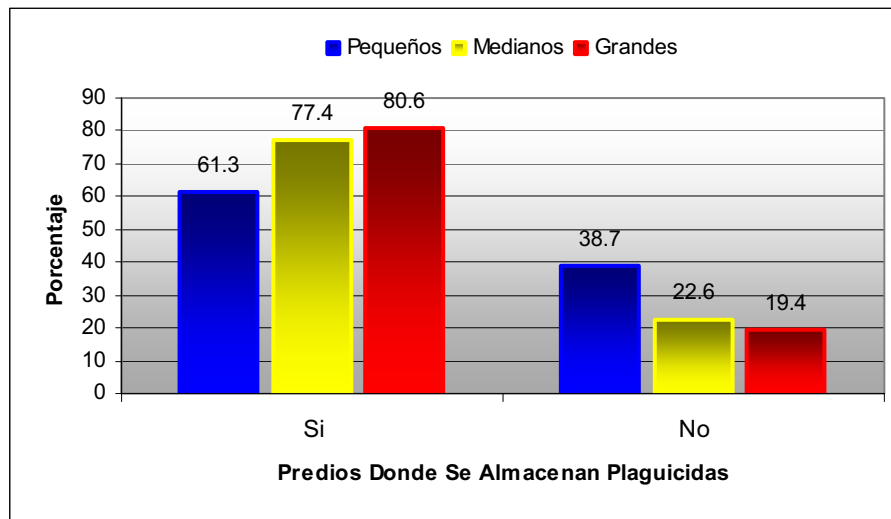


Figura 17: Porcentajes de almacenamiento de plaguicidas por estrato

El estudio realizado indica que el 96% de los encuestados afirma que los plaguicidas se almacenan en una bodega, mientras que 4% los deja al aire libre. Estos dos lugares son los únicos mencionados por todos los estratos de productores, no existiendo ningún porcentaje de ellos que los acopie en su casa u otro lugar. Los productores pequeños resultan ser el único grupo que no almacena la totalidad de sus productos en bodega, existiendo un 5% que lo hace al aire libre.

2.1.10 Utilización de plaguicidas prohibidos y con restricciones

A través de la encuesta, se midieron diferentes variables asociadas a este punto. Entre ellas se preguntó acerca de si los productores de los diferentes estratos tenían o no conocimiento respecto a la existencia de plaguicidas prohibidos. A través de esto se pudo determinar que más del 60% de los productores conoce al menos un plaguicida prohibido en cuanto a su distribución, venta y uso. El 31% de los productores de la cuenca no reconoce tener conocimiento acerca de productos prohibidos y alrededor del 8% de los agricultores, no respondió a esta pregunta.

Existen diferencias entre los estratos respecto al conocimiento que cada uno de éstos tiene de los plaguicidas prohibidos, pero dichas diferencias pudiesen ser contrarrestadas con los porcentajes de no respuesta a esta pregunta, por lo que parece un tanto arbitrario concluir qué estrato posee mayores conocimientos acerca de este tema.

Dentro de la aplicación de la encuesta, también se determinó el porcentaje de productores que utilizaba alguno de los plaguicidas prohibidos incluidos en un listado. Así, se estableció que el 33,5% de los agricultores del área de estudio utilizó alguno de los plaguicidas prohibidos durante el año 2003, siendo los pequeños productores los que más los utilizan, y los grandes los que menos.

Entre los plaguicidas prohibidos o con restricciones, utilizados en la cuenca, el parathion es el que más comúnmente se usa (por el 42% de los agricultores que ocupa este tipo de productos), siendo el paraquat y el lindano los que le siguen en cuanto a el número de productores que lo aplica a sus explotaciones, lo que se expone en detalle en la figura 18.

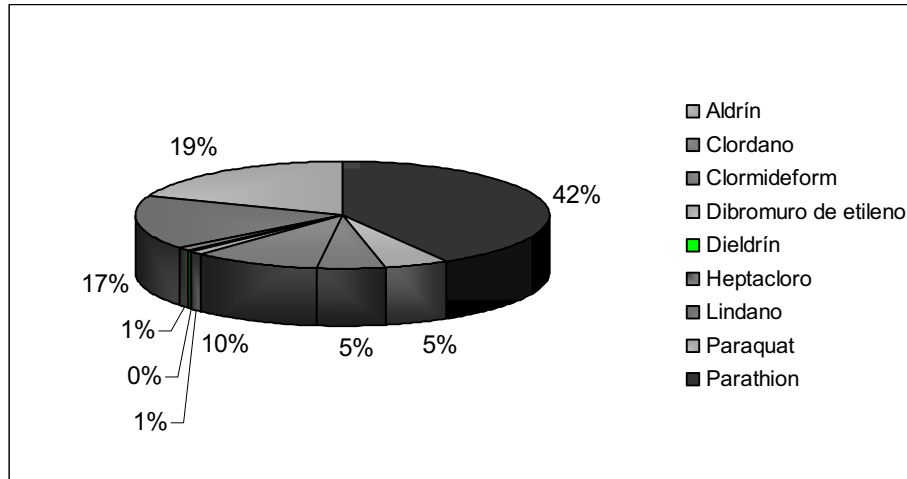


Figura 18: Porcentaje de plaguicidas prohibidos y con restricción de uso, aplicados en el área de estudio.

Respecto del motivo del uso de productos prohibidos, casi el 50% de los encuestados respondió que consiguen una acción más rápida por parte de éstos, un 11% porque son más económicos y el 39% por otras razones, entre las que se encuentran la confianza en estos plaguicidas, la efectividad contra una determinada plaga, por antigüedad, curiosidad, entre otros.

2.1.11 Destino de los envases de plaguicidas

En relación a esta temática, las respuestas se clasificaron dentro de siete categorías. Los resultados se exponen en la figura 19.

Se puede observar, que el 62,2% de los productores encuestados, queman los envases luego de ocuparlos. Siendo la práctica más común en relación al manejo de envases, es bastante riesgosa, pues los humos y vapores derivados de estas quemadas, pueden ser aún más tóxicos que los gases provenientes de los productos fitosanitarios, por lo que hay que tener consideraciones especiales respecto al lugar donde se realiza la quema.

Casi el 17% de los productores entierra los envases luego de utilizar su contenido.

El triple lavado, práctica recomendada por el SAG y AFIPA, es realizado por el 17,1% de los productores. Dentro de este porcentaje se encuentran los productores que además reciclan los envases enviándolos a centros de acopio y otros que luego del triple lavado queman, entierran o reutilizan dichos envases. Respecto a este último punto, se puede ver que un 3,7% de los agricultores reutiliza los envases después de lavarlos.

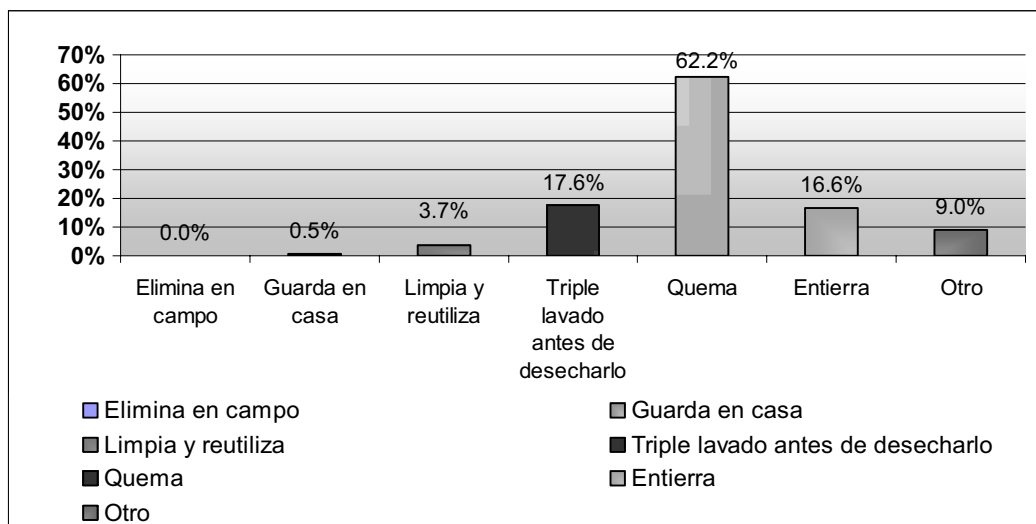


Figura 19: Destino de los envases de plaguicidas en el área de estudio

Entre los otros destinos mencionados, se encuentra la disposición de los envases sin tratamiento en bodegas, o el desecharlos directamente a basureros.

Si se desglosan los resultados, se observan considerables diferencias entre los estratos, las que se indican en la figura 20. En cuanto a la práctica del triple lavado por parte de los productores: mientras entre medianos y grandes es una práctica común (más del 60% de ambos estratos), entre los pequeños agricultores su realización es poco habitual, considerando que tan sólo el 6% de éstos lo lleva a cabo. Esto puede deberse a la falta de información que pudiese existir acerca de la importancia de esta práctica por parte de este grupo, a la tradición familiar que puede perpetuar otras acciones, al desconocimiento respecto al servicio de acopio que hay en la zona, y/o a la escasa cantidad de envases que cada productor utiliza, lo que hace que, para el centro de acopio, encargado de la recolección de los envases, pueda no ser, técnica o económicamente, factible el retiro de los mismos. El grupo en cuestión es el que muestra mayores porcentajes de quema y entierro de envases, comparándolo con los otros estratos, lo que puede incidir sobre problemas de salud que posiblemente se presenten entre estos agricultores.

El estrato de los grandes productores es el que en mayor porcentaje realiza el triple lavado y, a la vez, es el que menos los quema o entierra. Disposiciones de mercados internacionales y empresas exportadoras (principales destinos de estos productores), exigen el uso del triple lavado, acopio y reciclaje de envases de plaguicidas como requisito de compra de los productos de dichos predios, por lo que, además de las recomendaciones propuestas por la buenas prácticas agrícolas, estos productores poseen presiones externas para llevar a cabo este proceso.

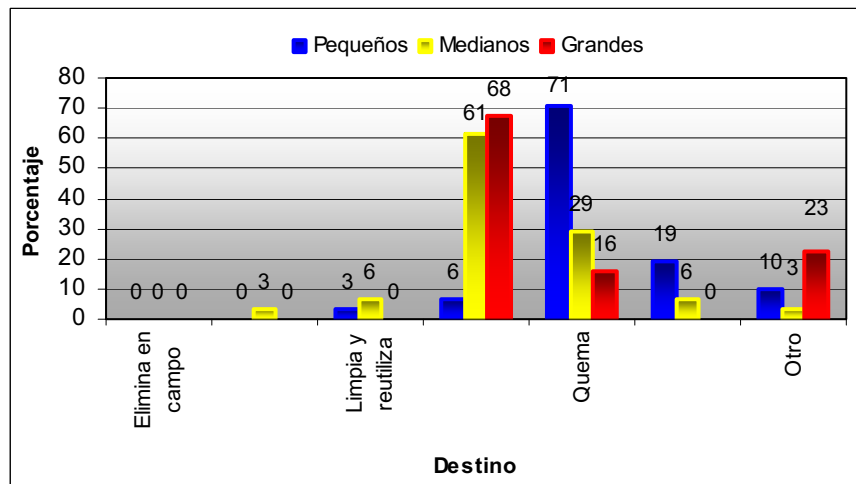


Figura 20: Destino de los envases de plaguicidas por estrato de productores

2.1.12 Fiscalización del uso de plaguicidas

Para determinar la fiscalización del uso de plaguicidas, a través de la encuesta, se procedió a preguntar a los diferentes productores si existe alguna entidad que fiscalice el uso de los mismos en sus predios. En el caso de que la respuesta fuese afirmativa, se procedió a determinar cuál es, de entre cinco alternativas, la que fiscaliza, y con qué frecuencia lo hace.

Así, se concluyó que el 28,6% de los productores del área de estudio son fiscalizados respecto del uso de plaguicidas en sus predios, mientras el porcentaje restante (el 71,4% de los productores), no reconoce ser fiscalizado por alguna entidad. A su vez, el estrato menos fiscalizado, corresponde a los pequeños productores (figura 21).

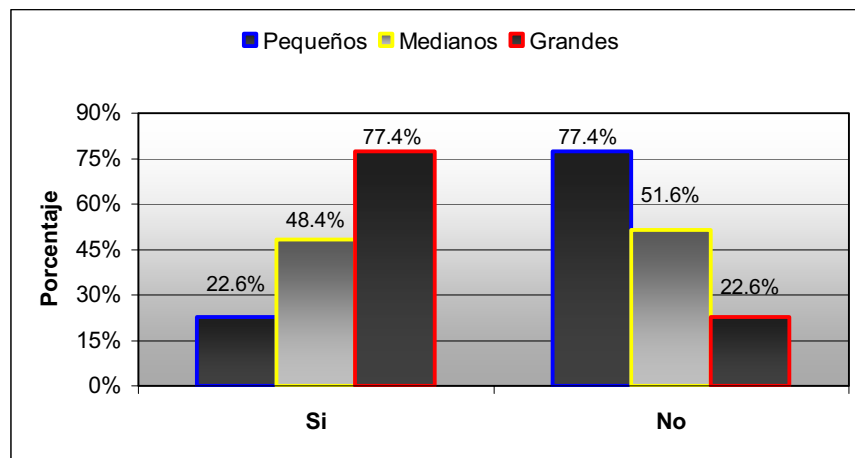


Figura 21: Porcentajes de fiscalización del uso de plaguicidas por estrato

Entre las cinco alternativas que se propusieron para determinar qué entidad realiza las fiscalizaciones del uso de plaguicidas, el SAG resulta ser la entidad que cubre el mayor número de productores de la cuenca (casi al 40% de éstos), mientras la Inspección del Trabajo fiscaliza a aproximadamente un cuarto de los agricultores de la zona (figura 22).

La alternativa “Otra”, tuvo un alto porcentaje de respuesta. Dentro de la especificación dada respecto a qué o quién es otra, la respuesta más común estuvo asociada a empresas exportadoras que certifican el correcto uso de plaguicidas de forma particular, asegurando la calidad de los productos adquiridos y garantizando esta calidad a los países de destino. También dentro de esta alternativa se encontraron empresas certificadoras provenientes de los países a los que se exporta de forma directa.

El SAG es el Servicio que más fiscaliza en todos los estratos. Aunque con respecto a los productores medianos, el SAG y el Servicio de Salud tienen una presencia equivalente. En el caso de los pequeños productores, la Inspección del Trabajo es la segunda entidad que fiscaliza más predios en este estrato (figura 23).

Dentro de las alternativas propuestas se encontraba la municipalidad, organismo que, según los resultados de la encuesta, no cumple un rol fiscalizador en ninguno de los grupos de productores presentes en la cuenca.

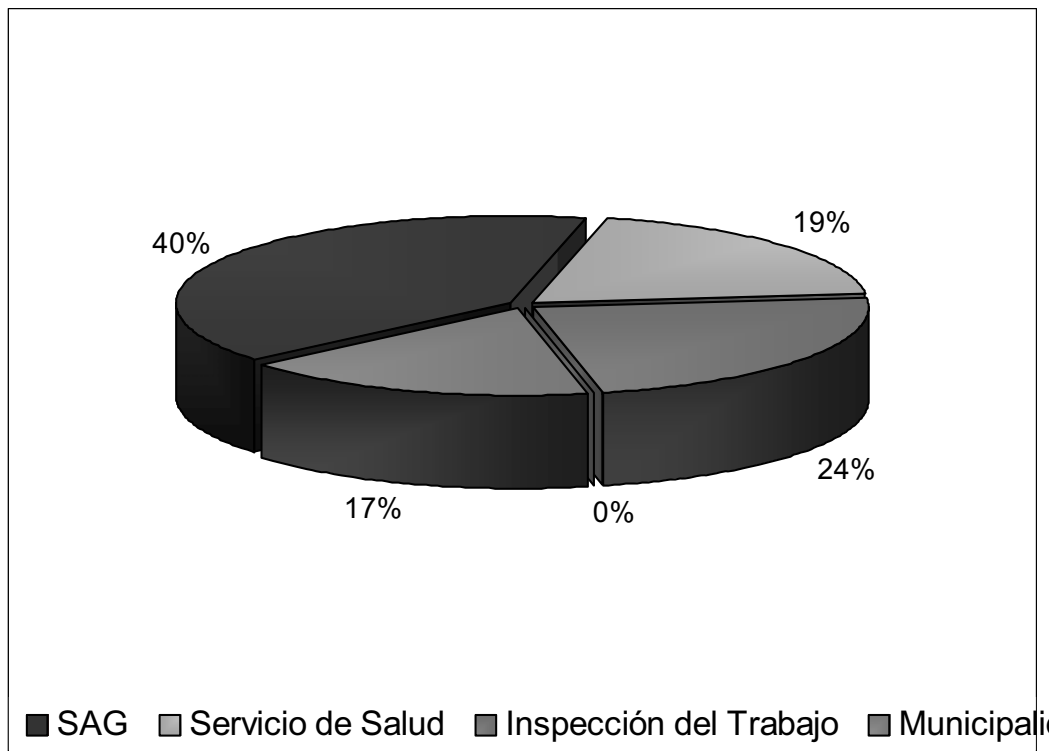


Figura 22: Entidades fiscalizadoras de los predios en el área de estudio

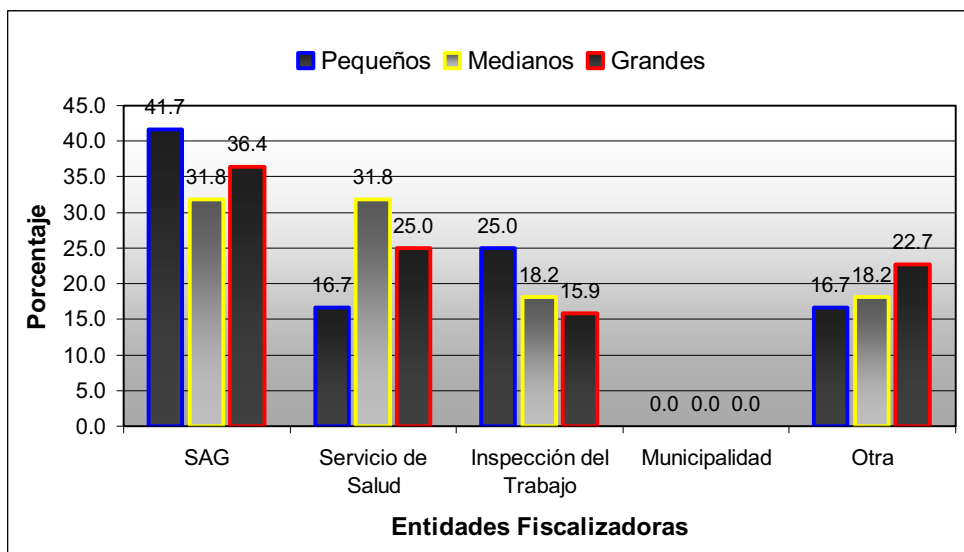


Figura 23: Entidades fiscalizadoras del uso de plaguicidas en los diferentes estratos

2.1.13 Uso de fertilizantes

a) Uso de Fertilizantes Según Productos

En el área de estudio se utilizan 71 fertilizantes diferentes, de los cuales sólo siete son utilizados por los tres estratos en común. Los pequeños productores son los que menos productos distintos ocupan (26 fertilizantes), mientras que tanto agricultores medianos y grandes utilizan 40.

En cuanto al uso de productos de manera exclusiva por cada uno de los estratos, no existen diferencias significativas entre los tres, ocupando cada grupo, alrededor de 14 fertilizantes de forma exclusiva.

Tabla 5: Determinación de uso de fertilizantes.

Total Fertilizantes Utilizados	71
Pequeños	26
Medianos	40
Grandes	40
Total Fertilizantes Comunes	7
Fertilizantes Sólo Pequeños	14
Fertilizantes Sólo Medianos	15
Fertilizantes Sólo Grandes	14

b) Uso de Fertilizantes Según Superficie de Aplicación

La superficie en que los fertilizantes se aplican, está determinada, básicamente, por la cantidad de productores que utilicen un determinado producto, por el estrato al que estos productores pertenezcan y la cantidad de superficie de un determinado cultivo presente en la cuenca (considerando que en algunos cultivos se utilizan ciertos insumos en particular).

Los dos fertilizantes que se aplican sobre una mayor superficie en el área de estudio, son la urea y el nitrato de potasio, aplicados sobre el 25,4 y 13,6% de la zona respectivamente. Ya en una superficie menor, son el sulfato de magnesio, guano, ácido fosfórico y ultrasol, los aplicados sobre el suelo del área, ocupándose en superficies que van entre el 2,3 y 4,3%. El detalle de estos porcentajes se presenta en la tabla 6.

Tabla 6: Determinación de la superficie de aplicación de fertilizantes.

Fertilizantes más aplicados	Porcentaje Superficie
Urea	25,4%
Nitrato de Potasio	13,6%
Sulfato de Magnesio	4,3%
Guano	3,2%
Ácido Fosfórico	3,1%
Ultrasol	2,3%
Azufre	1,9%
Superfosfato	1,8%
Fosfato monoamónico	1,5%
Stopit	1,4%
Nitrato	1,4%
Nitrato de Calcio	1,4%

Dentro de cada uno de los estratos, la urea y el nitrato de potasio son los que se aplican sobre una mayor superficie, con promedios del 25,6 y 13,7% respectivamente.

Entre los pequeños productores son el guano, el fertilizante foliar, el superfosfato y el azufre los otros fertilizantes más aplicados (todos alrededor del 6% de la superficie cultivada por ellos).

Entre los agricultores medianos, son el sulfato de magnesio y el fosfato monoamónico los que ocupan el segundo lugar, promediando un área de aplicación del 4% de la superficie explotada por este grupo.

Entre los grandes, son el ácido fosfórico y el sulfato de magnesio los más utilizados después de los mencionados anteriormente. En este último estrato, el nitrato, el nitrato de calcio y el ultrasol son aplicados, cada uno, sobre el 4% de la superficie ocupada por estos productores.

c) Distribución de la aplicación de fertilizantes

Para describir la distribución que la aplicación de fertilizantes tiene durante el año, se dividirá de dos maneras: según la cantidad de aplicaciones de productos realizada cada mes y la cantidad de fertilizantes aplicado en cada uno de estos períodos.

En lo que respecta al número de aplicaciones realizadas durante el año, ésta se ve supeditada a diversos factores, como lo son el tipo de cultivo desarrollado, ya que existen ciertas plantaciones o siembras que requieren de una fertilización constante y otras no, a la calidad del suelo cultivado, siendo necesaria la aplicación constante de productos en suelos más pobres (sobre todo en nitrógeno, fósforo y potasio), de la información respecto a la eficiencia y esquemas de aplicación de fertilizantes, y a las exigencias que cada productor demande de sus plantaciones.

Acerca del número de aplicaciones, es en el mes de octubre donde se concentra la mayoría, siendo en este mes, también, en el que cada uno de los estratos lleva a cabo más aplicaciones. Tal como se puede observar en la figura 24, desde el mes de agosto aumenta en número de aplicaciones, para luego del “peak” de octubre, comenzar a decrecer hasta el mes de mayo, manteniéndose el bajo número de aplicaciones hasta julio (en este último mes es donde existe una menor aplicación de fertilizantes).

Los productores medianos mantienen una distribución de aplicaciones de fertilizantes más homogénea durante el año, en comparación con los otros estratos. Los grandes productores son los que presentan una mayor variabilidad entre los meses de menor y mayor aplicación, mientras los pequeños presentan un período de aplicación bastante parejo, disparándose durante el trimestre de primavera.

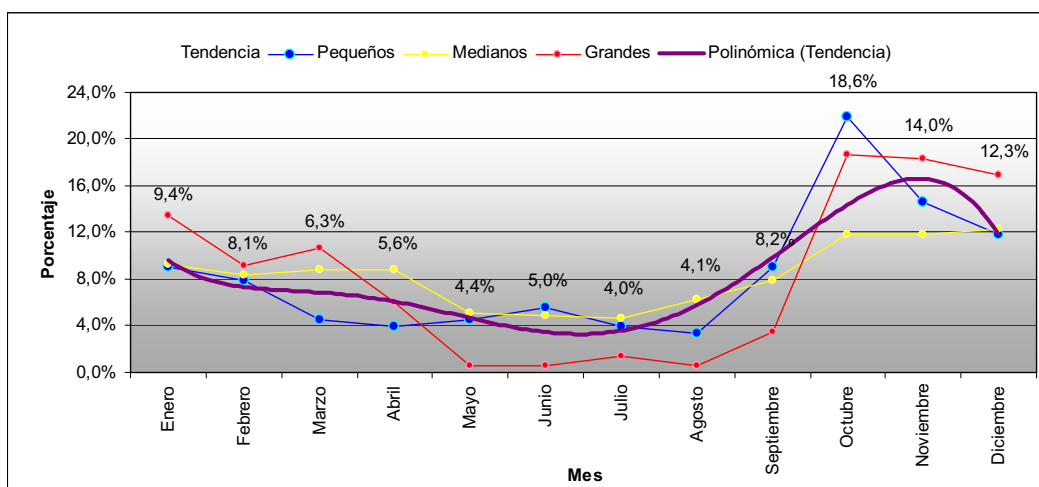


Figura 24: Distribución del N° de aplicaciones de fertilizantes durante el año en el área de estudio

La cantidad de fertilizante aplicado a los distintos cultivos, también depende del tipo de cultivo, la riqueza mineral del suelo, el nivel de producción que cada productor pretenda conseguir y de la información con la que cada productor cuente al momento de utilizar el producto. Es así como se logró determinar que la cantidad de fertilizantes aplicados durante el año, tiene un

comportamiento casi idéntico al descrito en cuanto al número de aplicaciones realizadas en la cuenca se refiere, suponiendo que existe una estrecha relación entre ambas variables. El detalle de la distribución de la cantidad de fertilizantes aplicados durante el año, se describe en la figura 25.

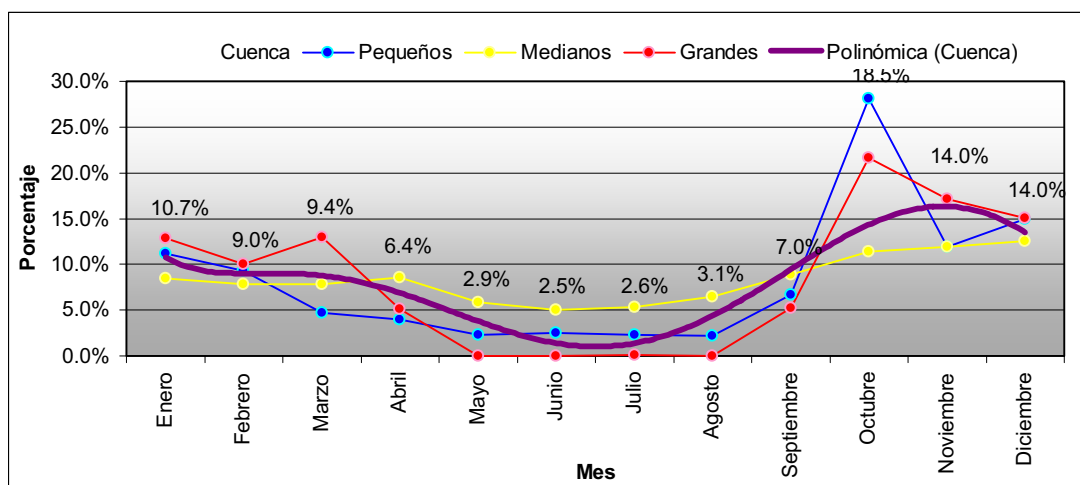


Figura 25: Distribución de la cantidad de fertilizantes aplicada durante el año.

d) Uso de fertilizantes según la cantidad de productores que los aplican

La Urea, fertilizante ocupado por el 30,6% de los productores, ocupa el primer lugar en cuanto a número de agricultores que la utilizan. A ésta le sigue el nitrato de potasio o salitre, siendo aplicado por más del 15% de los productores. Por otra parte, el guano usado por el 7,1% de los agricultores, es el tercer fertilizante de mayor uso (tabla 7).

Tabla 7: Determinación de uso de fertilizantes.

Productos Más Utilizados	Porcentaje de Productores que lo Utilizan
Urea	30,6%
Nitrato de Potasio	15,6%
Guano	7,1%
Superfosfato	4,1%
Polifid	3,1%
Azufre	2,4%
Muriato de Potasio	2,4%
Superfosfato Triple	1,9%
Sulfato de Magnesio	1,7%
Bioplus	1,6%
Supernitro	1,6%

Considerando el uso de fertilizantes en cada estrato, la urea es el producto ocupado por más productores dentro de cada estrato. En el caso de los pequeños agricultores, el nitrato de potasio es el segundo producto más ocupado (el 16,8% de estos productores lo usa), continuando con el guano y el fertilizante foliar, aplicado por el 8,4% de los agricultores de este estrato.

Entre los productores medianos, además de la urea, también es el nitrato de potasio el utilizado por la mayor cantidad de productores (por más del 12% de ellos). Con el 5,1% de los agricultores, es el fosfato monoamónico el tercer producto más ocupado en este estrato, y el guano, muriato de potasio, Stopit y Ultrasol se utilizan por entre el 2,5 y 3,4% de los productores pertenecientes a este grupo.

El 10% de los productores grandes utiliza el nitrato de potasio, ocupando éste el mismo lugar en cuanto a preferencias se refiere que en el resto de los grupos, le siguen el sulfato de magnesio y ácido fosfórico (ocupado por aproximadamente el 7% de estos agricultores), y luego el nitrato y el Ultrasol, fertilizantes aplicados por más del 4% de dicho estrato.

2.1.14 Destino de la producción agrícola de los predios encuestados

En el área de estudio, la producción agrícola tiene por destino principal el mercado local, representando el 38,6% del total de la producción. Les siguen la venta a empresas exportadoras y procesadoras (con porcentajes del 33,1 y 24,6%, respectivamente).

Entre los destinos principales de la producción en cada uno de los estratos, dentro de los pequeños productores, el destino más común de sus producciones es la venta en el mercado local (un 31,7% de su producción tiene este destino). Es en estos mercados donde los productores medianos y grandes también tienen una fuerte incidencia, siendo el segundo en importancia para los medianos y el tercero para los grandes (con porcentajes del orden del 19,5 y 17,5% respectivamente).

Mientras muchos de los pequeños productores envía su producción al mercado local, también un número importante de los grandes productores destina el saldo de las exportaciones o el procesamiento de sus productos a este mercado. Los agricultores medianos se encuentran en una fase intermedia, repartidos entre los que trabajan en vistas a vender sólo en el mercado local y otros que aportan a éste, de forma semejante a los grandes productores.

La segunda alternativa que los productores podían contestar, era que su producción tenía por destino el venderla a intermediarios. En este punto fueron los pequeños productores los que alcanzaron un mayor porcentaje de respuesta, alcanzando un 19,5%. La diferencia entre éstos y los otros dos estratos es considerable, puesto que medianos y grandes respondieron en un 4,9 y 2,5%, respectivamente, de manera afirmativa a esta alternativa.

La venta de productos a procesadoras de alimentos es, también, el segundo destino más prevalente para las productos de los pequeños agricultores, y el tercero para medianos y grandes (con porcentajes de 19,5, 14,6 y 17,5% respectivamente). Esto habla de que los tres estratos son capaces de desarrollar insumos de calidad suficiente para el interés de esta empresa. Al igual que en el caso del mercado local como destino, sería interesante determinar que tipo y parte de la

producción de cada uno de los estratos está reservada al procesamiento. Vale destacar el importante rol que esta empresa tiene en torno a las producciones agropecuarias, pues la variabilidad de insumos que utiliza, permite que todos los estratos de productores tengan una participación significativa en ella.

La venta a empresas exportadoras es el primer destino de los productores medianos y grandes (48,6 y 37,5% respectivamente) y otro de los segundos destinos para el grupo de los pequeños (también un 19,5% del total de su producto).

El estrato que participa con mayor relevancia en la exportación como destino de su producción agrícola, es el de los grandes productores, exportando un 22,5% de sus productos. Le siguen los medianos, destinando a este mercado el 12,2% de su producción, mientras que el estrato conformado por los pequeños productores no exporta. A la alternativa “Otro” respondieron el 9,5% de los pequeños productores encuestados, siendo el autoconsumo el destino final de su producción para todos ellos.

La información analizada en este punto se puede apreciar en la figura 26.

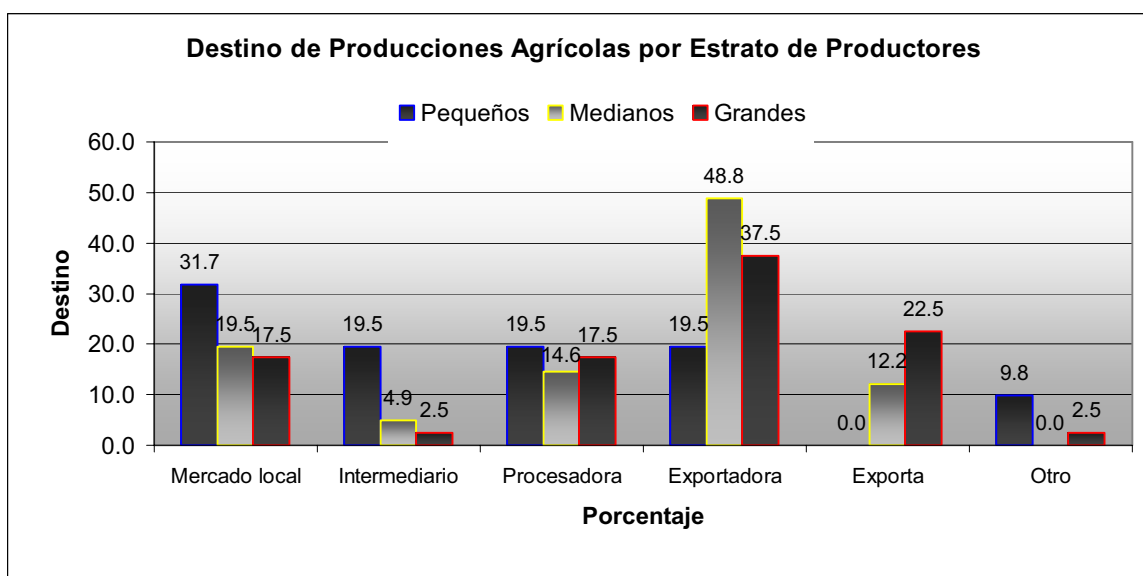


Figura 26: Destino de los productos agrícolas por estrato de agricultores del área de estudio

2.2 CONCLUSIONES

- La aplicación de la encuesta fue fundamental para efectuar el análisis de riesgo de contaminación difusa y la selección de las áreas pilotos expuestas en detalle en el Tomo I del presente informe. No obstante, la aplicación de la encuesta muchas veces fue obstaculizada por el recelo de algunos propietarios o administradores, quienes no siempre respondieron a las preguntas de los encuestadores.
- Se debe destacar el bajo porcentaje de fiscalización a los productores respecto del uso de plaguicidas, actividad que se centra principalmente en los grandes productores. Al respecto, se extraña una voluntad política que tienda a aumentar el N° de fiscalizadores de los Servicios Públicos que tienen responsabilidad en esta materia, además de incentivar con mayor vigor acuerdos de producción limpia con los productores hortofrutícolas, que incluyan agendas concretas de compromisos reales y evaluables en el corto plazo.
- Parece importante plantear el uso adecuado y responsable de plaguicidas, no como un asunto de demandas de mercado, sino más bien, como una responsabilidad personal de los productores para con sus trabajadores que los aplican y para la conservación del medio ambiente.
- Es preciso señalar, que la opinión pública nacional está cada vez menos refractaria frente a los efectos de los agentes contaminadores y la aparente pasividad del estado frente a dichos problemas. Se observa una mayor valorización del ciudadano común, respecto de los recursos naturales del país, por tanto, una actitud decidida, con un alto contenido técnico, que tienda a controlar o morigerar los efectos ambientales negativos generados por el desarrollo económico de la cuenca del río Aconcagua, será exigida tarde o temprano por la población.
- Sería interesante plantear programas de capacitación para los productores pequeños, que fueran enfocados al fomento de la asociatividad entre ellos, ya que a través de ésta, dicho grupo de agricultores pudiese incorporarse a las exportaciones, al acceso a créditos, a economías de escala y a metodologías de producción más “limpias”, que demandan costos que, de forma individual, no son asumibles por muchos de estos productores.
- Considerando los datos recopilados por la encuesta, sería recomendable extender la aplicación de ésta a toda la cuenca, aprovechando las Oficinas Sectoriales del SAG, con el fin de obtener información actualizada del uso de agroquímicos en todas las zonas de aplicación. La información a obtener, puede orientar los estudios que se realicen en el futuro, así como definir las estrategias de fiscalización a las áreas que más lo requieran.

CAPÍTULO 3: IDENTIFICACIÓN DE LAS FUENTES PUNTUALES DE CONTAMINACIÓN QUE AFECTAN DIRECTA O INDIRECTAMENTE AL RÍO ACONCAGUA O ALGUNO DE SUS AFLUENTES

La identificación de las fuentes puntuales, se efectuó con el objeto de determinar y evaluar los efectos de las descargas de dichas fuentes, sobre la calidad de los cuerpos de agua de la cuenca. De esta forma se procedió a identificar los efluentes urbanos y aquellos derivados de la actividad productiva. Dicha información fue de vital importancia para seleccionar las estaciones de toma de muestra de las aguas superficiales. En primera instancia se georreferenciaron 35 puntos, considerando aquellas fuentes puntuales que descargan a los cuerpos de aguas superficiales y a las empresas de extracción de áridos.

Además se identificó a aquellas industrias que descargan al alcantarillado, al suelo, canales de riego, el mar y aquellas que eventualmente pueden contaminar los acuíferos. Finalmente, se determinaron 315 fuentes potenciales de contaminar considerando el estudio de Riquelme (2003), teniendo en cuenta los siguientes sitios para realizar el catastro:

- Sitios o áreas de disposición de residuos sólidos.
- Emisarios de alcantarillado.
- Plantas de tratamientos de aguas servidas.
- Zonas urbanas.
- Plantas faenadoras de carne.
- Distribuidores y almacenadores de combustible.
- Industrias químicas y metalúrgicas.
- Áreas agrícolas expuestas a regadíos permanentes.
- Hospitales
- Cementerios.

Las fuentes georreferenciadas fueron ingresadas a la base de datos del SIG Ambiental de la cuenca, las cuales en su mayor parte presentan un riesgo potencial bajo de contaminar el acuífero, tales como plantas de purificación de agua potable, hospitales, constructoras, hilanderías y otras.

Debe recalarse que por ser una cuenca que no cuenta con un gran desarrollo industrial, son escasas las industrias que vierten sus riles al río Aconcagua y sus tributarios. De hecho, durante mucho tiempo se consideró a las aguas servidas generadas en los centros urbanos, como el problema más relevante de contaminación de los recursos hídricos, por sobre los metales pesados y los plaguicidas de uso agrícola.

En la tabla 8 se exponen las principales fuentes puntuales que descargan a las aguas superficiales de la cuenca.

Tabla 8: Fuentes puntuales que descargan sus residuos líquidos al río Aconcagua y sus afluentes

Fuente	Comuna	Cuerpo receptor	Caudal L/s
División Andina Codelco Chile (planta de filtro)	Los Andes	Río Blanco	si
Planta de tratamiento aguas servidas Cordillera Esval SA	Los Andes	Río Aconcagua	si
Laguna de estabilización Esval SA	San Esteban	Río Aconcagua	10.3
Laguna de estabilización Esval SA	Santa María	Estero San Francisco	19.3
Agrivinsa (vitivinícola)	Rinconada	Estero Pocuro	si
Planta de tratamiento aguas servidas El Almendral Esval SA	San Felipe	Río Aconcagua	si
Conserva Pentzke S.A.,	San Felipe	Río Aconcagua	10.6
Laguna de estabilización Esval SA	Putendo	Río Putendo	27.4
Laguna de estabilización Municipal	Panquehue	Río Aconcagua	si
Lechería Los Hornos	Panquehue	Río Aconcagua	si
Viña Errázuriz	Panquehue	Canal La Turbina	si
Laguna de estabilización Esval SA	Catemu	Estero Santa Rosa	57.7
Agrícola Catemu	Catemu	Río Aconcagua	1.4
Compañía Minera Angloamerican Chile	Catemu	Río Aconcagua	39.5
INDUCORN S.A.,	Llay Llay	Estero Los Loros	16.9
Laguna de estabilización Esval SA	Llay Llay	Estero Los Loros	50.1
Planta de tratamiento aguas servidas Municipal (Biofiltro)	Nogales	Estero El Melón	si
Sopraval SA	Artificio	Estero El Melón	9.4
Algas Marinas ALGAMAR	La Calera	Río Aconcagua	si
Plantel de crianza de cerdos Shumacher	Hijuelas	Canal de riego	si
Planta de tratamiento aguas servidas El Molino Esval SA	Quillota	Río Aconcagua	405,1
Central termoeléctrica Nehuenco	Quillota	Río Aconcagua	41.6
Central termoeléctrica San Isidro	Quillota	Estero San Isidro	41.2
Lechería Solina Martínez	Quillota	Río Aconcagua	si
Lechería Wolfgang Rieger	Quillota	Estero San Isidro	si
Embotelladora Williamson Balfour	Con Con	Estero La Cantera	si
Basf Chile SA	Con Con	Río Aconcagua	47.4

si: sin información

Las plantas de tratamiento de aguas servidas generan una gran cantidad de lodos. La empresa Esval S.A. los deriva a los rellenos sanitarios de El Molle y KDM, el vertedero de Limache y la Granja de Compostaje de Quillota.

Respecto de los planteles de producción pecuaria, la lechería de W. Rieger altera sustancialmente el estero San Isidro, con descargas discontinuas de riles con materias fecales, generando además alteraciones macroscópicas en el agua y malos olores, los cuales se intensifican en los días calurosos. Dicho estero es tributario del río Aconcagua, donde finalmente la alta carga de materia orgánica se diluye con el cauce del río.

La planta de Sopraval, debido a su descarga directa sobre el estero El Melón, también afecta la calidad del agua, vertiendo un alto contenido de coliformes fecales, condición que no se modificó durante el período de ejecución del proyecto.

La Planta de Cemento Polpaico que está ubicada en la ciudad de La Calera, recicla sus riles y los reintroduce en el proceso, por tanto, no genera contaminación sobre los cuerpos de agua.

Respecto de la Refinería de Petróleo de Con Con (RPC), descarga sus riles al mar a través de un emisario submarino. Los casos de contaminación de petróleo en la desembocadura del río Aconcagua, ocurridos durante el año 2002, fueron vertidos desde la refinería por las descargas de aguas lluvia en forma accidental, cuyos efectos sobre el ecosistema acuático no fueron del todo evaluados y se desconoce si la resiliencia natural se produjo a plenitud.

3.1 REFERENCIAS

RIQUELME F., 2003. Levantamiento Geoambiental del Valle del Aconcagua. Servicio Nacional de Geología y Minería.

CAPÍTULO 4: CALIDAD DE LAS AGUAS SUPERFICIALES

4.1 INTRODUCCIÓN

Como se indicó en el capítulo correspondiente, en el tomo I, se efectuó un monitoreo de la calidad de aguas superficiales de la cuenca, sobre la base de 7 campañas de toma de muestras, cuyos resultados se adjuntan en el Anexo F, los cuales serán analizados en profundidad a continuación, relacionando los datos obtenidos a través de los análisis químicos y los bioensayos de toxicidad, con el apoyo de un análisis estadístico. Respecto de los metales, se analizarán tanto los metales totales como los disueltos.

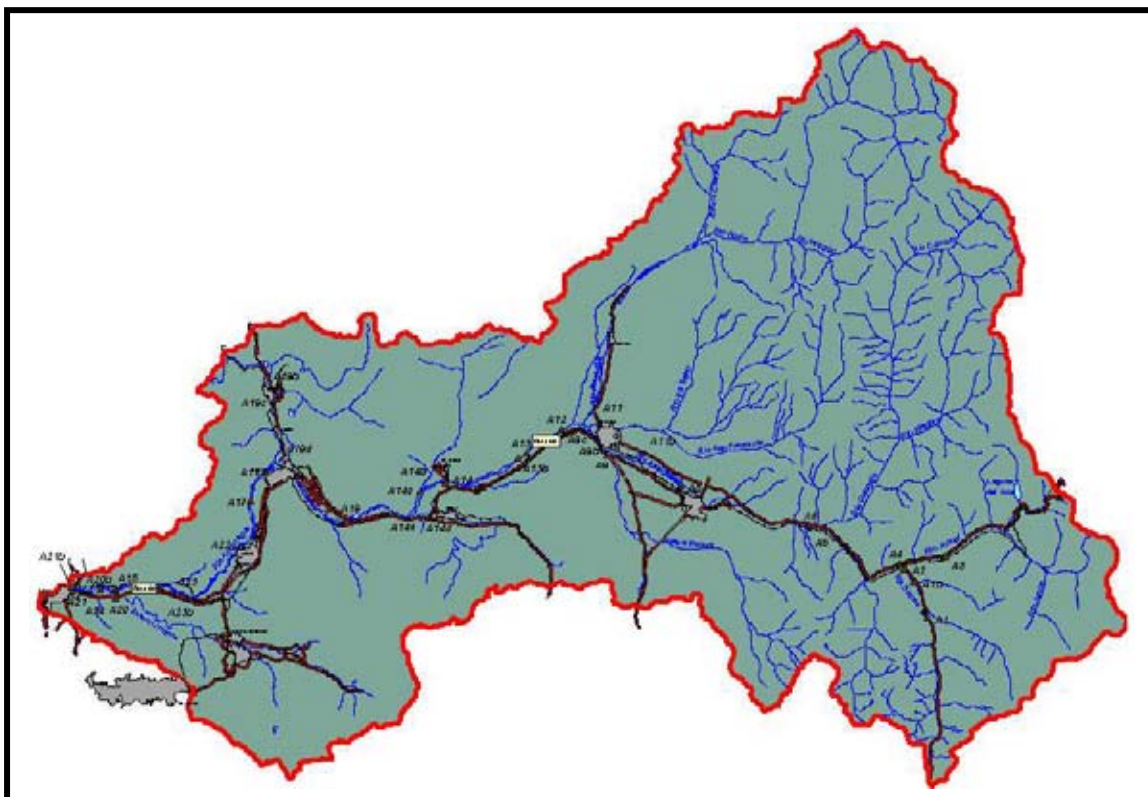


Figura 27: Estaciones de monitoreo de aguas superficiales de la cuenca del río Aconcagua.

Adicionalmente se efectuó un monitoreo específico para efectos de la modelación, conformado por cuatro campañas, cuyos resultados no se consideran en el siguiente análisis

4.2 ANÁLISIS DE CORRESPONDENCIA

En el presente capítulo se aplicó un análisis de correspondencia a las concentraciones de metales totales y disueltos, aniones y materia orgánica, debido a que es una técnica descriptiva de análisis multivariable de datos, utilizada para la simplificación de datos que presentan dificultad para su descripción o comprensión (Fernández, 2002).

La técnica fue propuesta en los años 60 por el físico matemático francés Benzécri, con el fin de definir, describir e interpretar el análisis a través de un gráfico geométrico. Es una técnica utilizada para el estudio de las relaciones de dependencia entre variables, presentadas en forma de una tabla de contingencia. Este análisis, permite analizar como está estructurada dicha asociación, describiendo "proximidades" que permiten identificar categorías de asociación. De esta forma, se pueden analizar tablas de contingencias, de frecuencias, de valoración, múltiples (con tres o más entradas), entre otras. Genera espacios factoriales en función de la información presente tanto en las filas como en las columnas, mediante relaciones matemáticas, obteniéndose "la mejor representación simultánea" entre las modalidades que conforman las diferentes variables en estudio. (Etxeberria *et al*, 1995; Phillips, 1995; Cuadras, 1996)

4.2.1 Análisis de correspondencia en función de los metales totales

Al examinar los datos mediante un análisis de correspondencia, se estableció una asociación entre los metales totales monitoreados durante las siete campañas, versus las estaciones de muestreo distribuidas a través de la cuenca del río Aconcagua (figura 27), con el fin de evidenciar el grado de agrupación entre las dos variables.

Al analizar los metales totales, con respecto a las estaciones, se revela que el 84% de la varianza acumulada, está determinada por el análisis de las **cuatro dimensiones**. Sin embargo, el mayor porcentaje de varianza está determinado por las dimensiones **uno y dos**.

En el análisis de correspondencia, se visualizan claramente **cuatro asociaciones** entre las estaciones de monitoreo versus metales totales, las cuales se grafican en la figura 28, considerando la asociación de las estaciones en cuatro grupos, en función de los metales monitoreados en la cuenca, para las siete campañas de muestreo, lo cual se explica a continuación:

Dimensión uno: El porcentaje de varianza acumulada, obtenida de los datos determinados por este eje es de 49,79%. Por una parte se ubican las estaciones A1b, A3, A4, A6, A8, A9, A12, A13, A22 y a este conjunto se les opone la estación ubicada bajo el puente Gaviota en las cercanías a la desembocadura del río Aconcagua (A21b). El gradiente negativo que representa ese eje, está asociado a los carbonatos y el calcio, opuestos a metales como sodio, potasio y magnesio, asociados a la estación presente en el lado positivo (A21b), hecho que refleja la **influencia del agua del mar que se mezcla con el agua del río**. La correlación mayor de esa estación con la dimensión uno, está dada por el magnesio ($r = 0.99$) y en segundo lugar el sodio ($r = 0.98$).

La estación A21b, presenta una gran diferencia con el resto de las estaciones del río. No obstante, no todas las estaciones están asociadas o correlacionadas a este gradiente, en particular las estaciones A1 y A2, como tampoco las estaciones A20, A20b, A21.

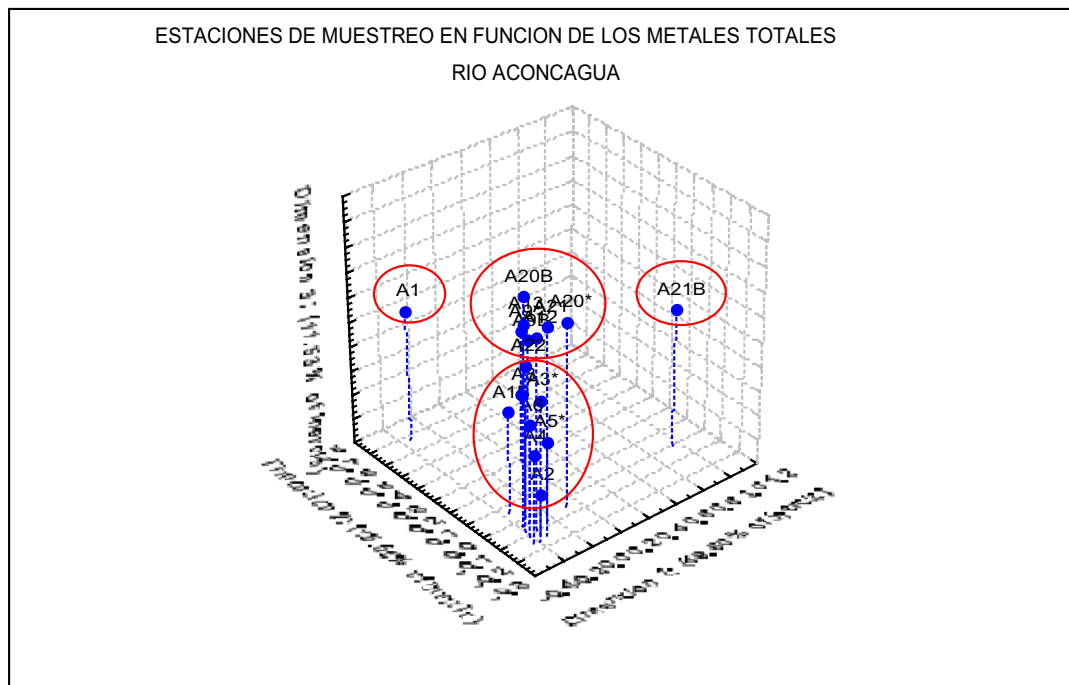


Figura 28: Asociación de las estaciones monitoreadas en el río Aconcagua, en función de los metales totales

Dimensión dos: Representa el 15,65% de la varianza obtenida de los datos determinados por el eje 2. En este eje existe la asociación de estaciones de la parte alta de la cuenca (A3, A4, A5, A6) y una estación del río Aconcagua después de la confluencia con el río Putaendo (A12), todas estaciones relacionadas con el sodio y en alguna medida con el CaCO_3 . En contraposición a este grupo de estaciones, se ubica la estación del río Blanco, después del tranque de relave de la mina Saladillo (A1), punto contaminado, debido a las faenas mineras del sector.

Este eje está definido por la presencia de metales pesados como el cobre, manganeso y zinc, (asociados a los minerales tratados por las plantas mineras) y el CaCO_3 , probablemente a medidas de manejo para neutralizar aguas claras o la dureza natural del agua. Dentro de estos metales, el cobre es el metal al que se le asocia la mayor correlación ($r = 0,96$), lo que coincide con los niveles encontrados de este metal en dicho lugar. El cobre y el manganeso, durante todas las campañas de monitoreo, excedieron los límites máximos permitidos para la NCh 1333 y también sobrepasaron la clase 3, en la norma secundaria de calidad ambiental para aguas continentales superficiales propuesta por CONAMA.

Dimensión tres: Representa el 11,53% de la varianza que arrojan los datos de este eje. Esta dimensión agrupa por una parte a las estaciones ubicadas en la parte alta del río, como son las estaciones del río Blanco (A1b, A2), río Aconcagua aguas abajo de la desembocadura del río Juncal con el río Blanco (A4), río Colorado (A5) y río Aconcagua, posterior a la desembocadura

del río Colorado (A6), estaciones asociadas a metales como manganeso, cobre, potasio, zinc, sodio, arsénico y hierro.

Dentro de esta dimensión, se agrupan en contraposición a las estaciones anteriores, las estaciones ubicadas en el estero Pocuro (A9), río Aconcagua en la zona de San Felipe (A9b), después de la confluencia del río Putaendo (A12), río Aconcagua sector Manantiales (A13), estero Limache (A20), río Aconcagua posterior a la desembocadura del estero Limache (A20b) y posterior a RPC de Con-Con (A21), las que se asocian a los metales como hierro, plomo, cadmio, cromo, molibdeno, magnesio, calcio y carbonatos.

Las estaciones del sector alto del río, están agrupadas entre sí, lo que concuerda con la influencia que ejerce la mina Saladillo en todo ese sector, lo cual se evidencia por las elevadas concentraciones de cobre y manganeso. Sólo la estación A3, ubicada en el río Juncal, no pertenece a este grupo, lo que concuerda con la detección de bajas concentraciones de metales, debido a que este río, afluente del río Aconcagua, no recibe descargas de explotaciones mineras.

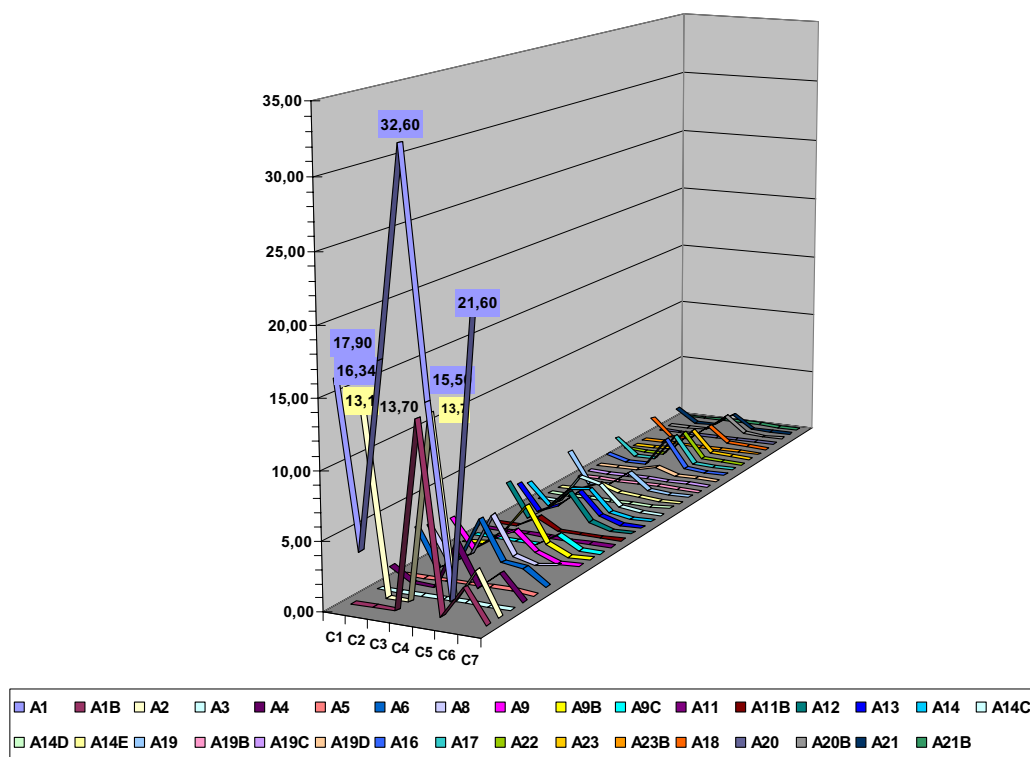
Dimensión cuatro: Refleja sólo el 7,3% de la varianza extraída de los datos determinados por ese eje, donde se agrupan por una parte a las estaciones A1b, A4, A22, asociadas a potasio, hierro, calcio, carbonato y por otra se sitúan las estaciones A8, A9b, A12, las que se asocian a calcio, plomo, cadmio, cromo, molibdeno, magnesio y calcio.

4.2.1.1 Conclusiones

- El análisis de correspondencia, indica la formación de cuatro grupos de estaciones dentro de la cuenca. El primero representado por la estación A21b, por los altos niveles de cloruros detectados en cuatro de las siete campañas de monitoreo.
- El segundo grupo corresponde a la estación A1, debido a los altos niveles de cobre detectados en el monitoreo, valores que fluctuaron desde 1,98 a 32,60 mg/L, metal que junto al manganeso (valores entre 0,96 a 3,99 mg/L), sobrepasaron ampliamente los límites máximos permitidos por la NCh 1333. Excedencias generadas por el drenaje ácido de la mina (DAM) o drenaje ácido de roca (DAR), producto de la exposición de minerales sulfurados y hierro, al intemperismo y la erosión. La lixiviación del agua a través de estos materiales, genera una descarga con pH ácido y altas concentraciones de metales. A pesar de que el drenaje ácido es un fenómeno natural, la actividad minera puede acelerar su generación en forma considerable, al exponer nuevas superficies sulfurosas y hierro al oxígeno. Esto ocurre con las paredes de las minas a tajo abierto, subterráneas, embalses de relave, escoriales, pilas de lixiviación y otros.
- Los botaderos de lastre de la mina a tajo abierto de la División Andina, reciben anualmente las precipitaciones de nieve que se producen durante el invierno en la cuenca alta del río Blanco. No obstante, el problema se produce en períodos de deshielo (primavera y verano), en que la nieve derretida y las escorrentías que se generan en el área se infiltran en los botaderos, apareciendo como drenajes inmediatamente aguas debajo de ellos. Debido a las características geoquímicas de la roca estéril se produce acidificación de las aguas de derretimiento de la nieve que se infiltran en los botaderos. Las aguas

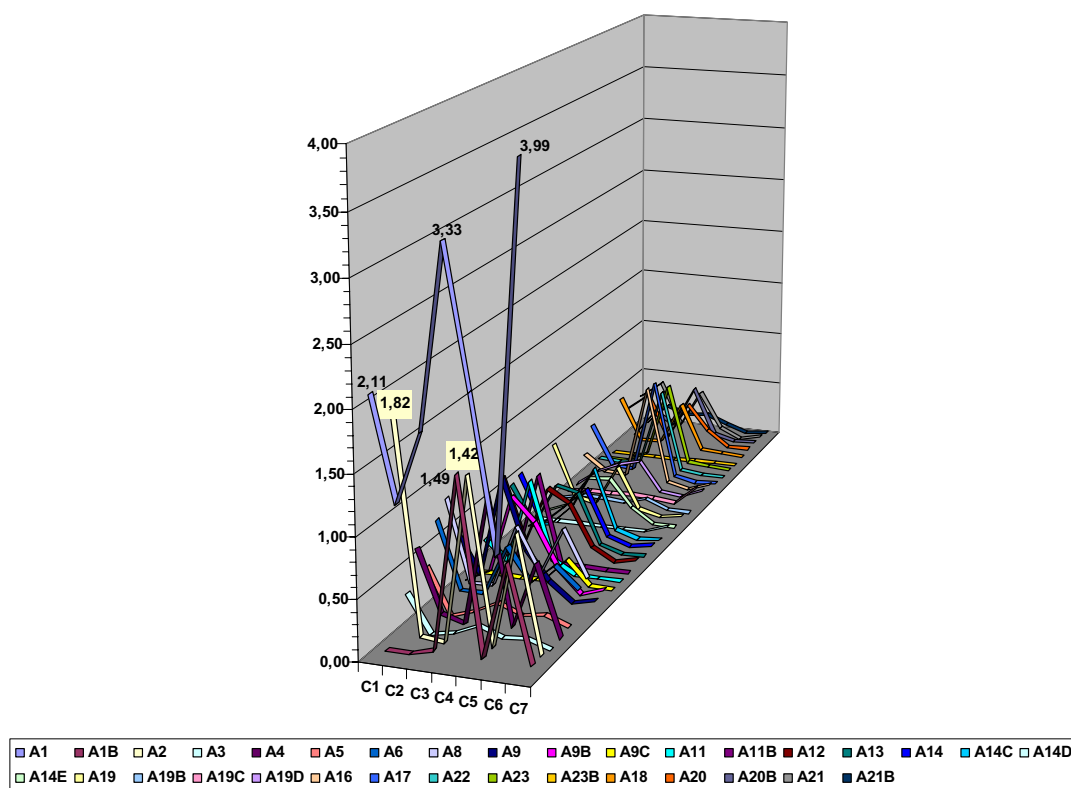
acidificadas lixivian los metales presentes en la roca (principalmente cobre), en la medida que se escurren por el interior de los botaderos, incorporando estos elementos a los cursos de agua receptores.

- El tercer grupo está determinado por estaciones del sector alto de la cuenca. Si bien presentan concentraciones inferiores de cobre y manganeso que A1, de igual forma se encuentran influenciadas por la contaminación del sector, es por esto que algunas de ellas superaron los niveles máximos permitidos (A1b, A2, A4 y A6). Además se suma el hecho del manejo del curso de agua, a través de un desvío (bypass) tomando aguas desde los ríos Blanco (A1), Juncal (A3) y Colorado (A5), desembocando en el río Aconcagua, previo a su confluencia con el río Colorado, provocando un desplazamiento de los efectos del drenaje ácido a estaciones del tramo medio e inferior del río.
- El cuarto grupo está formado por estaciones desde la segunda sección de la cuenca hasta RPC, donde los niveles de cobre claramente son más bajos que las estaciones precedentes, sin embargo, se mantiene un nivel constante hasta la desembocadura. Las figuras 29 y 30 entregan los resultados de Cu y Mn, respectivamente, de las siete campañas realizadas.



C1: Dic 2001 C2: Junio 2002 C3: Octubre 2002 C4: Diciembre 2002 C5: Marzo de 2003 C6: Enero 2004 C7: Abril 2004

Figura 29: Concentraciones de cobre (fracción total) medidas durante las 7 campañas de monitoreo.



C1: Dic 2001 C2: Junio 2002 C3: Octubre 2002 C4: Diciembre 2002 C5: Marzo de 2003 C6: Enero 2004 C7: Abril 2004

Figura 30: Concentraciones de manganeso (fracción total) medidas durante las 7 campañas de monitoreo

4.2.2 Análisis de correspondencia en función de metales disueltos

El análisis de correspondencia efectuado, logró determinar el nivel de asociación de las estaciones del río Aconcagua, en función de los metales disueltos medidos, durante las siete campañas de muestreo.

El análisis arrojó un grado de asociación en la **dimensión uno**, entre A1, con los metales disueltos cobre y manganeso. Dicha estación se opone a las estaciones A3, A4, A5, A13, A14c, A19, A19d, A16, A17, A18, A20, A20b, A21, A21b, todas asociadas al hierro. Al analizar esta dimensión, el porcentaje de varianza acumulada extraída de los datos por este eje es de 37.9%. La correlación mayor para dicho eje, corresponde al cobre disuelto asociado a la estación A1 ($r = 0.92$).

Los altos contenidos de hierro disuelto, asociado a las estaciones de la parte alta de la cuenca, también se relacionan con el drenaje ácido de la mina. Cabe destacar que previo al muestreo de diciembre de 2002 (campaña 4), hubo precipitaciones, hecho que influyó en el aumento del hierro por movimiento y desplazamiento de éste desde los sedimentos al curso de agua.

La **dimensión dos** del análisis, presenta un 28,9% de la varianza acumulada extraída de los datos dados por este eje. Se establece un grado de asociación entre A1b, A2, A4, con los metales

disueltos cobre y manganeso, relacionados directamente con la actividad minera ubicada en la cabecera del río En contraposición a este grupo, se asocian las estaciones ubicadas en el estero Pocuro, río Aconcagua después de la confluencia con el río Putaendo, río Aconcagua en el sector Manantiales de Panquhue y río Aconcagua después de Chagres (A9, A12, A13, A14) estaciones correspondientes a la 2ª sección de la cuenca, las que se asocian al hierro y manganeso, siendo el primero el que tiene una mayor correlación con el eje ($r = 0.94$).

4.2.3 Análisis de correspondencia en función de los Aniones

En relación a los aniones, en la figura 31 se grafican los grupos de estaciones, en función de los aniones monitoreados en la cuenca.

La **dimensión uno** presenta el 48 % de la varianza acumulada extraída de los datos dados por este eje. El análisis de correspondencia asocia en dicha dimensión, a las estaciones ubicadas en los esteros El Melón y Los Litres y el río Aconcagua en La Calera, La Cruz y aguas abajo del puente Colmo, estero Limache, río Aconcagua después de desembocadura de estero Limache y posterior a la descarga de aguas lluvias de RPC (A19c, A19d, A16, A17, A18, A20, A20b, A21). Las estaciones anteriores se asocian a los aniones bicarbonatos y sulfatos, estando el bicarbonato correlacionado al eje en mayor grado ($r = 0.94$). En contraposición a éstas, se ubican las estaciones A1, A1b, A2, A3, A4 y A6, asociadas al nitrógeno – amoniacal, sulfatos, nitritos, y cloruros, siendo los sulfatos los que tienen una correlación mayor al eje ($r = 0.95$).

La **dimensión dos**, contiene el 14% de la varianza dado para este eje. En ella se asocia a las estaciones A1 y a A20b, ambas estaciones ubicadas en lugares opuestos dentro de la cuenca, y relacionadas a los sulfatos ($r = 0.65$). A éstas se oponen las estaciones A1b, A2, A4, las que se relacionan a los bicarbonatos, cloruros, sulfatos, nitrógeno-amoniacal, fosfato y nitritos.

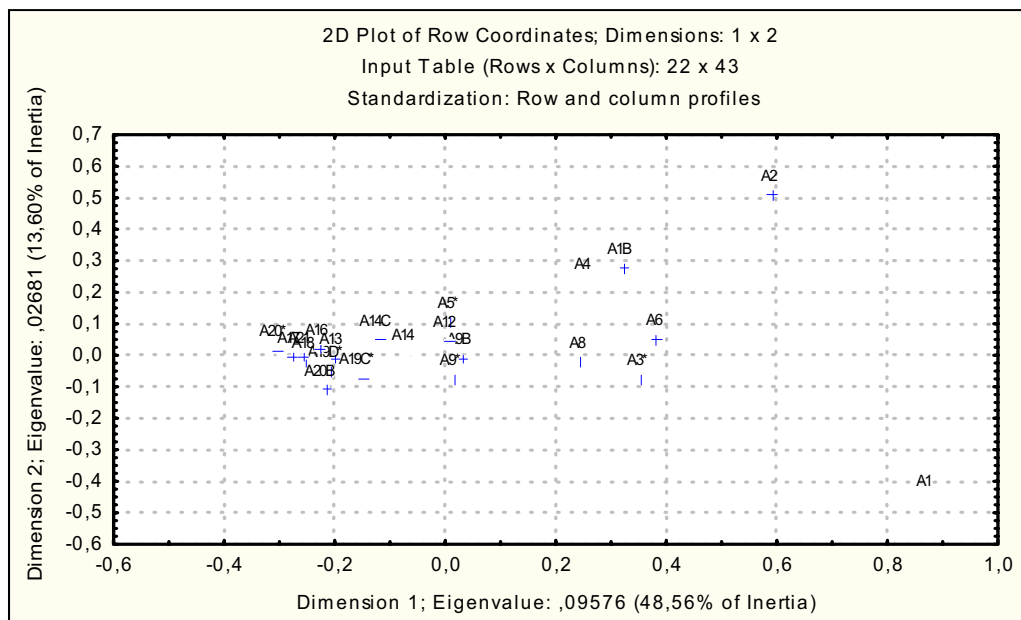


Figura 31: Análisis de correspondencia de las estaciones del río Aconcagua en función a los aniones monitoreados en la cuenca.

4.3 ECOTOXICOLOGÍA

4.3.1 Análisis para el Bioensayo de toxicidad aguda con *Daphnia pulex*

Se analizó la mortalidad del cladócero a las 24 y 48 hrs de exposición, al 100% de la concentración de la muestra, para todas estaciones de monitoreo, durante las siete campañas de muestreo. Los porcentajes de mortalidad fueron normalizados con la transformación $\arcsen \sqrt{y}$, para luego aplicar una ANOVA de una vía.

Los resultados obtenidos, indican que existen diferencias significativas entre las estaciones, en función de la mortalidad de *Daphnia pulex* a las 24 hrs. (F: 4,581 $p < 0,05$). Luego, al analizar los resultados con el test de Tukey, se observa que las estaciones A1 y A6, difieren significativamente con todas las otras estaciones de la cuenca, con excepción de A1b, A8, A9c, que tienen en general más del 50% de mortalidad a las 24 hrs, pero presentan una gran dispersión de sus mortalidades durante todo el monitoreo de la cuenca.

La estación A1, mantuvo una mortalidad de 100% a la máxima concentración de la muestra, este evento se repitió durante los siete muestreos realizados, concordando con las altas y constantes concentraciones de cobre (valor máx: 32,6 mg/L), manganeso (valor máx: 3,99 mg/L) y hierro (valor máx: 15,6 mg/L), todos los anteriores metales asociados al sector.

En la **figura 32, 33 y 34**, se grafican los niveles de cobre, manganeso y hierro, para las estaciones de la primera sección de la cuenca. Las estaciones monitoreadas correspondientes a aguas del río Blanco (A1, A1b y A2), fueron los puntos donde se detectaron los mayores niveles para estos metales, los cuales generaron mortalidad al cladócero *Daphnia pulex* a las 24 hrs de exposición.

Las estaciones ubicadas en los ríos Juncal (A3) y Colorado (A5), no presentaron mortalidades significativas estadísticamente, lo que concuerda con las bajas concentraciones para los metales detectados en dichos lugares, por ser ambos afluentes del río Aconcagua y no tener la influencia directa de la actividad minera y el drenaje ácido.

Dentro de los parámetros alterados para este segmento, se encuentra un pH ácido, medido en el río Blanco, con valores que llegaron a 4 en diciembre de 2002 (campaña 4). Este parámetro coincide con los máximos valores detectados para cobre, manganeso y hierro.

Las Concentraciones letales 50 a las 24 hrs. ($CL_{50\ 24hrs}$) para estas estaciones, presentaron valores muy bajos, en especial para la muestra obtenida de la porción más alta de río Blanco y más próxima al embalse de relave de la mina Saladillo (A1), donde la CL_{50} fluctuó entre 0,0789% y 3,85%. Continuando el recorrido del río, los valores disminuyen, sin embargo, siguen siendo considerables (A1b $CL_{50\ 24hrs}$ = 10,51% marzo de 2003; A2 $CL_{50\ 24hrs}$ = 0,58% dic. de 2002).

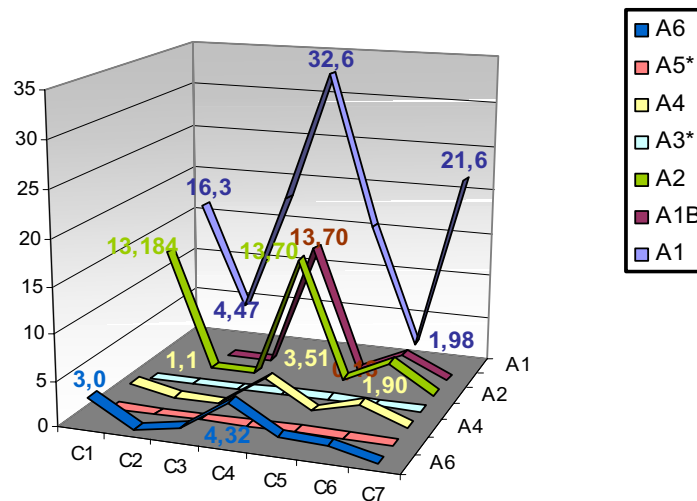


Figura 32: Valores de cobre monitoreados en la primera sección de la cuenca, durante las siete campañas de muestreo.

La toxicidad aguda continúa manifestándose, a medida que el río Aconcagua se abre paso a través de la cuenca en la primera sección, manifestándose en las mortalidades obtenidas en las estaciones del río, después de la unión del río Juncal con el Blanco (A4), presentándose una CL_{50} de 2,24% en diciembre de 2002.

Aguas abajo de la desembocadura del río Colorado en el río Aconcagua (A6), estación afectada por el bypass de la estación hidroeléctrica Los Quilos, la cual recibe una mezcla de las aguas de los ríos Blanco, Juncal y Colorado, se presentó una CL_{50} de 1,1% a las 24 hrs. en la campaña de enero de 2004.

Los resultados anteriores muestran que la toxicidad aguda provocada por las altas concentraciones de metales en la zona alta del río, se manifiestan en los bajos porcentajes de CL_{50} a las 24 hrs., los cuales se mantienen hasta la estación de monitoreo ubicada en el río Aconcagua, bajo el puente El Rey de San Felipe.

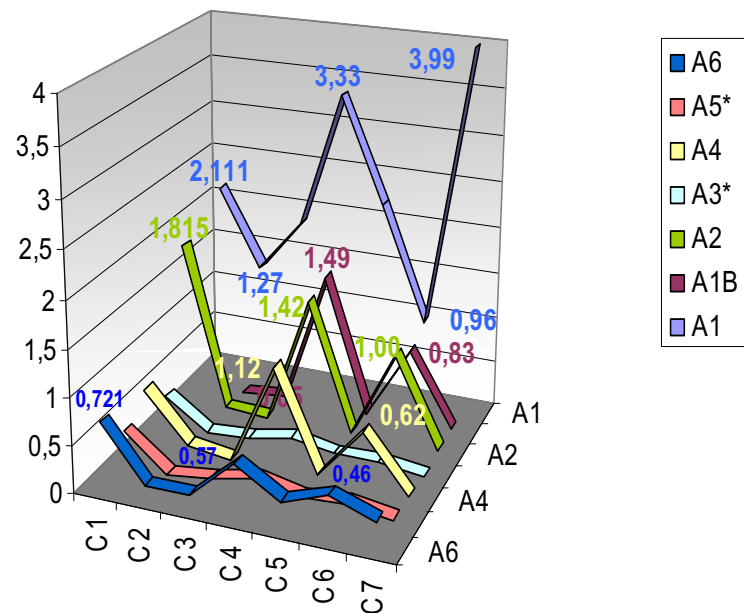


Figura 33: Concentraciones de manganeso en mg/L, detectadas en la primera sección de la cuenca, durante las siete campañas de muestreo.

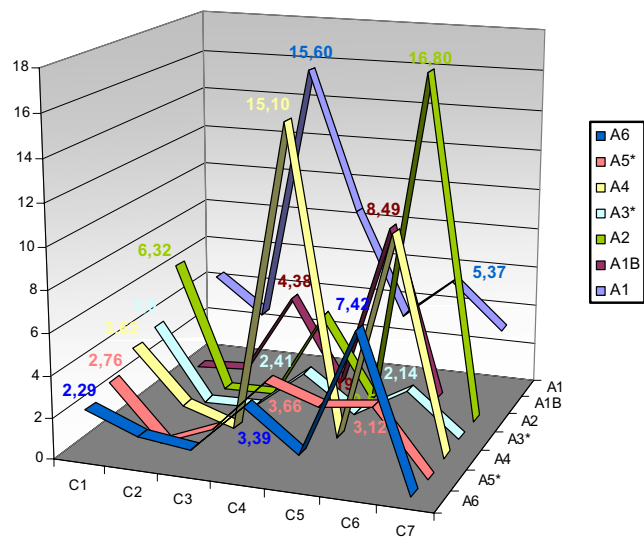
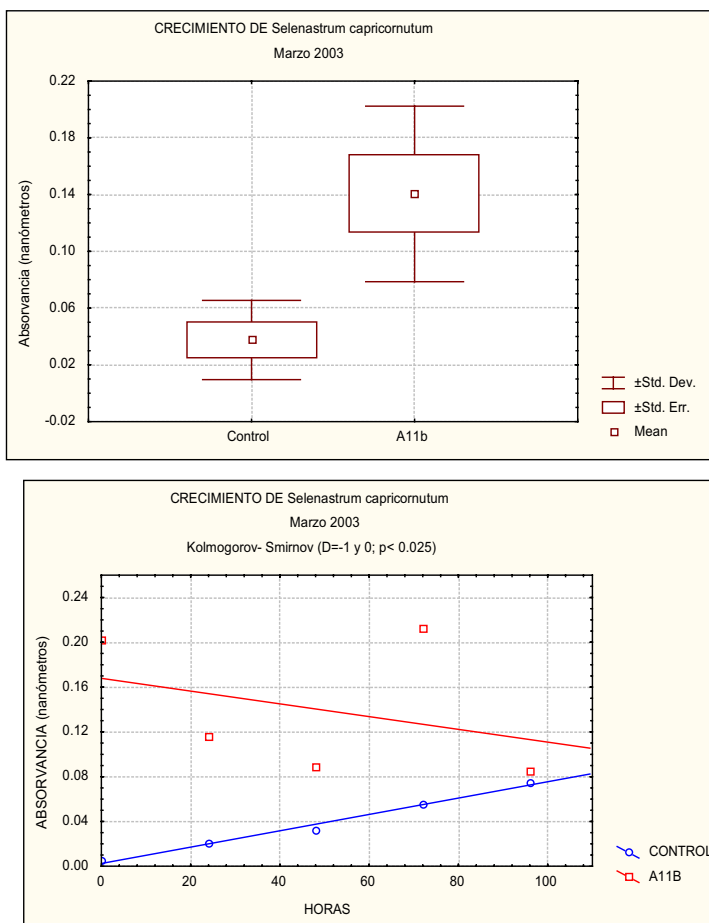


Figura 34: Concentraciones de hierro detectadas en la primera sección de la cuenca, durante las siete campañas de monitoreo.

4.3.2 Análisis para el Bioensayo de Inhibición del crecimiento algal con *Selenastrum capricornutum*.

En relación con los resultados de los bioensayos con microalgas *Selenastrum capricornutum*, se realizó un test de Kolmogorov-Smirnov, donde se comparó la distribución de las absorbancias a 750 nm desde las 0 a 96 hrs (0, 24, 72, 96 hrs), para las muestra obtenidas en las siete campañas de monitoreo. La curva de distribución de cada estación se comparó con la curva respectiva del control.

Al comparar todas las curvas de distribución, sólo en dos estaciones se encontró una diferencia significativa con respecto al crecimiento algal del control, la primera (**figuras 35 y 36**) corresponde a la estación ubicada en el estero Quilpué, posterior a la laguna de estabilización de aguas servidas de la comuna de Santa María, Provincia de San Felipe (A11b). Dicha estación presentó un crecimiento que fue estadísticamente significativo, con respecto al control, en las campañas de marzo de 2003 y enero de 2004, lo que posiblemente está dado por el aporte de materia orgánica en base a nitratos, por parte de las aguas servidas de la zona, quizá por un deficiente funcionamiento de la laguna de estabilización



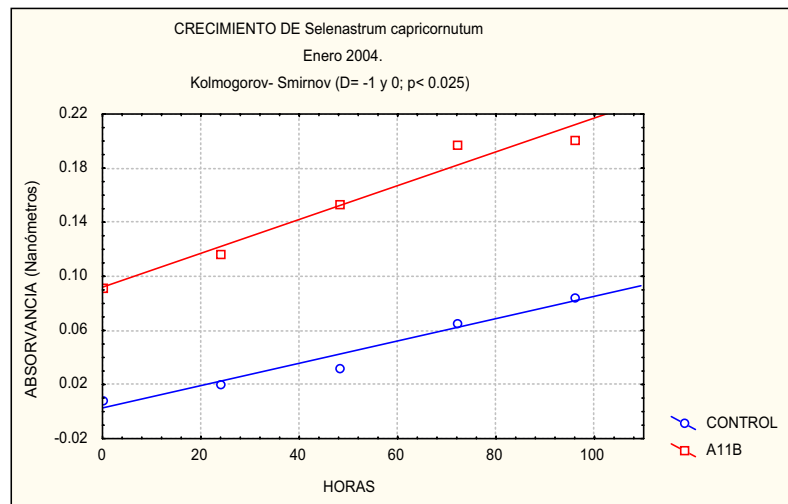


Figura 35: Distribución de las absorbancias desde las 0 a 96 hrs., de la estación A11b junto al control a 750 nm.

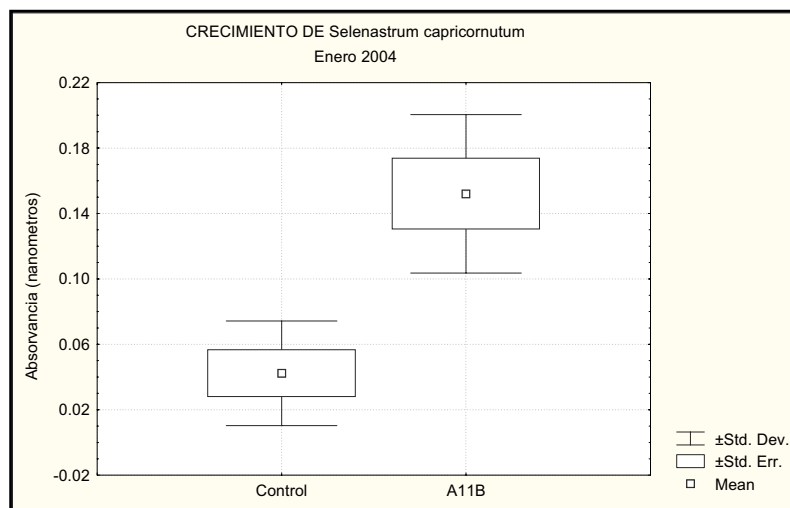


Figura 36: Distribución de las absorbancias desde las 0 a 96 hrs. de la estación A11b junto al control a 750 nm.

En el río Putaendo (A11c), posterior a la descarga desde la laguna de estabilización de aguas servidas, ubicada en el sector (figura 37), en la campaña de marzo de 2003, también se observó un crecimiento algal estadísticamente significativo al compararlo con el control, probablemente debido al aporte de materia orgánica vertido por la laguna de estabilización al río, proceso que no debe cumplir con un manejo adecuado ya que coinciden con las medias más altas encontradas de coliformes fecales en dicho río.

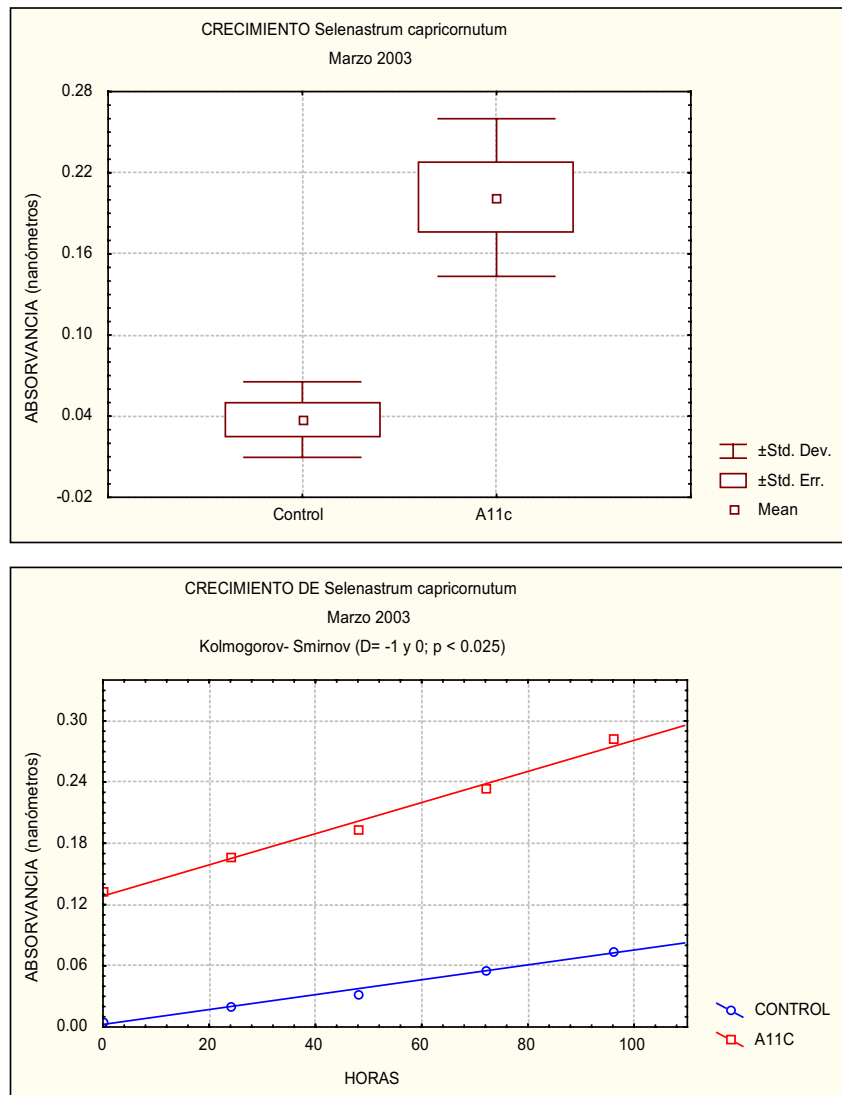


Figura 37: Distribución de las absorbancias desde las 0 a 96 hrs. de la estación A11c junto al control a 750 nm.

En la prueba efectuada de Kolmogorov-Smirnov, sólo una estación se encuentra con una inhibición del crecimiento algal estadísticamente significativa (figura 38), sector representado por el estero El Cobre (A19b), en el monitoreo de marzo de 2003. Este lugar recibe aguas de canales de regadíos de sectores agrícolas, los cuales pueden contener algún tipo de herbicidas que estarían posiblemente afectando el crecimiento algal.

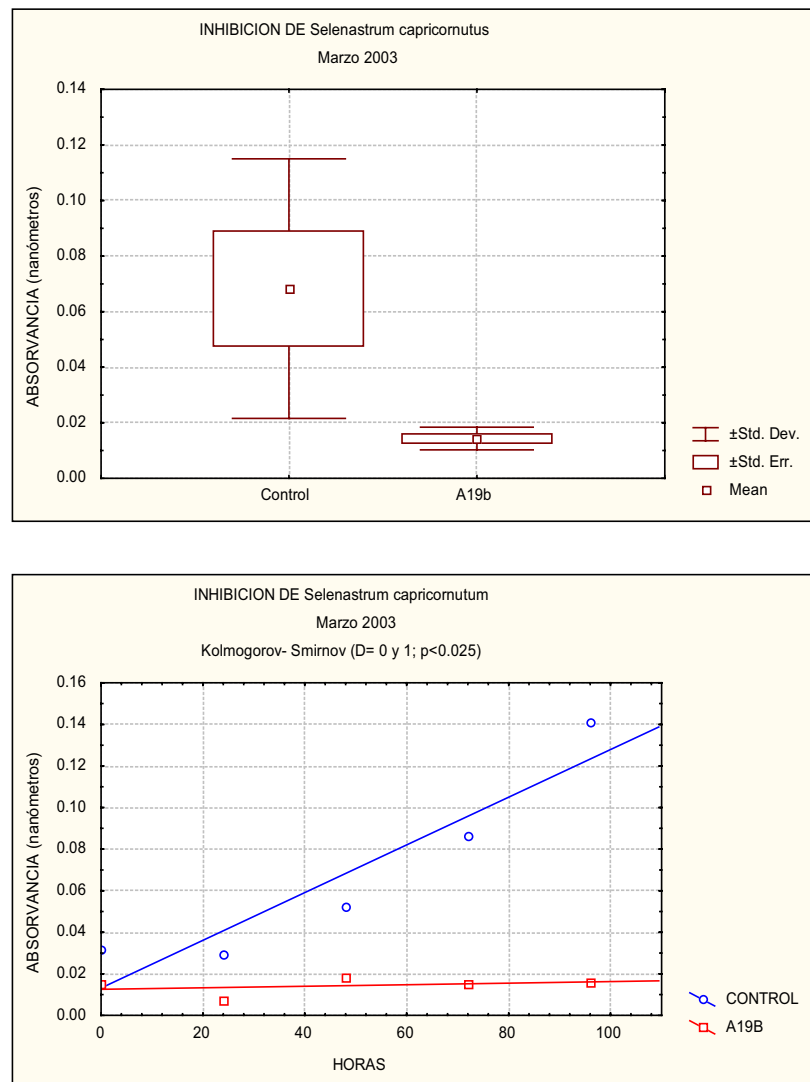


Figura 38: Distribución de las absorbancias desde las 0 a 96 hrs. de la estación A19b junto al control a 750 nm.

4.4 CONTAMINACIÓN MICROBIOLÓGICA

4.4.1 Análisis para coliformes totales

La contaminación por coliformes totales detectada en la cuenca del río Aconcagua, se presenta en la figura 39, donde se grafican las medias del número más probable (NMP) para cada estación de muestreo en las siete campañas de monitoreo.

Las medias más significativas, están representadas, en el río Aconcagua, en la ciudad de San Felipe (A9b), aguas abajo de la actual planta de tratamiento de Esval en San Felipe. Durante las primeras campañas de muestreo, la planta estaba en construcción y existía una descarga directa de aguas servidas del alcantarillado al río sin previo tratamiento, generando una contaminación bacteriológica a niveles que ascendieron a 30.000 NMP de coliformes totales/100mL. En la campaña de junio de 2002, la contaminación disminuyó notablemente al momento de entrar en funcionamiento la planta de tratamiento, alcanzando un recuento de 2 NMP coliformes totales/100mL.

Las aguas del río Putaendo, posterior a la descarga de la laguna de estabilización de dicho lugar, también presenta una media considerable al compararla con todas las estaciones del río, sin embargo, este efecto fue provocado en el muestreo realizado en marzo de 2003, que entregó un recuento > 160.000 NMP coliformes totales/100mL, evento que sólo ocurrió una vez durante todo las campañas de monitoreo, lo que entrega una gran varianza y desviación estándar.

Las medias más considerables son las entregadas por las muestras obtenidas del estero Los Loros, previo (A14d) y posterior (A14e) a la descarga de la laguna de estabilización de la ciudad de Llay-Llay, lo que coincide con la cantidad de coliformes totales medidos, donde la carga no disminuye de 160.000 NMP coliformes totales/100mL durante todas las campañas de muestreo.

Con una media menor pero también importante, se ubican las estaciones (A16 y A19d). La estación correspondiente al río Aconcagua, previo a la descarga del estero Los Litres (A16), se ubica posterior a una descarga directa de aguas servidas al río en la ciudad de La Calera, es por este motivo que durante los primeros monitoreos el número de coliformes se mantuvo en un nivel bastante alto, con valores que fluctuaron desde 3.500 a 160.000 NMP coliformes totales/100mL, estos niveles disminuyen al entrar en funcionamiento la planta de tratamiento para el sector (5.000 a 130 NMP coliformes totales/100mL).

La estación ubicada en el estero Los Litres (A19d), entregó valores que fluctuaron desde 3.000 a 160.000 NMP coliformes totales/100mL. Dicho estero escurre a través de asentamientos humanos, como Artificio, el cual está conurbado con la ciudad de La Calera. Esta zona urbana podría tener influencia directa en la contaminación fecal del cuerpo de agua.

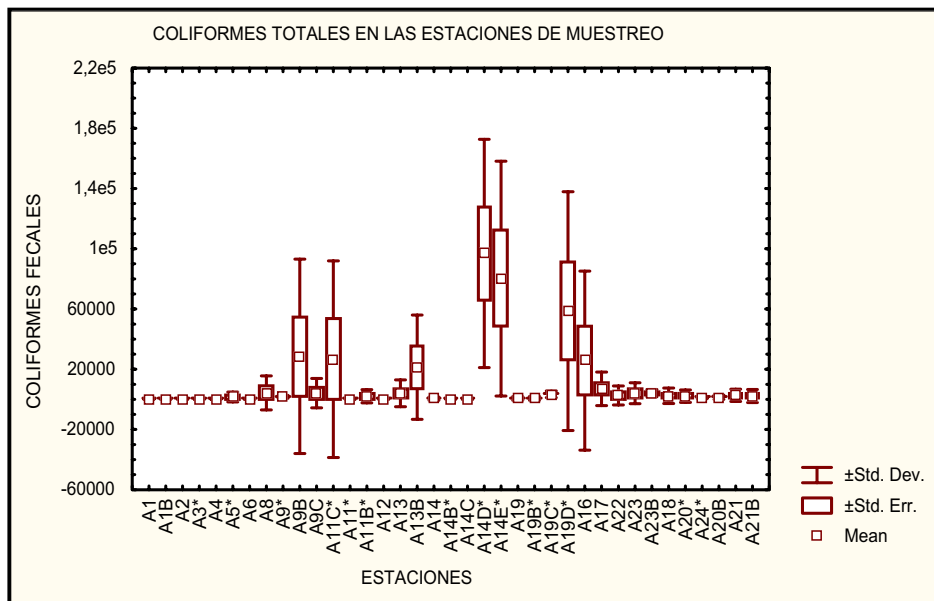


Figura 39: Medias establecidas para los coliformes totales medidos en las estaciones de monitoreo de aguas superficiales de la cuenca del río Aconcagua.

4.5 ANÁLISIS DE PLAGUICIDAS

Sólo durante la campaña de diciembre de 2001, se detectaron plaguicidas en las muestras de aguas superficiales (ver tabla 9), los cuales se indican a continuación:

- Con respecto a la atrazina, ésta fue detectada en el río Aconcagua, en San Diego, La Calera (A16) con una concentración de 1,02 mg/L y en el antiguo el efluente de aguas servidas de la ciudad de Quillota E1 (ya no existe en la actualidad), con una concentración de 0,15 mg/L.
- Llama la atención el hallazgo de plaguicidas en el río Blanco a la altura del puente carretero, ya que existen sólo cultivos en jardines y chacras en las casas. En dicha estación se detectó captan (0,076 mg/L), cianazina (0,051 mg/L), dimetoato (0,012) y simazina (0,42).
- Respecto de la cianazina, además de A2, se detectó en 18 estaciones.
- Con relación al glifosato se detectaron concentraciones muy elevadas en A16 (53,24 mg/L) y E1 (65,44 mg/L)
- En los muestreos posteriores no se encontraron plaguicidas, a excepción de algunos metabolitos de degradación.

Tabla 9: Concentraciones de plaguicidas detectados en la 1ª campaña

ESTACIONES	PLAGUICIDAS					
Límite de detección	0.02	0.001	0.004	0.002	0.04	0.02
UNIDAD	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
Expresión	Atrazina	Captan	Cianazina	Dimetoato	Glifosato	Simazina
A1	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
A2	<0.02	0.076	0.051	0.012	<0.04	0.42
A3	<0.02	< 0.001	<0.004	<0.002	<0.04	<0.02
A4	<0.02	< 0.001	<0.004	<0.002	<0.04	<0.02
A5	<0.02	< 0.001	<0.004	<0.002	<0.04	<0.02
A6	<0.02	< 0.001	0.008	<0.002	<0.04	<0.02
A7	<0.02	< 0.001	0.006	<0.002	<0.04	<0.02
A8	<0.02	< 0.001	0.006	<0.002	<0.04	<0.02
A9	<0.02	< 0.001	0.006	<0.002	<0.04	<0.02
A10	<0.02	< 0.001	0.006	<0.002	<0.04	<0.02
A11	<0.02	< 0.001	0.006	<0.002	<0.04	<0.02
A12	<0.02	< 0.001	0.006	<0.002	<0.04	<0.02
A13	<0.02	< 0.001	0.006	<0.002	<0.04	<0.02
A14	<0.02	< 0.001	0.006	<0.002	<0.04	<0.02
A19	<0.02	< 0.001	0.006	<0.002	<0.04	<0.02
A15	<0.02	< 0.001	0.006	<0.002	<0.04	<0.02
A16	1.02	< 0.001	0.006	<0.002	53.24	<0.02
A17	<0.02	< 0.001	0.006	<0.002	<0.04	<0.02
A22	<0.02	< 0.001	0.006	<0.002	<0.04	<0.02
E1	0.15	0.001	0.007	<0.002	65.44	<0.02
A18	<0.02	< 0.001	0.006	<0.002	<0.04	<0.02
A20	<0.02	< 0.001	0.006	<0.002	<0.04	<0.02
A21	<0.02	< 0.001	0.007	<0.002	<0.04	<0.02

4.6 REFERENCIAS

CUADRAS C., 1996. Métodos de Análisis Multivariante. Ediciones de la Universidad de Barcelona. Ciencia y Tecnología N° 15. Barcelona.

ETXEBERRÍA J., GARCÍA E., GIL, J. Y RODRÍGUEZ G, 1995. Análisis de Datos y Texto. Ediciones Ra-Ma. Madrid

FERNÁNDEZ, F., 2002. El uso del análisis de correspondencia. *Boletín Antropológico*. Año 20, N° 55. Mayo-Agosto 2002, ISSN: 1325-2610. Universidad de Los Andes. Mérida. pp.687-713.

PHILLIPS D., 1995. Correspondence analysis in Social Research Update N° 7. Department of Sociology, University of Surrey. Guildford. UK.

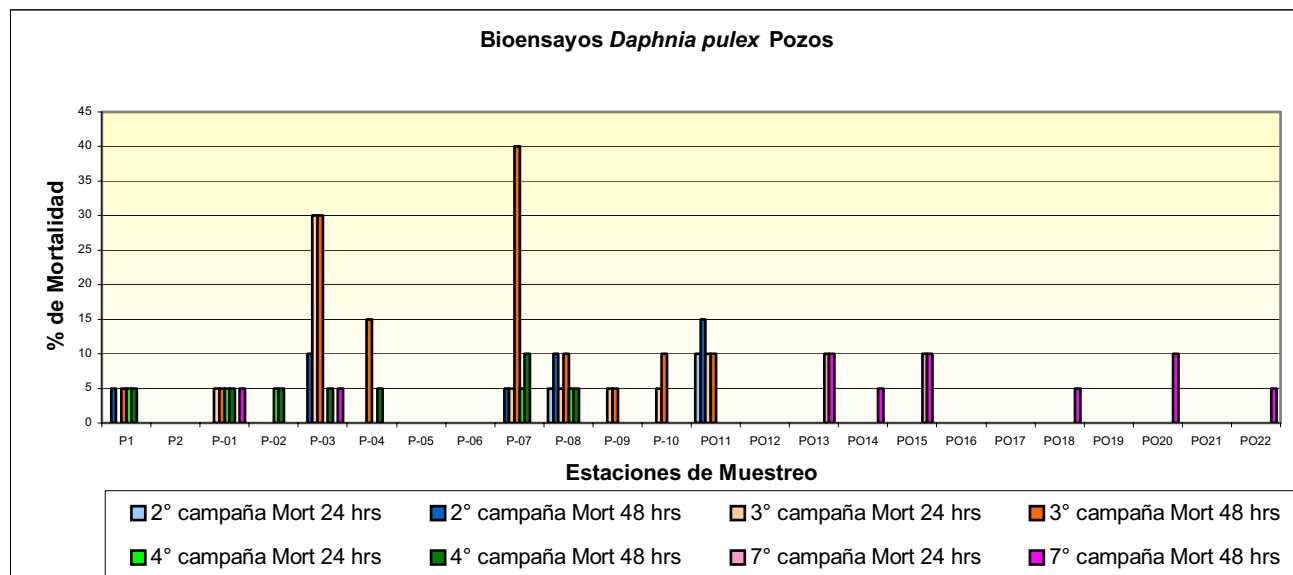


Figura 41: Porcentajes de mortalidades de *Daphnia pulex* en bioensayo de toxicidad aguda para muestras de pozo durante los muestreos de 2001 a 2004.

Los resultados de inhibición del crecimiento con *Selenastrum capricornutum* (figura 42), presentaron toxicidad en las muestras de agua subterráneas para el sector de Las Tinajas en Panquehue (**P1**), sector de El Álamo en San Felipe (**PO1**) y en El Chepical en Santa María (**PO2**), en las campañas realizadas en octubre-diciembre de 2003 y abril de 2004.

En la campaña de abril de 2004, se presentaron las más altas inhibiciones del crecimiento algal. Casi la totalidad de las muestras presentaron inhibiciones del crecimiento superiores al 50%, entre ellas se encuentran los pozos de El Chepical en Santa María (**PO2 I_{μi}=135%**), Las Bandurrias de Rinconada en Los Andes (**PO22 I_{μi}=130%**), Las Tinajas en Panquehue (**P1 I_{μi}=115%**), Parcela # 244- (**PO18 I_{μi}=109%**), pozo ubicado en paradero 8 en Quillota (**PO13 I_{μi}=88%**). y El Pedrero en Los Andes (**PO21 I_{μi}=88%**).

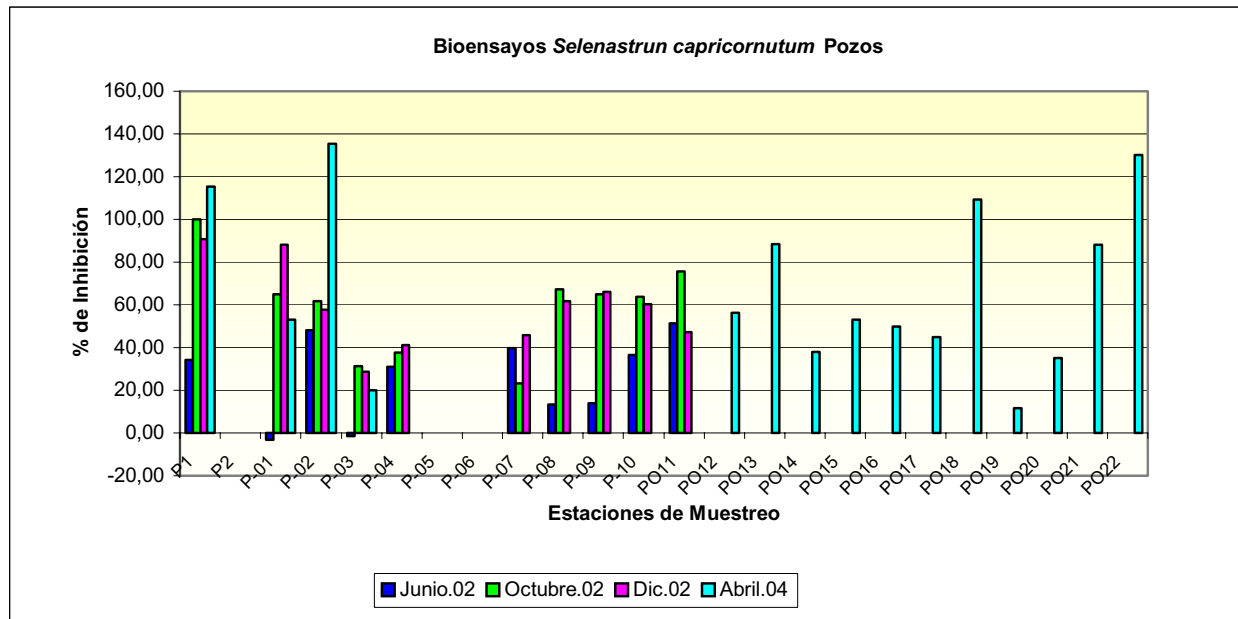


Figura 42: Porcentaje de inhibición del crecimiento algal con respecto al control a las 96 hrs del bioensayo, para muestras de aguas subterráneas, de 2001 a 2004.

Los resultados de los parámetros físico-químicos y microbiológicos de las muestras de pozo, fueron comparados con los límites máximos permitidos de la NCh 409.

Dentro de los valores encontrados para los metales totales, no hubo excedencias en los valores de cobre (**1 mg/L**) para ninguna muestra (figura 43). Metal que tiene importancia por su alta detección en aguas superficiales a través de toda la cuenca.

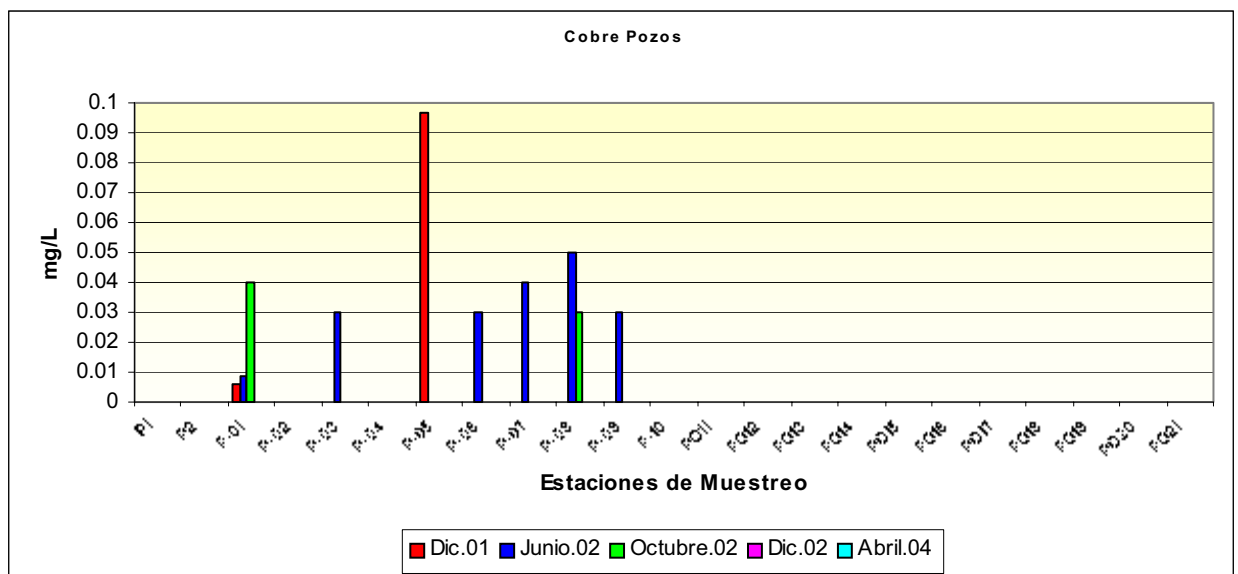


Figura 43: Excedencias de cobre en aguas subterráneas de 2001 a 2004 (NCh 409).

Las concentraciones de hierro total, excedieron el límite máximo permitido por la NCh 409 (**0,3 mg/L**), en las estaciones, **P1** Las Tinajas, Panquehue (0,41 mg/L julio 2002), **PO1** El Alamo, San Felipe (0,45 mg/L julio 2002), **PO2** El Chepical, Santa María (0,6 mg/L dic. 2002), **PO7** Chacra Santa Isidora, San Felipe (1,94 mg/L julio 2002), **PO8** empresa Safex (1,03 mg/L junio 2002), **PO11** en Panquehue (5,47 mg/L dic. 2002).

Se debe señalar según la NCh 409, el Ministerio de Salud puede aceptar un contenido mayor de hierro al límite máximo permitido (figura 44).

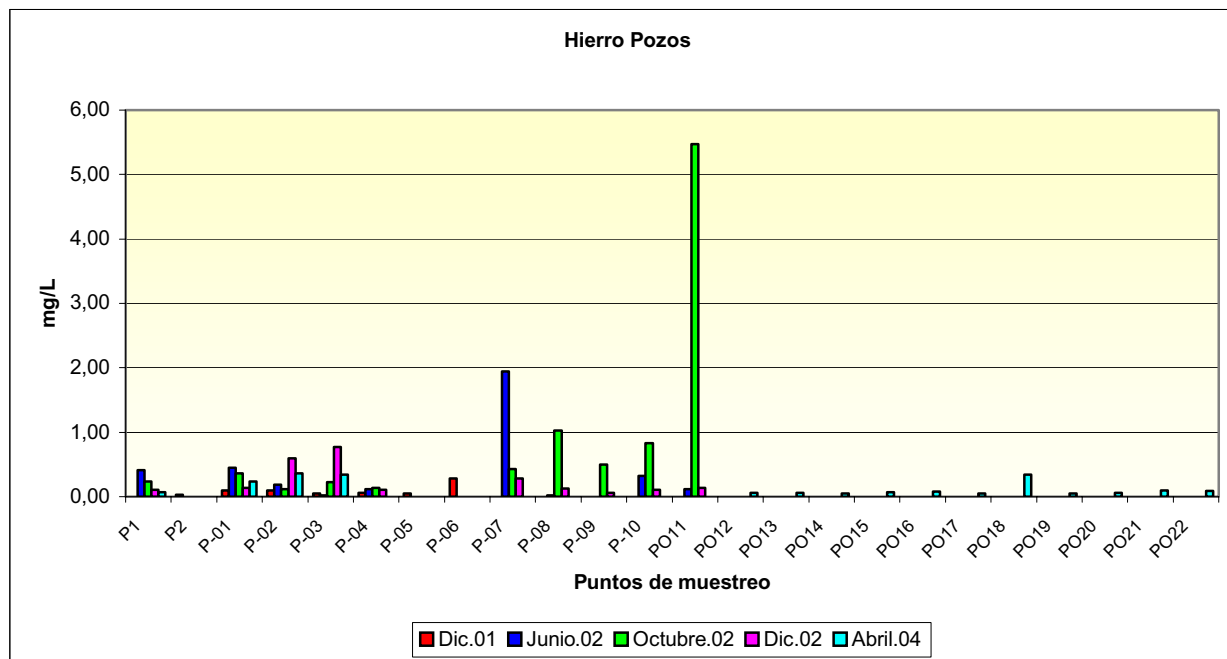


Figura 44: Excedencias de hierro para las muestras de aguas subterráneas desde 2001 a 2004 (NCh 409).

En relación al manganeso, sobrepasaron el límite máximo establecido en la NCh 409 (**0,10 mg/L**), los pozos ubicados en Panquehue **PO11** (0,15 mg/L), Parcela La Hera en Quillota **PO12** (0,2 mg/L), Fundo Sta. Rosa en San Pedro **PO14** (0,25 mg/L), predio Lo Venecia en Quillota **PO15** (0,37 mg/L) y Fundo Esmeralda en Quillota **PO17** (1,12 mg/L), durante la campaña de abril de 2004 (figura 45).

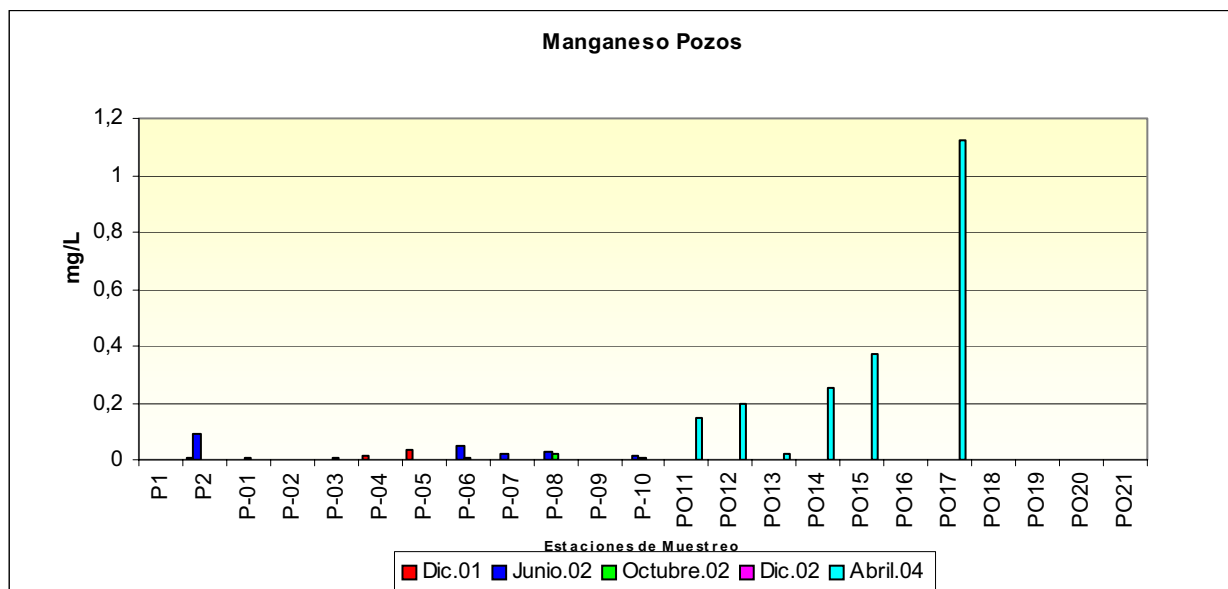


Figura 45: Concentraciones de manganeso detectadas para las muestras de pozo, desde 2001 a 2004.

Los resultados de los análisis microbiológicos (figura 46) indican que los pozos: **P1, PO1, PO2, PO3, PO7, PO8, PO9, PO11, PO12, PO13 y PO17** presentaron coliformes fecales en al menos una campaña durante todo el periodo de muestreo. Siendo **PO12** (Parcela La Hera, Quillota) y **PO17** (Fundo Esmeralda, Quillota) los que presentaron los niveles más elevados en abril de 2004. (40 y 130 coliformes fecales NMP/ 100 mL respectivamente)

Considerando el índice de coliformes fecales/enterococos fecales, descrito en el Standard Methods de 1988 para conocer el origen de la contaminación fecal ya sea animal o no animal. Se puede decir que las muestras: **PO1, PO2, PO3, PO4, PO7, PO8, PO9, PO12, PO13, PO16 y PO18** presentan contaminación fecal de origen animal y sólo **PO17** de origen humano (tabla 10).

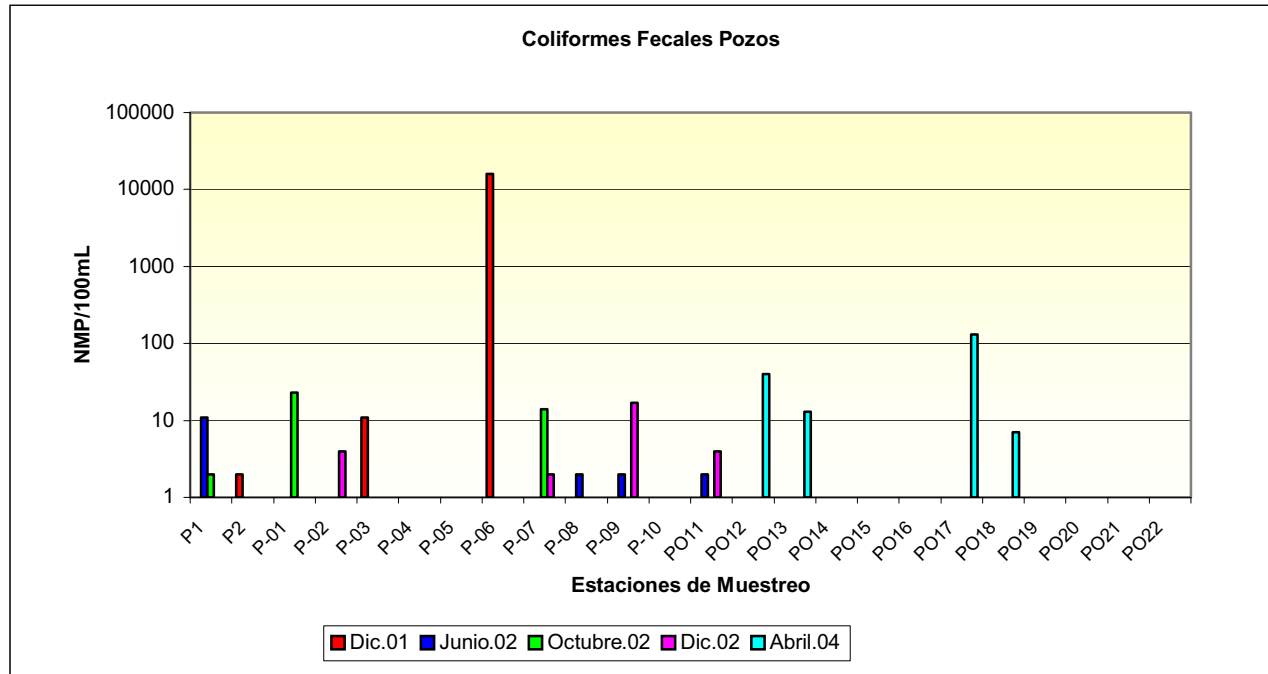


Figura 46: Índices de coliformes fecales para aguas subterráneas de 2001 a 2004.

Tabla 10: Índice de coliformes fecales v/s enterococos fecales aguas subterráneas

**ÍNDICE COLIFORMES FECAL V/S ENTEROCOCOS
FECAL AGUAS SUBTERRANEAS**

ESTACIONES DE MUESTREO	Dic-01	Jun. 02	Oct.02	Dic. 02	Abr.04
P1	n.a	0,00	1,00	1,00	1,00
P-01	0,04	0,00	0,46	0,50	1,00
P-02	1,00	0,00	0,00	0,13	1,00
P-03	0,48	0,00	1,00	1,00	1,00
P-04	0,25	0,00	1,00	1,00	n.a
P-05	0,09	n.a	n.a	n.a	n.a
P-06	62,50	n.a	n.a	n.a	n.a
P-2	0,04	n.a	n.a	n.a	n.a
P-07	n.a	n.a	0,13	1,75	0,06
P-08	n.a	n.a	1,00	0,25	0,02
P-09	n.a	n.a	1,00	0,03	1,31
P-10	n.a	n.a	0,00	1,00	1,00
PO11	n.a	n.a	0,00	0,50	1,00
PO12	n.a	n.a	n.a	n.a	0,18
PO13	n.a	n.a	n.a	n.a	0,08
PO14	n.a	n.a	n.a	n.a	1,00
PO15	n.a	n.a	n.a	n.a	1,00
PO16	n.a	n.a	n.a	n.a	0,13
PO17	n.a	n.a	n.a	n.a	10,00
PO18	n.a	n.a	n.a	n.a	0,14
PO19	n.a	n.a	n.a	n.a	1,00
PO20	n.a	n.a	n.a	n.a	1,00
PO21	n.a	n.a	n.a	n.a	1,00
PO22	n.a	n.a	n.a	n.a	1,00

CAPÍTULO 6: RESULTADOS DEL ESTUDIO DE LAS CARACTERÍSTICAS SEDIMENTOLÓGICAS DEL RÍO ACONCAGUA Y SUS PRINCIPALES AFLUENTES

6.1 MUESTREO DE SEDIMENTOS

Recordando lo descrito en el tomo I, durante la 1ª campaña realizada en diciembre de 2001, se tomaron muestras de sedimentos en la totalidad de las estaciones de aguas superficiales de dicha campaña, a las cuales se les realizaron análisis para la detección de arsénico, cadmio, cobre, hierro, manganeso, molibdeno, plomo, zinc y materia orgánica. Cabe recordar que en Chile no existe una normativa que regule parámetros relacionados con esta matriz.

Tabla 11a: Concentraciones de metales y materia orgánica en sedimentos de la cuenca del río Aconcagua

	Estaciones	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9
Parámetros	Unidad / Fecha	12/12/2001	12/12/2001	12/12/2001	12/12/2001	12/12/2001	12/12/2001	12/12/2001	12/12/2001	12/12/2001
Arsénico	µg/g	28.2	22.6	4.9	31.2	11.8	12.6	8.7	7.1	15.8
Cadmio	µg/g	0.2	0.3	< 0.2	0.5	0.4	0.5	0.5	0.6	0.2
Cobre	µg/g	1299.7	2241.3	39.2	613.2	55.3	587.3	552.5	550.3	416.0
Hierro	µg/g	33519	34710	32021	31344	30445	28945	27867.0	28145	25565
Manganeso	µg/g	817.5	1049.7	931.9	1104.2	651.4	1004.6	937.1	969.4	716.1
Molibdeno	µg/g	3.8	8.3	< 3.5	9.0	< 3.5	< 3.5	< 3.5	< 3.5	< 3.5
Plomo	µg/g	21.5	11.1	13.4	53.7	58	19.1	18.0	18.4	16.0
Zinc	µg/g	152.2	133.5	111.6	179.2	108.5	136.1	140.0	145.4	138.8
Materia Orgánica	g/100g	2.78	1.71	1.86	3.93	4.1	2.38	2.08	2.01	2.58

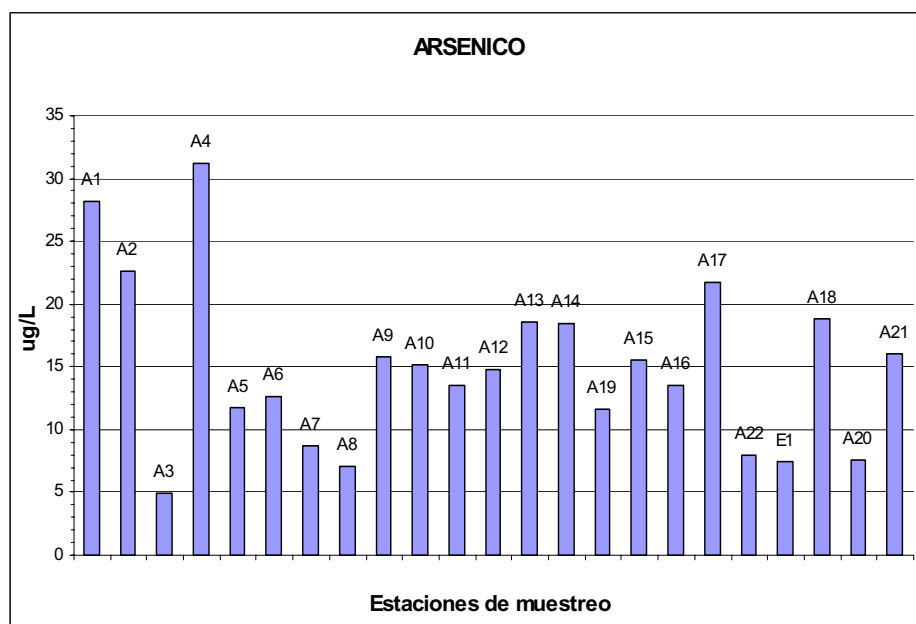
Tabla 11b: Concentraciones de metales y materia orgánica en sedimentos de la cuenca del río Aconcagua

	Estaciones	A10	A11	A12	A13	A14	A15	A16	A17	A18
Parámetros	Unidad / Fecha	12/12/2001	12/12/2001	12/12/2001	12/12/2001	12/12/2001	12/12/2001	12/12/2001	12/12/2001	12/12/2001
Arsénico	µg/g	15.2	13.5	14.8	18.6	18.5	15.5	13.5	21.7	18.8
Cadmio	µg/g	0.4	< 0.2	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	< 0.2	0.2
Cobre	µg/g	615.4	44.1	611.6	841.4	992.1	356.8	688.5	262.8	365.5
Hierro	µg/g	24559	23955	26492	31095	28935	27942	23539	25306	23604
Manganeso	µg/g	868.4	536.7	867.5	944.0	830.7	646.5	554.4	636.4	648.8
Molibdeno	µg/g	< 3.5	< 3.5	< 3.5	< 3.5	< 3.5	< 3.5	< 3.5	< 3.5	< 3.5
Plomo	µg/g	16.0	15.3	19.2	20.1	19.7	14.5	51.0	11.7	11.9
Zinc	µg/g	139.0	73.1	142.1	164.2	153.2	113.5	237.9	106.8	108.1
Materia Orgánica	g/100g	2.29	1.46	1.94	2.73	3.39	39.79	6.27	1.88	2.31

Tabla 11c: Concentraciones de metales y materia orgánica en sedimentos de la cuenca del río Aconcagua

	Estaciones	A19	A20	A21	A22	E1
Parámetros	Unidad / Fecha	12/12/2001	12/12/2001	12/12/2001	12/12/2001	12/12/2001
Arsénico	µg/g	11.6	7.6	16.0	8.0	7.5
Cadmio	µg/g	0.3	< 0,2	0.3	< 0,2	< 0.2
Cobre	µg/g	575.1	96.7	1305.3	413.6	87.1
Hierro	µg/g	17566	15974	20133	10493	12810
Manganeso	µg/g	811.7	580.5	937.3	551.2	419.0
Molibdeno	µg/g	< 3,5	< 3,5	< 3,5	< 3,5	< 3,5
Plomo	µg/g	15.6	15.1	18.7	13.5	22.7
Zinc	µg/g	165.8	93.3	172.8	115.0	152.2
Materia Orgánica	g/100g	4.14	3.46	5.40	2.59	4.01

Considerando las tablas 10 a, b y c, en la figura 47 se observa que las mayores concentraciones de arsénico se encuentran en los sedimentos de A1 (**28,2 µg/g**), A2 (**22,6 µg/g**) y A4 (**31,2 µg/L**), obviamente puede existir una directa relación con la actividad minera. Llama la atención la estación A17 de La Cruz, cuya concentración es de **21,7 µg/g**.

**Figura 47:** Concentraciones de As detectadas en sedimentos en diciembre de 2001.

Con respecto al cadmio, en la figura 48, se observa la mayor concentración detectada se presenta en A8 (río Aconcagua en el sector El Laberinto), con **0,6 µg/g**. En general, las concentraciones son muy bajas y no hay señales de alguna industria tipo galvanoplastia en el sector o la presencia de depósitos de baterías.

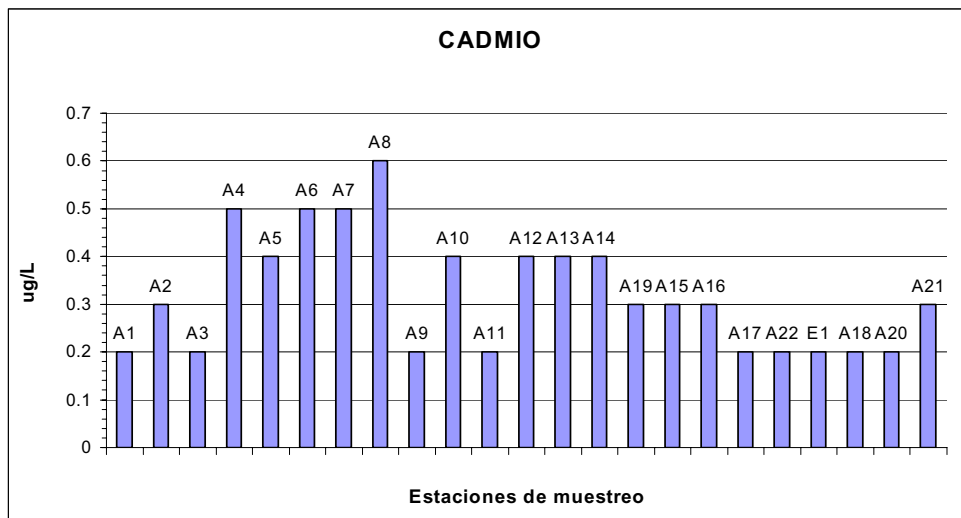


Figura 48: Concentraciones de Cd detectadas en sedimentos en diciembre de 2001.

En referencia al cobre, la figura 49 expone las altas concentraciones detectadas en A1 (**1.299,7 $\mu\text{g/g}$**) y A2 (**2.241,3 $\mu\text{g/g}$**), valores que reflejan la actividad minera del sector y que coinciden con los resultados observados en las aguas superficiales. Se aprecia además en la desembocadura, en el sector de RPC (A21), una concentración elevada del metal (**1.305,3 $\mu\text{g/g}$**). En dicho muestreo, la concentración de cobre en la muestra de agua de esa estación, alcanzó una concentración de 1,045 mg/L.

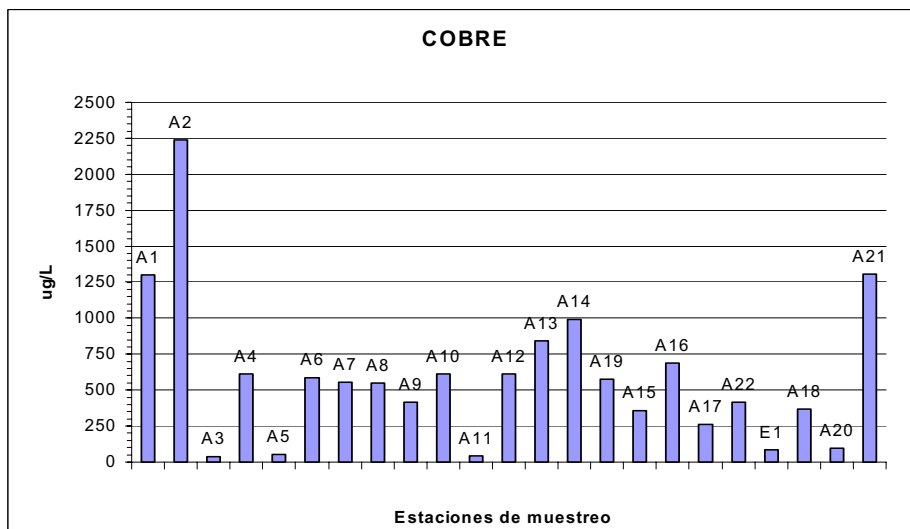


Figura 49: Concentraciones de Cu detectadas en sedimentos durante diciembre de 2001.

Con respecto al **hierro**, la figura 50 muestra que las altas concentraciones de este metal se mantienen a lo largo de la cuenca, aunque son mayores en la 1ª sección. No sólo la actividad minero industrial está influenciando la determinación de estos valores, sino que existe un origen natural.

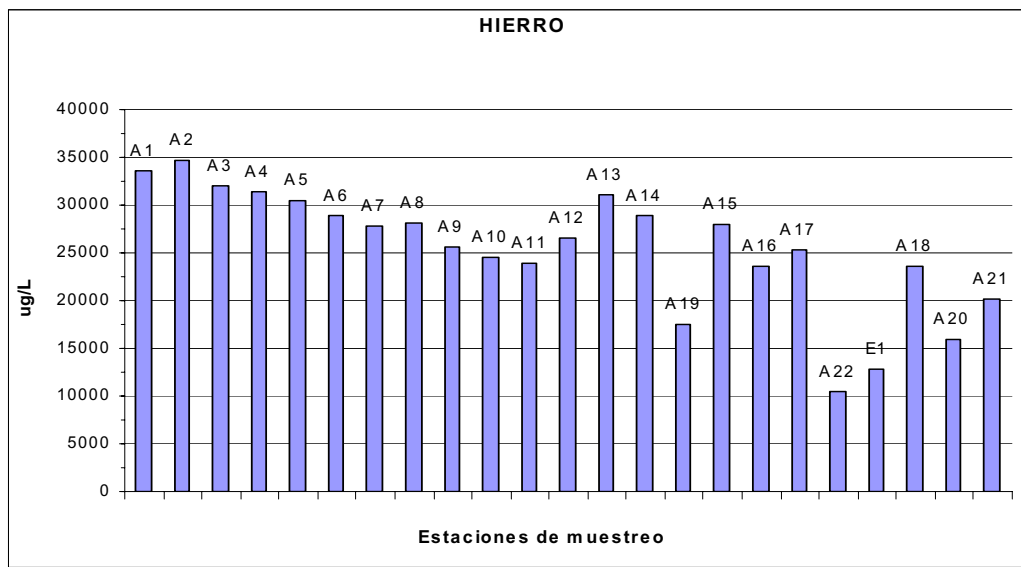


Figura 50: Concentraciones de Fe detectadas en sedimentos durante diciembre de 2001.

Las concentraciones de **manganeso** se indican en la figura 51, destacándose las estaciones A2 (**1.049,7 µg/g**) y A4 (**1.104,2 µg/g**), coincidiendo nuevamente con la actividad minera que afecta a la 1ª sección. A su vez, al igual que en el caso del cobre, se distingue la concentración detectada en A21 (**937,3 µg/g**) en la desembocadura del río Aconcagua, a nivel de RPC.

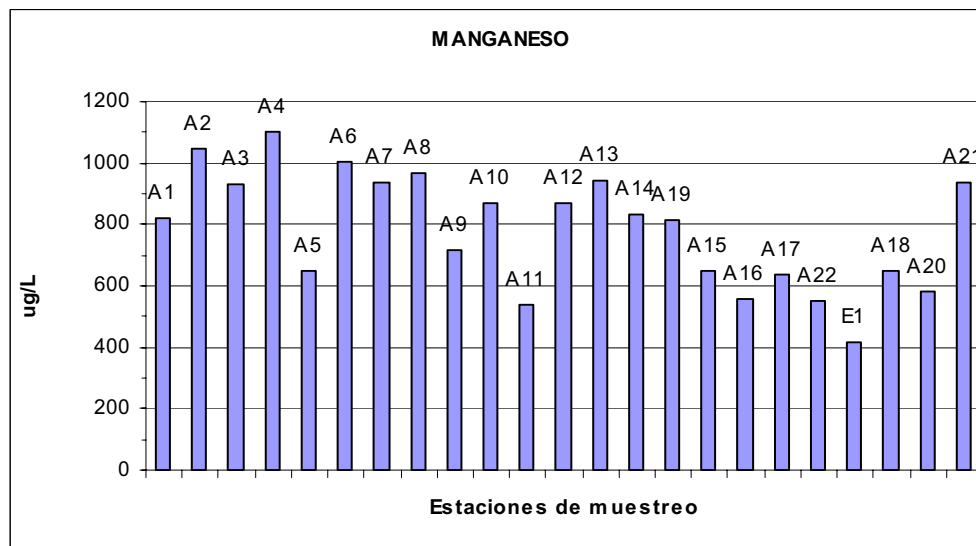


Figura 51: Concentraciones de Mn detectadas en sedimentos durante diciembre de 2001.

Respecto del **molibdeno**, en las tablas se observan las mayores concentraciones en A2 (**8,3 µg/g**) y A4 (**9 µg/g**).

Con relación al **plomo** (ver figura 52) las mayores concentraciones se observan en A4 (**53,7 µg/g**), A5 (**58 µg/g**) y A16 (**51 µg/g**). E1 (**22,7 µg/g**) y A21 (**18,7 µg/g**), también son destacables, probablemente E1 esté recibiendo residuos con Pb, producto de la descarga de aguas servidas de Quillota y Artificio. En A21, el sedimento puede haber incorporado Pb por derrames históricos de RPC o simplemente por un proceso de arrastre desde aguas arriba del río Aconcagua.

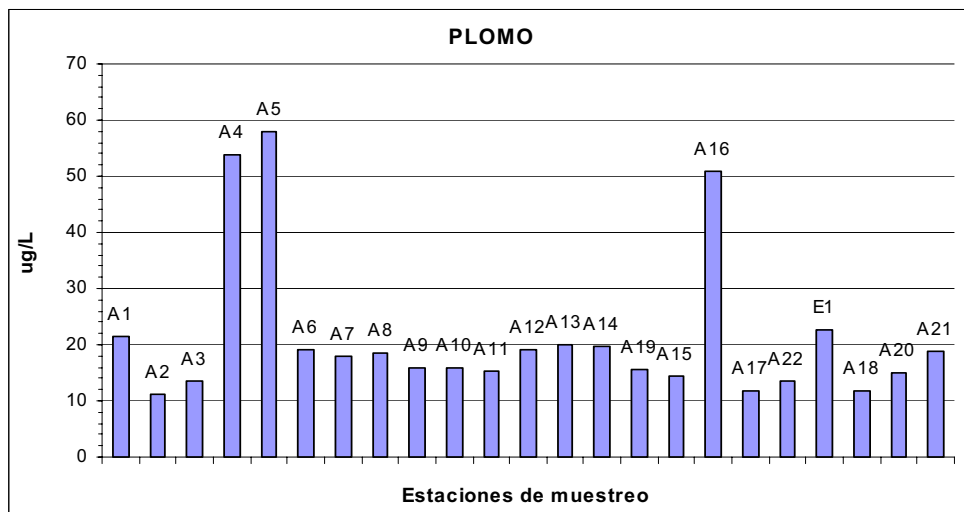


Figura 52: Concentraciones de Pb detectadas en sedimentos durante diciembre de 2001

El zinc (ver figura 53) presenta las mayores concentraciones en A4 (**179.2 µg/g**) A16 (**237.9 µg/g**) y A21 (**172.8 µg/g**).

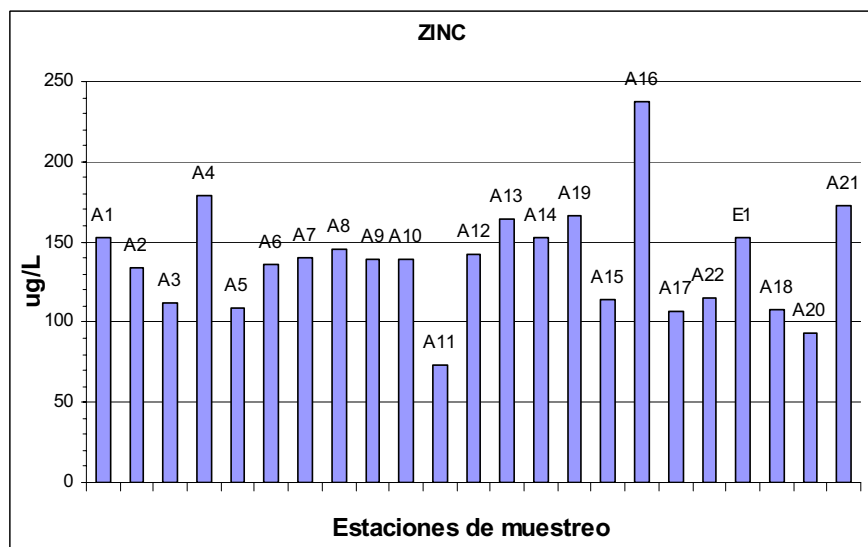


Figura 53: Concentraciones de Pb detectadas en sedimentos durante diciembre de 2001

Finalmente, la **materia orgánica**, presenta su máxima concentración en A15 (**39,79 g/100 g**) a la altura de la 1ª descarga de La Calera en el río Aconcagua.

Para las campañas posteriores, se efectuaron muestreos para el análisis de bifenilos policlorinados (PCBs) e hidrocarburos policíclicos aromáticos (PAHs), para lo cual se seleccionaron siete estaciones durante la 2ª campaña y cinco en las tres campañas siguientes, considerando eventuales hallazgos producto de la actividad industrial en río Blanco; luego en el río Aconcagua en Los Andes, a nivel de la descarga de ESVAL; aguas abajo de Chagres; en La Calera y en la desembocadura del río frente a RPC y después de la descarga de Basf, no obstante, en ninguna de las campañas se detectaron dichos xenobióticos.

Para concluir, en enero de 2004 se efectuó la última campaña de muestreo de sedimentos en 25 estaciones correspondientes a aguas superficiales, efectuándose análisis químicos para la detección de arsénico, cadmio, cobre, manganeso, selenio, vanadio y zinc, cuyos resultados se indican en la tabla 12.

Tabla 12: Concentraciones de metales detectadas en sedimentos, durante enero de 2004.

N°			METALES						
	Estaciones	N° de Campaña y	Arsénico	Cadmio	Cobre	Manganeso	Selenio	Vanadio	Zinc
	UNIDAD		mg/K	mg/K	mg/K	mg/K	mg/K	mg/K	mg/K
N°	Expresión	Camp. Año	As	Cd	Cu	Mn	Mo	Pb	Zn
1	A1	1 04	19,9	0,35	982	841	0,217	<1	63,3
2	A1B	1 04	16,8	0,35	763	856	0,125	31,4	82,5
3	A2	1 04	16,5	1,91	727	971	0,185	<1	112
4	A3	1 04	5,13	0,96	25,7	653	0,054	28,9	119
5	A4	1 04	5,33	0,61	485	471	0,068	120	59,8
6	A5	1 04	9,89	1,11	55,9	792	0,053	51,9	103
7	A6	1 04	7,48	1	408	682	0,084	77,0	101
8	A8	1 04	16,5	2	465	734	0,074	88,0	108
9	A9	1 04	9,33	1,7	634	602	0,11	49,9	153
10	A9B	1 04	16,1	2,06	655	923	0,072	67,5	158
11	A14	1 04	6,53	1,95	779	814	0,137	31,7	140
12	A14C	1 04	14,1	1,58	219	555	0,251	13,6	86,7
13	A14D	1 04	7,02	1,45	42,3	490	0,103	95,3	53,5
14	A19	1 04	17,3	2,44	1.170	998	0,357	104	237
15	A12	1 04	5,01	0,83	516	579	0,048	115	91,8
16	A13	1 04	7,58	0,78	994	985	0,029	42,9	171
17	A19C	1 04	1,79	0,4	25,0	145	0,06	<1	26,6
18	A19D	1 04	5,18	0,84	30,8	673	0,035	<1	91,8
19	A16	1 04	0,946	0,28	189	355	0,015	147	67,9
20	A17	1 04	6,29	0,78	638	656	0,124	34,0	176
21	A22	1 04	1,98	0,84	874	488	0,02	56,6	117
22	A23	1 04	3,5	0,34	93,3	373	0,011	93,0	69,0
23	A18	1 04	3,41	0,51	338	561	0,066	197	103
24	A20	1 04	0,766	0,17	24,6	127	0,067	19,8	14,6
25	A20B	1 04	4,74	0,62	252	459	0,068	47,6	91,1
26	A21B	1 04	4,97	0,34	19,4	389	0,055	88,3	53,5

Si se observa la tabla 11, es posible señalar como información relevante:

- En referencia al cobre, las estaciones detectadas con las mayores concentraciones fueron **A1 (982 mg/kg)** y **A19 (1.170 mg/kg)**, estación río Aconcagua en Punta Torrejón.
- Con respecto al manganeso, los valores más altos se alcanzaron en **A2 (971mg/kg)**, **A13 (985mg/kg)**, estación río Aconcagua en Panquehue y **A19 (998 mg/kg)**.
- Con relación al arsénico, las mayores concentraciones correspondieron a las estaciones **A1 (19.9mg/kg)**, **A1b (16.8mg/kg)**, **A2 (16.5mg/kg)** y **A19 (17.3mg/kg)**, coincidiendo nuevamente en ambos metales con la actividad minera de la primera sección y el proceso de arrastre que sufre el último tramo de la segunda sección de la cuenca.
- El vanadio presenta mayores concentraciones en **A4 (120 mg/kg)** y **A8 (147mg/kg)**, estación ubicada en el río Aconcagua, en el sector El Laberinto, Los Andes.
- El nivel más alto de zinc se encuentra en **A19 (237 mg/kg)**.
- Las concentraciones más elevadas de metales en las primeras estaciones, en general son congruentes con los resultados encontrados en las aguas superficiales, sin embargo, la **estación de Punta Torrejón (A19)**, puede que esté recibiendo aportes no sólo producto del arrastre desde aguas arriba, sino que de alguna fuente que se desconoce.

CAPÍTULO 7: RESULTADOS DEL ESTUDIO DE CALIDAD DE SUELOS EN ZONAS DE USO AGROPECUARIO

Los resultados analíticos se presentan en las tablas 13 a 18. Los gráficos relacionados con las tablas, se incluyen en el ANEXO D.

7.1 MACRONUTRIENTES Y MATERIA ORGÁNICA

7.1.1 Fosfatos

En general, los suelos analizados muestran las mayores concentraciones de fosfato en el horizonte superficial con valores que difieren entre ellos (tablas 13 a 18). Así, el primer horizonte de la calicata 3 del suelo Lo Campo arrojó una concentración de 181,9 mg/k, en tanto, como contrapartida, el primer horizonte de la calicata 2 del suelo Pocuro mostró una concentración de 9,41 mg/k. Es decir la relación es de 19:1.

En el primer suelo, el cultivo correspondió a vid para uva de mesa nuevo y para el segundo, a un invernadero de tomate. Ninguno de los dos cultivos refleja las concentraciones observadas.

El valor absoluto más bajo medido alcanzó a 0,97 mg/k (tercer horizonte de la primera calicata de la Serie Palomar), el promedio de los mínimos es de 3,33 mg/k, el promedio de los máximos es de 72,14 mg/k y el promedio general medido es 22,9 mg/k.

La gran mayoría de los valores medidos son valores que se encuentran entre los valores habituales posibles de observar, en tanto que algunos están por debajo y otros por encima de lo que se puede denominar normales.

Los mayores valores no pueden significar que exista contaminación, sino que serían indicativos de aplicaciones de fertilizantes fosfatos más recientes.

La disponibilidad de los fosfatos habitualmente es baja. Se considera que es muy difícil de mantener fósforo disponible para las plantas. Este elemento tiene preferencia por enlazarse químicamente con elementos tales como el Ca y el Fe (Opazo, 1992).

Tabla 13: Resultados analíticos de la campaña de monitoreo de suelos

RESULTADOS ANALITICOS DE LA CAMPAÑA DE MONITOREO DE SUELOS												
Serie de Suelos:			POCURO		FASE PCR - 1				FASE PCR - 1			
ÍTEM	PARÁMETROS	EXPRESIÓN	UNIDAD	LÍMITE DETECCION	DENOMINACIÓN				DENOMINACIÓN			
					SA1-1	SA1-2	SA1-3		SA2-1	SA2-2	SA2-3	
				Prof. de muestreo (cm) *	0 - 20	20 - 40	50 - 60		0 - 20	20 - 40	50 - 60	
				Nº de calicata Serie Suelo	Calicata 1				Calicata 2			
				Uso del suelo actual	Parronal de uva de mesa (antiguo)				Parronal de uva de mesa (nuevo)			
MACRONUTRIENTES Y MATERIA ORGÁNICA												
1	P-Fosfatos	P-PO ₄	mg/k	0.2	36.28	5.55	7.48		9.41	2.47	1.83	
2a	N-Amonio	N-NH ₄	mg/k	0.2	5.20	3.10	3.30		3.10	2.30	1.80	
2b	N-Nitratos	N-NO ₃	mg/k	0.2	34.70	12.70	45.70		42.90	65.90	54.40	
3	Materia Orgánica	M.O.	%	0.05	6.28	4.41	3.35		2.53	1.88	2.27	
Parronal de uva de mesa												
MACRONUTRIENTES Y MATERIA ORGÁNICA												
1	P-Fosfatos	P-PO ₄	mg/k	0.2	36.28	5.55	7.48		9.41	2.47	1.83	
2a	N-Amonio	N-NH ₄	mg/k	0.2	5.20	3.10	3.30		3.10	2.30	1.80	
2b	N-Nitratos	N-NO ₃	mg/k	0.2	34.70	12.70	45.70		42.90	65.90	54.40	
3	Materia Orgánica	M.O.	%	0.05	6.28	4.41	3.35		2.53	1.88	2.27	
Parronal de uva de mesa												
MACRONUTRIENTES Y MATERIA ORGÁNICA												
1	P-Fosfatos	P-PO ₄	mg/k	0.2	36.28	5.55	7.48		9.41	2.47	1.83	
2a	N-Amonio	N-NH ₄	mg/k	0.2	5.20	3.10	3.30		3.10	2.30	1.80	
2b	N-Nitratos	N-NO ₃	mg/k	0.2	34.70	12.70	45.70		42.90	65.90	54.40	
3	Materia Orgánica	M.O.	%	0.05	6.28	4.41	3.35		2.53	1.88	2.27	
Parronal de uva de mesa												
MACRONUTRIENTES Y MATERIA ORGÁNICA												
1	P-Fosfatos	P-PO ₄	mg/k	0.2	36.28	5.55	7.48		9.41	2.47	1.83	
2a	N-Amonio	N-NH ₄	mg/k	0.2	5.20	3.10	3.30		3.10	2.30	1.80	
2b	N-Nitratos	N-NO ₃	mg/k	0.2	34.70	12.70	45.70		42.90	65.90	54.40	
3	Materia Orgánica	M.O.	%	0.05	6.28	4.41	3.35		2.53	1.88	2.27	
Parronal de uva de mesa												
MACRONUTRIENTES Y MATERIA ORGÁNICA												
1	P-Fosfatos	P-PO ₄	mg/k	0.2	36.28	5.55	7.48		9.41	2.47	1.83	
2a	N-Amonio	N-NH ₄	mg/k	0.2	5.20	3.10	3.30		3.10	2.30	1.80	
2b	N-Nitratos	N-NO ₃	mg/k	0.2	34.70	12.70	45.70		42.90	65.90	54.40	
3	Materia Orgánica	M.O.	%	0.05	6.28	4.41	3.35		2.53	1.88	2.27	
Parronal de uva de mesa												
MACRONUTRIENTES Y MATERIA ORGÁNICA												
1	P-Fosfatos	P-PO ₄	mg/k	0.2	36.28	5.55	7.48		9.41	2.47	1.83	
2a	N-Amonio	N-NH ₄	mg/k	0.2	5.20	3.10	3.30		3.10	2.30	1.80	
2b	N-Nitratos	N-NO ₃	mg/k	0.2	34.70	12.70	45.70		42.90	65.90	54.40	
3	Materia Orgánica	M.O.	%	0.05	6.28	4.41	3.35		2.53	1.88	2.27	
Parronal de uva de mesa												
MACRONUTRIENTES Y MATERIA ORGÁNICA												
1	P-Fosfatos	P-PO ₄	mg/k	0.2	36.28	5.55	7.48		9.41	2.47	1.83	
2a	N-Amonio	N-NH ₄	mg/k	0.2	5.20	3.10	3.30		3.10	2.30	1.80	
2b	N-Nitratos	N-NO ₃	mg/k	0.2	34.70	12.70	45.70		42.90	65.90	54.40	
3	Materia Orgánica	M.O.	%	0.05	6.28	4.41	3.35		2.53	1.88	2.27	
Parronal de uva de mesa												
MACRONUTRIENTES Y MATERIA ORGÁNICA												
1	P-Fosfatos	P-PO ₄	mg/k	0.2	36.28	5.55	7.48		9.41	2.47	1.83	
2a	N-Amonio	N-NH ₄	mg/k	0.2	5.20	3.10	3.30		3.10	2.30	1.80	
2b	N-Nitratos	N-NO ₃	mg/k	0.2	34.70	12.70	45.70		42.90	65.90	54.40	
3	Materia Orgánica	M.O.	%	0.05	6.28	4.41	3.35		2.53	1.88	2.27	
Parronal de uva de mesa												
MACRONUTRIENTES Y MATERIA ORGÁNICA												
1	P-Fosfatos	P-PO ₄	mg/k	0.2	36.28	5.55	7.48		9.41	2.47	1.83	
2a	N-Amonio	N-NH ₄	mg/k	0.2	5.20	3.10	3.30		3.10	2.30	1.80	
2b	N-Nitratos	N-NO ₃	mg/k	0.2	34.70	12.70	45.70		42.90	65.90	54.40	
3	Materia Orgánica	M.O.	%	0.05	6.28	4.41	3.35		2.53	1.88	2.27	
Parronal de uva de mesa												
MACRONUTRIENTES Y MATERIA ORGÁNICA												
1	P-Fosfatos	P-PO ₄	mg/k	0.2	36.28	5.55	7.48		9.41	2.47	1.83	
2a	N-Amonio	N-NH ₄	mg/k	0.2	5.20	3.10	3.30		3.10	2.30	1.80	
2b	N-Nitratos	N-NO ₃	mg/k	0.2	34.70	12.70	45.70		42.90	65.90	54.40	
3	Materia Orgánica	M.O.	%	0.05	6.28	4.41	3.35		2.53	1.88	2.27	
Parronal de uva de mesa												
MACRONUTRIENTES Y MATERIA ORGÁNICA												
1	P-Fosfatos	P-PO ₄	mg/k	0.2	36.28	5.55	7.48		9.41	2.47	1.83	
2a	N-Amonio	N-NH ₄	mg/k	0.2	5.20	3.10	3.30		3.10	2.30	1.80	
2b	N-Nitratos	N-NO ₃	mg/k	0.2	34.70	12.70	45.70		42.90	65.90	54.40	
3	Materia Orgánica	M.O.	%	0.05	6.28	4.41	3.35		2.53	1.88	2.27	
Parronal de uva de mesa												
MACRONUTRIENTES Y MATERIA ORGÁNICA												
1	P-Fosfatos	P-PO ₄	mg/k	0.2	36.28	5.55	7.48		9.41	2.47	1.83	
2a	N-Amonio	N-NH ₄	mg/k	0.2	5.20	3.10	3.30		3.10	2.30	1.80	
2b	N-Nitratos	N-NO ₃	mg/k	0.2	34.70	12.70	45.70		42.90	65.90	54.40	
3	Materia Orgánica	M.O.	%	0.05	6.28	4.41	3.35		2.53	1.88	2.27	
Parronal de uva de mesa												
MACRONUTRIENTES Y MATERIA ORGÁNICA												
1	P-Fosfatos	P-PO ₄	mg/k	0.2	36.28	5.55	7.48		9.41	2.47	1.83	
2a	N-Amonio	N-NH ₄	mg/k	0.2	5.20	3.10	3.30		3.10	2.30	1.80	
2b	N-Nitratos	N-NO ₃	mg/k	0.2	34.70	12.70	45.70		42.90	65.90	54.40	
3	Materia Orgánica	M.O.	%	0.05	6.28	4.41	3.35		2.53	1.88	2.27	
Parronal de uva de mesa												
MACRONUTRIENTES Y MATERIA ORGÁNICA												
1	P-Fosfatos	P-PO ₄	mg/k	0.2	36.28	5.55	7.48		9.41	2.47	1.83	
2a	N-Amonio	N-NH ₄	mg/k	0.2	5.20	3.10	3.30		3.10	2.30	1.80	
2b	N-Nitratos	N-NO ₃	mg/k	0.2	34.70	12.70	45.70		42.90	65.90	54.40	
3	Materia Orgánica	M.O.	%	0.05	6.28	4.41	3.35		2.53	1.88	2.27	
Parronal de uva de mesa												
MACRONUTRIENTES Y MATERIA ORGÁNICA												
1	P-Fosfatos	P-PO ₄	mg/k	0.2	36.28	5.55	7.48		9.41	2.47	1.83	
2a	N-Amonio	N-NH ₄	mg/k	0.2	5.20	3.10	3.30		3.10	2.30	1.80	
2b	N-Nitratos	N-NO ₃	mg/k	0.2	34.70	12.70	45.70		42.90	65.90	54.40	
3	Materia Orgánica	M.O.	%	0.05	6.28	4.41	3.35		2.53	1.88	2.27	
Parronal de uva de mesa												
MACRONUTRIENTES Y MATERIA ORGÁNICA												
1	P-Fosfatos	P-PO ₄	mg/k	0.2	36.28	5.55	7.48		9.41	2.47	1.83	
2a	N-Amonio	N-NH ₄	mg/k	0.2	5.20	3.10	3.30		3.10	2.30	1.80	
2b	N-Nitratos	N-NO ₃	mg/k	0.2	34.70	12.70	45.70		42.90	65.90	54.40	
3	Materia Orgánica	M.O.	%	0.05	6.28	4.41	3.35		2.53	1.88	2.27	
Parronal de uva de mesa												
MACRONUTRIENTES Y MATERIA ORGÁNICA												
1	P-Fosfatos	P-PO ₄	mg/k	0.2	36.28	5.55	7.48		9.41			

TABLA 14

RESULTADOS ANALITICOS DE LA CAMPAÑA DE MONITOREO DE SUELOS

Serie de Suelos:				LOS PIDENES				FASE LPD - 1				FASE LPD - 1			
PARAMETROS		EXPRESIÓN	UNIDAD	LÍMITE DETECCION	DENOMINACIÓN				DENOMINACIÓN						
ÍTEM					SB1-1	SB1-2	SB1-3	SB2-1	SB2-2	SB2-3	SB3-1	SB3-2	SB3-3		
			Prof. de muestreo (cm) *		0 - 26	26 - 55	55 - 75	0 - 25	25 - 29	+ 29	0 - 20	20 - 40	40 - 50		
			Nº de calicata Serie Suelo		Calicata 1			Calicata 2			Calicata 3				
			Uso del suelo actual		Chacra				Alfalfa						
MACRONUTRIENTES Y MATERIA ORGÁNICA															
1	P-Fosfatos	P-PO ₄	mg/k	0.2	21.64	8.87	4.56	13.53	6.10	2.81	11.47	5.88	3.28		
2a	N-Amonio	N-NH ₄	mg/k	0.2	8.30	5.78	2.77	8.82	3.63	4.20	3.60	5.60	3.90		
2b	N-Nitratos	N-NO ₃	mg/k	0.2	19.06	14.74	14.57	73.99	10.35	3.03	6.40	5.40	3.30		
3	Materia Orgánica	M.O.	%	0.05	4.79	3.74	1.00	3.07	2.89	1.12	6.01	5.50	2.57		
METALES PESADOS															
4	Arsénico total	As T	mg/k	0.05	12.6	14.7	15	6	2.14	2.29	29.8	2.48	7.65		
5	Cadmio total	Cd T	mg/k	0.1	1.35	1.11	0.66	0.65	0.53	0.5	2.08	1.06	1.34		
6a	Cobre disponible	Cu D	mg/k	0.05	78.1	27.45	4.94	12.64	13.98	7.19	11.99	11.33	5.99		
6b	Cobre total	Cu T	mg/k	0.05	86.2	36.8	19.5	39.4	35.5	25.7	88.6	41.1	17		
6c	Relación Cu D / Cu T	Cu D / Cu T	%	---	90.6	74.6	25.3	32.1	39.4	28.0	13.5	27.6	35.2		
7a	Hierro disponible	Fe D	mg/k	0.05	59.84	55.71	26.92	14.45	17.76	20.69	21.32	22.09	55.21		
7b	Hierro total	Fe T	g/k	0.05	8	8.42	8.35	8.4	8.38	8.09	9.44	8.88	9.06		
7c	Relación Fe D / Fe T	Fe D / Fe T	%	---	0.75	0.66	0.32	0.17	0.21	0.26	0.23	0.25	0.61		
8a	Manganeso disponible	Mn D	mg/k	0.05	10.89	12.69	6.52	9.42	7.4	6.23	5.04	4.47	1.23		
8b	Manganeso total	Mn T	g/k	0.05	0.78	0.88	0.58	0.8	0.71	0.64	0.823	0.611	0.289		
8c	Relación Mn D / Mn T	Mn D / Mn T	%	---	1.4	1.4	1.1	1.2	1.0	1.0	0.8	0.7	0.4		
9	Molibdeno total	Mo T	mg/k	0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	4.69	5.28	7.06		
10	Plomo total	Pb T	mg/k	0.1	25.4	26.5	15.4	17.8	17.1	17.6	38.3	35.6	32.1		
11a	Zinc disponible	Zn D	mg/k	0.05	3.29	1.53	0.27	0.86	0.92	0.5	2.15	1.79	0.33		
11b	Zinc total	Zn T	mg/k	0.05	76	69.4	41.5	64.4	69.5	63.7	65.9	65	45.1		
11c	Relación Zn D / Zn T	Zn D / Zn T	%	---	4.3	2.2	0.7	1.3	1.3	0.8	3.3	2.8	0.7		
PLAGUICIDAS															
12	ACEPHATE		µg/L	0.05	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.		
13	AZINFOS METIL		µg/L	0.05	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.		
14	BENOMYL		µg/L	0.05	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.		
15	CAPTAN		µg/L	0.05	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.		
16	CLORPIRIFOS		µg/L	0.05	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.		
17	DELTAMETRINA		µg/L	0.05	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.		
18	DIAZINON		µg/L	0.05	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.		
19	DICAMBA		µg/L	0.05	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.		
20	DIMETOATO		µg/L	0.05	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.		
21	ENDOSULFAN		µg/L	0.05	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.		
22	IMIDACLOPRID		µg/L	0.05	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.		
23	METALAXIL		µg/L	0.05	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.		
24	METAMIDOPHOS		µg/L	0.05	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.		
25	TRIFLURALIN		µg/L	0.05	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.		
26	Fecha de ingreso al laboratorio (DD/MM/AA)				11/01/05	11/01/05	11/01/05	11/01/05	11/01/05	11/01/05	15/12/04	15/12/04	15/12/04		

n.d. : NO detectado

* : Se indica la profundidad de muestreo efectiva. Se restringió el muestreo a la profundidad señalada, dado que el cambio de horizonte en algunos casos era difuso.

TABLA 15
RESULTADOS ANALITICOS DE LA CAMPAÑA DE MONITOREO DE SUELOS

Serie de Suelos:				PALOMAR				FASE PLM - 1					
ÍTEM	PARÁMETROS	EXPRESIÓN	UNIDAD	LÍMITE DETECCIÓN	DENOMINACIÓN				FASE PLM - 1				
					SC1-1		SC1-2	SC1-3	SC2-1		SC2-2	SC2-3	
					0 - 10		10 - 32	32 - 80	0 - 20		20 - 40	40 - 45	
Prof. de muestreo (cm) *				Nº de calicata Serie Suelo	Calicata 1				Calicata 3				
Nº de calicata Serie Suelo					Calicata 2				Calicata 3				
Uso del suelo actual					Terreno arado				Parronal de uva de mesa				
MACRONUTRIENTES Y MATERIA ORGÁNICA													
1	P-Fosfatos	P-PO ₄	mg/k	0.2	22.02	14.26	0.97	33.25	33.05	6.89	7.48	3.27	2.07
2a	N-Amonio	N-NH ₄	mg/k	0.2	5.05	3.35	1.24	1.80	3.00	4.90	1.10	0.80	1.10
2b	N-Nitratos	N-NO ₃	mg/k	0.2	4.27	4.15	0.99	54.20	57.90	40.30	7.50	83.10	75.90
3	Materia Orgánica	M.O.	%	0.05	5.16	5.87	1.39	6.87	6.84	3.42	4.82	5.08	2.61
METALES PESADOS													
4	Arsénico total	As T	mg/k	0.05	15.6	11.1	22.4	1.13	2.49	2.15	14.9	17.1	19.9
5	Cadmio total	Cd T	mg/k	0.1	2.73	2.55	0.59	4.63	4.41	5.14	2.88	2.6	1.22
6a	Cobre disponible	Cu D	mg/k	0.05	26.61	22.17	3.3	17.99	18.07	1.93	6.03	5.08	2.65
6b	Cobre total	Cu T	mg/k	0.05	88.4	84.9	18	115	99.7	25.9	67.9	55.8	21.1
6c	Relación Cu D / Cu T	Cu D / Cu T	%	---	30.1	26.1	18.3	15.6	18.1	7.5	8.9	9.1	12.6
7a	Hierro disponible	Fe D	mg/k	0.05	16.13	16.62	12.04	7.92	7.61	5.2	10.4	7.99	18.23
7b	Hierro total	Fe T	g/k	0.05	9.67	9.51	9	7.41	7.48	5.43	8.62	8.24	8.64
7c	Relación Fe D / Fe T	Fe D / Fe T	%	---	0.17	0.17	0.13	0.11	0.10	0.10	0.12	0.10	0.21
8a	Manganeso disponible	Mn D	mg/k	0.05	11.9	10.92	1.27	8.44	8.75	2.95	7.8	6.31	9.19
8b	Manganeso total	Mn T	g/k	0.05	2.46	4.81	0.31	0.701	0.701	0.324	1.39	1.37	1.73
8c	Relación Mn D / Mn T	Mn D / Mn T	%	---	0.5	0.2	0.4	1.2	1.2	0.9	0.6	0.5	0.5
9	Molibdeno total	Mo T	mg/k	0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	3.5	3.54	4.36	< 0.1	< 0.1	< 0.1
10	Plomo total	Pb T	mg/k	0.1	32.9	32.5	15.2	56.3	53.2	48.8	38.4	37.3	23.3
11a	Zinc disponible	Zn D	mg/k	0.05	1.33	1.2	0.23	4.58	4.69	0.5	1.95	1.74	0.34
11b	Zinc total	Zn T	mg/k	0.05	85.5	90.4	58.5	67.3	65.2	38.4	66.5	60.7	52.8
11c	Relación Zn D / Zn T	Zn D / Zn T	%	---	1.6	1.3	0.4	6.8	7.2	1.3	2.9	2.9	0.6
PLAGUICIDAS													
12	ACEPHATE		µg/L	0.05	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
13	AZINFOS METIL		µg/L	0.05	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
14	BENOMYL		µg/L	0.05	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
15	CAPTAN		µg/L	0.05	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
16	CLORPIRIFOS		µg/L	0.05	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
17	DELTAMETRINA		µg/L	0.05	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
18	DIAZINON		µg/L	0.05	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
19	DICAMBA		µg/L	0.05	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
20	DIMETOATO		µg/L	0.05	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
21	ENDOSULFAN		µg/L	0.05	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
22	IMIDACLOPRID		µg/L	0.05	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
23	METALAXIL		µg/L	0.05	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
24	METAMIDOPHOS		µg/L	0.05	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
25	TRIFLURALIN		µg/L	0.05	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
26	Fecha de ingreso al laboratorio (DD/MM/AA)				11/01/05	11/01/05	11/01/05	15/12/04	15/12/04	15/12/04	23/12/04	23/12/04	23/12/04

TABLA 16
RESULTADOS ANALITICOS DE LA CAMPAÑA DE MONITOREO DE SUELOS

Serie de Suelos:

LA CALERA

ÍTEM	PARÁMETROS	EXPRESIÓN	UNIDAD	LÍMITE DE DETECCIÓN	DENOMINACIÓN		
					SD1-1	SD1-2	SD1-3
					0 - 10	20 - 35	50 - 60
			Prof. de muestreo (cm) *				
			Nº de calicata Serie Suelo				
			Calicata 1				
			Paltos (antiguos)				

MACRONUTRIENTES Y MATERIA ORGÁNICA						
1	P -Fosfatos	P-PO ₄	mg/k	0.2	50.04	2.23
2a	N-Amonio	N-NH ₄	mg/k	0.2	1.40	1.20
2b	N-Nitratos	N-NO ₃	mg/k	0.2	4.80	0.90
3	Materia Orgánica	M.O.	%	0.05	3.53	1.67

METALES PESADOS						
4	Asénico total	As T	mg/k	0.05	8.15	2.2
5	Cadmio total	Cd T	mg/k	0.1	0.99	0.7
6a	Cobre disponible	Cu D	mg/k	0.05	13.86	6.06
6b	Cobre total	Cu T	mg/k	0.05	52.9	39.3
6c	Relación Cu D / Cu T	Cu D / Cu T	%	26.2	15.4	15.1
7a	Hierro disponible	Fe D	mg/k	0.05	26.85	20.7
7b	Hierro total	Fe T	g/k	0.05	8.82	8.79
7c	Relación Fe D / Fe T	Fe D / Fe T	%	30.0	0.23	0.16
8a	Manganeso disponible	Mn D	mg/k	0.05	7.89	15.61
8b	Manganeso total	Mn T	g/k	0.05	0.95	1.1
8c	Relación Mn D / Mn T	Mn D / Mn T	%	0.8	1.4	1.2
9	Molibdeno total	Mo T	mg/k	0.1	< 0.1	< 0.1
10	Plomo total	Pb T	mg/k	0.1	25.9	24
11a	Zinc disponible	Zn D	mg/k	0.05	3.77	0.59
11b	Zinc total	Zn T	mg/k	0.05	69.7	63.6
11c	Relación Zn D / Zn T	Zn D / Zn T	%	5.4	0.9	0.4

PLAGUICIDAS						
12	ACEPHATE		µg/L	0.05	n.d.	n.d.
13	AZINFOS METIL		µg/L	0.05	n.d.	n.d.
14	BENOMYL		µg/L	0.05	n.d.	n.d.
15	CAPTAN		µg/L	0.05	n.d.	n.d.
16	CLORPIRIFOS		µg/L	0.05	n.d.	n.d.
17	DELTAMETRINA		µg/L	0.05	n.d.	n.d.
18	DAIZONON		µg/L	0.05	n.d.	n.d.
19	DICAMBA		µg/L	0.05	n.d.	n.d.
20	DIMETOATO		µg/L	0.05	n.d.	n.d.
21	ENDOSULFAN		µg/L	0.05	n.d.	n.d.
22	IMIDACLOPRID		µg/L	0.05	n.d.	n.d.
23	METALAXIL		µg/L	0.05	n.d.	n.d.
24	METAMIDOPHOS		µg/L	0.05	n.d.	n.d.
25	TRIFLURALIN				n.d.	n.d.

26	Fecha de ingreso al laboratorio (DD/MM/AA)	23/12/04	23/12/04	23/12/04	23/12/04
n.d. : No Detectado					

TABLA 17
RESULTADOS ANALITICOS DE LA CAMPAÑA DE MONITOREO DE SUELOS

Serie de Suelos:				LO CAMPO				FASE LCM - 1				FASE LCM - 2					
ÍTEM	PARÁMETROS	EXPRESIÓN	UNIDAD	LÍMITE DETECCION	DENOMINACIÓN				DENOMINACIÓN				DENOMINACIÓN				
					SE1-1	SE1-2	SE1-3	SE2-1	SE2-2	SE2-3	SE3-1	SE3-2	SE3-3	SE3-1	SE3-2	SE3-3	
																	0 - 10
Prof. de muestreo (cm) *				Calicata 1				Calicata 2				Calicata 3					
Nº de calicata Serie Suelo																	
Uso del suelo actual				Palto (antiguos)				Palto (antiguos)				Invernadero tomate					
MACRONUTRIENTES Y MATERIA ORGÁNICA																	
1	P-Fosfatos	P-PO ₄	mg/k	0.2	101.77	9.01	6.68	6.68	51.02	7.29	4.71	181.86	61.47	3.37	181.86	61.47	3.37
2a	N-Amonio	N-NH ₄	mg/k	0.2	1.60	1.40	1.60	1.60	4.70	1.80	1.40	4.40	4.00	2.60	4.40	4.00	2.60
2b	N-Nitratos	N-NO ₃	mg/k	0.2	18.20	8.00	2.60	2.60	40.40	7.60	4.60	42.40	15.40	3.70	42.40	15.40	3.70
3	Materia Orgánica	M.O.	%	0.05	6.28	6.38	4.86	4.86	4.19	3.57	2.34	7.07	5.92	1.89	7.07	5.92	1.89
METALES PESADOS																	
4	Arsénico total	As T	mg/k	0.05	50.6	17.3	17.7	17.7	2.5	2	2.49	14.3	28.4	16.3	14.3	28.4	16.3
5	Cadmio total	Cd T	mg/k	0.1	2.92	2.13	1.62	1.62	0.067	0.54	0.43	1.45	1.91	0.54	1.45	1.91	0.54
6a	Cobre disponible	Cu D	mg/k	0.05	8.09	5.56	5.75	5.75	9.55	7.89	6.41	6.07	5.83	5.76	6.07	5.83	5.76
6b	Cobre total	Cu T	mg/k	0.05	53.6	39.1	33.6	33.6	20.2	13.8	16.6	32.2	43.2	12.2	32.2	43.2	12.2
6c	Relación Cu D / Cu T	Cu D / Cu T	%	---	15.1	14.2	17.1	17.1	47.3	57.2	38.6	18.9	13.5	47.2	18.9	13.5	47.2
7a	Hierro disponible	Fe D	mg/k	0.05	10.18	29.3	23.27	23.27	15.56	17.26	15.16	16.39	12.18	11.41	16.39	12.18	11.41
7b	Hierro total	Fe T	g/k	0.05	7.33	8.21	8.18	8.18	8.92	8.74	8.31	6.07	9.2	8.85	6.07	9.2	8.85
7c	Relación Fe D / Fe T	Fe D / Fe T	%	---	0.14	0.36	0.28	0.28	0.17	0.20	0.18	0.27	0.13	0.13	0.27	0.13	0.13
8a	Manganeso disponible	Mn D	mg/k	0.05	9.21	14.86	8.24	8.24	10.9	6.48	6.37	8.45	5.92	1.92	8.45	5.92	1.92
8b	Manganeso total	Mn T	g/k	0.05	0.92	2.19	0.83	0.83	0.98	0.83	1.3	2.23	3.61	0.67	2.23	3.61	0.67
8c	Relación Mn D / Mn T	Mn D / Mn T	%	---	1.0	0.7	1.0	1.0	1.1	0.8	0.5	0.4	0.2	0.3	0.4	0.2	0.3
9	Molibdeno total	Mo T	mg/k	0.1	2.06	1.35	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	1.37	0.92	1.38	< 0.1	0.92	1.38	< 0.1
10	Plomo total	Pb T	mg/k	0.1	34.1	29.7	24.4	24.4	25	20.2	14.8	24.1	34.5	20.3	24.1	34.5	20.3
11a	Zinc disponible	Zn D	mg/k	0.05	3.14	0.59	0.47	0.47	1.33	0.49	0.2	5.76	3.04	0.21	5.76	3.04	0.21
11b	Zinc total	Zn T	mg/k	0.05	46.7	49.7	47.2	47.2	61	53.7	43.8	50.9	70.7	42.3	50.9	70.7	42.3
11c	Relación Zn D / Zn T	Zn D / Zn T	%	---	6.7	1.2	1.0	1.0	2.2	0.9	0.5	11.3	4.3	0.5	11.3	4.3	0.5
PLAGUICIDAS																	
12	ACEPHATE		µg/L	0.05	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
13	AZINFOS METIL		µg/L	0.05	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
14	BENOMYL		µg/L	0.05	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
15	CAPTAN		µg/L	0.05	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
16	CLORPIRIFOS		µg/L	0.05	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
17	DELTAMETRIINA		µg/L	0.05	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
18	DIAZNON		µg/L	0.05	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
19	DICAMBA		µg/L	0.05	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
20	DIMET OATO		µg/L	0.05	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
21	ENDOSULFAN		µg/L	0.05	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
22	IMIDACLOPRID		µg/L	0.05	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
23	MET ALAXIL		µg/L	0.05	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
24	MET AMIDOPHOS		µg/L	0.05	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
25	TRIFLURALIN		µg/L	0.05	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
26	Fecha de ingreso al laboratorio (DD/MM/AA)				23/12/04	23/12/04	23/12/04	23/12/04	23/12/04	23/12/04	23/12/04	23/12/04	23/12/04	23/12/04	23/12/04	23/12/04	23/12/04
n.d. : no detectado																	

TABLA 18
RESULTADOS ANALITICOS DE LA CAMPAÑA DE MONITOREO DE SUELOS

Serie de Suelos: PATAGUAS										
FASE PAT - 1					FASE PAT - 1					
DENOMINACIÓN					DENOMINACIÓN					
ÍTEM	PARÁMETROS	EXPRESIÓN	UNIDAD	LÍMITE DETECCION	SF1-1	SF1-2	SF1-3	SF2-1	SF2-2	SF2-3
Prof. de muestreo (cm) *					0 - 10	30 - 40	40 - 50	0 - 10	20 - 30	30 - 50
Nº de calicata Serie Suelo					Calicata 1					
Uso del suelo actual					Chacra					
MACRONUTRIENTES Y MATERIA ORGÁNICA										
1	P-Fosfatos	P-PO ₄	mg/k	0.2	39.73	37.18	39.70	37.60	8.97	21.81
2a	N-Amonio	N-NH ₄	mg/k	0.2	1.50	2.20	2.80	3.10	3.60	3.00
2b	N-Nitratos	N-NO ₃	mg/k	0.2	5.60	2.90	2.00	16.90	15.10	13.60
3	Materia Orgánica	M.O.	%	0.05	1.91	2.96	3.26	1.67	2.37	2.80
METALES PESADOS										
4	Arsénico total	As T	mg/k	0.05	7.5	8.44	3.12	11.2	2.93	2.6
5	Cadmio total	Cd T	mg/k	0.1	0.96	0.85	1.13	0.41	0.75	0.7
6a	Cobre disponible	Cu D	mg/k	0.05	15.24	11.93	11.65	5.03	5.95	5.9
6b	Cobre total	Cu T	mg/k	0.05	55.8	48.5	39.7	21.4	16.9	16.2
6c	Relación Cu D / Cu T	Cu D / Cu T	%	—	27.3	24.6	29.3	23.5	35.2	36.4
7a	Hierro disponible	Fe D	mg/k	0.05	23.78	54.23	93.62	19.5	27.57	18.01
7b	Hierro total	Fe T	g/k	0.05	8.14	8.49	8.87	7.96	7.98	8.6
7c	Relación Fe D / Fe T	Fe D / Fe T	%	—	0.29	0.64	1.06	0.24	0.35	0.21
8a	Manganeso disponible	Mn D	mg/k	0.05	5.3	14.44	16.93	11.17	10.38	7.57
8b	Manganeso total	Mn T	g/k	0.05	0.65	1.52	1.98	0.65	0.98	1.24
8c	Relación Mn D / Mn T	Mn D / Mn T	%	—	0.8	1.0	0.9	1.7	1.1	0.6
9	Molibdeno total	Mo T	mg/k	0.1	<	0.1	1.36	<	0.1	<
10	Plomo total	Pb T	mg/k	0.1	18.9	21.2	27.5	12.7	22.5	22.5
11a	Zinc disponible	Zn D	mg/k	0.05	2.04	1.6	1.07	2.13	0.82	2.23
11b	Zinc total	Zn T	mg/k	0.05	54.2	53.2	63.4	45.9	63.7	57.1
11c	Relación Zn D / Zn T	Zn D / Zn T	%	—	3.8	3.0	1.7	4.6	1.3	3.9
PLAGUICIDAS										
12	ACEPHATE		µg/L	0.05	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
13	AZINFOS METIL		µg/L	0.05	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
14	BENOMYL		µg/L	0.05	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
15	CAPTAN		µg/L	0.05	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
16	CLORPIRIFOS		µg/L	0.05	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
17	DELTAMETRINA		µg/L	0.05	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
18	DIAZINON		µg/L	0.05	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
19	DICAMBA		µg/L	0.05	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
20	DIMETOATO		µg/L	0.05	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
21	ENDOSULFAN		µg/L	0.05	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
22	IMIDACLOPRID		µg/L	0.05	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
23	METALAXIL		µg/L	0.05	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
24	METAMIDOPHOS		µg/L	0.05	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
25	TRIFLURALIN		µg/L	0.05	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Fecha de ingreso al laboratorio (DD/MM/AA)					23/12/04	23/12/04	23/12/04	23/12/04	23/12/04	23/12/04
n.d. : NO detectado										
* : Se indica la profundidad de muestreo efectiva. Se restringió el muestreo a la profundidad señalada, dado que el cambio de horizonte en algunos casos era difuso.										

7.1.2 Materia Orgánica

El promedio general alcanzó a 3,6%, destacando los suelos Palomar y Lo Campo, en que cada uno de ellos mostró promedios de 4,7% entre los tres horizontes medidos. La concentración máxima absoluta alcanzó a 7,07% (primer horizonte de la calicata 3 de la Serie Lo Campo) y el mínimo absoluto a 1% (tercer horizonte de la primera calicata de la Serie Los Pidenes). Ver tablas 13 a 18.

Por lo tanto, las concentraciones detectadas de materia orgánica se encuentran, en general, en el rango medio a alto, destacando el primer horizonte del suelo de la calicata 3 de la Serie Lo Campo, donde la concentración de materia orgánica es muy alta. La serie Lo Campo es un suelo del Orden Mollisols, de buena fertilidad, considerado de moderadas a elevada productividad.

En términos generales y como era de esperar, la mayor concentración de materia orgánica se encuentra en el horizonte superficial y disminuye en profundidad. Existen excepciones como se encontró en las calicatas 1 y 2, de la Serie de suelos Pataguas. Esto último se explica por las condiciones anaeróbicas dominantes que tienden a que la materia orgánica no se oxide y con ello no se pierda.

Las concentraciones de M.O en la Serie Palomar reflejan que se trata de un Histosols ⁽¹⁾. Los valores de los dos primeros horizontes se ubican entre 5 hasta casi 7 %.

En términos generales, los valores de materia orgánica detectados en los suelos se ubican en concentraciones que son habituales en suelos minerales (CONAMA, 1996).

7.2 Metales Pesados

Al comparar los resultados de las concentraciones de los metales pesados, medidos como elementos totales en las muestras de suelos, se observa que los niveles se encuentran en concentraciones que se pueden denominar habituales o normales, exentos de procesos de contaminación, bajo los límites que las referencias bibliográficas consideran como suelos contaminados o que no se recomienden para las actividades agrícolas.

Sin embargo, se debe reiterar que los límites que establecen Canadá y Suiza, en general, son más exigentes que los señalados en otros países.

Los límites referenciales que se presentan para cada uno de los metales pesados, se muestran ordenados por cada elemento analizado en cuadros, con indicación del país u organismo que lo tiene incorporado como norma, como referencia o como fuente de información. Se indica la unidad y el valor referencial o normado; si se trata de un valor que indique contaminación, es un valor umbral de intervención, si se trata de línea base, de suelo con uso agrícola, residencial o industrial; si requiere ser saneado u otra situación, además de la referencia. En relación al elemento, si la referencia es en relación a una valencia en particular, si es algún compuesto o es indiferente.

¹ Histosols: del griego histos que significa tejido, en alusión a los tejidos vegetales de la materia orgánica.

A continuación se presenta determinada nomenclatura consignada en las tablas.

Criterios de aplicación de las referencias	
L	Valor límite fijado por ley
L (?)	Valor límite presuntamente fijado por ley
G	Criterio o recomendación emitida por una organización gubernamental o no gubernamental
(G)	Recomendación de un grupo de expertos que aún no ha sido aceptada en general como un criterio nacional.
	No figura ninguna letra cuando el valor en cuestión no corresponde a ninguna de las cuatro categorías precedentes.
E	Valores estimados mediante modelos
-	No especificado
RH	Residuo húmedo
RS	Residuo seco
MS	Materia seca
SSA	Suelo secado al aire
dm suelo	Decímetro de suelo
PAH	Hidrocarburos aromáticos policíclicos
s	En la cita o referencia bibliográfica indica que se trata de una fuente secundaria

Además de los valores señalados cuando se trata cada uno de los elementos, a continuación se presenta información adicional (tabla 19) con valores para suelos agrícolas, forestales, parques nacionales y suelos industriales, en los cuales se recomienda o se obligaría que se permita se investigue, se intervenga o se trate

Tabla 19: Relación de concentración (mg/k) de elementos traza en suelos de uso agrícola, forestal, parque nacional y áreas industriales

	Valores Máximos permitidos en Suelos Agrícolas			Valores que aconsejan investigación en Suelos Agrícolas			Valores que obligadamente requieren investigación en Suelos Agrícolas		
pH	< 7		> 7	< 7		> 7	< 7		> 7
As		< 20			20-30			30-50	
Cd	< 2		< 3	2-3		3-5	3-7		5-10
Cu	< 50		< 100	50-150		100-300	150-300		300-500
Mo		< 10			10-40			40-200	
Pb	< 100		< 200	100-250		200-400	250-350		400-500
Zn	< 200		< 300	200-300		300-500	300-600		500-1000
	Valores que obligan a un tratamiento de los Suelos Agrícolas			Valores de intervención en Suelos de Parques Nacionales y Áreas Forestales			Valores de intervención en Suelos de Áreas Industriales		
pH	< 7		> 7						
As		> 50			> 100			> 300	
Cd	> 7		> 10		> 15			> 30	
Cu	> 300		> 500		> 500			> 1000	
Mo		> 200			> 200			> 500	
Pb	> 350		> 500		> 1000			> 2000	
Zn	> 600		> 1000		> 1000			> 3000	

Fuente: World Soil contamination and remediation. University of Florida, USA. En Casanova, M. 2002. Curso Prevención y Control de la Contaminación de Suelos. Cap. Tecnología de recuperación de suelos contaminados.

Nota: Para los elementos cadmio, cobre, plomo y zinc, dependiente del pH para suelos agrícolas. En el caso del arsénico y molibdeno indiferente del pH. Para los suelos con uso en actividades industriales, forestales y parques nacionales, es independiente del pH del suelo.

7.2.1 Arsénico

El arsénico se encontró en concentraciones que varían entre un mínimo de 1,13 mg/k a 50,6 mg/k. Las referencias (tabla 19) indican variabilidad de criterio para establecer el umbral de contaminación, cuando se debe intervenir o requiere ser saneado. No obstante, de las diferentes cifras mencionadas, niveles entre 20 a 50 mg/k se consignan como valores límites de contaminación de suelos.

Agrupando los resultados obtenidos, de 54 muestras se detectaron 26 en concentraciones bajo 10 mg/k, lo que puede estimarse como concentraciones bajas de arsénico en suelos. Entre 10 y 20 mg/k, lo que se puede asimilar a concentraciones medias, se detectaron 16 muestras. Entre 20 y 30 mg/k, niveles que se pueden estimar como medianamente altos, se identificaron 11 muestras. Una sola muestra mostró un valor de 50,6 mg/k, concentración que se puede estimar alta. Este valor se detectó en la Serie de Suelos Lo Campo en la Fase LCM-1, en la muestra obtenida en la Parcela 18 Pocochay.

No se detectó un patrón de comportamiento de concentración del arsénico en el perfil de suelo. Así, en cada suelo muestreado la mayor concentración se detectó en unos casos en el primer horizonte, en otros en el segundo y finalmente, en otros, en el tercer horizonte.

Tabla 20: Niveles referenciales de arsénico en los suelos

Sustancia	País/organismo	Status	Unidad	Valor	Observaciones	Fuente
<i>As (no esp)</i>	Reino Unido	L (?)	mg/k	10-40	Umbral	Visser, 1994
<i>As (no esp)</i>	Alemania	L (?)	mg/k	40	Intervención	
<i>As (no esp)</i>	Holanda	L (?)	mg/k	29	Umbral	
<i>As (no esp)</i>	Holanda	L (?)	mg/k	50	Intervención	
<i>As (no esp)</i>	Holanda	L	mg/k MS	29	Línea base	CTV, 2000
<i>As (no esp)</i>	Holanda	L	mg/k MS	55	Contaminación seria	
<i>As (no esp)</i>	Dinamarca	L (?)	mg/k	20	Intervención	Visser, 1994
<i>As (no esp)</i>	Finlandia	L (?)	mg/k	50	Suelo contaminado	
<i>As (no esp)</i>	Canadá	L	mg/k	5	Línea base	Canadian Council, 1993
<i>As (no esp)</i>	Canadá	L	mg/k	20	Agrícola	
<i>As (no esp)</i>	Canadá	L	mg/k	30	Residencial	
<i>As (no esp)</i>	Canadá	L	mg/k	50	Industrial	
<i>As III</i>	EEUU	G	mg/k	20	Uso de tierras no restringido	Model Toxics Control Act, 2001
<i>As III</i>	EEUU	G	mg/k	20	Sitio industrial o comercial	
<i>As III</i>	Holanda	G	mg/k MS	20	Nivel de contaminación demostrable	Estándares holandeses
<i>As III</i>	Holanda	G	mg/k MS	30	Determinación cuidadosa de las posibilidades de uso del suelo	
<i>As III</i>	Holanda	G	mg/k MS	50	El suelo ha de ser saneado	
<i>As V</i>	EEUU	G	mg/k	95	Uso de tierras no restringido	Model Toxics Control Act, 2001
<i>As V</i>	EEUU	G	mg/k	260	Sitio industrial o comercial	

Nota: (no esp) indica que la valencia no se encuentra especificada.

7.2.2 Cadmio

Los valores mínimos y máximos absolutos detectados varían entre 0,067 y 5,14 mg/k, respectivamente. El mayor valor fue observado en el tercer horizonte de la Serie de Suelos Palomar en un predio de Catemu. El segundo y tercer valor medido fue de 2,92 y 2,08 mg/k. El promedio de los mínimos y el promedio de los máximos alcanza a 0,48 y 2,41 mg/k, respectivamente. En la tabla 20 se muestran valores referenciales de la literatura mundial.

Kabata-Pendias *et al* (1985) indican que en Austria el límite máximo permitido es de 5 mg/k, en Canadá es 8 mg/k, en Polonia y Gran Bretaña es 3 mg/k y en Alemania es de 2 mg/k, sin especificarse su condición de restricción. Para la Comisión Europea (European Comision, 2001) el criterio de recomendación para establecer el límite es de 1 a 3 mg/k. Para Visser (1994) en Canadá la intervención se debiera producir con 0,5 mg/k, aún cuando el umbral que menciona es con 3 mg/g de cadmio en el suelo.

En Holanda, por Ley el suelo debe ser saneado cuando se alcanza una concentración de 20 mg/k; cuando se tiene una concentración de 5 mg/k, el uso del suelo debe ser determinado en forma cuidadosa.

En el Reino Unido el umbral de contaminación está establecido entre 3 a 15 mg/k, presuntamente por ley, de acuerdo Visser (1994). En Finlandia, el suelo se reconoce contaminado con 20 mg/k, mientras que en Suiza, el máximo aceptable es de 0,8 mg/k

Otros autores (Lau-Bw, 1989; Model Toxics Control Act, 2001; Klope, 1980; Canadian Council, 1993) citan valores como los señalados tanto para considerar el umbral o el momento de intervención. Al respecto se debe señalar que para EE.UU., se acuerdo a Model Toxics Control Act (2001), 25 mg/k es un límite para uso de tierras en forma no restringida.

Los resultados alcanzados para los suelos del río Aconcagua, permiten indicar que no son indicativos de contaminación. La salvedad podría estar constituida por el máximo valor encontrado en Catemu, el que sin embargo, según se indicó, se detectó en el tercer horizonte. Un proceso de contaminación debiera quedar denotado en el horizonte superficial y no en el horizonte inferior.

Tabla 21: Niveles referenciales de cadmio en los suelos

Sustancia	País/organismo	Status	Unidad	Valor	Observaciones	Fuente
Cadmio	Suiza	G	mg/k SSA	0,8		s.LAU-BW, 1989
	Suiza	G	mg/k	0,03	Contenido disuelto	
	RFA	G	mg/k RS	8	Estudios	
	P. Bajos	G	mg/k SSA	0,8	Recomendación	
	P. Bajos	L	mg/k SSA	12	Saneamiento	
	EEUU	G	mg/k	5		
	EEUU	G	mg/k	500		
	EEUU	G	mg/k	25	Uso de tierras no restringido	Model Toxics Control Act, 2001
	EEUU	G	mg/k	36	Sitio industrial o comercial	
	RFA	-	mg/k	3	Límite máximo permitido	s.Kloke, 1980
	Reino Unido	L (?)	mg/k	3 – 15	Umbral	Visser, 1994
	Alemania	L (?)	mg/k	1,5	Intervención	
	Holanda	L (?)	mg/k	0,8	Umbral	
	Holanda	L (?)	mg/k	20	Intervención	
	Holanda	L	mg/k MS	0,8	Línea base	CTV, 2000
	Holanda	L	mg/k MS	12	Contaminación seria	
	Finlandia	L (?)	mg/k	20	Suelo contaminado	Visser, 1994
	Suiza	L (?)	mg/k	0,8	Máx. aceptable total	
	Suiza	L (?)	mg/k	0,03	Máx. aceptable soluble	
	Canadá	L	mg/k	0,5	Línea base	Canadian Council, 1993
	Canadá	L	mg/k	3	Agrícola	
	Canadá	L	mg/k	5	Residencial	
	Canadá	L	mg/k	20	Industrial	
	Holanda	G	mg/k MS	1	Nivel de contaminación demostrable	s. Estándares holandeses
	Holanda	G	mg/k MS	5	Determinación cuidadosa de las posibilidades de uso del suelo	
	Holanda	G	mg/k MS	20	El suelo ha de ser saneado	
	European commission	G	mg/k dm suelo	1-3	Límite suelo	European commission, 2001
	Austria	-	mg/k	5	Límite máximo permitido	s. Kabata-Pendias, 1985
	Canadá	-	mg/k	8		
	Polonia	-	mg/k	3		
	Gran Bretaña	-	mg/k	3		
	Alemania	-	mg/k	2		
	Argentina	G	mg/k	5	Para suelos de uso residencial	Informe ambiental, 2004
	España	G	mg/k	3		

7.2.3 Cobre

El cobre se determinó como concentración total y cobre disuelto o disponible para las plantas. En la tabla 22 se presentan los valores referenciales de varios países, en términos de cuando se considera contaminación, valores umbrales de intervención y otras situaciones. Adicionalmente en la tabla 23, ya incluida en el Tomo I del presente informe, se presentan niveles referenciales para suelos y materiales parentales. Mayoritariamente los valores señalados corresponden a concentración cúprica total.

a) Cobre total

El cobre, como elemento total, se encuentra habitualmente en concentraciones inferiores a 100 mg/k, aún cuando se podría presentar en concentraciones superiores, tratándose Chile de un país con una fuerte mineralización (González, 1994). Así, para la cuenca del Aconcagua se ha informado de una fuerte cupricidad con valores promedio y máximo de 275 y 1.601 mg/k, respectivamente. En Puchuncaví se han detectado 145 y 1.214 mg/k, como valores promedio y máximo. Más al norte del país, en la IV Región, en los valles de Elqui y Limarí, los valores promedio y máximos registrados son de 87 y 160 mg/k y de 65 y 120 mg/k, respectivamente. Por su parte, en la cuenca del Mapocho se excede con facilidad el umbral de 100 mg/k de cobre en los suelos agrícolas.

En suelos agrícolas los valores máximos permitidos con pH sobre 7, son de 100 mg/k y bajo 7, las concentraciones permitidas alcanzarían a 50 mg/k. Concentraciones de 300 y 150 mg/k, para los valores de pH señalados, se recomienda realizar investigaciones.

Las concentraciones señaladas quedan avaladas por Kabata-Pendias (1985), AFNOR (1985), Visser (1994) y Kloke (1980), para varios países, tales como Alemania y la ex República Federal de Alemania, Holanda, Austria, Canadá, Polonia y Francia. Límites por sobre 100 mg/k son mencionados para Japón (125 mg/k), Reino Unido (130 mg/k) y para Canadá (150 mg/k), por uno de los mismos autores (Visser, 1994).

También se mencionan valores menores para la propia Holanda (36 mg/k), Suiza (50 mg/k), Canadá (30 mg/k) y Alemania (60 mg/k).

Las concentraciones mínimas detectadas en el estudio se encontraron entre 9,4 y 28,7 mg/k y los máximos para los distintos suelos se observaron entre 55,8 y 122 mg/k. El promedio de los mínimos alcanzó a 16,9 mg/k y el promedio de los máximos a 82,8 mg/k. Sólo dos muestras de suelo presentaron concentraciones por sobre 100 mg/k. En el suelo de la Serie Palomar, en el primer horizonte de la Fase PLM-1 (muestra identificada como SC2-1), ubicada en Catemu se encontró el cobre total en una concentración de 115 mg/k. La muestra con mayor concentración de cobre se detectó en la Serie de Suelos La Calera (en la muestra denominada SD3-1), Fase CAL-1, en su primer horizonte, en un predio de los alrededores de La Calera.

De las 54 muestras, 40 de ellas presentaron concentraciones inferiores a 50 mg/k, representando 74,1%. De las restantes, en 12 muestras se observó una concentración entre 50 y 100 mg/k (22,2%) y 2 muestras por sobre 100 mg/k (3,7%).

La distribución del cobre total en el perfil de suelo presenta regularidad en su comportamiento. Los mayores niveles se observan en el horizonte superficial y su concentración disminuye en profundidad.

De los resultados expuestos y tomando como referencia lo que se indica en las tablas 19 y 20, se puede concluir que los suelos no se encuentran contaminados con cobre, a pesar de detectarse dos valores por sobre 100 mg/k, puesto que la excedencia se debe estimar que no es relevante.

Tabla 22: Niveles referenciales de cobre en los suelos

Sustancia	País/organismo	Status	Unidad	Valor	Observaciones	Fuente
Cobre	Suiza	G	mg/k	50		s. LAU-BW, 1989
	Suiza	G	mg/k	0,7	Contenido soluble	
	RFA(HH)	(G)	mg/k	300	Estudios	
	P. Bajos	G	mg/k SSA	36	Recomendación	s. Terra Tech, 1994
	P. Bajos	L	mg/k SSA	190	Intervención	
	EEUU	G	mg/k	100	Uso de tierras no restringido	Model Toxics Control Act, 2001
	EEUU	G	mg/k	550	Sitio industrial o comercial	
	RFA	-	mg/k	100	Límite máximo permitido	s. Kloke, 1980
	Holanda	-	mg/k	100	Límite máximo permitido	s. Kabata-Pendias, 1985
	Austria	-	mg/k	100	Límite máximo permitido	
	Canadá	-	mg/k	100	Límite máximo permitido	
	Polonia	-	mg/k	100	Límite máximo permitido	
	Japón	-	mg/k	125	Límite máximo permitido	
	Gran Bretaña	-	mg/k	100	Límite máximo permitido	
	Alemania	-	mg/k	50	Límite máximo permitido	
	Francia	-	mg/k	100	Intervención en suelos agrícolas	s. AFNOR, 1985
	Holanda	L	mg/k MS	36	Línea base	CTV, 2000
	Holanda	L	mg/k MS	190	contaminación seria	
	Holanda	G	mg/k MS	50	Nivel de contaminación demostrable	s. Estándares holandeses
	Holanda	G	mg/k MS	100	Determinación cuidadosa de las posibilidades de uso del suelo	
	Holanda	G	mg/k MS	500	El suelo ha de ser saneado	
	Reino Unido	L (?)	mg/k	130	Umbral	Visser, 1994
	Alemania	L (?)	mg/k	60	Intervención	
	Holanda	L (?)	mg/k	36	Umbral	
	Holanda	L (?)	mg/k	500	Intervención	
	Dinamarca	L (?)	mg/k	200	Intervención	
	Finlandia	L (?)	mg/k	500	Suelo contaminado	
	Suiza	L (?)	mg/k	50	Máx. aceptable elemento total	
	Suiza	L (?)	mg/k	0,7	Máx. aceptable elemento soluble	
	Canadá	L	mg/k	30	Línea base	Canadian Council, 1993
	Canadá	L	mg/k	150	Agrícola	
	Canadá	L	mg/k	100	Residencial	
	Canadá	L	mg/k	500	Industrial	
	RFA	L	mg/k	200		s. LAU-BW, 1989
	Austria	G	ppm MS	100-1000		
	Suiza	L	mg/k MS	150		
	RFA	G	mg/k SSA	100	Suelo	
	RFA	G	g/ha/año	2000		

Tabla 23: Abundancia de los elementos micronutrientes y rango de concentración habitual en los suelos (mg/k)

Elemento	Corteza Terrestre	Rocas ígneas		Rocas sedimentarias			Suelos	
		Granito	Basalto	Caliza	Arena	Esquisto	Mortvedt <i>et al</i> (1)	Loué (2)
Fe	56.000	27.000	86.000	3.800	9.800	47.000	10.000– 100.000	200-100.000
Mn	950	400	1.500	1.100	10-100	850	20 – 3.000	20-6.000
Cu	55	10	100	4	30	45	10 – 80	3-100
Zn	70	40	100	20	16	95	10 – 300	10-300
Mo	1,5	2	1	0,4	0,2	2,6	0,2-10	0,5-5

Fuente: . 1. Krauskopf, K.B. . *En* Mortvedt, J.J., P.M. Giordano y W.L. Lindsay,. Editores. 1983.

2.- Loué, A.. 1988.

Nota: Krauskopf, K.B. señala:

Para corteza y rocas ígneas a Taylor, S.R. 1964. Abundante of chemical elements in the continental crust: a new table. Geochim. Cosmochim. Acta 28:1273-1286.

Para rocas sedimentarias: Turekian, K.K. y K.H. Wedepohl, 1961. Distribution of the elements in some major units of the earth's crust. Geol. Soc. AMER. Bull. 72:175-192.

Para suelo, indica recopilación de muchas fuentes.

Nota: Loué señala que pueden detectarse variaciones poco usuales en condiciones de inexistencia de contaminación, sin incluir valores extremos relativos por las cercanías a depósitos de minerales, los que pueden llegar, como valores inferiores y superiores, respectivamente, a:

Mn:		8.000 a 10.000	mg/k
Cu:	0,1 – 3	; 110 – 3.000	mg/k
Zn:	3 – 10	; 600 – 10.000	mg/k
Mo:	0,1 – 0,2	; 7 – 200	mg/k

b) Cobre disuelto

El cobre disuelto o disponible para las plantas se observó en concentraciones extremas de 1,93 a 78,1 mg/k. El mayor valor se presentó en la muestra de suelo del primer horizonte correspondiente a la Fase CAL-1 de la Serie de Suelos La Calera, donde se detectó el mayor valor de cobre total.

Con la salvedad de Suiza, la información como contenido de cobre disuelto o soluble es escasa. En la Confederación Suiza el límite como criterio, recomendación o máximo aceptable es de 0,7 mg/k (Visser, 1994; LAU-BW, 1989). Luego los valores detectados en los suelos de la cuenca del río Aconcagua, objeto de este estudio, se encuentran bastante por sobre la referencia. Sin embargo, las elevadas concentraciones no serían indicativos de contaminación, puesto que el cobre disuelto depende de la reacción del suelo (pH), según se indicó anteriormente, no existiendo estándares al respecto.

Con pH ácido el cobre se encuentra en mayor proporción soluble con respecto a los suelos de carácter alcalino, sin embargo, con la salvedad de la Serie Pocuro de pH ligeramente ácido a prácticamente neutro (6,6 a 6,8), las demás Series de Suelos son de pH alcalinos (7,4 a 8,2).

Habitualmente, la tendencia del cobre soluble es encontrarse en baja proporción en los suelos. Por el contrario, los resultados indican que del cobre total, la fracción soluble se encuentra en elevada proporción. Así, los porcentajes extremos de cobre soluble fueron detectados entre 7,5 a 90,6%. El suelo con la mayor proporción de cobre disuelto corresponde al primer horizonte de la Serie Los Pidenes, Fase LPD-1 (denominación de laboratorio SB1-1). Llama la atención que sea tan alta la proporción de cobre disuelto, cuando el suelo Los Pidenes presenta pH alcalino, con valores de 8,0 a 7,5.

Con la salvedad de Suiza, la información como contenido de cobre disuelto o soluble es escasa. En la Confederación Suiza el límite como criterio, recomendación o máximo aceptable es de 0,7 mg/k (Visser, 1994; LAU-BW, 1989). Luego los valores detectados en los suelos de la cuenca del río Aconcagua, objeto de este estudio, se encuentran bastante por sobre la referencia. Sin embargo, las elevadas concentraciones no serían indicativos de contaminación, puesto que el cobre disuelto depende de la reacción del suelo (pH), según se indicó anteriormente, no existiendo estándares al respecto.

Con pH ácido el cobre se encuentra en mayor proporción soluble con respecto a los suelos de carácter alcalino, sin embargo, con la salvedad de la Serie Pocuro de pH ligeramente ácido a prácticamente neutro (6,6 a 6,8), las demás Series de Suelos son de pH alcalinos (7,4 a 8,2).

Habitualmente, la tendencia del cobre soluble es ha encontrarse en baja proporción en los suelos. Por el contrario, los resultados indican que del cobre total, la fracción soluble se encuentra en elevada proporción. Así, los porcentajes extremos de cobre soluble fueron detectados entre 7,5 a 90,6%. El suelo con la mayor proporción de cobre disuelto corresponde al primer horizonte de la Serie Los Pidenes, Fase LPD-1 (denominación de laboratorio SB1-1). Llama la atención que sea tan alta la proporción de cobre disuelto, cuando el suelo Los Pidenes presenta pH alcalino, con valores de 8,0 a 7,5.

En términos de promedio, el cobre disuelto representa alrededor del 30% del cobre total, siendo el suelo de la Serie Los Pidenes el que presentó el mayor porcentaje con 40,7% y la Serie Palomar con 16,3%, el suelo que mostró el menor porcentaje.

7.2.4 Hierro

Los valores de hierro procedentes de la campaña de monitoreo de la DGA presentan valores comprendidos entre los 0,23 a 11 mg/L. Sin embargo estos valores no constituyen ningún obstáculo para que el agua sea utilizada para riego. La presencia de hierro se debería esencialmente a la litología (frangas metalogénicas), las cuales por procesos de lixiviación superficial y subterránea de los minerales – pirita principalmente - adicionan hierro a las corrientes de agua. Esta lixiviación se manifiesta tanto en las aguas subterráneas como en las superficiales, lo cual queda ratificado por la existencia de hierro disuelto en todos los tributarios y curso principal.

Adicionalmente, los depósitos de material de descarte procedente de la minería constituyen fuentes potenciales de contaminación de las aguas superficiales, las cuales toman su mayor relevancia cuando ocurren precipitaciones. La pequeña y mediana minería asociada a la cuenca presenta fuentes de contaminación irreversibles hasta la fecha dada por los drenajes de aguas de minas y el depósito de materiales de descarte, los cuales en su mayor parte no cuentan con un diseño de un sistema de disposición que permita la contención o tratamiento de la escorrentía de éstos.

a) Hierro total

El hierro es uno de los elementos más abundantes de la corteza terrestre, encontrándose presente en todas las rocas y un gran número de minerales, por lo que su concentración depende de la mineralogía y de los materiales parentales que dan origen a los suelos. Los valores detectados muestran concentraciones extremas que van de un mínimo **de 5,43 a 10,1 g/k**, valores habituales para un gran número de suelos (tablas 13 a 18).

En la tablas 23 y 24, se observan valores referenciales de hierro en los suelos para distintas condiciones. De acuerdo a Chapman y Wang (2000) los valores promedios en suelos de Estados Unidos, el hierro se encuentra en concentraciones que pueden fluctuar entre 0,1 a 100 g/k.

Según lo señalado, se puede reconocer que **no existe proceso de contaminación por hierro** en los suelos estudiados como representativos de dos zonas relevantes en extensión y actividades.

b) Hierro soluble

El hierro soluble es la forma que este elemento está disponible para las plantas. La carencia de hierro produce clorosis férrica, situación que muy ocasionalmente se produce y cuya detección se realiza por determinación del hierro en las plantas y no así en los suelos.

Las concentraciones de hierro soluble se detectaron en reducidos porcentajes, **bajo el 1%**, con la salvedad de una muestra que superó ligeramente dicho valor (**1,06%** en la muestra del tercer

horizonte de la **Serie de Suelos Las Pataguas (muestra SF1-3)**. Los reducidos porcentajes de hierro soluble son coherentes con los pH alcalinos de los suelos.

Tabla 24: Niveles referenciales de hierro en los suelos

Elemento	País/organismo	Unidad	Valor	Observaciones	Fuente
<i>Hierro</i>	EEUU	mg/k	50-1.000	Rango normal en suelos	Groundwater Pollution Primer, 1996
	EEUU	mg/k	100-100.000	Valores promedio en suelos de US	Chapman and Wang, 2000
	Westinghouse Savannah River Site	µm/g	200		American Petroleum Institute, 1999
	Oak Ridge National Laboratory-Earthworms	µm/g	200		
	<i>País/organismo</i>	<i>Unidad</i>	<i>Valor</i>	<i>Observaciones</i>	
	<i>EEUU</i>	<i>mg/k</i>	<i>50-1.000</i>	<i>Rango normal en suelos</i>	
	<i>EEUU</i>	<i>mg/k</i>	<i>100-100.000</i>	<i>Valores promedio en suelos de US</i>	
	<i>Westinghouse Savannah River Site</i>	<i>µm/g</i>	<i>200</i>		
	<i>Oak Ridge National Laboratory-Earthworms</i>	<i>µm/g</i>	<i>200</i>		

7.2.5 Manganeso

En las tablas 23 y 25, se presentan valores referenciales de manganeso en los suelos y los resultados de los muestreos se consignan en las tablas 13 a 18.

a) Manganeso total

El promedio general en los muestreos alcanzó a **1.200 mg/k con valores extremos de 289 a 4.810 mg/k**, lo que implica que las concentraciones de manganeso se ubican en los rangos de la normalidad.

El 59,3% de las muestras (32 de 54) presentó concentraciones inferiores a 1.000 mg/k. En el 31,4% de las muestras, es decir en 17 de ellas, la concentración de manganeso total se ubicó entre 1.000 y 2.000 mg/k. En 3 de las muestras, representando el 5,6% la concentración de Mn total se observó entre 2.000 y 3.000 mg/k, mientras que en dos muestras se superó la última concentración señalada. En la muestra SE3-2, correspondiente al segundo horizonte de la tercera muestra de la Serie de Suelos Lo Campo, Fase LCM-1, se detectó 3.610 mg/k en tanto que la muestra SC1-2, correspondiente al segundo horizonte la primera calicata de la Serie Palomar Fase PLM-1 (del estudio Ciren), mostró una concentración de 4.810 mg/k.

Tabla 25: Niveles referenciales de manganeso en los suelos

Sustancia	País/organismo	Status	Unidad	Valor	Observaciones	Fuente
<i>Manganeso</i>	EEUU	G	mg/k	23.500	Sitio industrial o comercial	Model Toxics Control Act, 2001
	EEUU		mg/k	260-840	Rango normal en suelos	Groundwater Pollution Primer, 1996
	Canadá	G	mg/k	1.500 -3.000	Concentración total crítica en suelos agrícolas	Kabata-Pendias and Pendias, 1984
	EEUU		mg/k	< 2 - 7.000	Valores promedio en suelos de US	Chapman and Wang, 2000
	Pensilvania	L	mg/k	75	Concentración límite	LASS, 1999
	Oak Ridge National Laboratory-Microbes		µm/g	100		American Petroleum Institute, 1999
	Oak Ridge National Laboratory-Plants		µm/g	500		
	Westinghouse Savannah River Site		µm/g	100		
	USSR		µm/g	1.500	Concentración máxima permisible	

El manganeso es abundante en la corteza terrestre, aún cuando no de la misma forma que el hierro. Se le puede encontrar, dentro del rango de la normalidad o de la habitualidad, hasta en concentraciones de 3.000 mg/k y más. Sin embargo, al igual que otros elementos existen discrepancias entre las distintas fuentes. Según Chapman y Wang (2000) en los EE.UU. el manganeso se puede encontrar en concentraciones que oscilan entre menos que 2 mg/k hasta 7.000 mg/k. Un sitio industrial se reconocería por concentraciones de Mn en torno a 23.500 mg/k (Model Toxics Control Act, 2001).

De los resultados expuestos, se concluye que las concentraciones de manganeso total detectadas son normales o habituales de encontrar en suelos agrícolas, libres o por lo menos **sin evidencia de contaminación**.

b) Manganeso disuelto

El manganeso soluble, en términos de la fracción disuelta del manganeso total, representa en términos de promedio general 0,9% con extremos de 0,2 y 2,3%, porcentajes que se encuentran dentro de lo esperable para suelos agrícolas.

7.2.6 Molibdeno

Los resultados de los muestreos de molibdeno en los suelos se presentan en las tablas 13 a 18, mientras que los valores referenciales se indican en las tablas 23 y 26.

El molibdeno total, habitualmente, se encuentra en concentraciones de hasta 10 mg/k, aún cuando se le puede encontrar en concentraciones mayores. El valor de 10 mg/k representa, en términos generales, la concentración de lo permitido. Niveles de 10 a 40 mg/k se recomienda que sean investigados y por sobre este último valor, se estima necesario que se investigue.

El promedio general fue inferior a 1,2 mg/k, con niveles extremos de < 0,1mg/k (menor que 0,1) y 12,6 mg/k. Este último valor se encontró en la muestra SA3-2, correspondiente al segundo horizonte de la tercera calicata de la Serie Pocuro Fase PCR-1. Cabe señalar que ésta fue la única muestra que mostró una concentración superior a 10 mg/k.

De las 54 muestras recolectadas y analizadas, en 33 de ellas, representando un 61,1%, la concentración fue inferior a 0,1 mg/k, límite que permite detectar la analítica de laboratorio. En 18 muestras, con un 33,3%, la concentración fue entre 0,1 y 5,0 mg/k. Dos de las 54 muestras, representando 3,7%, presentaron niveles superiores a 5,0 mg/k pero inferiores a 10 mg/k. Finalmente, una muestra (1,9%) presentó una concentración de molibdeno por sobre 10 mg/k.

Tabla 26: Niveles referenciales de molibdeno en los suelos

Sustancia	País/organismo	Status	Unidad	Valor	Observaciones	Fuente
Molibdeno	EEUU	G	mg/k	71	Sitio industrial o comercial	Model Toxics Control Act, 2001
	Holanda	L	mg/k MS	3	Línea base	CTV, 2000
	Holanda	L	mg/k MS	200	Contaminación seria	
	Holanda	L (?)	mg/k	10	Umbral	Visares, 1994
	Holanda	L (?)	mg/k	200	Intervención	
	Finlandia	L (?)	mg/k	200	Suelo contaminado	
	Suiza	L (?)	mg/k	5	Máx. aceptable total	
	Canadá	L	mg/k	2	Línea base	Canadian Council, 1993
	Canadá	L	mg/k	5	Agrícola	
	Canadá	L	mg/k	10	Residencial	
	Canadá	L	mg/k	40	Industrial	
	Holanda	G	mg/k MS	10	Nivel de contaminación demostrable	s. Estándares holandeses
	Holanda	G	mg/k MS	40	Determinación cuidadosa de las posibilidades de uso del suelo	
	Holanda	G	mg/k MS	200	El suelo ha de ser saneado	

Entre las situaciones destacables se tiene que:

- La Serie Los Pidenes, en dos de las tres calicatas, en todos sus horizontes mostró concentraciones bajo el límite de detección del laboratorio, es decir, bajo 0,1 mg/k, mientras que la tercera calicata (muestra SB3) presentó concentraciones entre 4,69 y 7,06 mg/k.
- Similar comportamiento se observó en la Serie de Suelos Palomar, donde en la segunda calicata (muestra SC2) las concentraciones medidas fueron de 3,5 a 4,36 mg/k, mientras que en las dos calicatas restantes, la concentración fue inferior a 0,1 mg/k.
- En la Serie La Calera, en todos los horizontes se reconoció una concentración inferior a 0,1 mg/k, con la salvedad de los horizontes superficiales de la segunda y tercera calicata (muestras SD2 y SD3), donde el molibdeno total fue de 0,59 mg/k, para ambos casos.

- En los suelos de la Serie Las Pataguas se detectaron concentraciones inferiores a 1 mg/k en todos los horizontes con la excepción del segundo horizonte de la primera calicata (muestra SF1-2) donde el nivel observado fue de 1,36 mg/k.

En Holanda se estima que la concentración de 10 mg/k de molibdeno total, representa el umbral aceptable y que sólo cuando se presenten 200 mg/k, se requiere intervenir el suelo (Visser, 1994). En Finlandia también se aceptan los 200 mg/k como nivel de intervención. En Suiza el máximo aceptable alcanza a 5 mg/k, al igual que en Canadá.

De acuerdo a los resultados observados, se concluye que **no se evidencia contaminación por molibdeno.**

7.2.7 Plomo

En las tablas 13 a 18 se presentan los resultados de los muestreos realizados en el marco del presente proyecto, en tanto que en las tablas 23 y 27 se muestran niveles referenciales para distintas situaciones.

Los valores extremos medidos fueron 10,8 mg/k (muestra SD2-2 correspondiente al segundo horizonte de la segunda calicata de la Serie de Suelos La Calera) y 56,3 mg/k (SC-2-1 correspondiente al primer horizonte de la segunda calicata de la Serie de Suelos Palomar) con una media general de 27,7 mg/k. Los promedios extremos de las calicatas por Serie de Suelos alcanzaron a 21,4 en la Serie de Suelos La Calera y 37,5 mg/k en la Serie Palomar. Los valores señalados muestran baja dispersión.

Al compararlos con los valores de las referencias se puede concluir que los suelos muestreados están exentos de procesos de contaminación por plomo. Al respecto, cabe señalar que los límites máximos de plomo total en los suelos de carácter agrícola que debieran ser tenidos en cuenta, según Kabata-Pendias (1985), para las naciones que se indican son: Austria, Polonia y Gran Bretaña, 100 mg/k; Canadá, 200 mg/k; Japón, 400 mg/k. En Holanda el umbral a considerar según Visser (1994), es de 85 mg/k. En los Países Bajos, de acuerdo a Terra Tech (1994), el umbral recomendado es de 85 mg/k, en tanto que con 530 mg/k se debiera intervenir el suelo, de acuerdo a la legislación. En Suiza el máximo aceptable alcanza a 50 mg/k.

De acuerdo a las referencias señaladas, entre otras, los valores medidos en los suelos agrícolas muestreados de la cuenca del río Aconcagua indican que no existen procesos de contaminación de plomo.

Tabla 27: Niveles referenciales de plomo en los suelos

Sustancia	País/organismo	Status	Unidad	Valor	Observaciones	Fuente
<i>Plomo</i>	Holanda	L	mg/k MS	85	Línea base	CTV, 2000
	Holanda	L	mg/k MS	530	Contaminación seria	
	Canadá	L	mg/k	25	Línea base	Canadian Council, 1993
	Canadá	L	mg/k	375	Agrícola	
	Canadá	L	mg/k	500	Residencial	
	Canadá	L	mg/k	1000	Industrial	
<i>Plomo y sus compuestos inorgánicos</i>	Suiza	G	mg/k	50	Extracto de HNO ₃ (3)	s. BUB, 1987
	Suiza	G	mg/k	1	Extracto de HNO ₃ (3)	
	Gran Bretaña	G	mg/k	550	Jardines/huertas	s. SAUERBECK, 1986
	Gran Bretaña	G	mg/k	1500	Parques	
	Gran Bretaña	G	mg/k	2000	Áreas públicas	
	P.Bajos	G	mg/k RS	85	Recomendación	s. Terra Tech, 1994
	P.Bajos	L	mg/k RS	530	Intervención	
	EEUU	G	mg/k	220	Uso de tierras no restringido	Model Toxics Control Act, 2001
	EEUU	G	mg/k	220	Sitio industrial o comercial	
	RFA	-	mg/k	100	Límite máximo permitido	s. Kloke, 1980
	Alemania	L (?)	mg/k	100	Intervención	Visser, 1994
	Holanda	L (?)	mg/k	85	Umbral	
	Holanda	L (?)	mg/k	600	Intervención	
	Dinamarca	L (?)	mg/k	40	Intervención	
	Finlandia	L (?)	mg/k	600	Suelo contaminado	
	Suiza	L (?)	mg/k	50	Máx. aceptable elemento total	
	Suiza	L (?)	mg/k	1	Máx. aceptable elemento soluble	
	Holanda	G	mg/k MS	50	Nivel de contaminación demostrable	s. Estándares holandeses
	Holanda	G	mg/k MS	150	Determinación cuidadosa de las posibilidades de uso del suelo	
	Holanda	G	mg/k MS	600	El suelo ha de ser saneado	
	Austria	-	mg/k	100	Límite máximo permitido	s. Kabata-Pendias, 1985
	Canadá	-	mg/k	200	Límite máximo permitido	
	Polonia	-	mg/k	100	Límite máximo permitido	
	Japón	-	mg/k	400	Límite máximo permitido	
	Gran Bretaña	-	mg/k	100	Límite máximo permitido	
	Alemania	-	mg/k	500	Límite máximo permitido	
	Bélgica	-	mg/k	300	Intervención en suelos agrícolas	Adriano <i>et al.</i> , 1997
	European commission	G	mg/k dm suelo	50-300	Límite suelo	European commission, 2001

7.2.8 Zinc

El zinc fue determinado como concentración total y soluble o disponible para las plantas. Dichos resultados se encuentran consignados en las tablas 13 a 18, mientras que en las tablas 23 y 28 se presentan los niveles referenciales, para distintas situaciones.

a) Zinc total

Los valores extremos medidos alcanzaron a 38,4 y 149,0 mg/k en suelos de las Series Palomar (tercer horizonte de la segunda calicata) y Serie La Calera (primer horizonte de la tercera calicata). La media general alcanza a 65,5 mg/k. Por Serie de Suelos los promedios extremos alcanzan a 51,8 y 73,3 mg/k para las Series de Suelos Lo Campo y Pataguas, respectivamente. De los valores expuestos se aprecia baja dispersión de la concentración de zinc total.

Las referencias, al igual que para los metales mencionados anteriormente, presentan valores variables entre distintos países, sin embargo, permiten aseverar que los suelos muestreados están **exentos de procesos de contaminación por zinc total**.

Así, entre las diversas referencias se tiene que el límite máximo permitido para Austria, Polonia, Gran Bretaña, Alemania es de 300 mg/k, al igual que lo considerado para la ex República Federal de Alemania (Kabata-Pendias, 1985; Kloeke, 1980). Para la Comisión Europea, el límite en los suelos se alcanza con niveles entre 150 a 300 mg/k (European Comision, 2001). En Holanda el umbral es de 140 mg/k (Visser, 1994) y en la propia Holanda, la normativa señala que el suelo ha de ser saneado con 3.000 mg/k.

b) Zinc soluble

El zinc soluble se encontró en concentraciones de 0,17 y 5,9 mg/k, como valores extremos. Por Series de Suelos, los valores promedios extremos alcanzan a 1,3 y 2,2 mg/k, con una media general de 1,7 mg/k.

Al igual que con los otros metales pesados analizados, las referencias con respecto al zinc como solubles son escasas. Solamente existen referencias para Suiza; así, Visser (1994) indica que el máximo aceptable alcanza a 0,5 mg/k y según LAU-BW (1989), el máximo disponible para las plantas alcanza también a 0,5 mg/k.

En términos porcentuales el zinc soluble representa entre 0,3 y 11,3% del zinc total, con una media general de 2,6%. Por Series de Suelo, el soluble representa del total, como promedio, entre 1,9 y 3,2%.

Tabla 28: Niveles referenciales de zinc en los suelos

Elemento	País/organismo	Status	Unidad	Valor	Observaciones	Fuente
Zinc	EEUU	G	mg/k	270	Uso de tierras no restringido	Model Toxics Control Act, 2001
	EEUU	G	mg/k	570	Sitio industrial o comercial	
	Holanda	L	mg/k MS	140	Línea base	CTV, 2000
	Holanda	L	mg/k MS	720	Contaminación seria	
	Holanda	G	mg/k MS	200	Nivel de contaminación demostrable	s. Estándares holandeses
	Holanda	G	mg/k MS	500	Determ. cuidadosa de las posibil. de uso del suelo	
	Holanda	G	mg/k MS	3.000	El suelo ha de ser saneado	
	Reino Unido	L (?)	mg/k	300	Umbral	Visser, 1994
	Alemania	L (?)	mg/k	200	Intervención	
	Holanda	L (?)	mg/k	140	Umbral	
	Holanda	L (?)	mg/k	3000	Intervención	
	Suiza	L (?)	mg/k	200	Máx. aceptable elemento total	
	Suiza	L (?)	mg/k	0,5	Máx. aceptable elemento soluble	
	Canadá	L	mg/k	60	Línea base	Canadian Council, 1993
	Canadá	L	mg/k	600	Agrícola	
	Canadá	L	mg/k	500	Residencial	
	Canadá	L	mg/k	1500	Industrial	
	European commission	G	mg/k dm suelo	150-300	Límite suelo	European commission, 2001
	Austria	-	mg/k	300	Límite máximo permitido	s. Kabata-Pendias, 1985
	Canadá	-	mg/k	400	Límite máximo permitido	
	Polonia	-	mg/k	300	Límite máximo permitido	
	Japón	-	mg/k	250	Límite máximo permitido	
	Gran Bretaña	-	mg/k	300	Límite máximo permitido	
	Alemania	-	mg/k	300	Límite máximo permitido	
	Bélgica	-	mg/k	600	Intervención en suelos agrícolas	s. Prost, 1997
	RFA	-	mg/k	300	Límite máximo permitido	s. Klocke, 1980
	Alemania	G	mg/k RS	0,5-5		s. CEA, 1985
	Suiza	G	mg/k	200	Total	s. LAU-BW, 1989
	Suiza	G	mg/k	0,5	Disponibilidad para las plantas	
	RFA	G	mg/k	300	Valor de tolerancia	
	RFA (HH)	G	mg/k RS	1000	Estudios requieren profundización	
	P. Bajos	G	mg/k	140	Recomendación	s. Terra Tech, 1994
	P. Bajos	L	mg/k	720	Intervención	
	EEUU	G	mg/k RH	250	Disponibilidad para las plantas	s. LAU-BW, 1989
	EEUU	G	mg/k RH	5000	Total	

7.3 Plaguicidas

Los resultados de laboratorio indican que no fueron detectados los 14 plaguicidas de seguimiento en la cuenca del río Aconcagua en las áreas de San Felipe-Catemu y en La Calera-Quillota, en 18 calicatas y en 3 profundidades, lo que permite suponer que a pesar de tratarse de valles con intensa actividad agrícola y de antigua data, los plaguicidas no constituyen fuente de contaminación o a lo menos se degradan rápidamente, sin que hayan sido detectados, de acuerdo a los límites de detección de la metodología analítica, establecida en 0,05 µg/L. Se estima que se debiera estudiar los metabolitos en los cuales se degradan los plaguicidas, puesto que el conocimiento actual indicaría que éstos son de más larga persistencia.

7.4 CONCLUSIONES

De los resultados analíticos obtenidos para los suelos seleccionados en la cuenca del río Aconcagua, en las áreas definidas más industrializadas y representativas de suelos agrícolas de alta intensidad, se concluye que:

- Los suelos están exentos de procesos de contaminación por metales pesados y plaguicidas, aún cuando para los primeros se detectaron ocasionalmente para algunos elementos, valores que sobrepasaron los aceptables en países de la Comunidad Europea y Canadá, básicamente.
- En cuanto a los macronutrientes (nitrógeno en sus formas amonio y nitrato y fosfatos) y materia orgánica, se encuentran en concentraciones que son habituales para suelos minerales, no observándose alguna anomalía.

7.5 REFERENCIAS

AFNOR 1985. Qualité des sols. Recueil de normes françaises. Paris-La Défense. Paris. En: Baize D. 1997. Teneur totales en éléments traces métalliques dans les sols (France). INRA éditions. Paris. Francia.

CANADIAN COUNCIL OF MINISTERS OF THE ENVIRONMENT (CCME). 1993. Guidance Manual on Sampling, Analysis, and Data Management for Contaminated Sites. PN1197. Volume I: Main Report. 79p.

CASANOVA, M. 2002. Curso Prevención y Control de la Contaminación de Suelos. Mag. Medio Ambiente, Universidad de Santiago de Chile, Programa de Gestión y Ordenamiento Ambiental.

CHAPMAN, P. & WANG, F. 2000. Issues in ecological risk assessment of inorganic metals and metalloids. Human and Ecological Risk Assessment. 6(6): 965-988.

CONAMA, 1996. Metodologías para la caracterización de la calidad ambiental.

EUROPEAN COMMISSION. 2001. Workshop on harmonization of sampling and analysis methods for heavy metals, organic pollutants and pathogens in soil and sludge. 8 - 9 February 2001 Stresa - Lago Maggiore - Italy.

GONZÁLEZ, M. 1994. Estado de la contaminación de los suelos en Chile. En Perfil Ambiental de Chile, pp. 199-234. Comisión Nacional del Medio Ambiente, Santiago.

KABATA-PENDIAS, A. & PENDIAS, H. 1985. Trace elements in soils and plants. Florida, CRC Press. 315 p.

KABATA-PENDIAS A., MOTOWICKA-TERELAK T., PIOTROWSKA M., TERELAK H., WITEK T. (1993). Ocena stopnia zanieczyszczenia gleb i roelin metalami ciężkimi i siark. IUNG Pulawy, Seria P (53): 1-20.

KLOKE, A. 1980. Orientierungsdaten für tolerierbare Gesamtgehalte einiger Elemente in Kulturböden" (Datos orientativos para contenidos totales sustentables de algunos elementos en tierras de cultivo). Mitteilungen VDLUFA (Boletín oficial de la Verbandes Deutcher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten)(1-3): 9-11.

KRAUSKOPF, K.B. 1983. Geoquímica de los micronutrientes. *En* Mortvedt, J.J., P.M. Giordano y W.L. Lindsay. Micronutrientes en Agricultura. Ed. AGT Editor, S.A.

LAU-BW - LANDESAMT FÜR UNWELTSCHUTZ BADEN-WÜRTTEMBERG (Editor). 1989. Grenzwerte und Richtwerte für die Umweltmedien Luft, Wasser, Boden (Valores límite y orientativos para los recursos ambientales: aire, agua, suelo). Karlsruhe.

LOUÉ, A. 1988. Los microelementos en agricultura. Ediciones Mundi-Prensa..

OPAZO, J. 1992. Fertilidad de suelos. En Suelos, una visión actualizada del recurso. Publicación Miscelánea Agrícola N° 38, Fac. de Cs. Agrarias y Forestales, Universidad de Chile. Santiago.

TERRA TECH. 1994. Revista sobre antiguos depósitos de residuos y protección del suelo, N° 6. Vereinigte Fachverlage (Editoriales técnicas unidas). Maguncia.

VISSER, W.J.F. 1994. Contaminated land policies in some industrialized countries. Technische Commisie Bodembescherming. 2nd Edition. Netherlands,

CAPÍTULO 8: RESULTADOS DEL ESTUDIO DE BIOMARCADORES EN FAUNA SILVESTRE EN LA CUENCA DEL RÍO ACONCAGUA

Tanto para roedores como para aves, se obtuvo un bajo número de capturas, debido al alto grado de intervención y manejo de los sitios muestreados, la mayoría de los cuales presentó una baja densidad de árboles y cobertura arbustiva.

Para efectos de los análisis el número de muestras efectivamente procesadas se entrega en la Tabla 29 y los lugares con sus códigos, características de uso de suelo y fechas de muestreo en la tabla 30.

En la tabla 31 se presentan los valores máximos y mínimos de la actividad de AChE, registrados en muestras de cerebro y sangre en las especies más representativas del muestreo. Debe recordarse, tal como se indicó en el tomo I del presente informe, que en el caso de los anuros, hubo dificultad para obtener la cantidad suficiente de muestra de cerebro y sangre.

Tabla 29: Muestras efectivamente procesadas. Quillota y San Felipe, 2001 -2004

	TOTAL CAPTURADO	MUESTRAS SANGRE	MUESTRAS CEREBRO
AVES	166	139	164
ANUROS	83	41	49
ROEDORES	76		76

Tabla 30: Lugares, uso del suelo y fechas de muestreo. Quillota y San Felipe, 2001 - 2004

LUGAR	CODIGO ZONA	TIPO	FECHA	CULTIVO CERCANO
La Cruz	Quillota 1 – Q1	Parcela/Cauce Río Aconcagua*	Ene-2002	Chacra Paltos
Ocoa-cruce acceso a Ocoa	Quillota 2 – Q2	Parcela		Chacras
Ocoa-Safex	Quillota 3 – Q3	Predio/Canal afluente Río Aconcagua*	Ago-Sep-2002	Limonero Palto Chacras
Ocoa-Agrícola Fortaleza	Quillota 4 – Q4	Predio/Tranque*	Dic-2002 Ene-Feb-2004	Uva Damasco
Fundo El Rulo	Quillota 5 – Q5	Predio/Tranque*	Sep-Oct-2004	Invernadero plantas ornamentales
Las Garzas	Quillota 6 – Q6	Cauce Río Aconcagua/Tranque*	Nov-2004	Chacras Invernadero toamtes Maíz
Panquehue	San Felipe 1 – SF1	Centro recreacional/ Canal afluente Río Aconcagua*	Dic-01	Perenne
Fundo El Maitenal	San Felipe 2 – SF2	Predio	Jun-Dic-2002 Ene-Feb-2004	Uva
Fundo Santa Rita	San Felipe 3 – SF3	Predio	Jun-2002	Uva Trigo Caduco
Fundo El Nilo	San Felipe 4 – SF4	Predio	Sep-Oct-2004	Palto Chacra
Colegio Alemán	San Felipe 5 – SF5	Centro educacional	Nov-2004	Chacra
La Cruz	Quillota 1 – Q1	Parcela/Cauce Río Aconcagua*	Ene-2002	Chacra Paltos
Ocoa-cruce acceso a Ocoa	Quillota 2 – Q2	Parcela		Chacras
Ocoa-Safex	Quillota 3 – Q3	Predio/Canal afluente Río Aconcagua*	Ago-Sep-2002	Limonero Palto Chacras
Ocoa-Agrícola Fortaleza	Quillota 4 – Q4	Predio/Tranque*	Dic-2002 Ene-Feb-2004	Uva Damasco
Fundo El Rulo	Quillota 5 – Q5	Predio/Tranque*	Sep-Oct-2004	Invernadero plantas ornamentales
Las Garzas	Quillota 6 – Q6	Cauce Río Aconcagua/Tranque*	Nov-2004	Chacras Invernadero tomates Maíz
Panquehue	San Felipe 1 – SF1	Centro recreacional/ Canal afluente Río Aconcagua*	Dic-01	Perenne
Fundo El Maitenal	San Felipe 2 – SF2	Predio	Jun-Dic-2002 Ene-Feb-2004	Uva
Fundo Santa Rita	San Felipe 3 – SF3	Predio	Jun-2002	Uva Trigo Caduco
Fundo El Nilo	San Felipe 4 – SF4	Predio	Sep-Oct-2004	Palto Chacra
Colegio Alemán	San Felipe 5 – SF5	Centro educacional	Nov-2004	Chacra

Tabla 31: Valores mínimos y máximos de actividad de AChE. Quillota y San Felipe 2001 - 2004

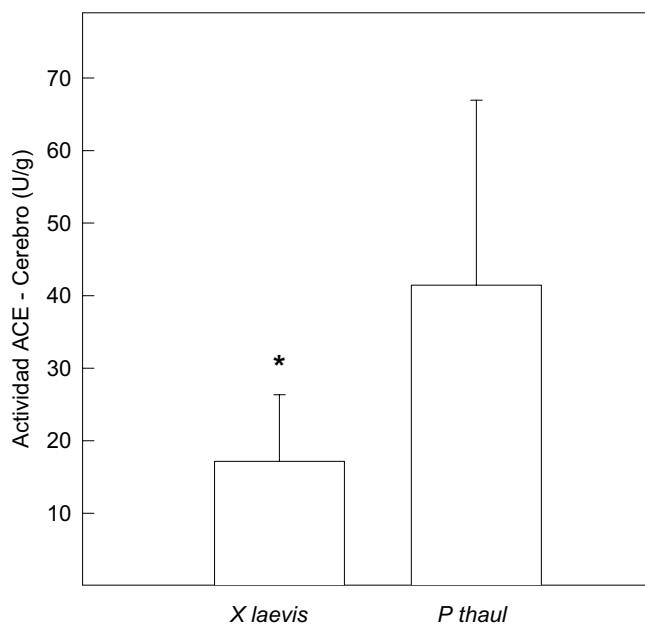
ESPECIE	ACTIVIDAD ACE CEREBRO (U/g)*		ACTIVIDAD ACE SANGRE (U/L)**	
	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo
ANUROS				
<i>Pleurodema thaul</i>	117	13,1	3030	272
<i>Xenopus laevis</i>	36,5	1,83	393	60,6
ROEDORES				
<i>Abrothrix olivaceus</i>	14	3,55	--	--
<i>Mus musculus</i>	11,2	0,28	--	--
<i>Rattus rattus</i>	14,6	4,16	--	--
AVES				
<i>Zonotrichia capensis</i>	8362	181,8	53,4	4,35
<i>Troglodites aedon</i>	3484	333	52	9,82

* $\mu\text{mol}/\text{min}/\text{g}$ ** $\mu\text{mol}/\text{min}/\text{L}$

8.1 ANUROS

8.1.1 Comparación entre especies.

Tanto en las muestras de tejido cerebral como en las de sangre, la actividad de AChE es significativamente menor en *X. laevis* que en *P. thaul* ($F_{1,47} = 22.299$; $p < 0.05$ y $F_{1,31} = 25.898$; $p < 0.05$, respectivamente. Figuras 54 y 55).

**Figura 54:** Comparación de la actividad de la AChE determinada en cerebro de dos especies de anuros

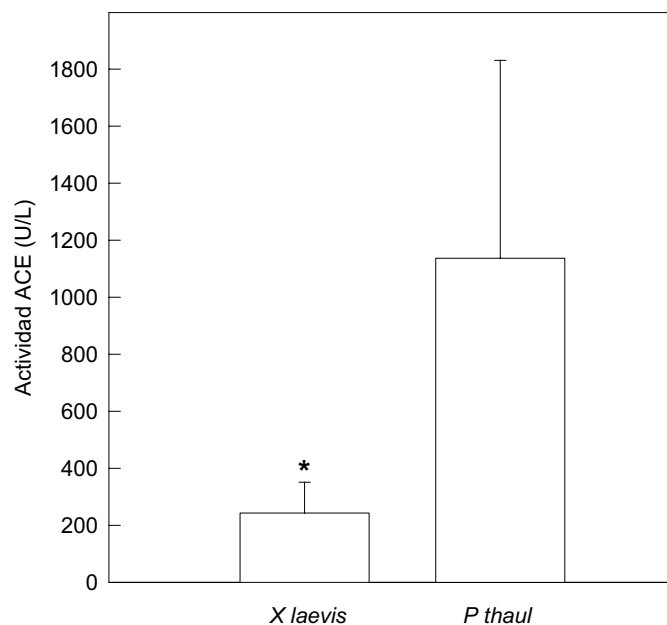


Figura 55: Comparación de la actividad de la AChE determinada en muestras de sangre de dos especies de anuros.

8.1.2 Comparaciones intraespecíficas

a) *P. thaul*.

CEREBRO. Al comparar los valores de actividad de AChE entre fechas, se observó que la actividad de la enzima registrada en ENE02 en la localidad QUILLOTA 1, es significativamente mayor, que la registrada en los meses de DIC01 Y SEP02, en las localidades de SAN FELIPE 1 y QUILLOTA 3, respectivamente ($F_{2,17}= 6.386$; $p < 0.05$. Fig. 56).

SANGRE. En contraste con lo detectado en tejido nervioso, no se encontraron diferencias significativas entre fechas ni lugares en la actividad de AChE determinada en sangre ($F_{2,14}= 0.654$; $p > 0.05$. Fig. 57).

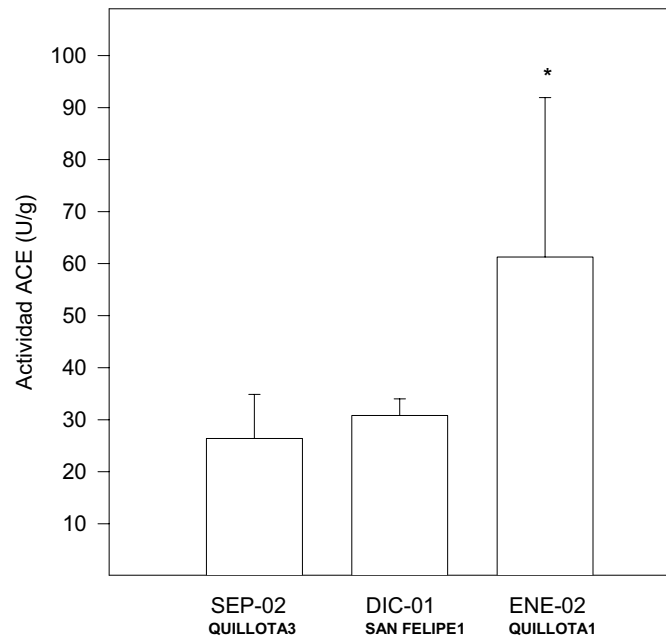


Figura 56: Comparación de la actividad de la AChE determinada en cerebro de *P. thaul* en diferentes localidades y fechas.

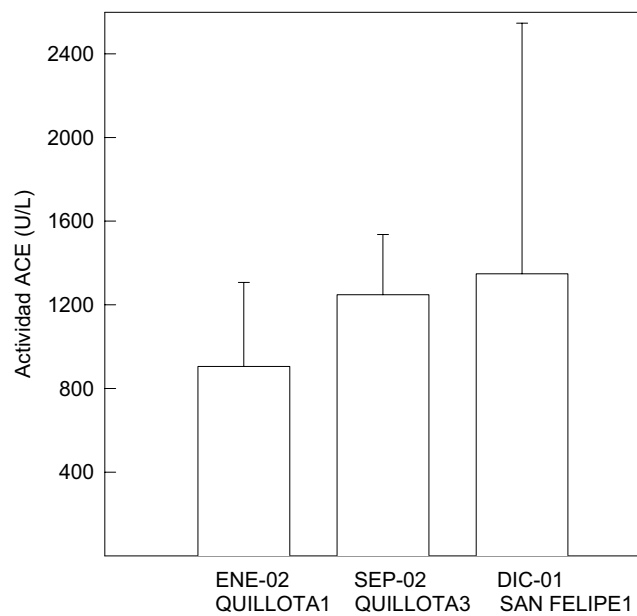


Figura 57: Comparación de la actividad de la AChE determinada en muestras de sangre de *P. thaul* en diferentes localidades y fechas.

b) *X. laevis*.

CEREBRO. Al comparar los valores de AChE entre fechas, se observó que la actividad de la enzima registrada en FEB04 en la localidad QUILLOTA 4, es significativamente mayor que la registrada en los meses de SEP04 y NOV04, en las localidades de QUILLOTA 5 y QUILLOTA 6, respectivamente. Sin embargo, no difiere estadísticamente de la actividad registrada en la misma localidad en el mes de DIC02 ($F_{3,25} = 4.716$; $p < 0.05$. Fig. 58).

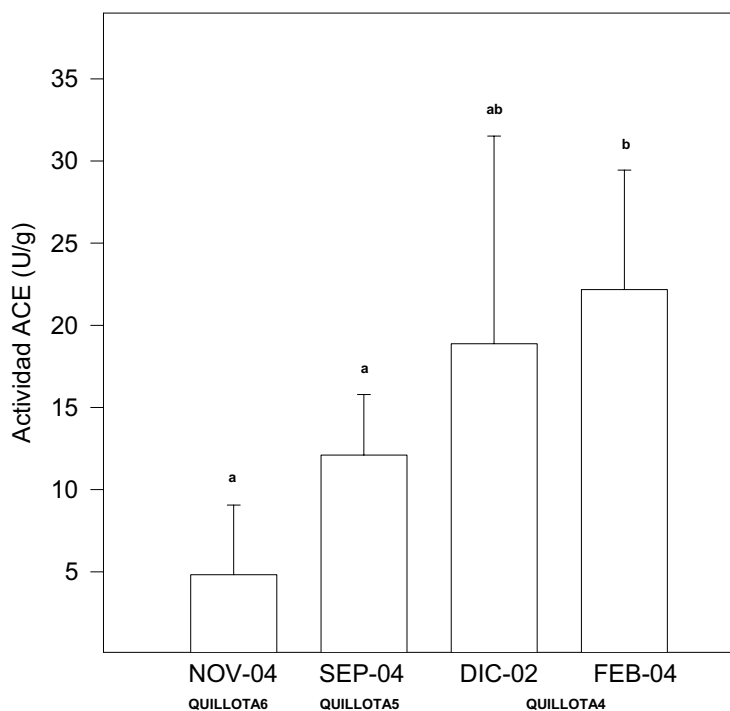


Figura 58: Comparación de la actividad de la AChE determinada en cerebro de *X. laevis* en diferentes localidades y fechas.

Al hacer una comparación entre lugares (agrupando las muestras de DIC02 y FEB04, que provienen de la misma localidad), se determinó que las muestras provenientes de la localidad de QUILLOTA 4 presentaron valores significativamente mayores que los correspondientes a las localidades de QUILLOTA 5 y QUILLOTA 6 ($F_{2,26} = 6.787$; $p < 0.05$).

SANGRE. Para el análisis, se descartaron las muestras provenientes de QUILLOTA 5 y QUILLOTA 6, por presentar valores de actividad inusualmente bajos. Debido a este descarte, no fue posible comparar entre lugares y sólo se realizó una comparación entre fechas para la localidad de QUILLOTA 4, la cual no reveló diferencias significativas ($F_{2,14} = 0.103$; $p > 0.05$. Fig. 59).

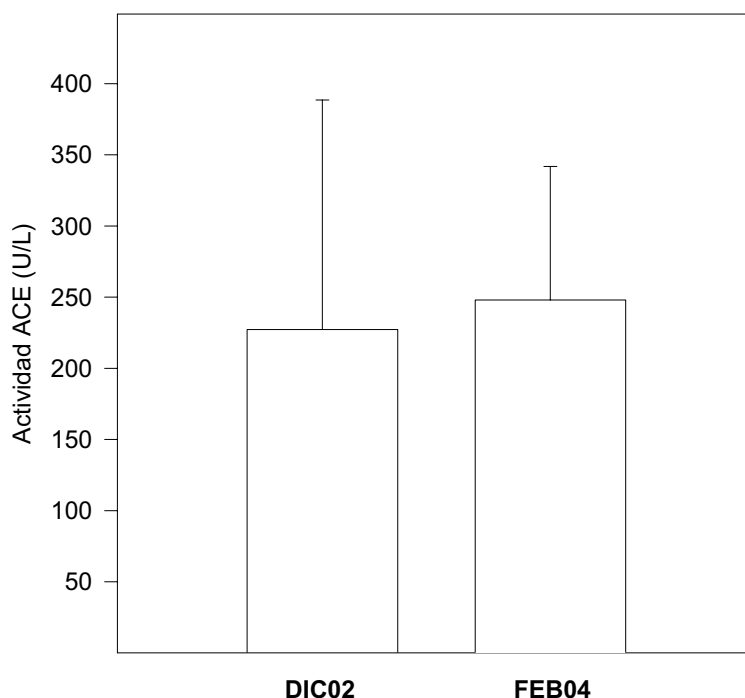


Figura 59: Comparación de la actividad de la AChE determinada en muestras de sangre de *X. laevis* en diferentes localidades y fechas.

Aún cuando no fue posible realizar un análisis de las posibles interacciones entre fecha de muestreo y la localidad en que se realizaron, los resultados obtenidos de anfibios sugieren lo siguiente:

- Tanto los análisis de las muestras de tejido cerebral como de sangre, revelaron una menor actividad de la enzima en *X. laevis* que la observada en *P. thaul*, en épocas comparables. Esto puede reflejar las características ecológicas de *X. laevis*, animal eminentemente acuático, predador activo y carroñero, condiciones que comparativamente lo hacen más susceptible a la exposición de plaguicidas o sus metabolitos que *P. thaul*.
- Las determinaciones de la actividad de la enzima en tejido cerebral de muestras provenientes de las diferentes localidades, revelaron una mayor actividad en los meses de diciembre, enero y febrero.
- Resulta sugerente el hecho de que los mayores valores de actividad registrados provienen de muestras obtenidas directamente de pozas ubicadas en los márgenes del río Aconcagua (Quillota 1- La Cruz), en tanto que, aquellas obtenidas en canales aledaños que desembocan en él (Quillota 3 - Ocoa-Safex y San Felipe 1 - Panquehue) presentaron valores significativamente menores.

- Los valores de actividad determinados en tejido cerebral presentaron un menor coeficiente de variación, para localidad y fecha, que los correspondientes obtenidos en sangre (30.7% v/s 52% y 43.4% v/s 54.3%, para *P. thaul* y *X. laevis*, respectivamente).

8.2 ROEDORES

8.2.1 Comparación entre especies

Se compararon los valores de actividad de ACE de cerebro entre las especies capturadas, sin considerar ni época ni lugar de muestreo. Este análisis determinó la existencia de diferencias estadísticamente significativas ($n=76$; $F_{9,66}=5.493$; $p<0.05$), siendo atribuibles estas diferencias a las especies *O. degus* y *A. benetti*, que presentaron los valores extremos de actividad (2.30 y 20.17 U/g), respectivamente. Sin embargo, este resultado es poco informativo, debido al bajo número de muestras disponibles para algunas de las especies incluidas en el análisis.

8.2.2 Análisis de las tres especies más abundantes

Con el objeto de aumentar la potencia del análisis, se realizó uno similar al anterior, pero considerando sólo las tres especies más representadas en el muestreo (*M. musculus*, *A. olivaceus* y *R. rattus*). Este análisis no reveló diferencias significativas entre sus valores de actividad enzimática ($n=62$; $F_{2,59}=0.069$; $p>0.05$. Fig. 60).

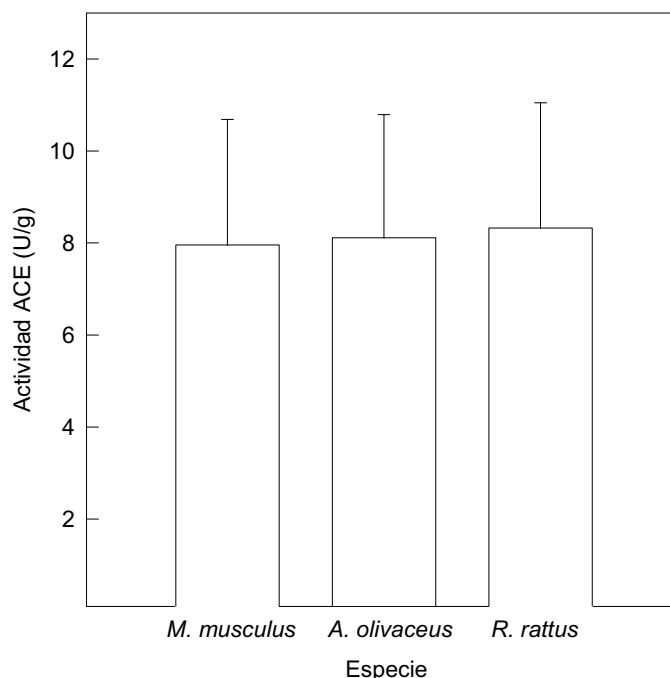


Figura 60: Actividad de la AChE determinada en cerebro de tres especies de roedores.

Debido a este resultado, se investigó la existencia de diferencias en la actividad AChE entre épocas y lugares, agrupando los valores de estas tres especies. Como resultado de lo anterior, se obtuvo que el lugar que presentó la menor actividad AChE fue la localidad de QUILLOTA 3 y aquella con los valores más altos fue QUILLOTA 1 ($F_{6,53}= 5.294$; $p< 0.05$. Fig. 61).

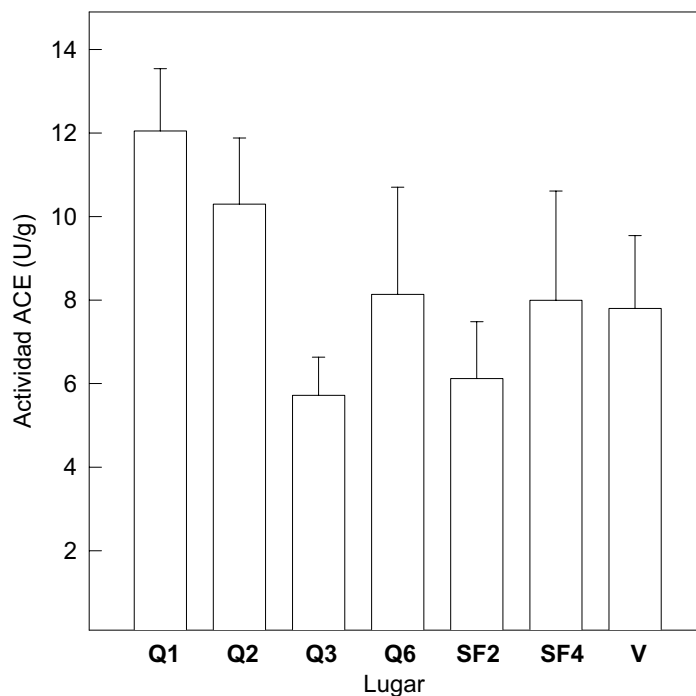


Figura 61: Comparación de la actividad de la AChE determinada en cerebro de roedores en diferentes localidades. Los valores corresponden al valor promedio y D.E. de las tres especies de roedores más representadas, consideradas como una muestra única.

En cuanto a las diferencias entre épocas, los menores y mayores valores de actividad se registraron en los meses de JUN02 - SEP02 y ENE02 ($F_{6,53}= 4.039$; $p< 0.05$. Fig. 63), respectivamente. Tanto entre localidades como entre épocas, las diferencias observadas fueron estadísticamente significativas.

8.2.3 Análisis de la especie más representativa

Debido a que *Abrothrix olivaceus* fue la especie con mayor abundancia en los sitios muestreados, se realizó un análisis de ella por separado. En función de los valores de ACE de esta especie, se determinó que en los meses de SEP02 y JUN02 la actividad de la enzima fue significativamente menor que la registrada en el mes de ENE02, con valores de 5.724 – 7.019 y 11.00 U/g, respectivamente ($F_{5,24}= 4.481$; $p< 0.05$. Fig. 62).

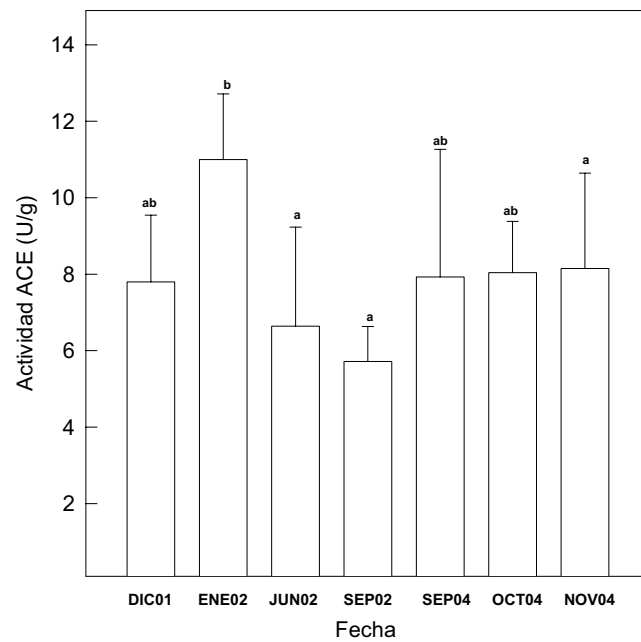


Figura 62: Comparación en cerebro de roedores en diferentes localidades. Los valores corresponden al valor promedio y D.E. de las tres especies de roedores más representadas, consideradas como una muestra única.

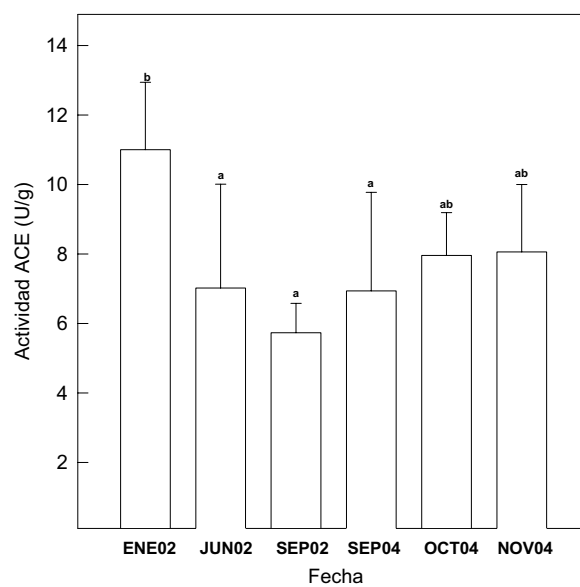


Figura 63: Comparación de la actividad de la AChE determinada en cerebro del roedor *A. Olivaceus* en diferentes fechas.

En cuanto a los lugares de muestreo, también se observaron diferencias significativas ($F_{5,23}=8.334$; $p<0.05$), registrándose los menores y mayores valores de actividad en la localidad de QUILLOTA3 y QUILLOTA1, respectivamente (Fig. 64).

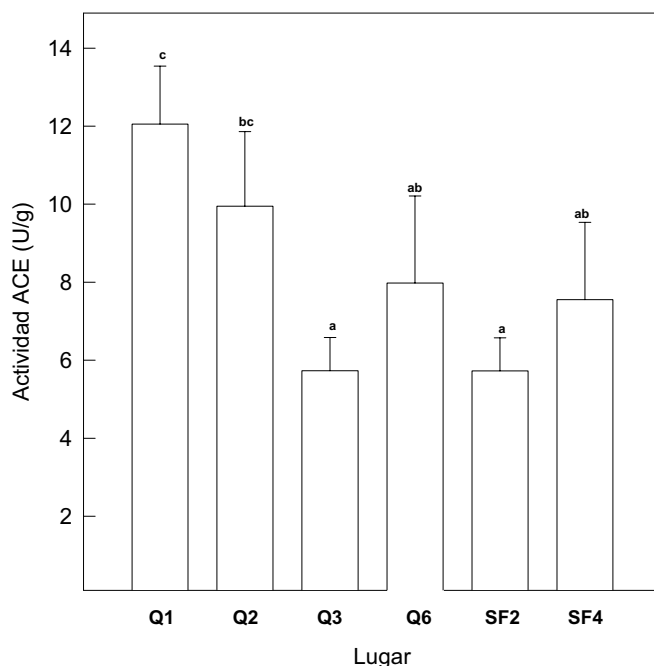


Figura 64: Comparación de la actividad de la AChE determinada en cerebro del roedor *A. Olivaceus* en diferentes localidades.

Aún cuando no fue posible realizar un análisis de las posibles interacciones entre fecha de muestreo y la localidad en que se realizaron y que *A. olivaceus* aportó significativamente más que las otras dos especies consideradas al muestreo, globalmente los resultados obtenidos de roedores sugieren lo siguiente:

- Tanto en el análisis de las tres especies en conjunto, como en el realizado por separado para *A. olivaceus*, se observó una tendencia a la detección de una mayor actividad de la enzima en los meses de verano.
- Las localidades de Quillota 3 (Ocoa-Safex) y San Felipe 2 (Fundo El Maitenal), representarían los sitios con mayor exposición a plaguicidas, en tanto que, Quillota 1 (La Cruz) sería el más benigno en ese sentido. Aún cuando los muestreos en estas localidades no son temporalmente equivalentes, es importante hacer notar que Quillota 1 corresponde a una chacra, en tanto que, Quillota 3 y San Felipe 2 son predios de producción de cítricos-paltas y frutícola, respectivamente.

8.3. AVES

Debido a la representatividad de las muestras, los análisis se restringieron a dos especies, *Zonotrichia capensis* y *Troglodytes aedon*, las cuales se observaron en prácticamente todos los sitios del estudio. Los análisis se efectuaron comparando entre fechas y entre lugares.

8.3.1. Comparación entre especies

Se encontraron diferencias significativas para la actividad de ACE en sangre, donde *Z. capensis* mostró los mayores valores ($F_{1,100} = 32,23$; $p < 0.001$). Por el contrario, no hubo diferencias al comparar entre muestras de cerebro ($F_{1,117} = 1,63$; $p = 0,202$).

8.3.2. Comparaciones intraespecíficas

a) *Zonotrichia capensis*

CEREBRO. Los menores valores de actividad se registraron en el mes de OCT04, los que difieren significativamente de los registrados en los otros meses de muestreo de esta especie ($F_{8,73} = 3,42$; $p < 0.001$). Fig 65.

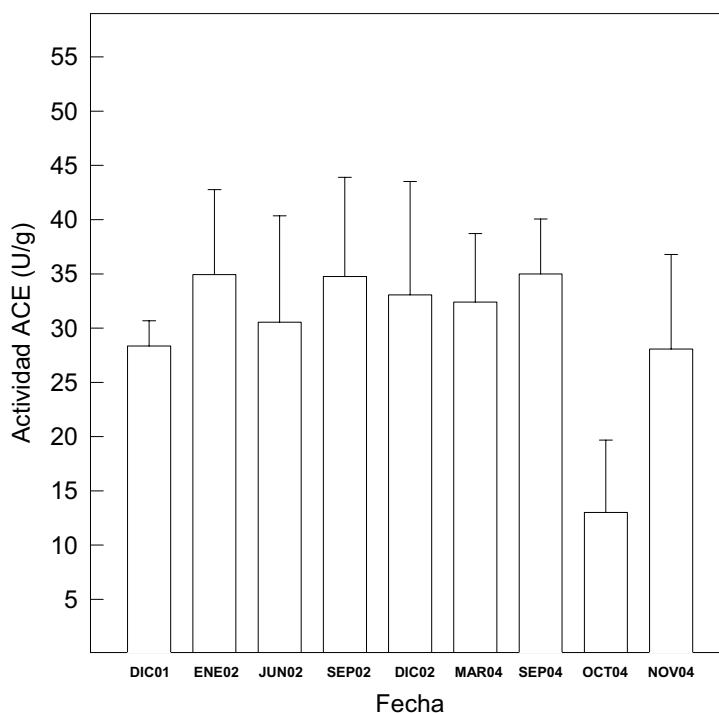


Figura 65: Comparación de la actividad de la AChE registrada en muestras de cerebro de *Z. Capensis*, colectadas en diferentes fechas.

La comparación de la actividad de AChE entre lugares no mostró diferencias significativas ($F_{8,73} = 0,99$; $p = 0,4448$) Fig. 66.

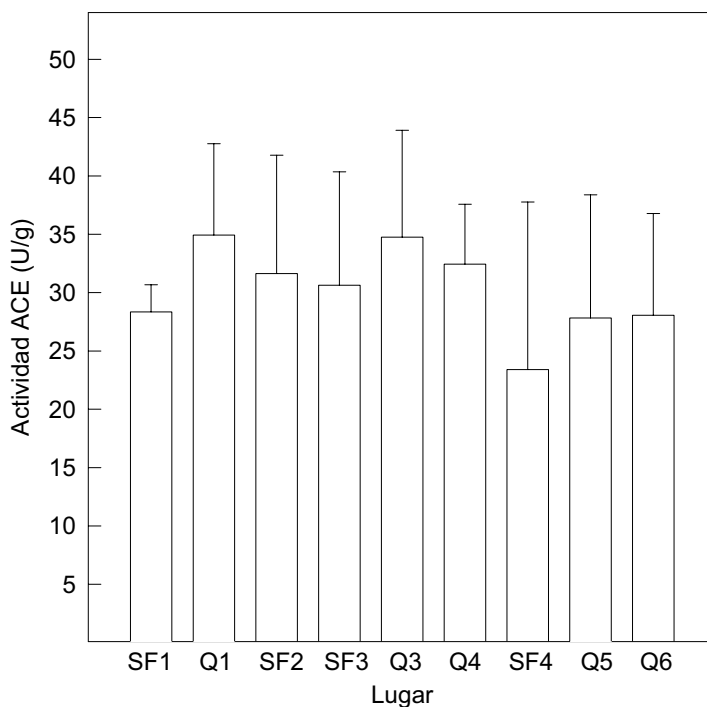


Figura 66: Comparación de la actividad de la AChE registrada en muestras de cerebro de *Z. Capensis*, colectadas en diferentes localidades.

SANGRE. Los mayores valores de actividad de AChE se registraron en el mes de NOV04 (promedio = 4.449), los que difieren significativamente de los registrados en los otros meses de muestreo de esta especie, particularmente con aquellos tomados en DIC01 y ENE02 (280 y 909 respectivamente) ($F_{8,68} = 6,24$; $p < 0.001$. Fig. 67)

Al comparar entre lugares, se encontró que Quillota 6 mostró el valor más alto y San Felipe 1 el valor más bajo ($F_{8,68} = 6,05$; $p < 0.001$. Fig. 68).

b) *Troglodytes aedon*

CEREBRO. Los valores de actividad AChE difieren significativamente entre fechas de muestreo de esta especie, observándose los menores valores en el mes de OCT04 al igual que para la especie anterior ($F_{6,26} = 5,92$; $p < 0.001$. Fig. 69).

Al comparar entre lugares, no se encontraron diferencias significativas ($F_{8,25} = 1,24$; $p = 0.313$. Fig. 70)

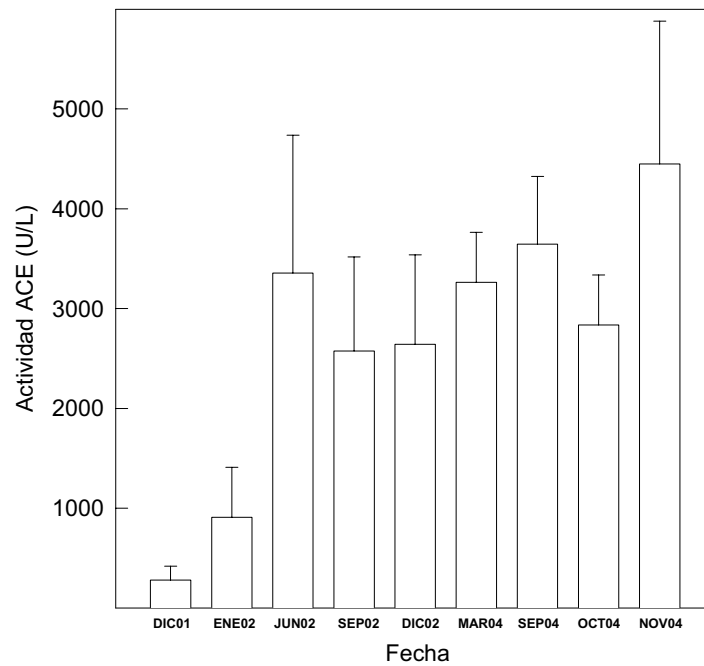


Figura 67: Comparación de la actividad de la AChE registrada en muestras de sangre de *Z. Capensis*, colectadas en diferentes fechas.

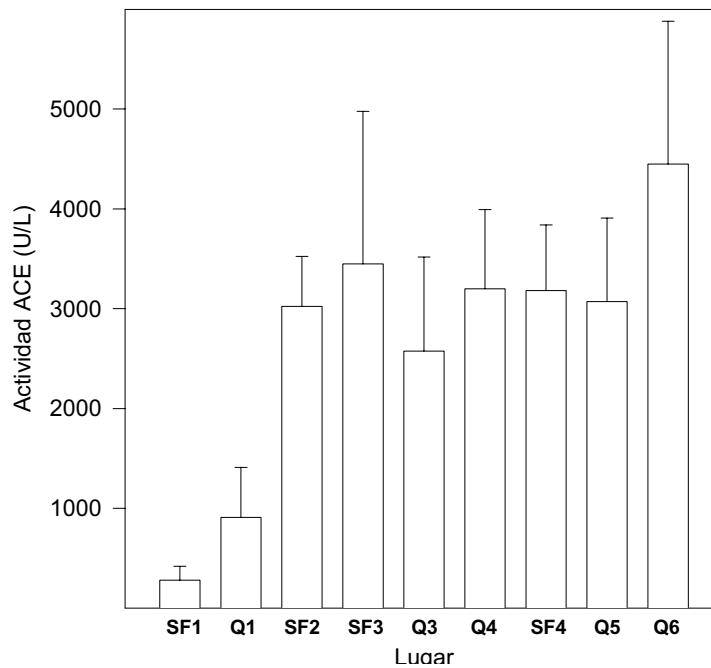


Figura 68: Comparación de la actividad de la AChE registrada en muestras de sangre de *Z. Capensis*, colectadas en diferentes localidades.

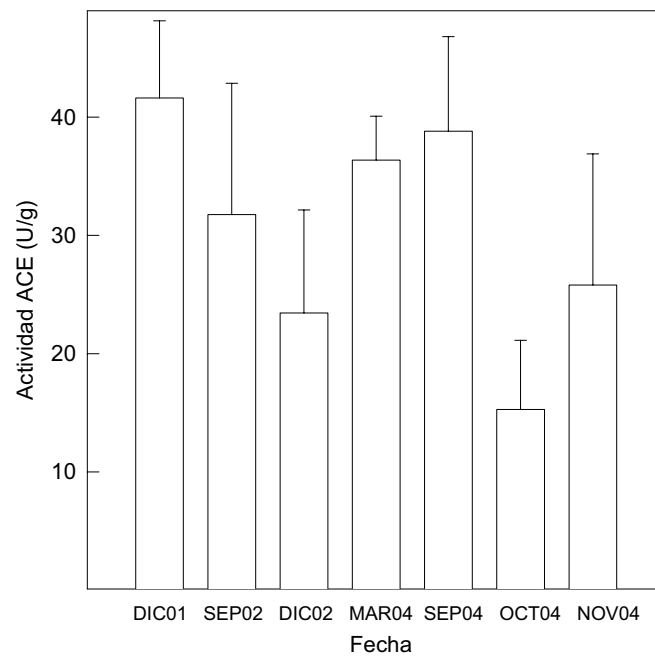


Figura 69: Comparación de la actividad de la AChE registrada en muestras de cerebro de *T. Aedon* colectadas en diferentes fechas.

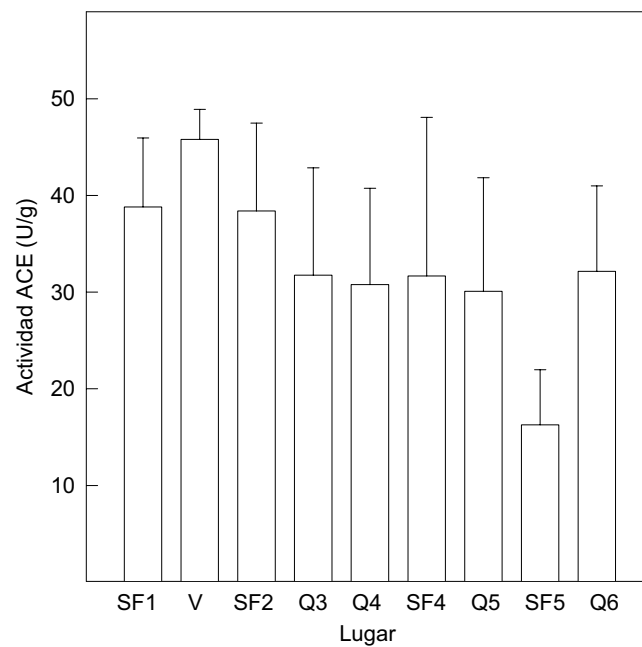


Figura 70: Comparación de la actividad de la AChE registrada en muestras de cerebro de *T. Aedon* colectadas en diferentes localidades.

SANGRE. El análisis de la actividad de ACE en sangre, considerando la fecha, diferencias significativas entre épocas, siendo DIC01 el mes con el menor valor y DIC02 con el mayor. ($F_{5,14} = 16,46$; $p < 0.001$. Fig. 71)

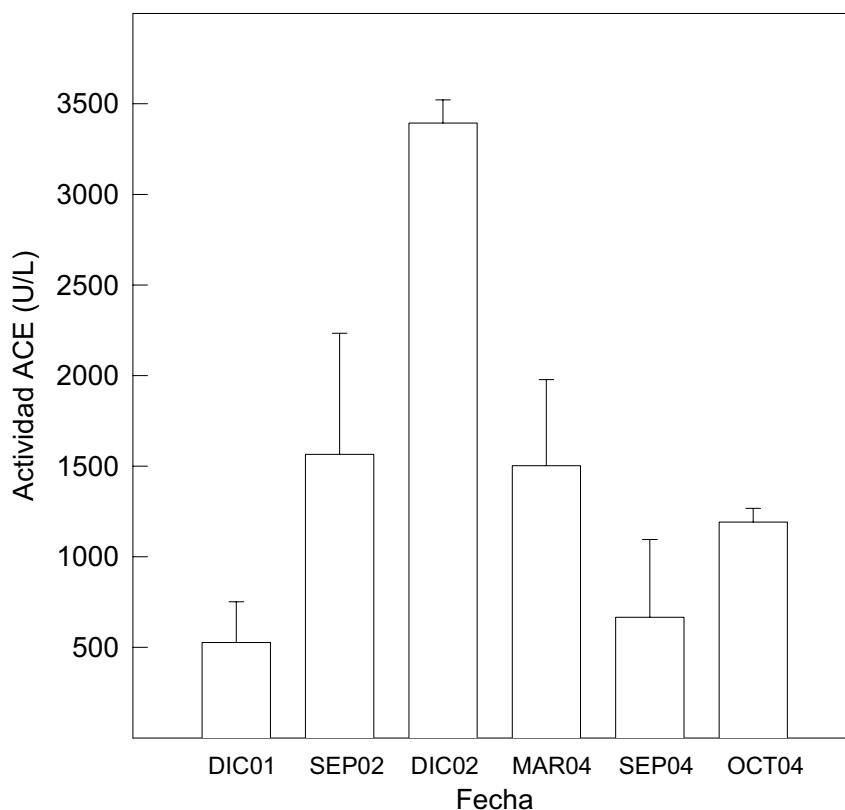


Figura 71: Comparación de la actividad de la AChE registrada en muestras de sangre de *T. Aedon* colectadas en distintas fechas.

Al comparar entre lugares se encontraron los mayores valores para Quillota 3 y 4 y el menor para San Felipe1. Estas diferencias también fueron significativas ($F_{5,14} = 2,89$; $p < 0.05$. Fig. 72).

En relación con estos resultados, hay que hacer notar que ambas especies mostraron diferencias significativas en sangre, tanto entre lugares como entre fechas, mientras que para cerebro, las diferencias sólo se dieron entre fechas. Bajo el supuesto de una mayor estabilidad de los valores obtenidos en cerebro, dada la mayor variabilidad en los datos de sangre, se podría afirmar que las diferencias tienen que ver principalmente con los períodos de aplicación y que son independientes de los lugares donde se realizó la misma.

Los valores de actividad de AChE en cerebro, fueron los menores en octubre para ambas, tendiendo a aumentar hacia el verano.

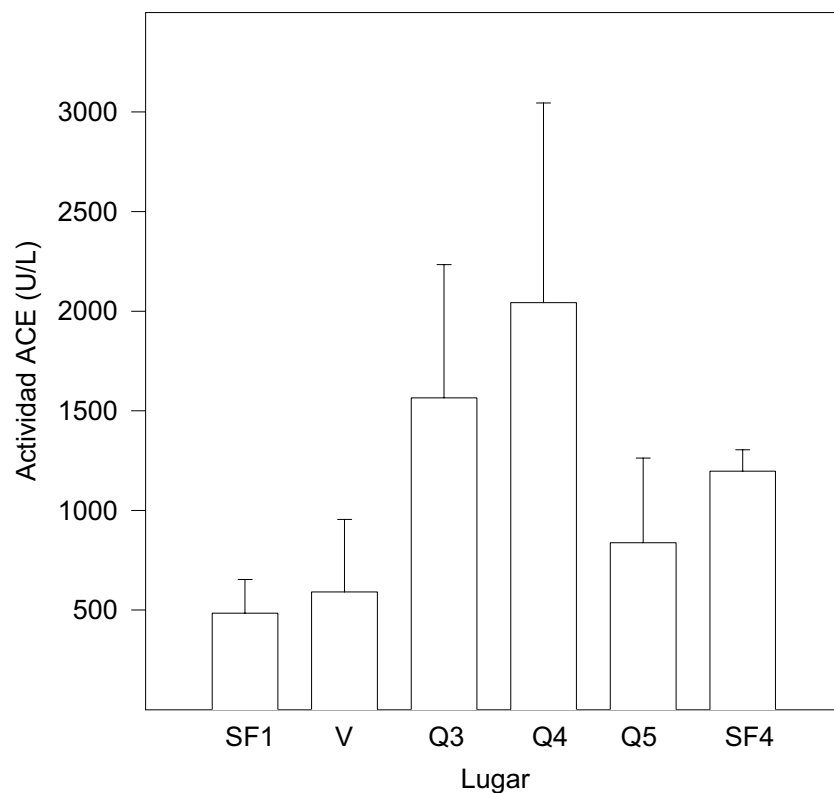


Figura 72: Comparación de la actividad de la AChE registrada en muestras de sangre de *T. Aedon*, provenientes de diferentes localidades.

Fue aparente que los valores **más bajos** de actividad de la AChE en todos los taxa, considerando aves, roedores y anuros, se obtuvieron hacia los meses de **septiembre y octubre** y los mayores en los meses de verano. En cuanto a los lugares, la **vagilidad** (capacidad de movimiento) de las aves hace difícil cualquier interpretación de resultados asociados a lugares puntuales, siendo esperable la ausencia de diferencias para ambas especies. Por el contrario, con roedores y anuros, que por su naturaleza están mayormente asociados a sectores restringidos, se puede suponer que dada su restricción en cuanto a desplazamientos de gran magnitud en un corto plazo, puedan verse mayormente afectados por una aplicación local de plaguicidas organofosforados y carbamatos.

8.4 CONCLUSIONES

- El efecto nocivo para la fauna de los plaguicidas ha sido extensamente documentado en la literatura. En particular, el efecto inhibitorio de productos organofosforados y carbamatos en la actividad de la acetilcolinesterasa en el sistema nervioso. No obstante, muchos de estos estudios se han realizado en condiciones controladas de laboratorio.
- La determinación de los efectos de plaguicidas en la fauna silvestre no es fácil, ya que múltiples factores pueden incidir en las mediciones que se realicen, tales como capacidad migratoria de los organismos, ubicación de los hábitats preferentes, tamaño del ámbito de hogar, época del año, características conductuales de los organismos, etc. Así, por ejemplo, los resultados obtenidos en este estudio sugieren que las variables fecha y lugar, influyen en los resultados de la actividad de la AChE en los taxa estudiados, lo cual puede reflejar más que diferencias absolutas, distintos protocolos temporales de aplicación de los productos en los sitios muestreados.
- Es así, que se requiere una exacta sincronización entre las fechas de aplicación y la realización de los muestreos a fin de obtener resultados que revelen confiablemente el efecto de los biocidas, los cuales son rápidamente metabolizados en aves y mamíferos. Sin embargo, la coordinación requerida es difícil de establecer, ya que la mayor parte de las aplicaciones de plaguicidas se realiza atendiendo al estado fenológico de los cultivos y no de acuerdo a un programa estrictamente cronológico.
- Como se mencionaba arriba, otro aspecto a considerar es la movilidad, características de forrajeo y utilización del espacio de las distintas especies. En particular, anfibios y roedores por su menor vagilidad, pueden mostrar diferencias entre lugares atribuibles a su cercanía con sitios de aplicación. En las aves esto no es posible dada su alta vagilidad. Dentro de estos tópicos, hay que considerar además, que aspectos conductuales pueden influir en la emigración progresiva y en la disminución de las poblaciones de vertebrados en sitios de manejo intensivo de cultivos. De esta forma es costoso aumentar los tamaños muestrales y puede suceder que a pesar de coordinar exitosamente los muestreos con momentos de aplicación, las poblaciones no sean lo suficientemente densas para alcanzar una muestra adecuada sin afectarlas gravemente.
- En cuanto a las características de forrajeo y dieta, aquellas especies con un repertorio trófico relativo más amplio (como *Z. capensis* con respecto a *T. aedon* y *P. tahul* con respecto a *X. laevis*) pueden estar expuestas y ser afectadas de manera diferente a lo que ocurre en especies con hábitos más especializados.
- En particular, en una primera instancia de análisis, los resultados obtenidos son evidencia que el trabajo con biomarcadores es posible y realizable. Como se indicó, los datos sugieren diferentes grados de exposición a plaguicidas en los taxa estudiados, que dependen de los lugares y fechas de muestreo. Esto puede reflejar diferentes intensidades temporales y espaciales de aplicación, de acuerdo al tipo de cultivo y/o características ambientales de escurrimiento o diseminación de los plaguicidas.

- En general, se desprende del estudio realizado la necesidad de establecer valores de referencia para la actividad de la AChE en los taxa que se utilicen como biomarcadores en el futuro, a fin de poder establecer efectos absolutos de los plaguicidas en la fauna silvestre. Dada la escasez de sitios sin efectos agroindustriales, se requiere que la determinación de estos valores referenciales se realice inicialmente en condiciones controladas de laboratorio y posteriormente, en el medio natural. Al respecto, hay que considerar que las bajas densidades de fauna fueron una constante durante el estudio y por tanto, los taxa que podrían usarse con mayor seguridad son las aves, aún cuando debido a su alta vagilidad, no sean los mejores para reflejar los efectos de plaguicidas. Como corolario, se desprende de esto, la necesidad de muestreos previos de fauna, especialmente de roedores cosmopolitas que tienden a invadir algunos cultivos, cuando se requiera usar bioindicadores en terreno. La presencia del anuro *Xenopus laevis* podría ser considerada cuando se quiera registrar algún nivel de contaminación en cuerpos de agua asociados a cultivos.
- Por otra parte, se hace necesaria una estrecha coordinación con los productores, a fin de realizar los muestreos en periodos de tiempo simultáneos e inmediatamente posteriores a las aplicaciones en que los animales sean susceptibles al efecto de los plaguicidas.

8.5 REFERENCIAS

KREBS, CH. J. (1999). Ecological Methodology. Edit. Addison Wesley Longman, Inc. USA & Canada. 2nd Edition.

CAPÍTULO 9: RESULTADOS DE LA MODELACIÓN DE CALIDAD DE AGUAS SUPERFICIALES Y SUBTERRÁNEAS

Los modelos de calidad de aguas superficiales y subterráneas, se manejan casi de manera independiente, sólo conectados por algunas condiciones de borde de concentración de los parámetros de calidad. Para ambos modelos se contó con valores de escorrentía y de recarga provenientes de un modelo operacional preexistente y se manejan a una escala mensual.

El trabajo se enfocó a implementar los modelos de calidad y calibrarlos en el período septiembre-diciembre de 2004, pero considerando 14 años de información de recargas y demandas.

Como resultado, se obtuvo una caracterización cuantitativa, cualitativa y gráfica (en SIG) tanto de la calidad del río Aconcagua, como del estado actual de la calidad de las aguas subterráneas del valle.

9.1 IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO QUAL2Kw

9.1.1 Introducción

El río Aconcagua a lo largo de su recorrido recibe diversas descargas de caudal, algunas puntuales y otras difusas, algunas producto de la escorrentía natural sobre la cuenca y otras producto de las alteraciones antrópicas que actualmente ejercen efectos sobre ella, tales como las descargas de las aguas servidas generadas en algunos de los centros urbanos o los residuos industriales líquidos (riles) de algunos de las industrias ubicadas en la cuenca.

El objetivo de esta sección es implementar un modelo de calidad de aguas superficiales, que describa el comportamiento de un segmento del río Aconcagua ante las descargas que recibe, y que permita predecir la calidad del agua en diversos puntos del río.

Mediante la aplicación del modelo Qual2Kw, descrito en el Tomo I del presente informe, se simula el comportamiento del cuerpo de agua receptor, prediciendo tanto la calidad microbiológica como las concentraciones de oxígeno disuelto y de otros constituyentes. Las sustancias que serán modeladas son las siguientes:

1. Oxígeno disuelto
2. DBO
3. Conductividad eléctrica.
4. pH
5. Temperatura
6. Coliformes fecales
7. Cobre
8. Manganeseo

Las constantes cinéticas que describen los procesos de autopurificación, serán determinadas mediante la Calibración del modelo.

9.1.2 Descripción del Sistema y Área de Estudio

El sistema modelado corresponde a una parte de la cuenca del río Aconcagua, desde su junta con el río Putaendo hasta la confluencia con el estero San Isidro. Esta sección de análisis fue determinada en conjunto por la Universidad Mayor y el SAG, pues fue considerado como el área de mayor vulnerabilidad a la contaminación de acuerdo a las concentraciones analizadas de algunos pesticidas (en campañas anteriores a las realizadas en el presente trabajo entre septiembre y diciembre de 2004).

Administrativamente el río Aconcagua se divide en cuatro secciones. La primera sección va desde su unión, en la junta de los ríos Juncal y Blanco, hasta aguas arriba del río Putaendo. La segunda sección va desde el río Putaendo hasta aguas abajo del estero Romeral o Los Loros. La tercera sección va desde la junta con el estero Los Loros hasta el estero San Isidro. La cuarta sección va desde aguas abajo del estero San Isidro hasta la desembocadura del río Aconcagua en el mar. De acuerdo a lo anterior, el área seleccionada para aplicar una modelación de calidad de aguas superficial y subterránea se encuentra comprendida íntegramente en las secciones administrativas 2 y 3 de la cuenca del río Aconcagua.

En la figura 73, se observa el área de estudio donde se aplicaron los modelos de calidad de aguas superficiales y subterráneas.

A continuación se describe brevemente el funcionamiento de las secciones administrativas 2 y 3 de la cuenca del río Aconcagua.

En la segunda sección, el río Aconcagua recibe los aportes del estero Quilpué, del río Putaendo, del estero Lo Campo, del estero Catemu y del estero Romeral (Los Loros). También en esta sección se producen grandes recuperaciones desde la napa subterránea, las cuales incrementan el caudal del río. Estas recuperaciones son una parte muy importante de los recursos superficiales de esta sección del río. En esta sección existen una serie de canales de riego, además del canal Las Vegas para fines de agua potable.

En la tercera sección, el río Aconcagua recibe los aportes del estero Rabuco, del estero Los Litres y del estero San Isidro. También en esta sección se producen recuperaciones desde la napa subterránea a lo largo del recorrido del río. En esta sección se encuentran las bocatomas de varios canales para uso en riego, entre los cuales destacan El Melón, Pequenes, Ocoa, Purutún, Waddington, Ovalle, Serrano, Mauco y Rautén. Aquí también se producen las descargas antrópicas más significantes: aguas servidas de la ciudad de Quillota, la industria de algas marinas “Algamar” y las termoeléctricas Nehuenco y San Isidro.

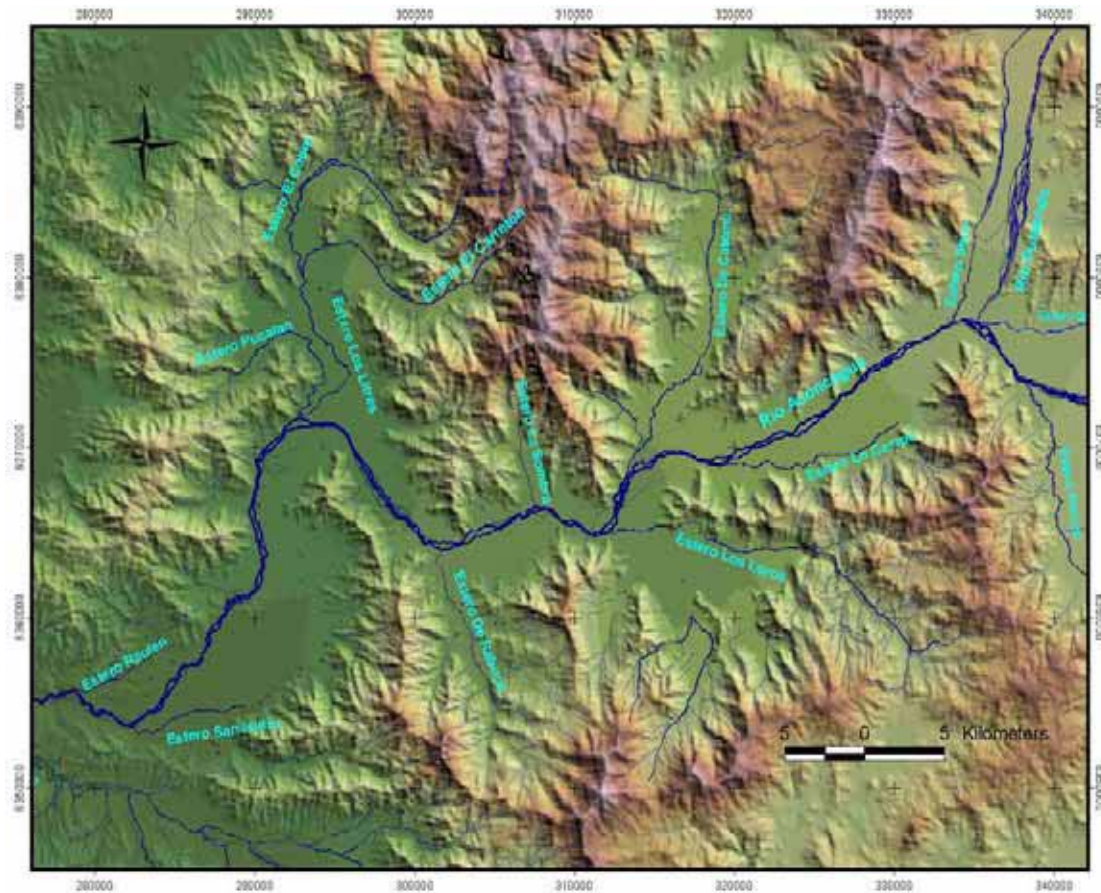


Figura 73: Área de estudio seleccionada para la modelación

9.1.3 Recopilación de Antecedentes

Para la aplicación del modelo de calidad de aguas, es necesario contar con los datos de caudal en la cabecera del sistema analizado junto con los caudales descargados al río por los distintos afluentes (esteros y descargas puntuales), así como los caudales extraídos para distintos usos.

Por otra parte, también es necesario conocer la calidad de aguas en la cabecera del sistema y en cada una de las descargas y extracciones que ocurren a lo largo del recorrido del río y de esta forma, poder representar adecuadamente las variaciones en las concentraciones de los parámetros modelados.

9.1.3.1 Supuestos básicos y definición de la escala temporal

El primer supuesto básico para la aplicación del modelo Qual2Kw, es que existen condiciones *steady-state* (estado permanente) en el curso de agua durante cada uno de los meses que serán simulados. Este supuesto nos permite considerar los valores medios mensuales, en cada uno de los tramos del río como valores representativos de lo que ocurre, en términos de flujo, en dichos tramos durante cada uno de los meses de estudio. Los meses seleccionados por el SAG durante el

transcurso del presente proyecto, fueron; por distintas razones; septiembre, noviembre y diciembre de 2004.

El otro supuesto básico, es que existe mezcla completa de los contaminantes en la cada sección transversal del río. Este supuesto nos permite asumir que las principales variaciones en las concentraciones de los contaminantes simulados se producirán solamente en una dirección: a través del eje longitudinal del río.

Obviamente, un sistema hidrológico tan complejo como la cuenca del río Aconcagua, donde existen un sinnúmero de extracciones y descargas que varían día a día, junto con los flujos pasantes, debido sólo a fenómenos naturales (precipitaciones, percolaciones, evaporaciones, etc) no se encuentra en condiciones de *steady-state*, como así tampoco en estricto rigor se cumple la mezcla perfecta en la dirección transversal al flujo, ambos supuestos fueron asumidos para permitir una modelación unidimensional de la calidad de aguas del río, que sirva como una primera aproximación al comportamiento real, en caso de que los valores simulados efectivamente representen a los valores medidos en terreno, o bien, permita descartar definitivamente este tipo de simulaciones para dar paso a una simulación bi o tridimensional mucho más compleja.

9.1.3.2 Información de caudales

Como se mencionó anteriormente, Qual2Kw requiere los valores de los caudales tanto en la cabecera del sistema, como en cada uno de los puntos de descarga y de extracción que se encuentran a lo largo del recorrido del río. Debido a que para determinar en forma precisa dichos caudales es necesario contar, para cada mes, con una serie de mediciones lo más larga posible en cada uno de los puntos mencionados anteriormente, se recurrió en primer lugar a las mediciones de caudal disponibles en las estaciones fluviométricas de la DGA, las cuales se muestran en la Figura 74, encontrando que actualmente sólo están vigentes las siguientes estaciones fluviométricas en el área de estudio o en su vecindad:

- Río Aconcagua en San Felipe
- Estero Catemu en puente Santa Rosa
- Canal Las Vegas en Bocatoma
- Río Aconcagua en Romeral

Para complementar la información anterior, se realizaron 2 campañas de aforos en distintos puntos del río Aconcagua, durante los meses de octubre y diciembre de 2004. Las secciones de aforo se muestran en la Figura 75, y los resultados de dichos aforos en la Tabla 32 y en la Figura 76. El *Anexo A.1 "Campaña de Aforos, Sept-Dic 2004"* describe detalladamente la metodología con la que se realizaron dichos aforos y la metodología de cálculo del valor del caudal en cada uno de dichos puntos.

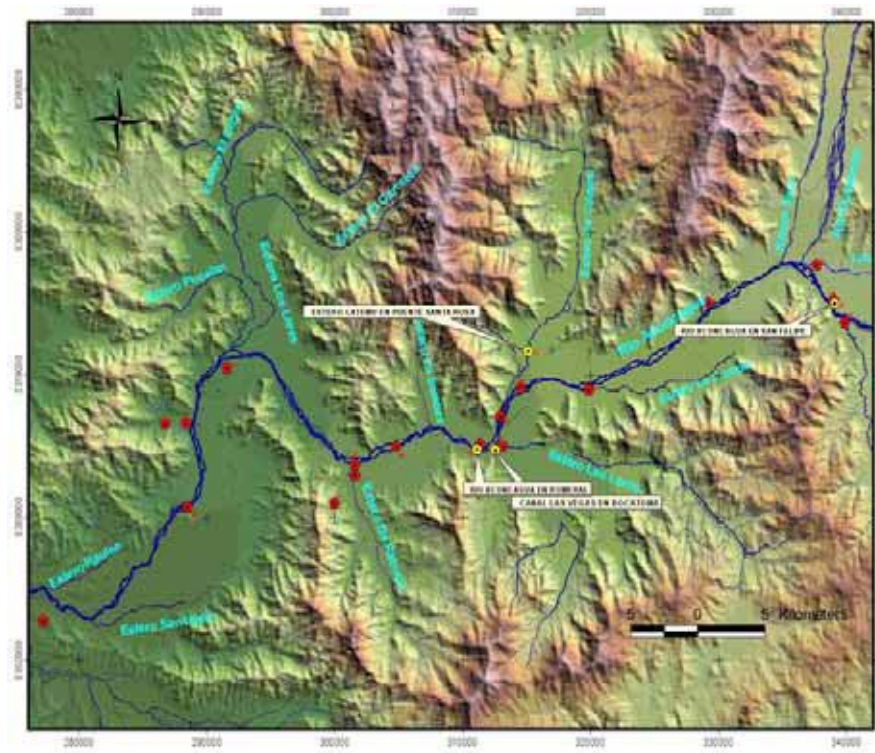


Figura 74: Ubicación espacial de las estaciones fluviométricas consideradas para el presente estudio

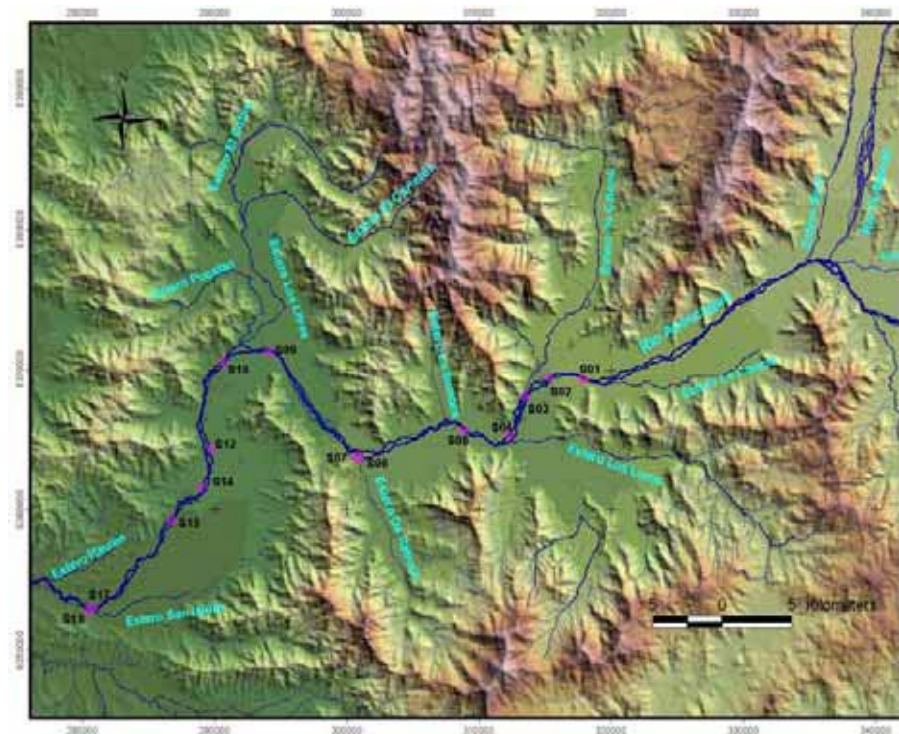


Figura 75: Ubicación espacial de los puntos aforados en las campañas realizadas en octubre (Campaña 1) y diciembre de 2004 (Campaña 2)

Tabla 32: Resultados de la campaña de aforos realizadas en octubre y diciembre de 2004

Sección	Nombre	Nº de Brazos	Ancho, [m]	Q, [l/s]	Q, [l/s]
S01	Río Aconcagua antes de fundición Chagres	19/12/2004	16,6 18,25 y 3	6.548	17.148
S02	Río Aconcagua antes de junta con estero Catemu			6.350	16.628
S03	Río Aconcagua después de junta con estero Catemu			7.399	21.581
S04	Aconcagua cerca de Estero Los Loros			6.822	17.866
S05	Río Aconcagua antes de Estero La Sombra	19/12/2004	8,7 23,7 y 12,7	5.650	13.520
S06	Río Aconcagua antes de Estero Rabuco	19/12/2004	15,7 y 9,2	1.319	5.427
S07	Río Aconcagua después de Estero Rabuco	19/12/2004	27,1 y 12,8	1.255	5.860
S09	Río Aconcagua en La Calera	18/12/2004	14	802	1.895
S10	Río Aconcagua después de La Calera	18/12/2004	51	1.745	6.682
S12	Río Aconcagua después de Canal Mauco	18/12/2004	27 y 4	1.269	4.747
S14	Río Aconcagua antes de Quillota	18/12/2004	30	1.964	6.110
S15	Río Aconcagua después de Quillota	18/12/2004	18,5	1.004	5.750
S17	Río Aconcagua antes de Estero San Isidro	38339	23,3	328	4.627
S18	Río Aconcagua después de Estero San Isidro	38339	24,11	2.673	4.792

Caudales Aforados Río Aconcagua

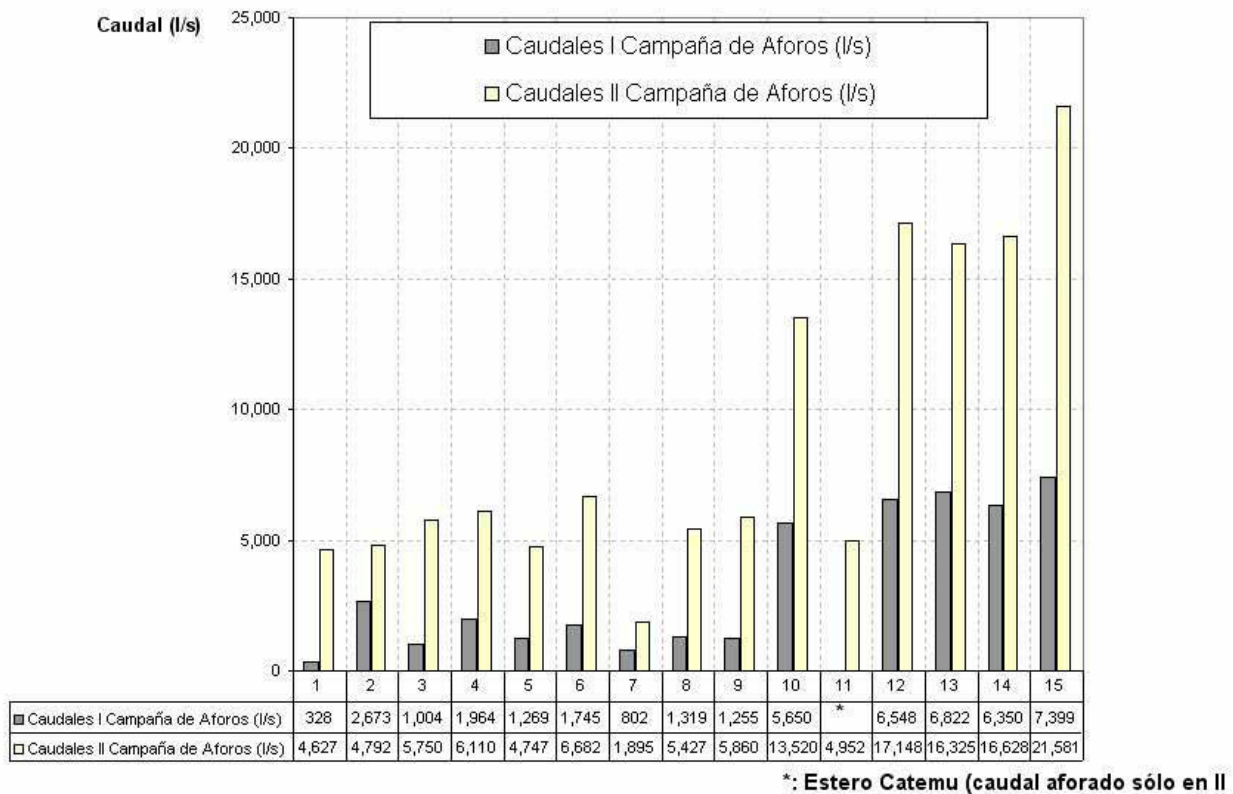


Figura 76: Gráfico de los resultados de las campañas de aforos realizadas en octubre (Campaña I) y diciembre (Campaña II) de 2004

Es necesario hacer notar que un aforo puntual durante un mes, no puede considerarse representativo del caudal medio en el punto de medición, pero fue lo único que se pudo realizar dentro del período de estudio y los valores obtenidos fueron utilizados en forma referencial, durante la determinación de los caudales finalmente considerados. Sin embargo, las campañas de aforo permitieron constatar en terreno, los grandes cambios morfológicos que experimenta el río Aconcagua desde octubre a diciembre, pues en este último mes, tal como se aprecia en la figura 76, el caudal en casi todas las secciones aforadas había aumentado en más de un 50%, lo cual influyó notablemente en el cauce del río, pues en muchas partes los brazos existentes sólo aumentaron su perímetro mojado, en otras modificaron su lugar de escurrimiento, y en otras, definitivamente modificaron completamente la forma de las secciones transversales observadas en el mes de octubre.

Debido a que la información de caudales proporcionada por las estaciones fluviométricas y por las dos campañas de aforo, no es suficiente para alimentar el modelo de calidad, se decidió utilizar como datos de entrada para dicho modelo de calidad los caudales generados por el modelo de escorrentía superficial del estudio “*Modelo de Simulación Hidrogeológico Valle del Río Aconcagua*”, realizado por Ingendesa, con la asesoría de AC Ingenieros Consultores, en Marzo de 1998. Dicho modelo actualmente es utilizado y actualizado por la Dirección General de Aguas, la cual facilitó los resultados calibrados para el período 1950-1998.

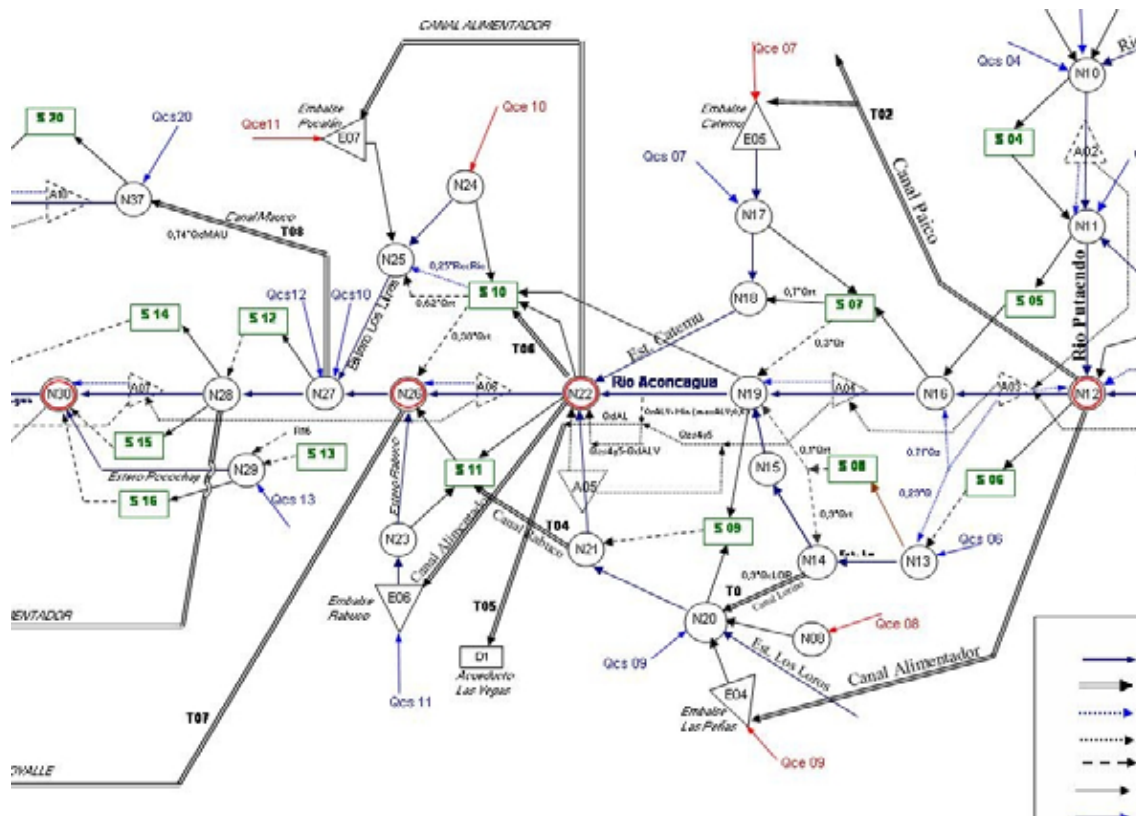


Figura 77: Parte del esquema topológico del modelo MOS de la DGA comprendida dentro del área de estudio.

La Figura 77 muestra aquella parte del esquema topológico del modelo MOS de la DGA que representa el área de estudio. A partir de dicha figura, y del estudio detallado del funcionamiento del sistema, los caudales que intervienen en la simulación son los que se muestran en la Tabla 33. A su vez, la Figura 78 muestra la ubicación de los nodos considerados en el modelo dentro de la cuenca real, junto con la delimitación de los sectores acuíferos considerada para dicho modelo

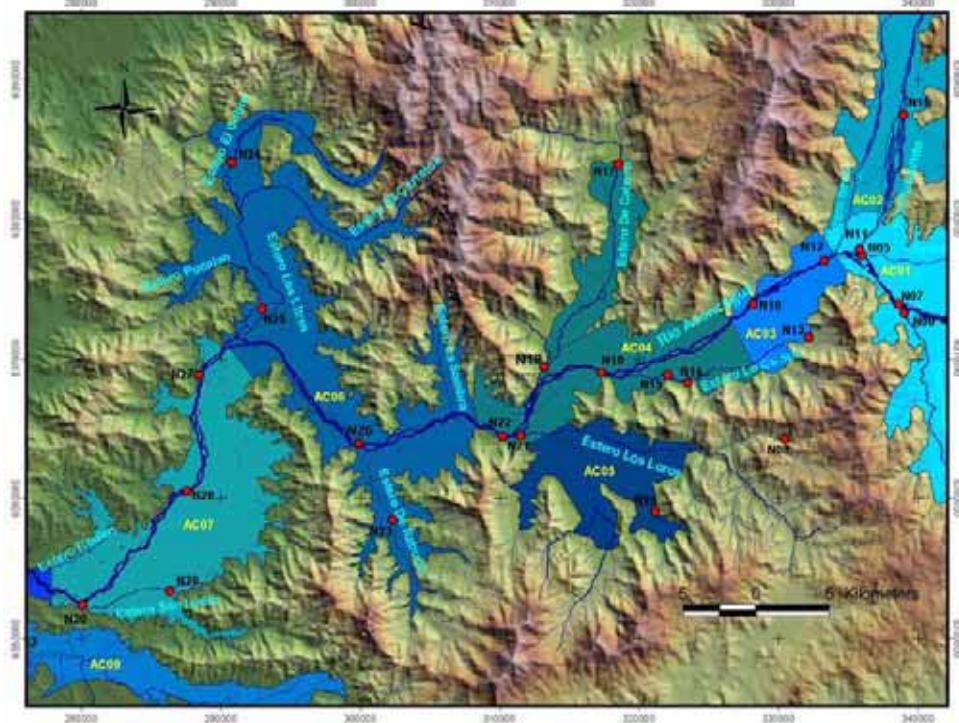


Figura 78: Ubicación de los nodos y delimitación de acuíferos considerados en el modelo MOS de la DGA.

Tabla 33: Identificación y descripción de los caudales utilizados del modelo MOS de la D.G.A.

NODO	ID	Descripción
NO-11	Qafl[11]	Caudal afluente al nodo 11.
NO-11	Qcni[05]	Caudal de entrega del nodo 11 al sector de riego S05
NO-11	Qper[11]	Caudal de percolación en el nodo 11
NO-11	Qsbn[11]	Caudal sobrante en el nodo 11
NO-12	Qsbn[7]	Caudal sobrante en el nodo 7
NO-12	Acu[3].Qzve	Caudal de afloramiento en al sección de entrada del acuífero 3
NO-12	Acu[1].Qzv	Caudal de afloramiento del acuífero 1
NO-12	Cnl[06]	Caudal captado por los canales que abastecen al sector de riego S06.
NO-12	Qper[12]	Caudal de percolación en el nodo 12

NODO	ID	Descripción
NO-12	Qsbn[12]	Caudal sobrante en el nodo 12
NO-16	Qrt[05]	Caudal de retorno del sector de riego S05.
NO-16	Acu[3].qzv*	71% del afloramiento del Acuífero 3.
NO-16	Qcnl[07]	Caudal captado por los canales que abastecen al sector de riego S07.
NO-16	Qper[16]	Caudal de percolación en el nodo 16
NO-16	Qsbn[16]	Caudal sobrante en el nodo 16
NO-19	Qsbn[15]	Caudal sobrante en el nodo 15, corresponde al estero Lo Campo en desembocadura
NO-19	Qrt[07]*	30% del caudal de retorno del sector de riego S07.
NO-19	Qrt[08]*	10% del caudal de retorno del sector de riego S08.
NO-19	Acu[4].Qzv	Afloramiento del Acuífero 3.
NO-19	Cnl[09]	Caudal captado por los canales que abastecen al sector de riego S09
NO-19	Cnl[10a]	Caudal captado por los canales que abastecen al sector de riego S10A (La Sombra, Romeral y Enrique Correa)
NO-19	QrALV	Agua cruda para el acueducto de Las Vegas
NO-19	Qzs4y5	Suma de los caudales subterráneos de salida de los Acuíferos 4 y 5
NO-19	QdALV	Agua captada por el dren Las Vegas desde Qzs4y5
NO-19	QcALV	Agua total captada por el dren Las Vegas
NO-19	Qper[19]	Caudal de percolación en el nodo 19
NO-19	Qsbn[19]	Caudal sobrante en el nodo 19
NO-22	Qsbn[21]	Caudal sobrante en el nodo 21, corresponde al estero Los Loros en desembocadura
NO-22	Qsbn[18]	Caudal sobrante en el nodo 18, corresponde al estero Catemu en desembocadura
NO-22	Acu[5].qzv	Afloramiento del Acuífero 5 más el caudal subterráneo de salida de los acuíferos 4 y 5 que no pudo ser captado por el acueducto Las Vegas por falta de capacidad.
NO-22	Qzs4y5-QdALV	Caudal subterráneo de salida de los acuíferos 4 y 5 que no pudo ser captado por el acueducto Las Vegas por falta de capacidad.
NO-22	QcMEL	Caudal captado por el posible embalse Melón.
NO-22	Qcnl[10]	Caudal captado por los canales que abastecen al sector de riego S10.
NO-22	Qcnl[11]	Caudal captado por los canales que abastecen al sector de riego S11.
NO-22	QcRBC	Caudal captado por el posible embalse Rabuco.

NODO	ID	Descripción
NO-22	QcPUC	Caudal captado por el posible embalse Pucalán.
NO-22	Qper[22]	Caudal de percolación en el nodo 22
NO-22	Qsbn[22]	Caudal sobrante en el nodo 22
NO-26	Qsbn[23]	Caudal sobrante del nodo 23, se asimila al estero Rabuco en desembocadura.
NO-26	Qrt[10]*	38% del caudal de retorno del sector de riego S10.
NO-26	Qrt[11]	Caudal de retorno del sector de riego S11.
NO-26	Acu[6].Qzv	Afloramiento del Acuífero 6.
NO-26	QcWyO	Caudal captado por los canales Waddington y Ovalle
NO-26	Qper[26]	Caudal de percolación en el nodo 19
NO-26	Qsbn[26]	Caudal sobrante en el nodo 26
NO-27	Qsbn[25]	Caudal sobrante en el nodo 15, corresponde al estero Los Litres en desembocadura
NO-27	Qcs10	Caudal de la cuenca lateral del sector 10.
NO-27	Qcs12	Caudal de la cuenca lateral del sector 12.
NO-27	QcMAU	Caudal captado por el canal Mauco
NO-27	QcSER	Caudal captado por el canal Serrano
NO-27	Qcnl[12]	Caudal captado por los canales que abastecen al sector de riego S12.
NO-27	Qcnl[13]	Caudal captado por los canales que abastecen al sector de riego S13.
NO-27	R16	Caudal de entrega del nodo 27 al nodo 29
NO-27	Qper[27]	Caudal de percolación en el nodo 27
NO-27	Qsbn[27]	Caudal sobrante en el nodo 27
NO-28	Qrt[12]	Caudal de retorno del sector de riego S12.
NO-28	Qcnl[14]	Caudal captado por los canales que abastecen al sector de riego S14.
NO-28	Qcnl[15]	Caudal captado por los canales que abastecen al sector de riego S15.
NO-28	QcARM	Caudal captado por el canal alimentador Aromos.
NO-28	Qper[28]	Caudal de percolación en el nodo 28
NO-28	Qsbn[28]	Caudal sobrante en el nodo 28, correspondiente a Boco.
NO-30	Qsbn[29]	Caudal sobrante en el nodo 29, se asimila al estero Pocochay (San Isidro) en desembocadura.
NO-30	Qrt[15]	Caudal de retorno del sector de riego S15.

NODO	ID	Descripción
NO-30	Qrt[16]	Caudal de retorno del sector de riego S16.
NO-30	Acu[7].Qzv	Afloramiento del Acuífero 7.
NO-30	Qcnl[18]	Caudal captado por los canales que abastecen al sector de riego S18.
NO-30	Qper[30]	Caudal de percolación en el nodo 30.
NO-30	Qsbn[30]	Caudal sobrante en el nodo 30. Corresponde a la estación fluviométrica Aconcagua en Tabolango.

Para utilizar los valores entregados por el estudio mencionado anteriormente, fue necesario seleccionar aquel año, dentro de todo el período histórico modelado por la DGA, que tuvo el comportamiento hidrológico más similar, en términos de cantidad de caudal, al año 2004. En particular, se analizaron los meses de septiembre, noviembre y diciembre, pues fue en ellos en los cuales se realizaron las campañas de muestreo de calidad que fueron utilizadas para la implementación del presente modelo de calidad de aguas.

El Anexo A-2 “Metodología para la Estimación del Año Hidrológico a Utilizar en el Modelo de Calidad Superficial Qual2Kw” describe detalladamente el proceso de selección del año hidrológico a utilizar en el modelo de calidad superficial, producto de lo cual se decidió utilizar el año 1994 como año representativo de los caudales del río Aconcagua en el año 2004.

Los valores de caudal obtenidos de dicho modelo, algunos en forma directa y otros luego de un laborioso desmenuzamiento, para los puntos descritos en la Tabla 33, se muestran en la Tabla 34.

Tabla 34: Valores de los flujos aportantes y de extracción consideradas en el modelo MOS para los meses de septiembre a diciembre de 1994.

ID	Caudal SEP-04	Caudal OCT-04	Caudal NOV-04	Caudal DIC-04
Qafl[11]	11,005	10,791	19,654	12,697
Qcnl[05]	0,900	0,900	0,900	0,900
Qper[11]	0,000	0,000	0,000	0,000
Qsbn[7]	7,859	7,207	18,903	22,158
Acu[3].Qzve	0,046	0,000	0,000	0,009
Acu[1].Qzv	0,000	0,000	0,000	0,000
Cnl[06]	6,400	6,400	6,400	6,400
Qper[12]	0,501	0,477	0,907	0,841
Qrt[05]	0,644	0,480	0,294	0,179
Acu[3].qzv*	5,774	5,941	6,573	6,838
Qcnl[07]	9,580	9,580	9,580	9,580

ID	Caudal SEP-04	Caudal OCT-04	Caudal NOV-04	Caudal DIC- 04
Qper[16]	0,649	0,604	1,370	1,264
Qsbn[15]	6,258	5,187	4,087	3,384
Qrt[07]*	2,171	1,771	1,304	0,917
Qrt[08]*	0,341	0,297	0,243	0,214
Acu[4].Qzv	5,231	6,019	7,731	8,399
Cnl[09]	10,240	10,240	10,240	10,240
Cnl[10a]	4,007	3,712	4,500	4,500
QrALV	0,600	0,600	0,600	0,600
Qper[19]	0,000	0,000	0,000	0,000
Qsbn[21]	7,229	6,029	4,495	3,197
Qsbn[18]	4,465	3,533	2,444	1,539
Acu[5].qzv	1,398	1,708	2,359	2,961
Qzs4y5-QdALV	0,000	0,000	0,000	0,000
QcMEL	2,500	2,011	2,500	2,500
Qcni[10]	4,924	4,171	8,485	7,414
Qcni[11]	1,856	1,572	3,385	2,794
QcRBC	0,000	0,000	0,000	0,000
QcPUC	0,000	0,000	0,000	0,000
Qper[22]	0,607	0,549	0,884	0,775
Qsbn[23]	0,000	0,000	0,000	0,000
Qrt[10]*	3,593	2,200	3,135	2,060
Qrt[11]	3,361	2,447	3,505	2,401
Acu[6].Qzv	3,360	2,969	4,868	5,486
QcWyO	5,145	4,061	5,400	5,400
Qper[26]	0,000	0,000	0,000	0,000
Qsbn[25]	6,611	4,304	6,223	4,650
Qcs10	0,126	0,008	0,000	0,000
Qcs12	0,025	0,002	0,000	0,000
QcMAU	2,500	2,500	2,500	2,500
QcSER	0,350	0,350	0,350	0,350

ID	Caudal SEP-04	Caudal OCT-04	Caudal NOV-04	Caudal DIC- 04
Qcnl[12]	0,450	0,450	0,450	0,450
Qcnl[13]	8,177	6,514	8,177	8,177
Qper[27]	0,850	0,634	1,248	0,960
Qrt[12]	0,512	0,425	0,331	0,248
Qcnl[14]	1,730	1,730	1,730	1,730
Qcnl[15]	2,600	2,600	2,600	2,600
QcARM	0,000	0,000	0,000	0,001
Qper[28]	0,586	0,288	1,030	0,702
Qsbn[29]	4,411	2,313	2,975	2,296
Qrt[15]	2,438	2,236	1,999	1,776
Qrt[16]	2,613	2,390	2,068	1,828
Acu[7].Qzv	3,267	1,520	3,710	3,679
Qcnl[18]	2,570	2,570	2,570	2,570

Debido a que el modelo mencionado anteriormente, se encuentra calibrado por la DGA en términos de caudales para el período 1950-1998, la calibración del modelo de calidad de aguas sólo consistirá en ajustar las tasas de reacción del modelo y no los caudales, de tal forma que los resultados de calidad obtenidos con el modelo Qual2Kw estén razonablemente cerca de los valores muestreados en las campañas de calidad consideradas.

Debido a que en cualquier modelo de simulación se realizan muchas simplificaciones con tal de facilitar la representación del sistema real, y el MOS de la DGA no fue la excepción, ocurre que un nodo, canal, retorno de riego, o cualquiera de los elementos modelados, en realidad representan a un grupo de elementos físicos que son agrupados con fines de modelación. Es por esto que una vez conocidos los valores de los caudales a utilizar, se procedió a ubicar cada uno de los aportes y/o extracciones mencionados en la Tabla 33 a lo largo del río, considerando como kilómetro cero la confluencia de los ríos Aconcagua y Putaendo. Dicha ubicación se llevó a cabo mediante un estudio exhaustivo del funcionamiento del modelo, el cual contó con el apoyo de las coberturas de sectores de riego, canales, estaciones fluviométricas y de calidad que poseía el consultor. El resultado se muestra en la Tabla 35.

Cabe mencionar que los sectores donde se ubican los afloramientos de los acuíferos 3, 4, 5, 6 y 7 en una primera instancia fueron determinados utilizando el modelo subterráneo proporcionado por la DGA, de acuerdo al procedimiento descrito en el *Anexo A-3 “Metodología para la Estimación de los Lugares de Afloramiento en el Río Aconcagua”*.y posteriormente fueron levemente ajustados para representar de mejor forma el criterio del presente consultor.

Tabla 35: Valores de los flujos aportantes y de extracción consideradas en el modelo MOS para los meses de septiembre a diciembre de 1994.

N°	ID	KM	N°	ID	KM
1	Qafl[11]	0,0	28	QcRBC	29,2
2	Qcnl[05]	0,1	29	QcPUC	29,2
3	Qper[11]	2,4	30	Qper[22]	38,9
4	Qsbn[7]	2,5	31	Qsbn[23]	39,5
5	Acu[3].Qzve	0 – 2,4	32	Qrt[10]*	40,1
6	Acu[1].Qzv	0 – 2,4	33	Qrt[11]	40,1
7	Cnl[06]	2,5	34	Acu[6].Qzv	30,0 -36,5
8	Qper[12]	7,9	35	QcWyO	43,8
9	Qrt[05]	8,2	36	Qper[26]	54,6
10	Acu[3].qzv*	4,0 – 6,0	37	Qsbn[25]	51,6
11	Qcnl[07]	9,7	38	Qcs10	54,7
12	Qper[16]	19,8	39	Qcs12	54,7
13	Qsbn[15]	19,9	40	QcMAU	55,0
14	Qrt[07]*	16,4	41	QcSER	55,0
15	Qrt[08]*	16,4	42	Qcnl[12]	55,0
16	Acu[4].Qzv	16,5 – 18,5	43	Qcnl[13]	57,9
17	Cnl[09]	20,0	44	Qper[27]	63,3
18	Cnl[10a]	24,2	45	Qrt[12]	63,4
19	QrALV	27,6	46	Qcnl[14]	63,6
20	Qper[19]	28,9	47	Qcnl[15]	63,6
21	Qsbn[21]	29,1	48	QcARM	63,6
22	Qsbn[18]	24,4	49	Qper[28]	68,4
23	Acu[5].qzv	27,7 – 29,0	50	Qsbn[29]	74,3
24	Qzs4y5-QdALV	29,1	51	Qrt[15]	74,2
25	QcMEL	37,1	52	Qrt[16]	74,2
26	Qcnl[10]	37,1	53	Acu[7].Qzv	71,0 – 73,9
27	Qcnl[11]	29,2	54	Qcnl[18]	74,3

9.1.3.3 Información de calidad de aguas

9.1.3.3.1 Estaciones DGA

Las estaciones de calidad de aguas de la D.G.A. Que se encuentran vigentes dentro del área de estudio son:

- Estero Catemu en Catemu
- Estero Las Vegas en desembocadura
- Estero Los Litres antes del río Aconcagua
- Río Aconcagua en Las Tinajas

La Figura 79 muestra la ubicación espacial de dichas estaciones en la cuenca del río Aconcagua.

Lamentablemente, hasta la fecha del presente estudio, las estaciones seleccionadas sólo poseían información hasta enero de 2004, por lo cual no fue posible utilizar la información proporcionada por ellas.

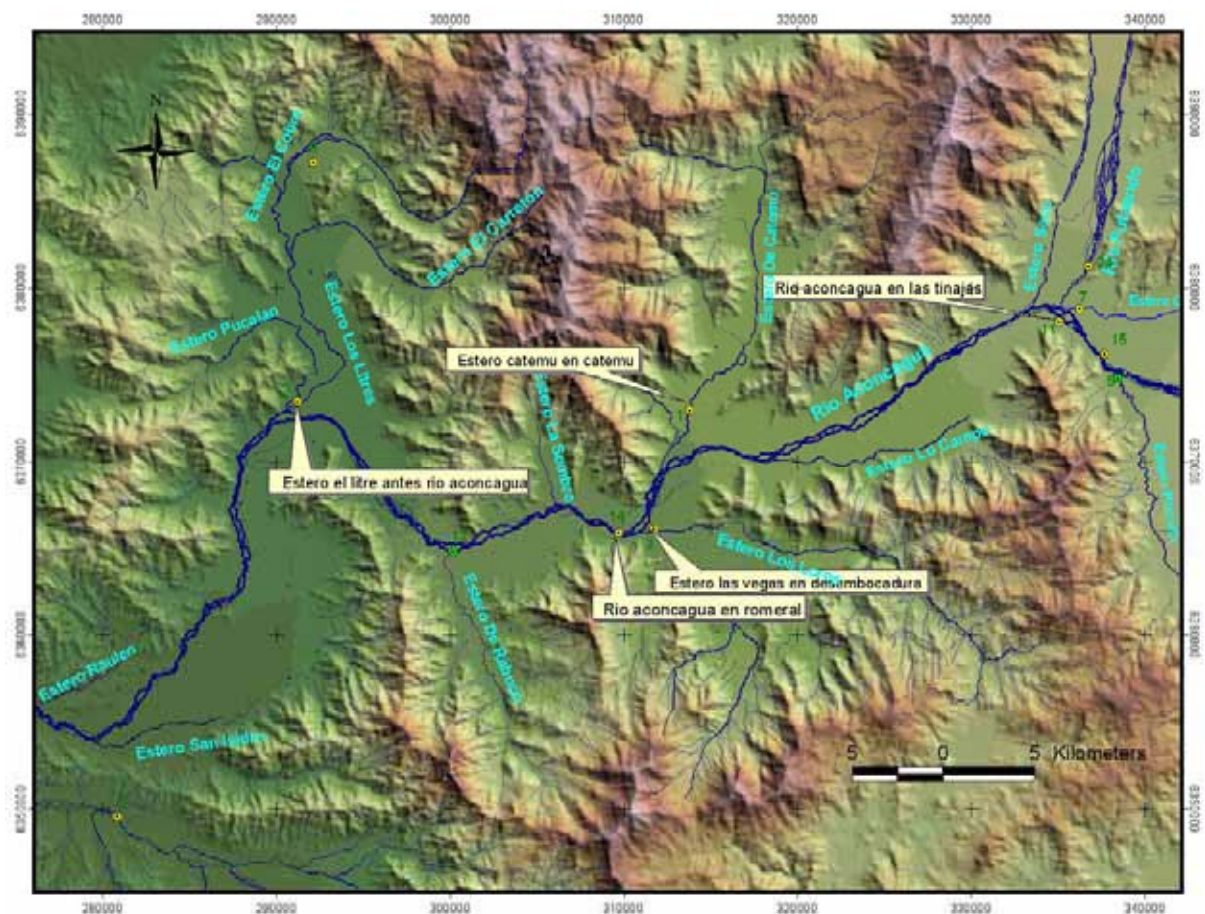


Figura 79: Ubicación espacial de las estaciones de calidad de aguas de la DGA consideradas para este estudio (en amarillo).

9.1.3.3.2 Campañas U. Mayor

Los datos de calidad de aguas utilizados en el modelo fueron recopilados en tres campañas de terreno, realizadas en los meses de octubre, noviembre y diciembre de 2004 por personal de la universidad Mayor. De dichas campañas sólo se utilizaron los 26 puntos de muestreo que estaban presentes en todas las campañas. No se utilizaron los datos recopilados en campañas anteriores por la misma institución, debido a que no fueron realizados en todos los puntos requeridos por el modelo de calidad.

Los puntos muestreados en el río Aconcagua se muestran en la Tabla 36.

Tabla 36: Estaciones de muestreo en el río Aconcagua

Nº	ID	Este	Norte	Cota_GPS	Descripción
1	A12	332923	6376823	575	Río Aconcagua después de junta con río Putaendo.
2	A13b2	326220	6372540	504	Panquehue. Debajo de afloramientos
3	A13c	321091	6370105	445	Río Aconcagua, antes de junta con estero Lo Campo
5	A14	316647	6369429	412	Río Aconcagua, después de Chagres
6	A14h	313816	6368536	386	Río Aconcagua, sector Catemu
8	A14g	312659	6366011	356	Río Aconcagua, antes de junta con estero Los Loros.
11	A19f	301529	6363943	280	Aconcagua antes junta estero Rabuco.
13	A19h	297733	6366939	242	Río Aconcagua, después bocatoma canal Waddington
15	A16	294727	6371267	221	Río Aconcagua, después de la descarga de Sn Diego, mínimo 100 mts. La Calera
17	A17	290156	6367214	156	Río Aconcagua, sector La Cruz, Poza Cristalina
18	A22	288121	6360258	112	Río Aconcagua, después de puente Boco-Quillota, orilla norte del río
20	A22d	284067	6354964	72	Río Aconcagua, antes de Lechería, sector Las Garzas
21	A23	283961	6354825	65	Río Aconcagua, antes de Nehuenco y San Isidro, sector Las Garzas
22	A23g	283472	6354390	64	Río Aconcagua, antes descarga San Isidro.
26	A23b	282148	6353588	59	Río Aconcagua, después de descarga de termoeléctricas Nehuenco y San Isidro

Las estaciones de muestreo ubicadas en los ríos o esteros afluentes al río Aconcagua se muestran en la Tabla 37.

Tabla 37: Puntos de muestreo en los esteros afluentes al río Aconcagua

Nº	ID	Este	Norte	Cota_GPS	Descripción
4	A13d	318784	6368840	428	Estero lo Campo, antes de junta con río Aconcagua
7	A14f	313608	6369098	389	Estero Catemu, antes de junta con río Aconcagua.
9	A14e2	312992	6365072	370	Estero Los Loros, puente El Molino.
10	A19g	307583	6366493	357	Estero La Sombra en desembocadura
12	A19e	301397	6363887	274	Estero Rabuco, en puente.
16	A19c	294192	6372792	199	Estero Los Litres, antes de junta con río Aconcagua.
24	A23c	282709	6353646	63	Estero San Isidro, antes de junta con río Aconcagua

Las estaciones de muestreo ubicadas en las descargas contaminantes consideradas, se muestran en la Tabla 38:

Tabla 38: Estaciones de muestreo en las descargas contaminantes consideradas

Nº	ID	Este	Norte	Cota_GPS	Descripción
14	Aalg	295329	6371409	214	Descarga de la industria de algas “Algamar”. Es un autocontrol incluido como punto de muestreo.
19	A22c	287017	6357337	88	Descarga ESVAL
23	A23d2	283048	6354073	72	Descarga termoeléctrica Nehuenco.
25	A23d1	283766	6353886	73	Descarga termoeléctrica San Isidro

En la Figura 80 se muestra la ubicación espacial de los puntos de muestreo de las campañas superficiales realizadas en septiembre (Campaña I), noviembre (Campaña II) y diciembre (Campaña III) de 2004 por la Universidad Mayor.

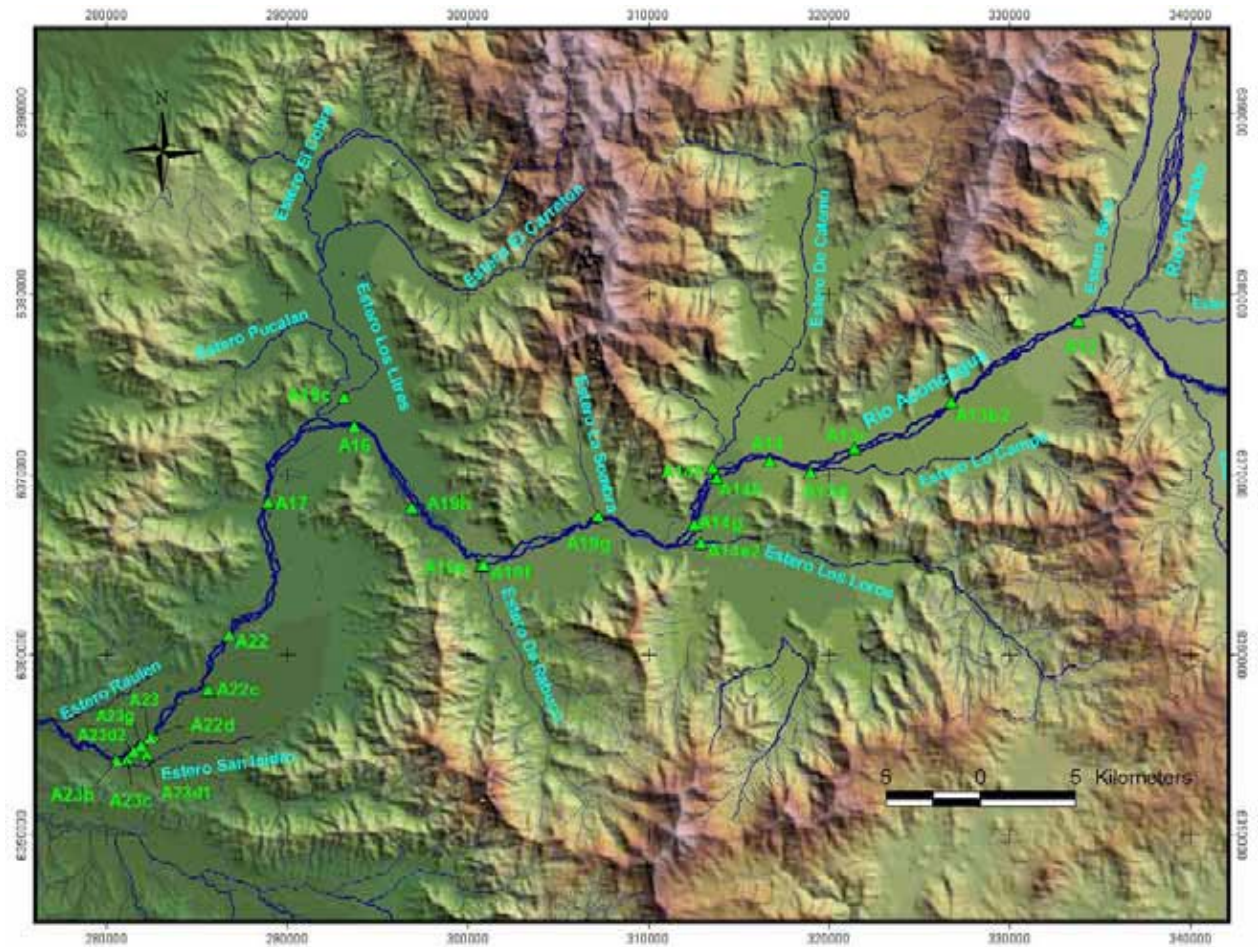


Figura 80: Estaciones de muestreo de calidad de agua de las campañas realizadas por la Universidad Mayor en septiembre (Campaña I), noviembre (Campaña II) y diciembre (Campaña III) de 2004.

Los datos recopilados en las campañas mencionadas anteriormente se muestran en las Tablas 39, 40 y 41.

Tabla 39: Resultados de la Campaña I de aguas superficiales para modelación (sept 04)

Nº	ID	km	Tº Cº	pH	OD mg/L	CE µS/cm	DBO5 mg/L	Colif. Fecales NMP/100ml	Cu mg/L	Mn mg/L	N-NO3 mg/L	HCO3 mg/L	CO3 mg/L	Cl mg/L	SO4 mg/L	Ca mg/L	Na mg/L	RAS meq
1	A12	2,5	12,2	8,1	9,57	467	1,05	500	0,29	0,13	1,05	-	-	-	-	-	-	-
2	A13b2	10,7	14,8	8,32	9,71	477	1,91	80	0,10	0,04	1,91	-	-	-	-	-	-	-
3	A13c	16,4	16	8,5	9,61	488	2,25	20	0,12	0,04	2,25	-	-	-	-	-	-	-
4	A13d	19,9	15,6	8,11	8,84	625	3,04	1700	0,11	0,07	3,04	-	-	-	-	-	-	-
5	A14	20,9	16,4	8,42	8,87	527	2,49	300	0,10	0,07	2,49	-	-	-	-	-	-	-
6	A14h	24	18,4	8,59	8,2	506	<2	20	0,10	0,04	2,29	-	-	-	-	-	-	-
7	A14f	24,4	19,1	8,65	11,86	554	<2	1100	0,02	0,01	2,79	-	-	-	-	-	-	-
8	A14g	27	14,5	8,25	9,45	565	<2	1700	0,10	0,12	2,54	-	-	-	-	-	-	-
9	A14e2	29,1	14,5	7,8	6,39	696	2,90	17000	0,06	0,20	2,90	-	-	-	-	-	-	-
10	A19g	32,9	14,30	8,19	8,55	554	2	5000	0,01	0,12	2,81	-	-	-	-	-	-	-
12	A19f	39,1	14,4	8,4	9,2	596	<2	1100	0,01	0,07	2,51	-	-	-	-	-	-	-
11	A19e	39,5	14,7	7,59	9,1	714	<2	5000	0,02	0,13	2,86	-	-	-	-	-	-	-
13	A19h	44,2	15	8,57	9,7	578	<2	210	0,02	0,03	2,43	-	-	-	-	-	-	-
14	Aa1g	49,0	-	-	7,9	1072	<2		0,14	0,51	5,34	-	-	-	-	-	-	-
15	A16	49,5	15,7	8,7	10,62	574	<2	800	0,00	0,05	2,34	-	-	-	-	-	-	-
16	A19c	51,6	14,7	7,78	8,3	645	10	7000	0,04	0,41	3,56	-	-	-	-	-	-	-
17	A17	56,9	16,4	8,72	9,9	598	<2	500	0,02	0,08	2,45	-	-	-	-	-	-	-
18	A22	65,2	15,5	8,68	9,16	615	<2	800	0,02	0,08	2,43	-	-	-	-	-	-	-
19	A22c	68,5	19,7	7,42	7,6	1090	2	<20	0,05	0,03	11,4	-	-	-	-	-	-	-
20	A22d	72,3	19,8	7,87	7,27	743	3	<20	0,04	0,01	3,9	-	-	-	-	-	-	-
21	A23	72,5	20,2	8,05	10,45	674	<2	40	0,03	<0,01	0,96	-	-	-	-	-	-	-
22	A23g	73,1	19,7	7,3	9,5	619	<2	600	0,04	0,01	2,82	-	-	-	-	-	-	-
23	A23d2	73,7	20,7	7,98	8,91	2410	<2	<20	0,04	2,02	3,13	-	-	-	-	-	-	-
24	A23c	74,3	18,8	7,55	8,6	802	5	24000	0,06	0,04	5,41	-	-	-	-	-	-	-
25	A23d1	74,3	26,7	7,92	6,83	2060	<2	<20	0,05	0,02	13,1	-	-	-	-	-	-	-
26	A23b	74,75	19,1	7,94	8,31	802	4	8000	0,04	0,11	3,85	-	-	-	-	-	-	-

Tabla 40: Resultados de la Campaña II de aguas superficiales para modelación (nov-04)

N°	ID	km	T° C°	pH	OD mg/L	CE µS/cm	DBO5 mg/L	Colif. Fecales NMP/100ml	Cu mg/L	Mn mg/L	N-NO3 mg/L	HCO3 mg/L	CO3 mg/L	Cl mg/L	SO4 mg/L	Ca mg/L	Na mg/L	Mg mg/L	RAS meq
1	A12	2,5	16	8,11	8,09	553	3	800	0,41	0,11	3,48	168	<0,1	14,9	160	54,6	9,53	13	0,3006
2	A13b2	10,7	17,3	8,28	9,6	510	<2	110	0,03	<0,01	2,8	202	<0,1	8,75	146	46,1	6,18	11,2	0,2115
3	A13c	16,4	18,2	8,51	10,21	500	<2	20	0,05	<0,01	2,57	197	1,19	8,25	100	42,3	7,37	10,9	0,2611
4	A13d	19,9	17,7	8,18	8,89	676	<2	2100	0,05	0,06	4,27	231	<0,1	13,9	157	86,1	10,4	16,7	0,2683
5	A14	20,9	18,2	8,46	9,93	597	<2	1300	0,02	0,02	3,21	218	1,24	12,4	142	54,6	0,5	13,4	0,0157
6	A14h	24	21,9	8,64	9,3	574	<2	130	<0,01	<0,01	2,91	202	1,99	12,6	149	42,2	9,41	13	0,3245
7	A14f	24,4	19,5	8,39	11,09	571	<2	500	<0,01	0,02	3,05	235	0,57	9,05	120	46,9	0,31	16,5	0,0099
8	A14g	27	16,6	8,84	10,34	588	4	220	<0,01	<0,01	2,22	207	2,61	16,9	119	70	13,1	15,8	0,3676
9	A14e2	29,1	16,9	7,89	6,31	811	4,00	8000	0,02	0,05	4,79	312	<0,1	25,4	154	88,9	17,8	24,1	0,4317
10	A19g	32,9	22,70	8,39	8,53	553	6	3000	0,01	0,14	3,57	209	<0,1	10	138	52,3	10,5	18,2	0,3183
12	A19f	39,1	20	8,52	9,49	592	<2	1300	0,04	0,06	2,35	201	<0,1	13,4	142	47,7	11,8	16,8	0,3738
11	A19e	39,5	18,5	7,97	8,54	758	<2	5000	0,03	0,35	3,18	294	<0,1	17,6	210	70	17,5	24,6	0,4578
13	A19h	44,2	19,3	8,8	562	562	<2	230	0,01	<0,01	2,19	179	3	13	148	59,2	11,6	19,6	0,3335
14	Aalg	49,0	-	-	8,1	649	-	50	0,01	0,10	20,94	-	-	-	-	-	-	-	-
15	A16	49,5	23,5	8,39	8,75	910	28	200	<0,01	0,03	0,50	231	<0,1	75,2	186	85	36,9	18,4	0,9450
16	A19c	51,6	20,5	7,75	6,95	813	18	800	0,02	0,10	5,69	250	<0,1	47,7	102	64,5	31,1	24,2	0,8372
17	A17	56,9	20,1	8,97	13,52	733	3	20	0,02	0,10	5,69	250	<0,1	47,7	102	64,5	31,1	24,2	0,8372
18	A22	65,2	20,9	7,81	10,2	720	<2	70	0,01	<0,01	5,92	146	5,06	45,2	72,9	48	10,9	19,4	0,3352
19	A22c	68,5	22,2	7,1	7,96	998	3	<20	0,01	0,03	10,5	294	<0,1	44,9	140	87,9	33	20,2	0,8244
20	A22d	72,3	22,4	9,04	11,6	703	<2	<20	0,01	<0,01	0,45	176	11,4	56	158	68,8	13,4	17,8	0,3720
21	A23	72,5	20,9	8,43	7,22	735	3	<20	0,01	<0,01	9,63	231	0,29	48,6	135	75,2	13,5	19	0,3598
22	A23g	73,1	20,9	8,93	11,2	710	4	<20	0,03	<0,01	0,25	219	4,61	41,9	114	68	19,3	18,1	0,5367
23	A23d2	73,7	22,4	7,97	8,34	3250	<2	<20	0,03	2,57	6,19	179	<0,1	129	1723	316	63,3	44,4	0,8824
24	A23c	74,3	18,3	7,92	7,78	865	<2	90000	0,02	0,05	10,8	304	<0,1	35,2	197	84	16,2	26,4	0,3946
25	A23d1	74,3	27,4	8,3	8,13	1953	2	<20	0,02	0,03	0,87	176	<0,1	55,9	862	221	34,9	39,2	0,5679
26	A23b	74,75	21,3	8,35	11,04	841	<2	9000	0,02	0,09	5,56	308	<0,1	39,9	186	78,4	20,6	25,3	0,5170

Tabla 41: Resultados de la Campaña III de calidad de aguas realizada por la Universidad Mayor (DIC-04)

Nº	ID	km	Tº Cº	pH	OD mg/L	CE µS/cm	DBO5 mg/L	Colif. Fecales NMP/100ml	Cu mg/L	Mn mg/L	N-NO3 mg/L	HCO3 mg/L	CO3 mg/L	Cl mg/L	SO4 mg/L	Ca mg/L	Na mg/L	Mg mg/L	RAS meq
1	A12	2,5	17,7	7,67	9,9	343	4	<20	1,79	0,46	0,56	57,2	8,74	10,8	160	28,5	6,4	6,52	0,2810
2	A13b2	10,7	18,4	7,85	9,01	392	2	40	1,08	0,31	0,9	91,6	<0,1	11,9	146	31,8	6,11	7,8	0,2515
3	A13c	16,4	19,3	19,3	8,9	405	3	<20	1,14	0,24	1,4	101	<0,1	11,5	151	29,2	5,97	8,5	0,2498
4	A13d	19,9	17,9	17,9	8,66	643	2	1100	0,23	0,11	3,29	234	<0,1	17,5	190	58,4	8,53	13,5	0,2612
5	A14	20,9	19,4	8,07	8,8	432	3	80	1,19	0,26	1,42	112	<0,1	11,6	167	32,4	6,96	8,67	0,2801
6	A14h	24	23	8,21	8,87	429	<2	<20	0,90	0,23	1,53	108	<0,1	12,6	171	41,8	21,4	10,6	0,7645
7	A14f	24,4	22,6	8,87	12,05	566	3	110	0,61	0,07	2,57	221	2,83	12,5	177	41,5	8,1	12,9	0,2812
8	A14g	27	19,2	8,1	9,5	484	2	20	0,28	0,05	1,2	149	<0,1	13,3	119	30,1	12,4	10,2	0,4979
9	A14e2	29,1	19,8	7,56	6,27	752	9,00	90000	0,07	0,10	3,48	260	<0,1	28,1	174	48,1	18,3	18,8	0,5660
10	A19g	32,9	23,00	7,98	9,78	490	3	<20	0,09	0,03	2,84	163	<0,1	13,2	132	35	32,3	12,5	1,1914
12	A19f	39,1	23,5	8,22	8,18	474	3	20	0,04	0,02	2,13	139	0,9	13,8	144	33,1	30,6	9,29	1,2096
11	A19e	39,5	22	7,8	9,41	747	5	6000	0,03	0,03	2,28	277	<0,1	20,6	195	62,9	15,6	21,2	0,4338
13	A19h	44,2	24,8	8,33	9,01	407	2	<20	0,57	0,09	1,60	139	<0,1	13,9	164	37,6	29,7	9,57	1,1181
14	Aa1g	49,0	-	-	9,2	683	580	<2	0,08	0,32	20,30	-	-	-	-	-	-	-	-
15	A16	49,5	22,3	8,28	9,45	519	2	200	0,12	0,02	1,42	169	<0,1	15,2	117	46,8	11	12,6	0,3681
16	A19c	51,6	20,4	7,52	7,61	629	11	50000	0,05	0,08	3,45	208	<0,1	21,7	157	35,3	13,3	18,4	0,4516
17	A17	56,9	25,4	8,47	11,4	543	<2	200	0,16	0,04	1,53	169	0,73	19,1	114	41	13,8	12,6	0,4829
18	A22	65,2	22,5	8,4	9,89	538	2	3000	0,11	0,03	1,01	154	<0,1	17,9	137	34	13,2	13	0,4877
19	A22c	68,5	25	7,05	7,45	1018	<2	<20	<0,01	0,02	9,52	315	<0,1	79	191	122	56,4	38	1,1416
20	A22d	72,3	22,1	8,3	10,2	571	<2	5000	0,10	0,05	1,15	177	<0,1	19,6	136	40,4	10,9	14,8	0,3725
21	A23	72,5	21,9	8,36	11	548	<2	800	0,07	0,02	1,03	176	0,71	20,5	137	48,1	10,4	13,1	0,3426
22	A23g	73,1	25,1	8,43	11,5	571	<2	110	0,05	0,03	0,67	192	2,49	25,5	154	89,2	22,7	28,6	0,5347
23	A23d2	73,7	23,5	7,98	8,85	2250	<2	<20	0,01	0,57	1,96	307	<0,1	97,9	1019	410	74,7	69,4	0,8971
24	A23c	74,3	20,6	7,32	4,59	806	P	80	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	0,8100
25	A23d1	74,3	28,8	7,96	8,18	2140	5	<20	0,01	0,01	10,7	136	<0,1	89,4	1009	420	68,6	70,8	0,8144
26	A23b	74,75	20	7,64	7,35	811	12	<160000	0,05	0,17	3,34	271	<0,1	27,6	193	52,6	20,2	21,9	0,5900

Por último, también se utilizó la información de calidad subterránea recopilada durante las 3 campañas de terreno para caracterizar, en cuanto a calidad, los afloramientos de los acuíferos que intervienen en la modelación. La Figura 81 muestra los pozos de bombeo que fueron muestreados durante dichas campañas.

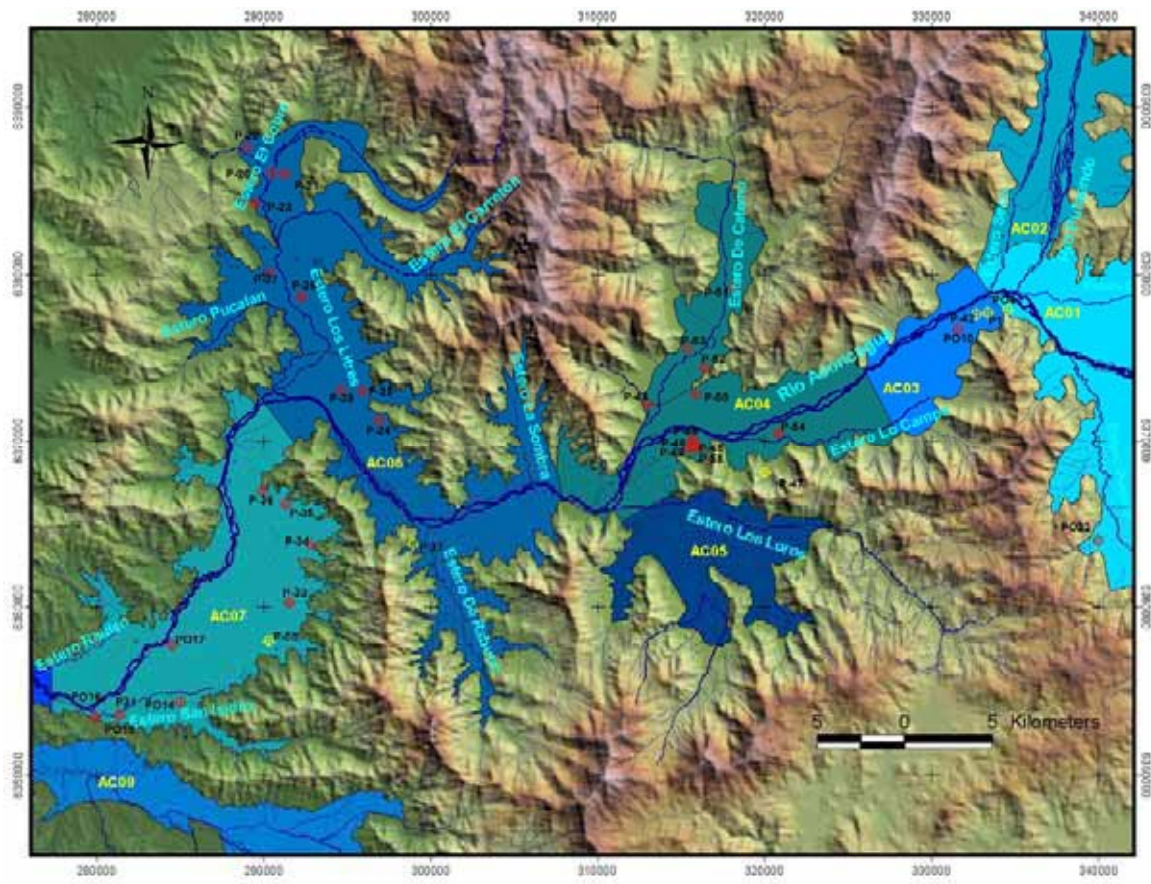


Figura 81: Pozos de muestreo de calidad de agua considerados en las campañas realizadas por la Universidad Mayor en septiembre (Campaña I), noviembre (Campaña II) y diciembre (Campaña III) de 2004.

9.1.3.3 Gráficos de las concentraciones de las campañas de muestreo superficial

A continuación se muestran los gráficos de concentraciones a lo largo del río para cada uno de los parámetros que serán modelados, para cada una de las campañas de muestreo realizadas por la Universidad Mayor. Es necesario destacar que dichos gráficos incluyen los valores muestreados en los afluentes considerados y no sólo en el río mismo, pues muchas veces las concentraciones en dichos afluentes (o descargas) permiten explicar un cambio abrupto en las concentraciones de un determinado contaminante.

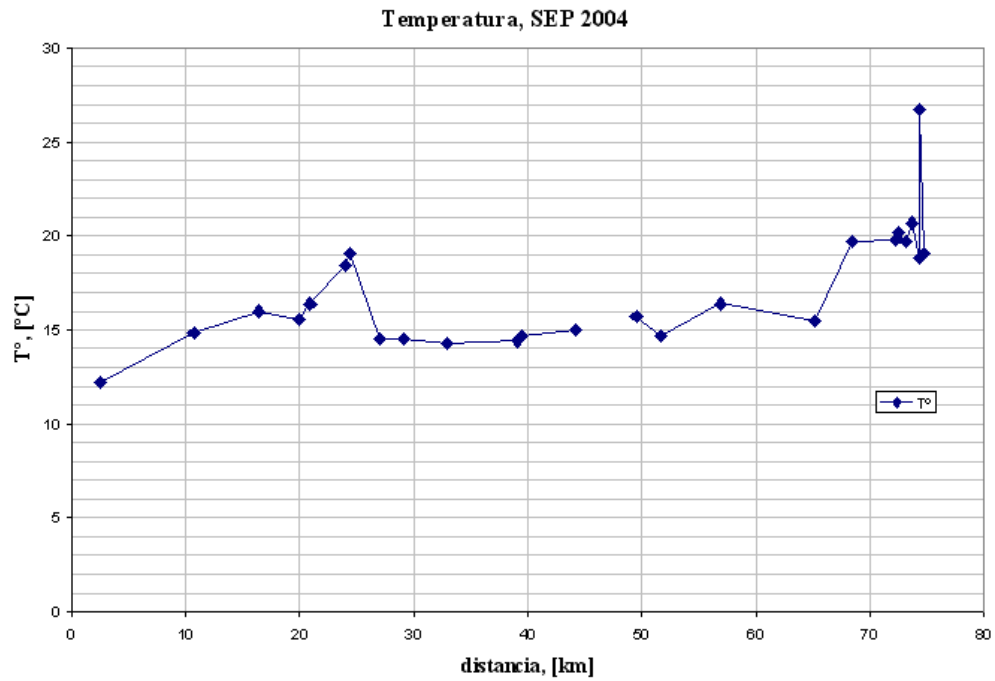


Figura 82: Perfil de temperatura a lo largo del área considerada, en septiembre de 2004.

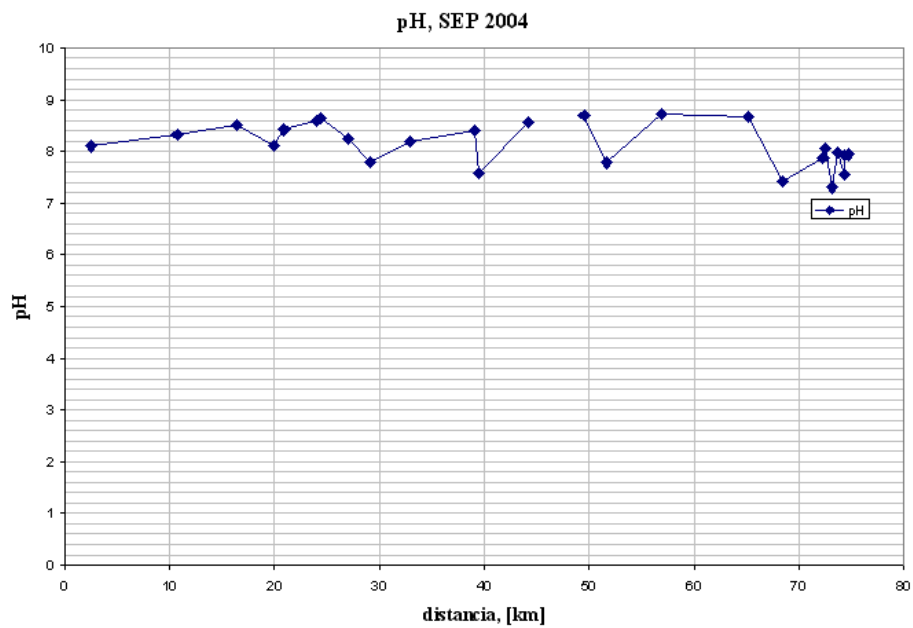


Figura 83: Perfil de pH a lo largo del área considerada, en septiembre de 2004.

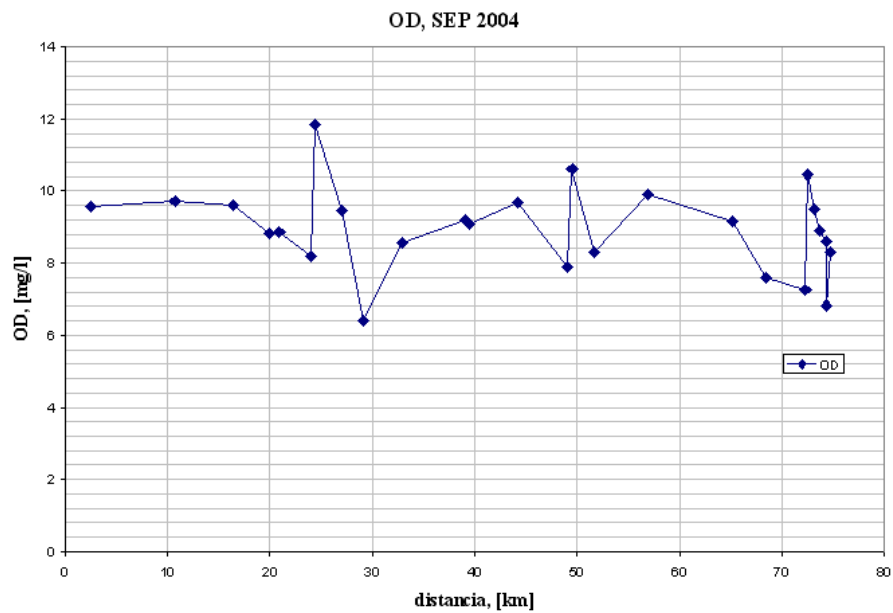


Figura 84: Perfil de OD a lo largo del área considerada, en septiembre de 2004.

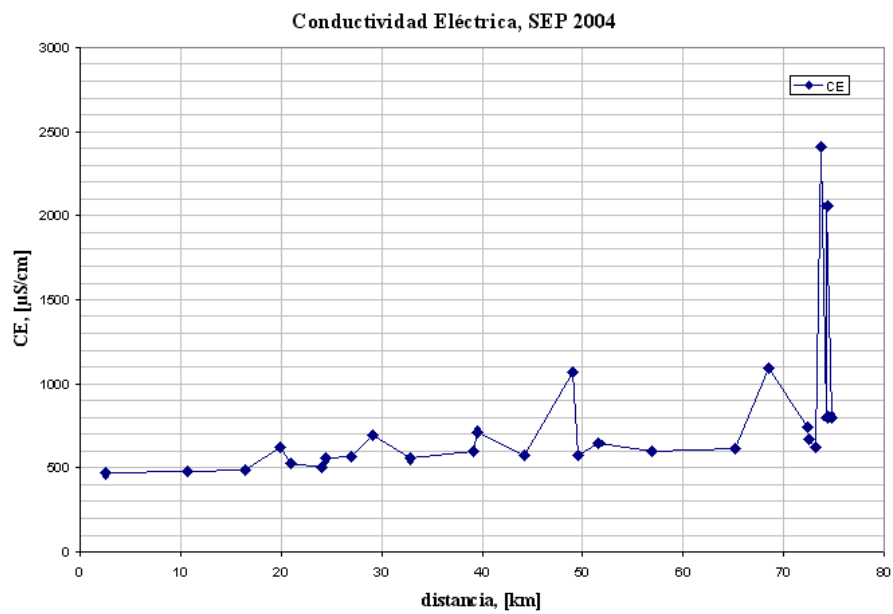


Figura 85: Perfil de conductividad eléctrica a lo largo del área considerada, en septiembre de 2004.

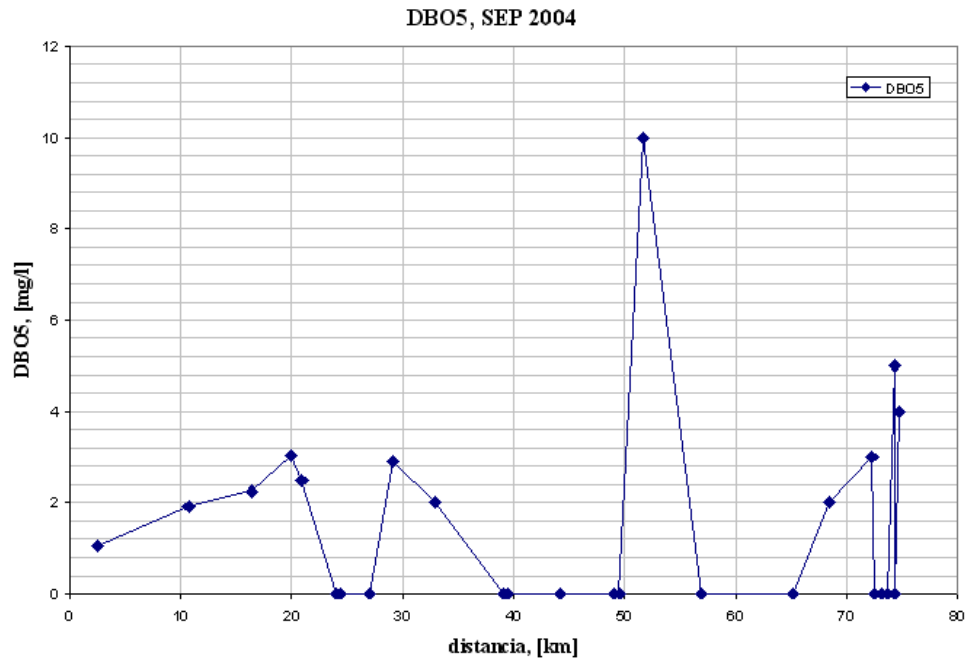


Figura 86: Perfil de DBO5 a lo largo del área considerada, en septiembre de 2004.

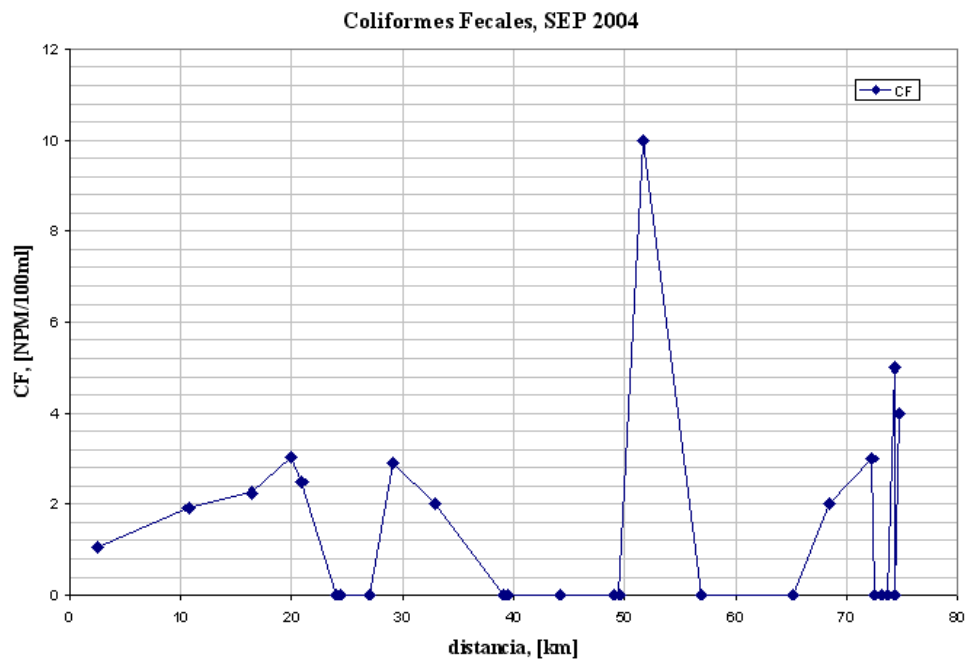


Figura 87: Perfil de coliformes fecales del área considerada, en septiembre de 2004.

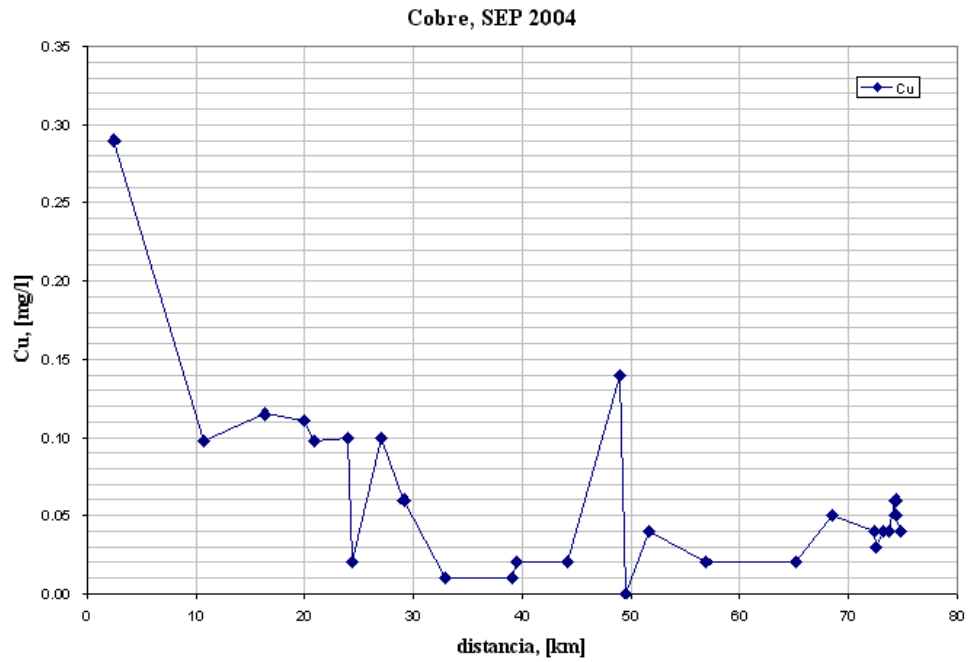


Figura 88: Perfil de cobre a lo largo del área considerada, en septiembre de 2004.

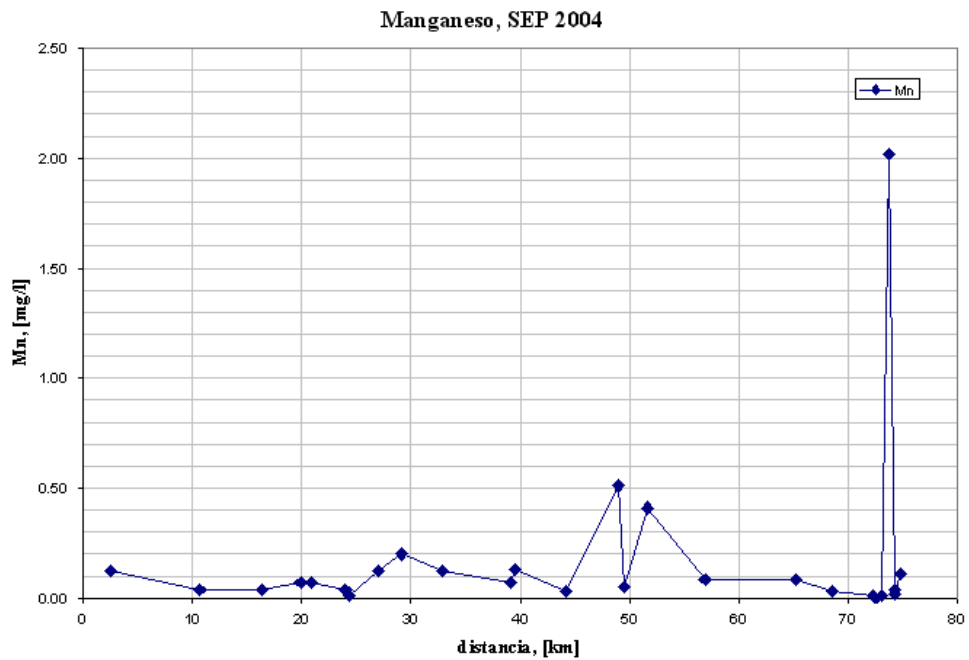


Figura 89: Perfil de manganeso a lo largo del área considerada, en septiembre de 2004.

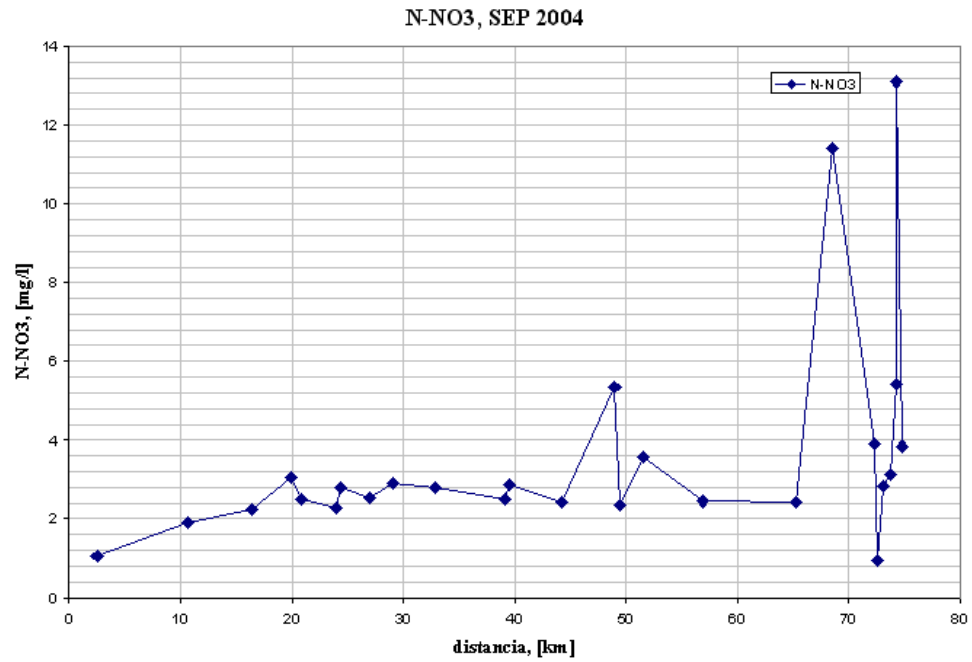


Figura 90: Perfil de N-NO3 a lo largo del área considerada, en septiembre de 2004.

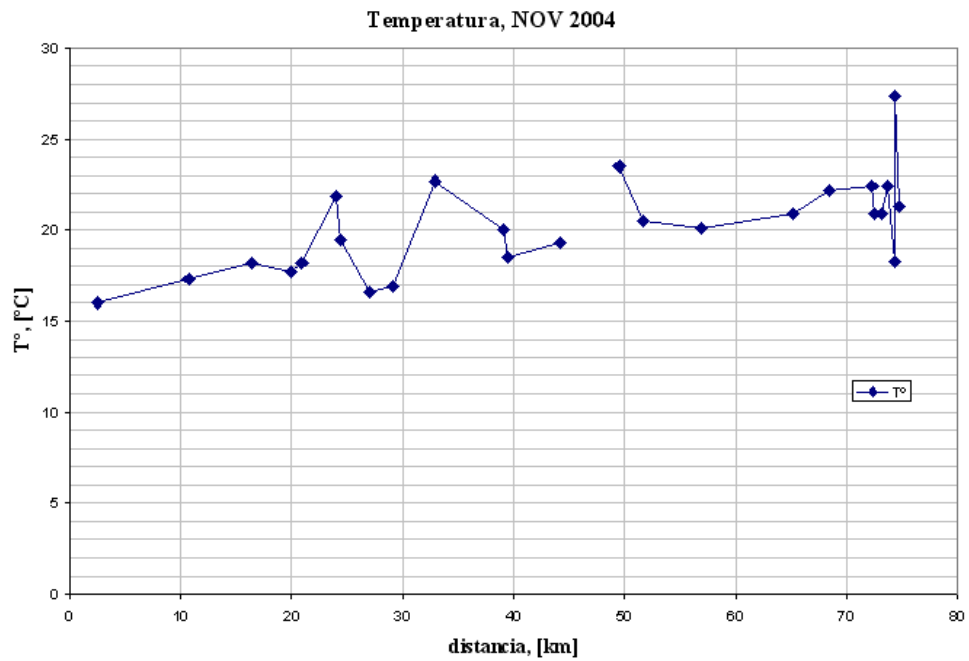


Figura 91: Perfil de temperatura a lo largo del área considerada, en noviembre de 2004.

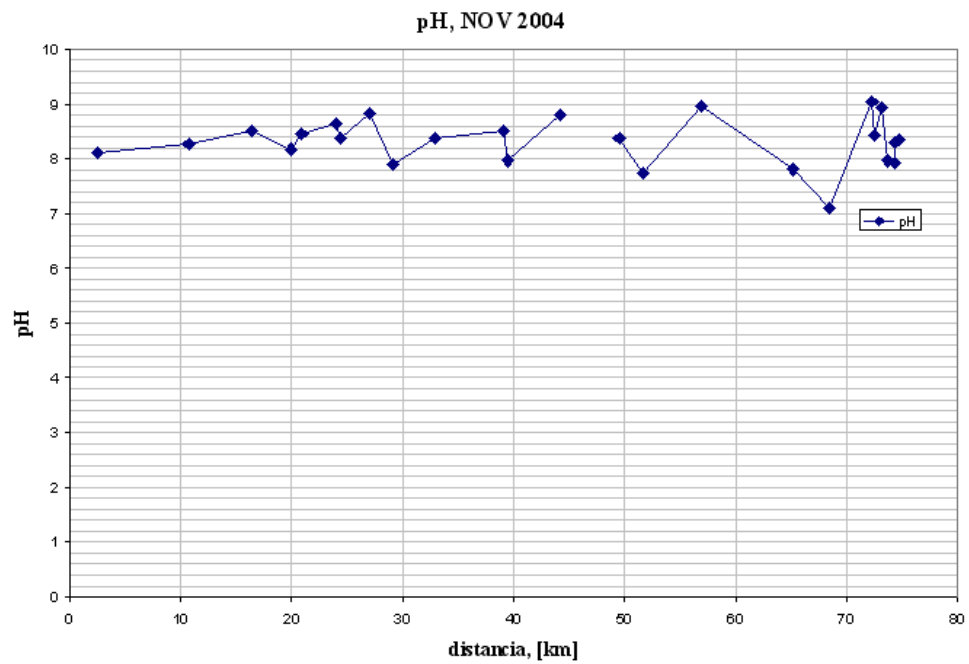


Figura 92: Perfil de pH a lo largo del área considerada, en noviembre de 2004.

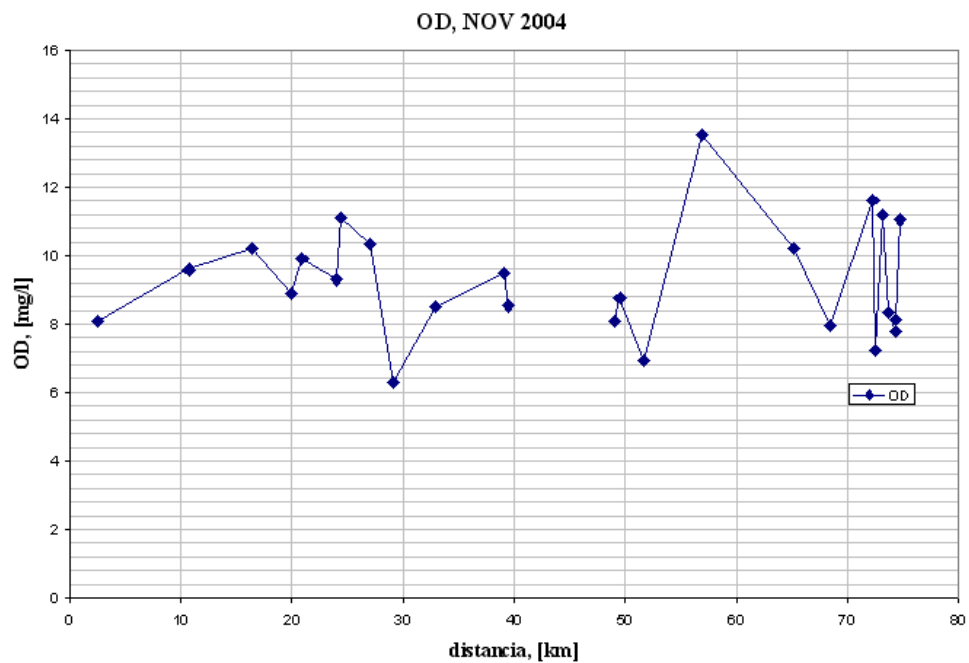


Figura 93: Perfil de OD a lo largo del área considerada, en noviembre de 2004.

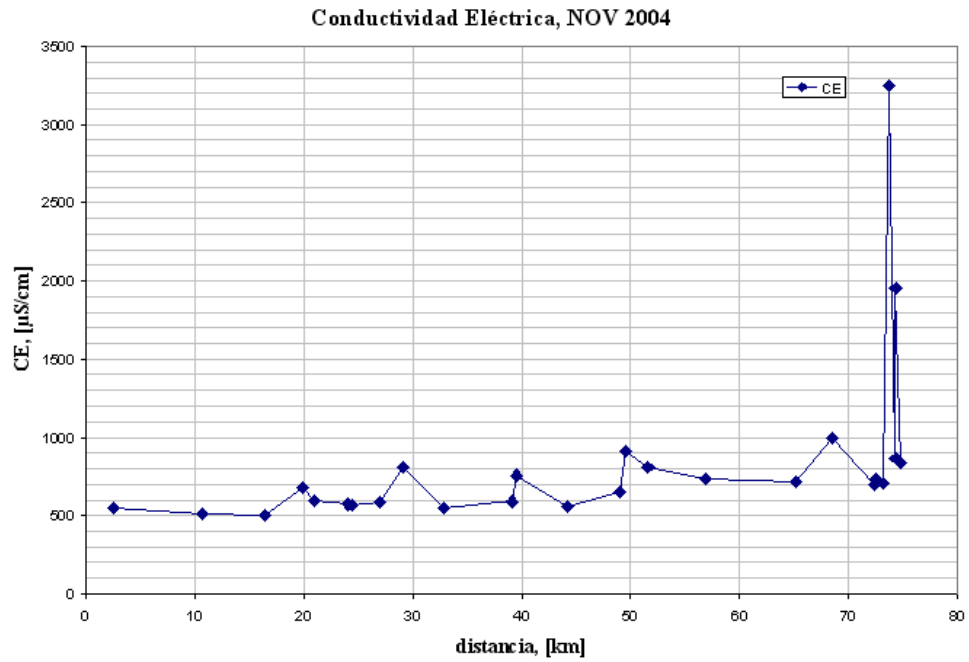


Figura 94: Perfil de conductividad eléctrica a lo largo del área considerada, en noviembre de 2004.

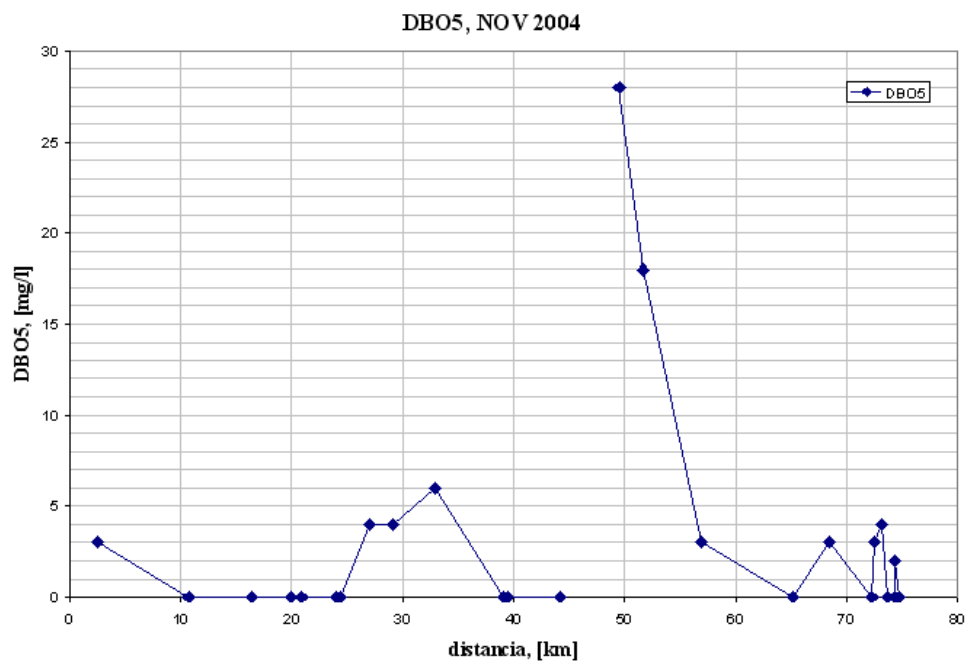


Figura 95: Perfil de DBO5 a lo largo del área considerada, en noviembre de 2004

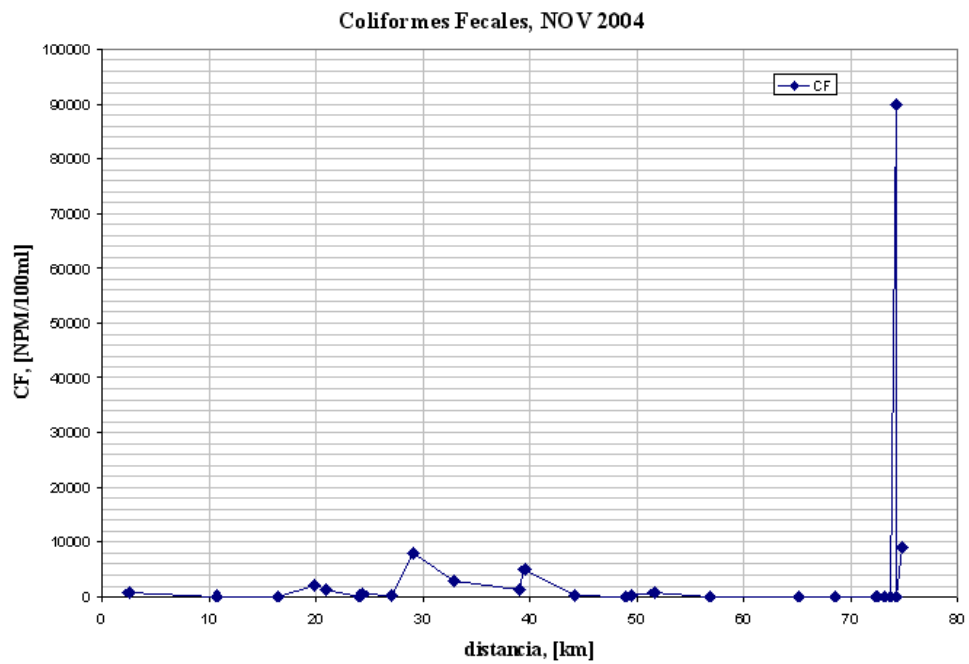


Figura 96: Perfil de coliformes fecales a lo largo del área considerada, en noviembre de 2004.

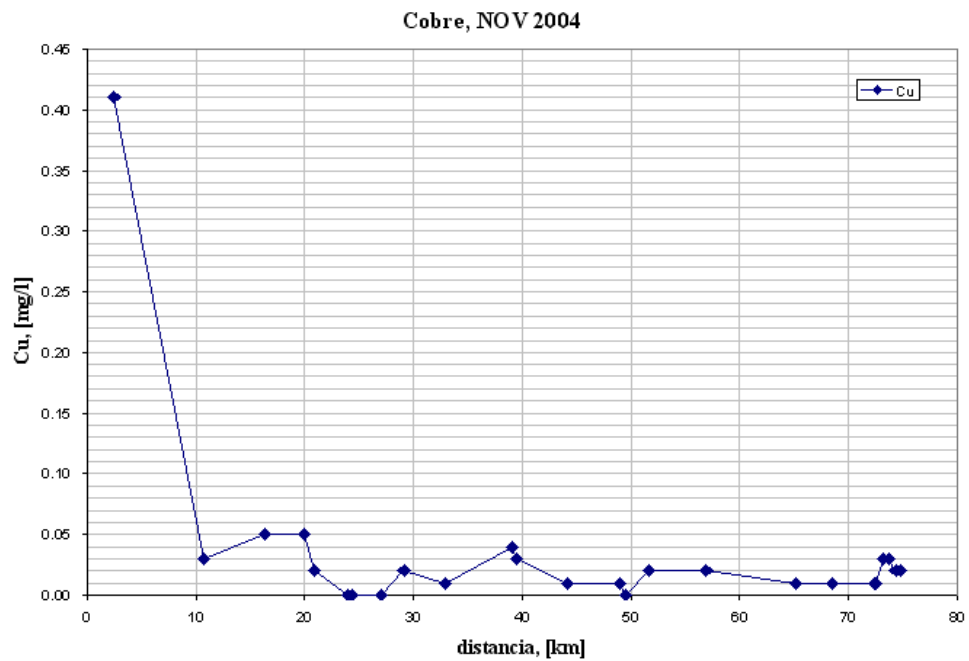


Figura 97: Perfil de cobre a lo largo del área considerada, en noviembre de 2004.

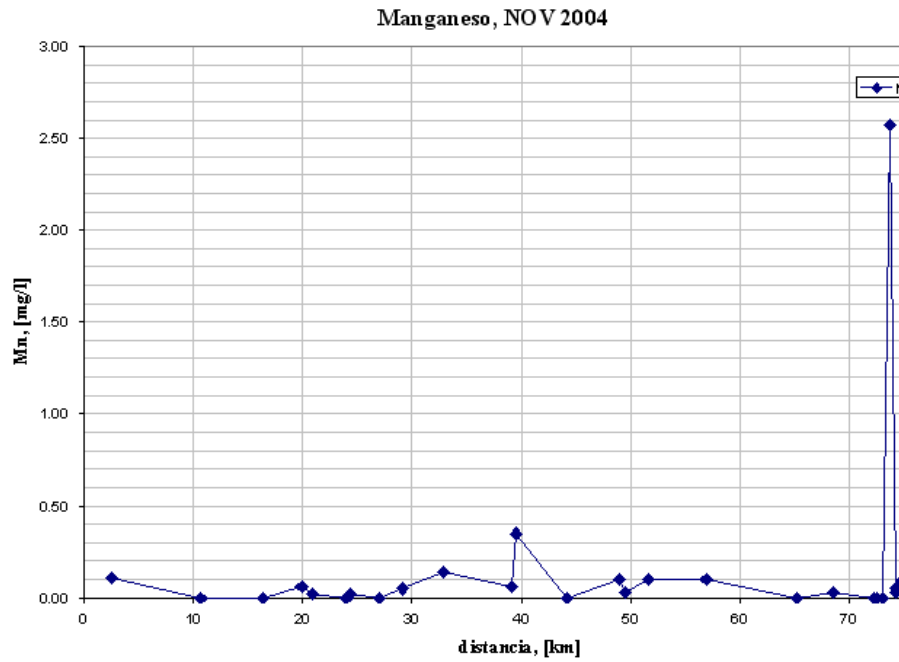


Figura 98: Perfil de manganeso a lo largo del área considerada, en noviembre de 2004.

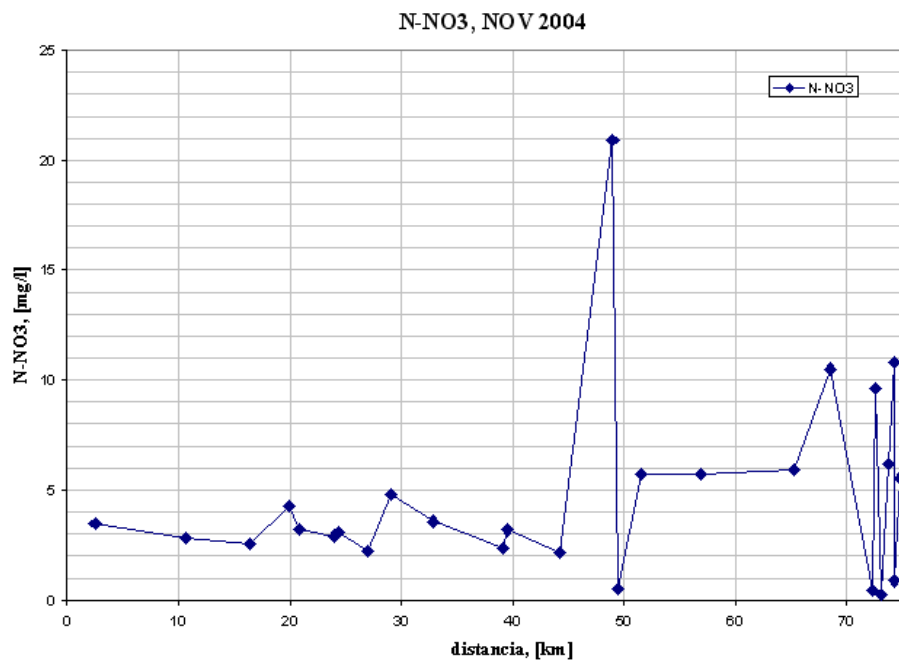


Figura 99: Perfil de N-NO3 a lo largo del área considerada, en noviembre de 2004.

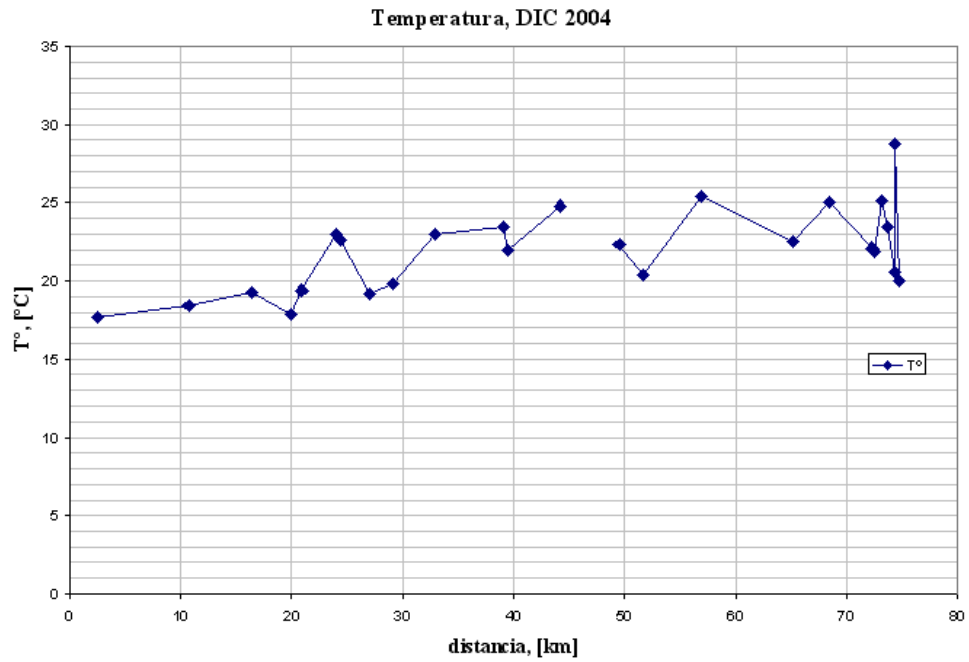


Figura 100: Perfil de temperatura a lo largo del área considerada, en diciembre de 2004.

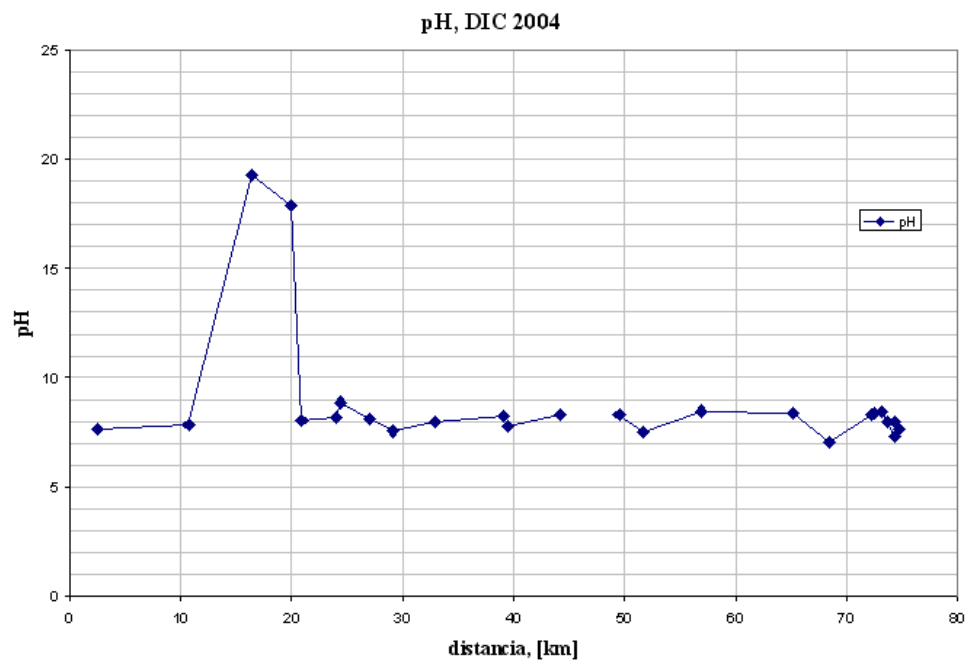


Figura 101: perfil de pH a lo largo del área considerada, en diciembre de 2004.

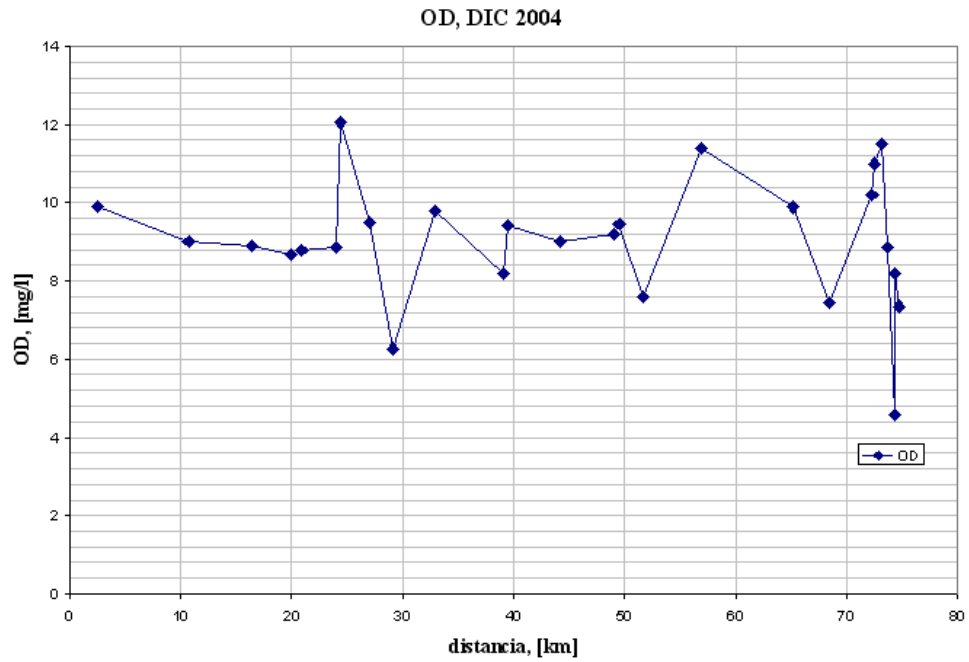


Figura 102: Perfil de oxígeno disuelto a lo largo del área considerada, en diciembre de 2004.

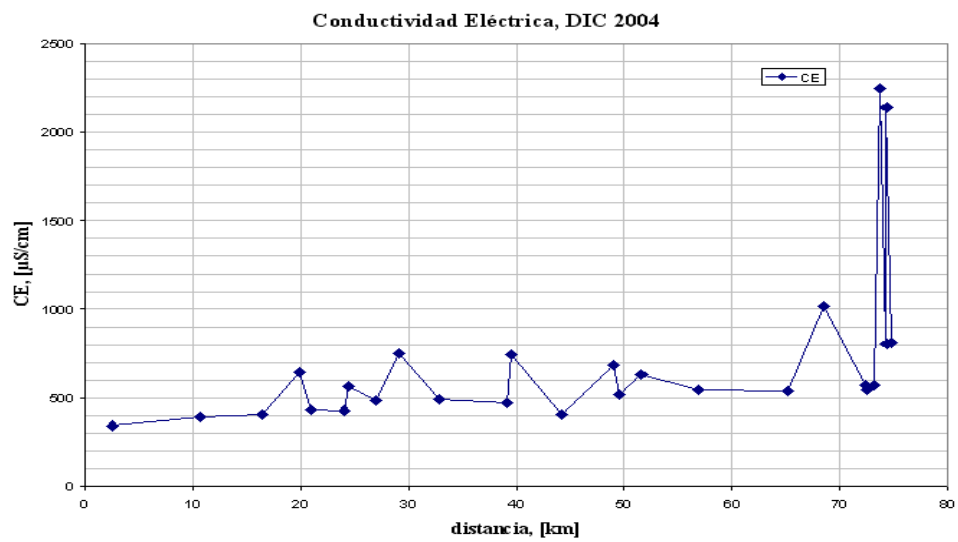


Figura 103: Perfil de conductividad eléctrica a lo largo del área considerada, en diciembre de 2004.

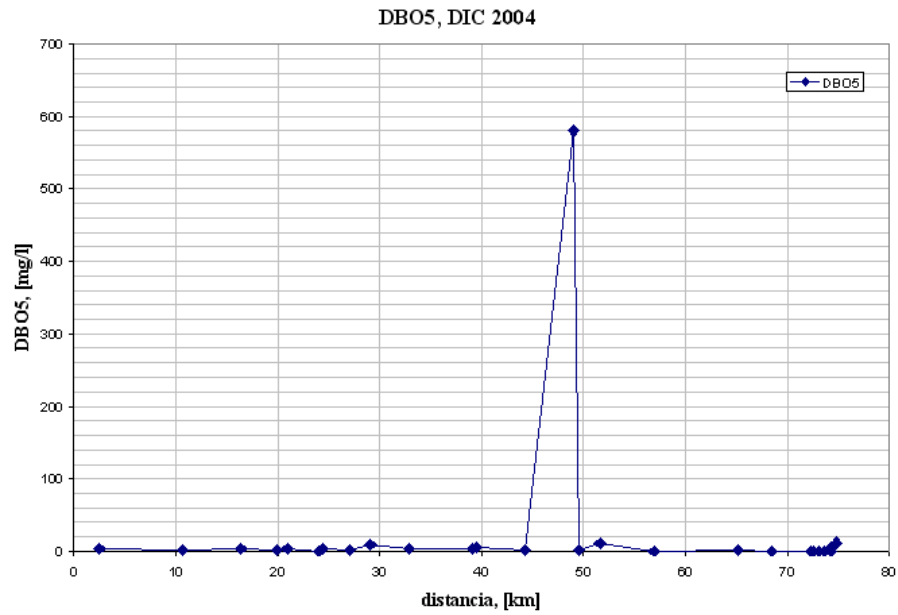


Figura 104: Perfil de DBO5 a lo largo del área considerada, en diciembre de 2004

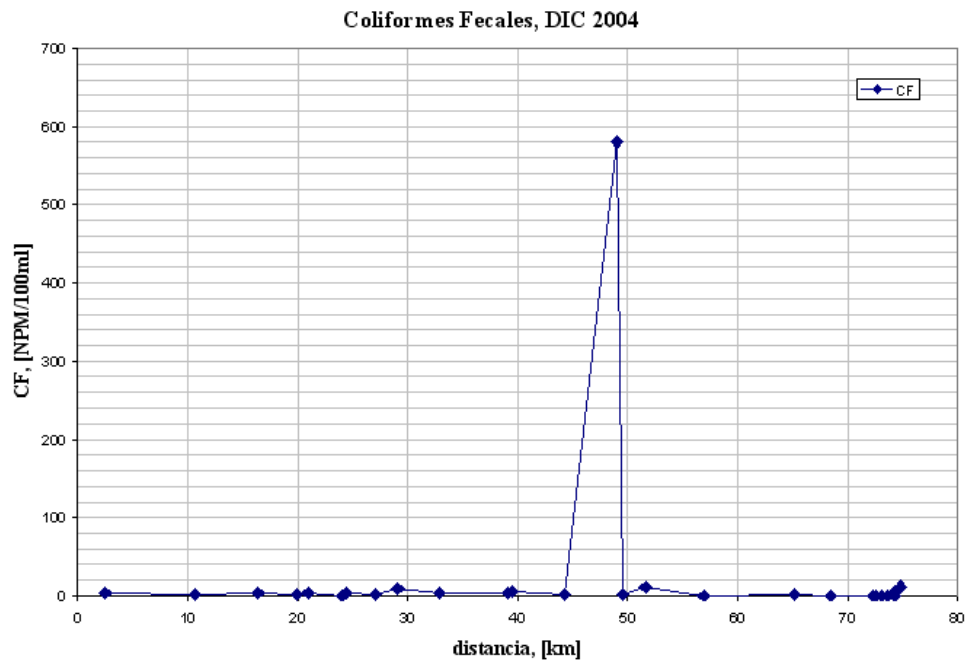


Figura 105: Perfil de coliformes fecales a lo largo del área considerada, en diciembre de 2004.

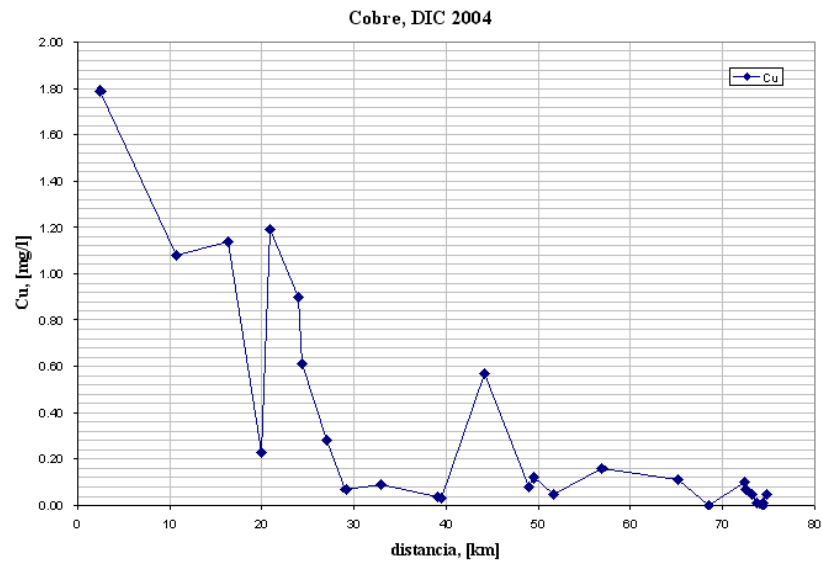


Figura 106: Perfil de cobre a lo largo del área considerada, en diciembre de 2004.

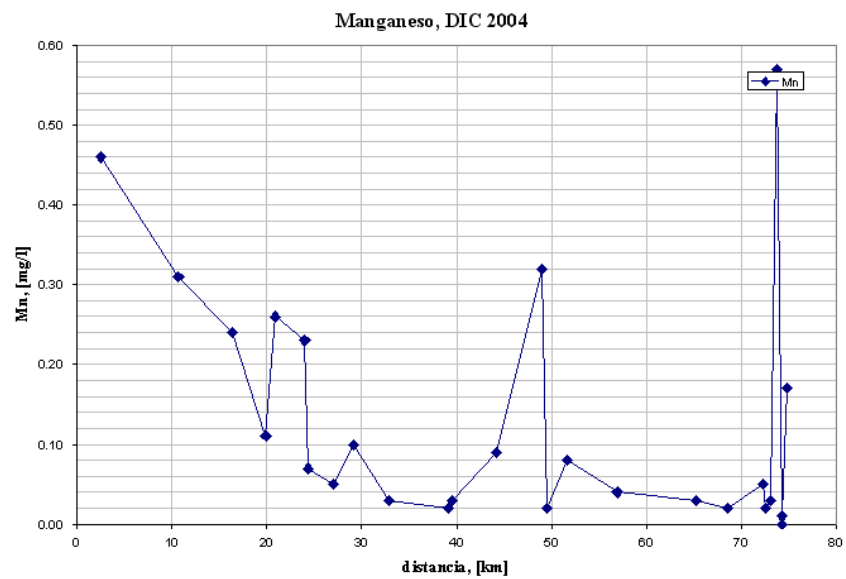


Figura 107: Perfil de manganeso a lo largo del área considerada, en diciembre de 2004.

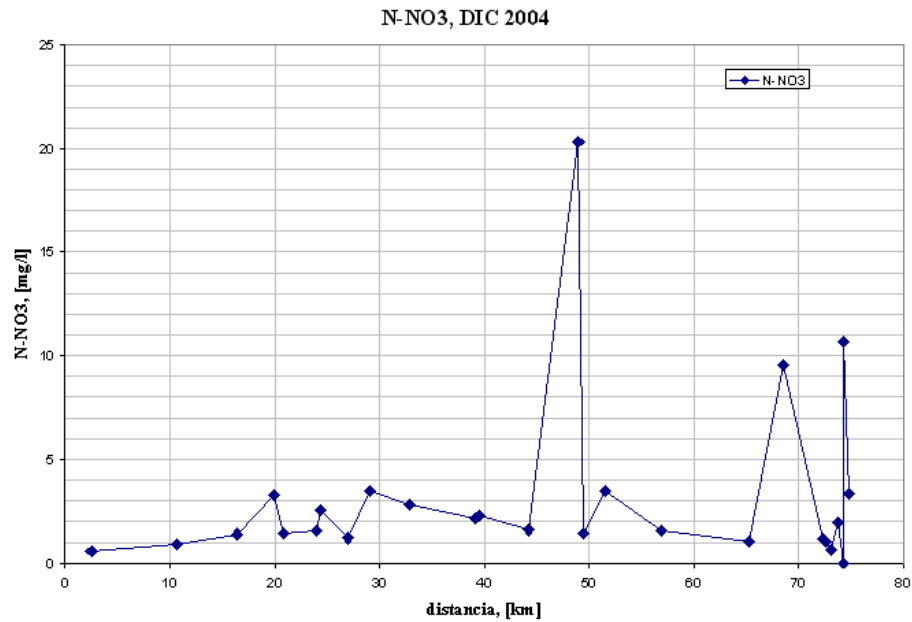


Figura 108: Perfil de N-NO₃ a lo largo del área considerada, en diciembre de 2004.

Las siguientes figuras muestran la evolución en el tiempo de los perfiles de temperatura, pH, oxígeno disuelto, conductividad eléctrica, DBO₅, coliformes fecales, cobre, manganeso y N-NO₃.

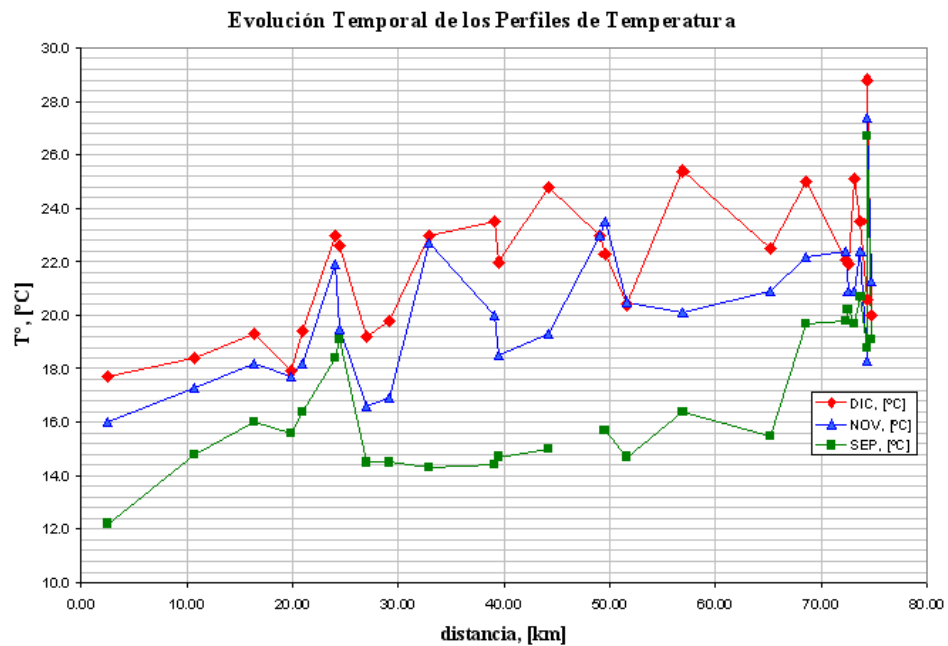


Figura 109: Evolución temporal de los perfiles de temperatura, durante SEP, NOV y DIC de 2004.

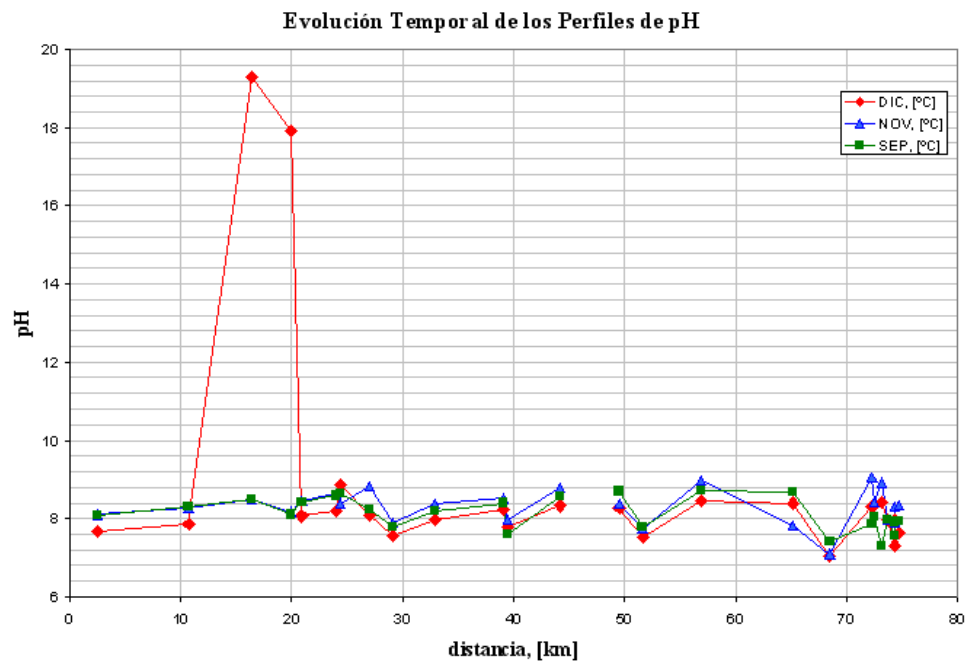


Figura 110: Evolución temporal de los perfiles de pH, durante SEP, NOV y DIC de 2004.

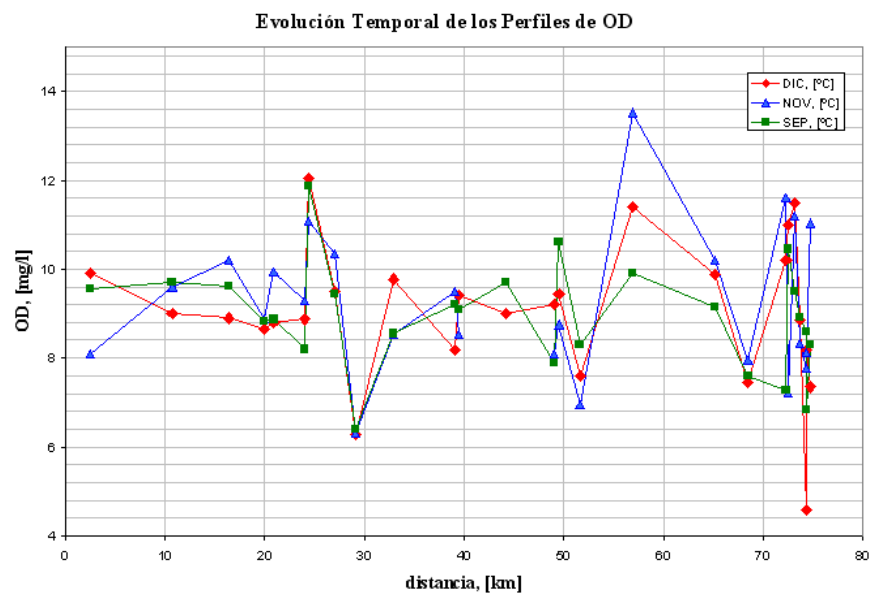


Figura 111: Evolución temporal de los perfiles de oxígeno disuelto, durante SEP, NOV y DIC de 2004.

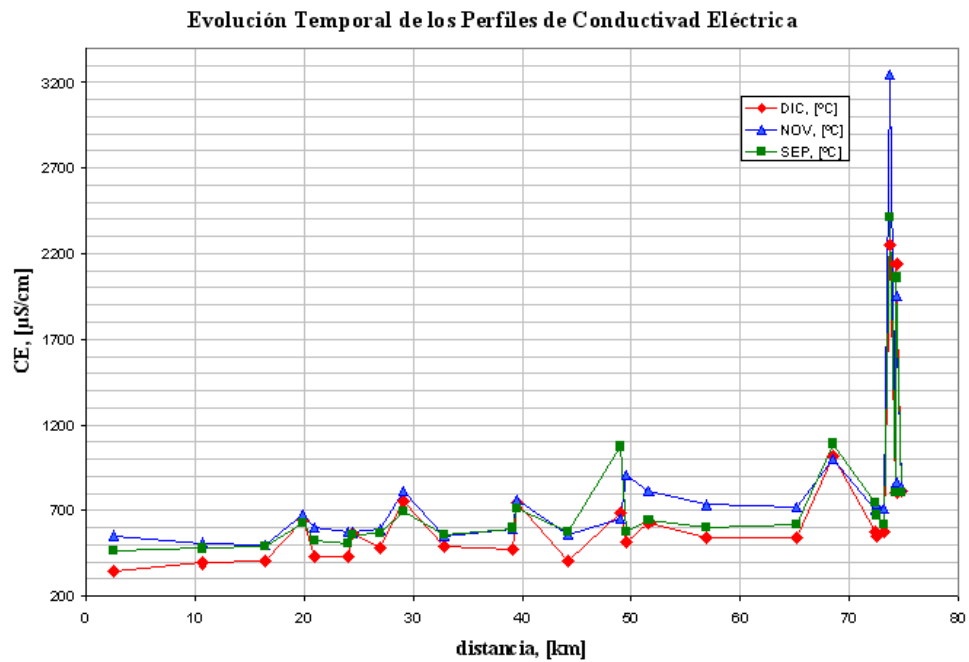


Figura 112: Evolución temporal de los perfiles de conductividad eléctrica, durante SEP, NOV y DIC de 2004.

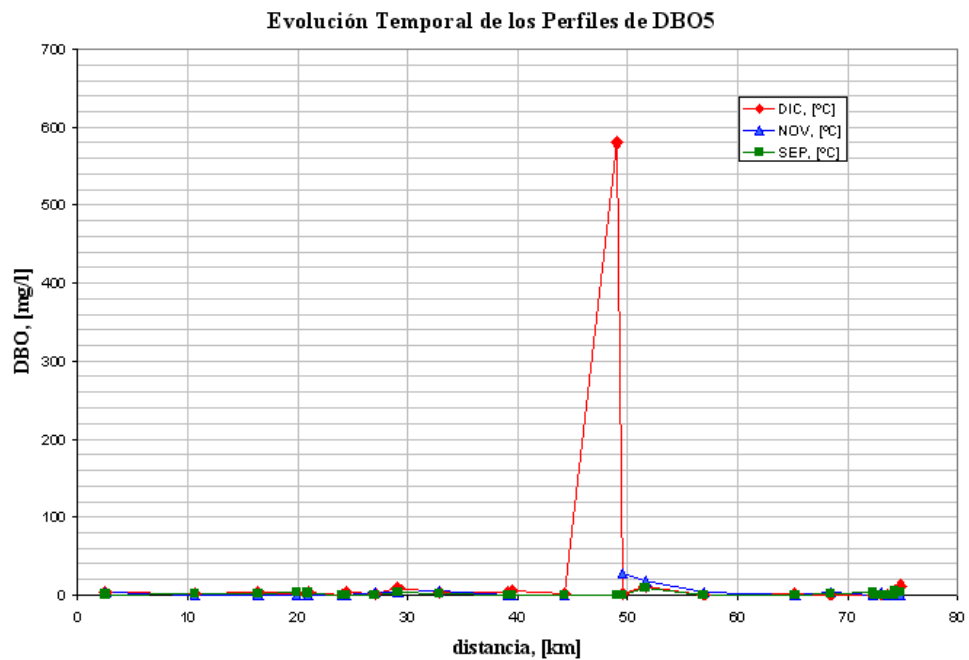


Figura 113: Evolución temporal de los perfiles de DBO5, durante SEP, NOV y DIC de 2004.

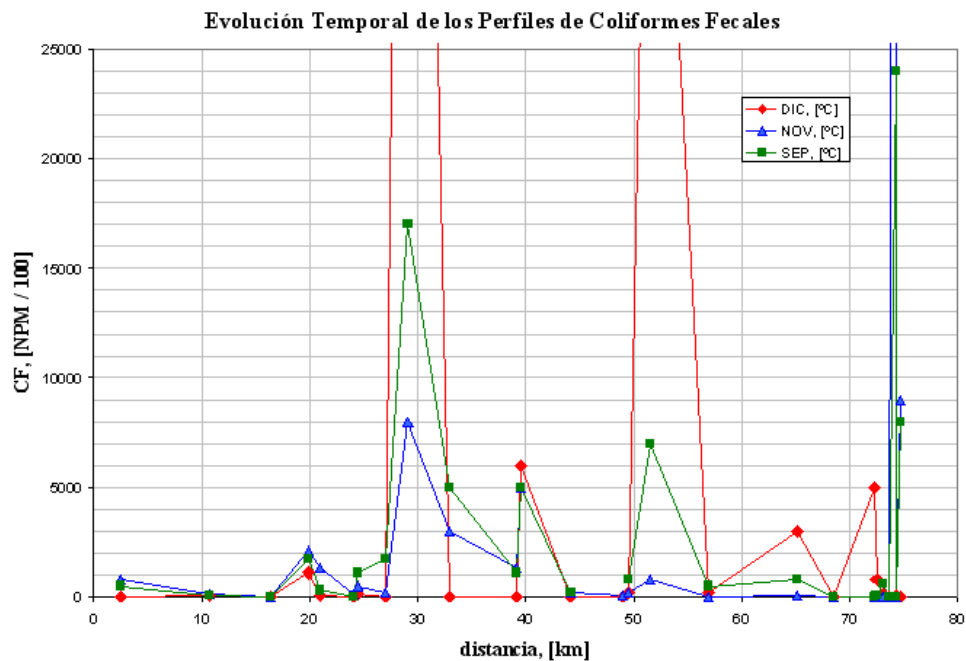


Figura 114: Evolución temporal de los perfiles de coliformes fecales, durante SEP, NOV y DIC de 2004.

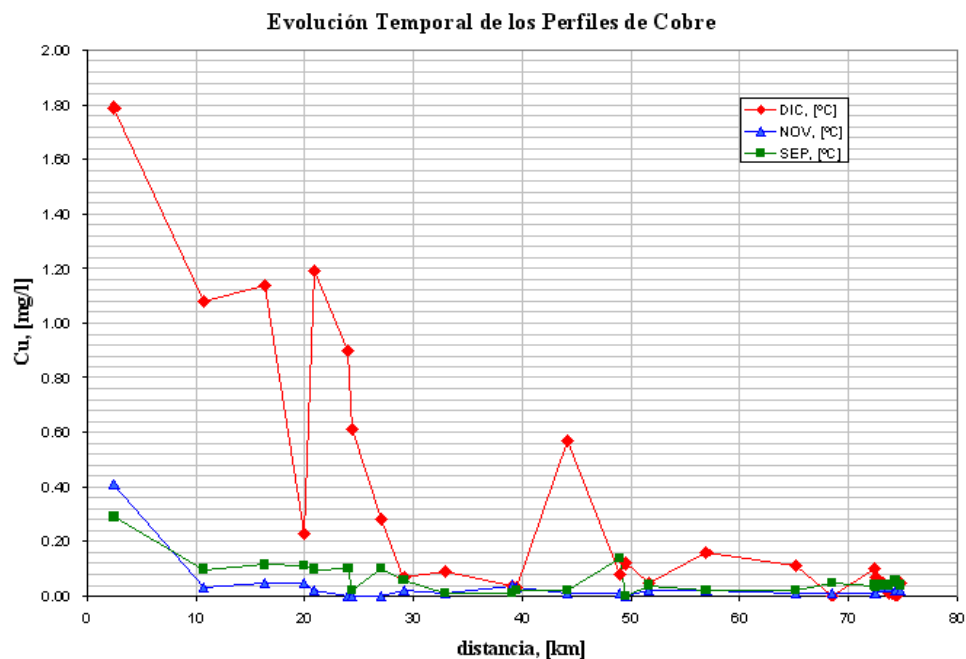


Figura 115: Evolución temporal de los perfiles de cobre, durante SEP, NOV y DIC de 2004.

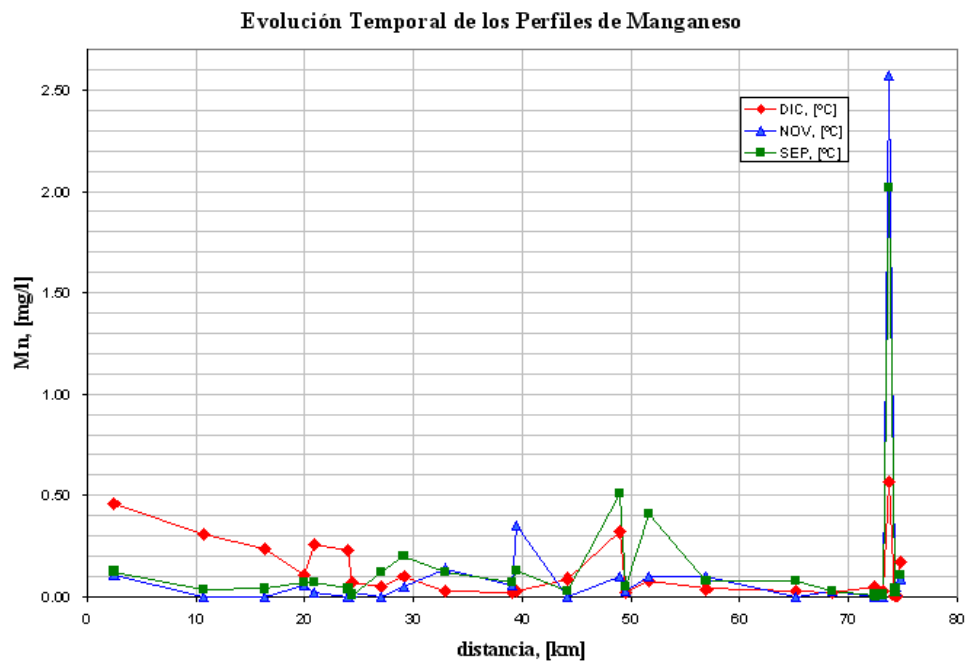


Figura 116: Evolución temporal de los perfiles de manganeso, durante SEP, NOV y DIC de 2004.

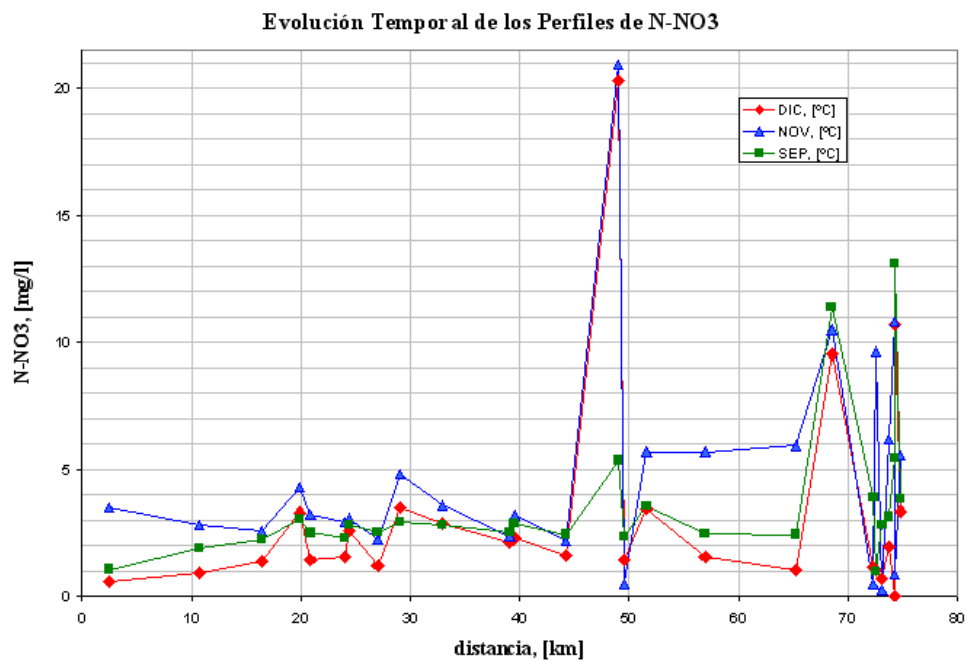
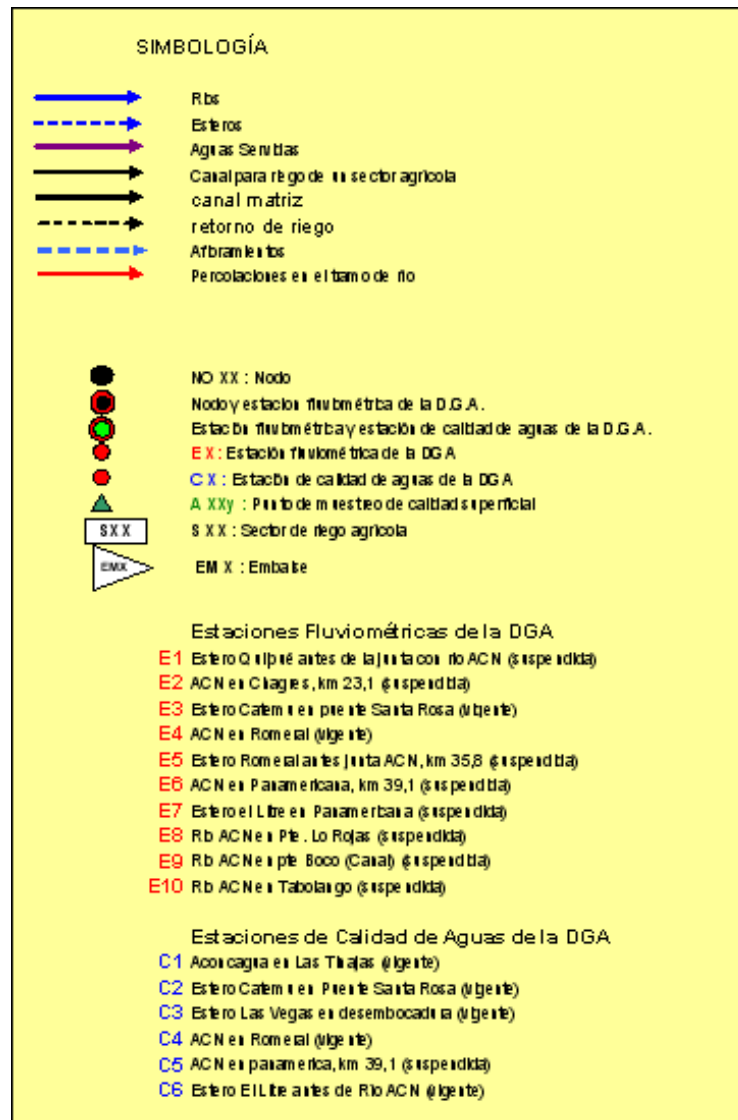


Figura 117: Evolución temporal de los perfiles de N-NO₃, durante SEP, NOV y DIC de 2004.

9.1.4 Esquema topológico del área de estudio

Con toda la información recopilada anteriormente, se procedió a elaborar un esquema topológico donde se representen todas las descargas y extracciones que sufre el río dentro del área de estudio, junto con todos los puntos de muestreo correspondientes a las campañas realizadas en septiembre, noviembre y diciembre de 2004, se procedió a elaborar un esquema topológico que permitiera representar el sistema real que se desea simular en el modelo computacional Qual2Kw. La simbología para este esquema se presenta en la fig. 118 y el esquema propiamente tal, se presenta en la figura 119 para la Segunda Sección y en la figura 120 para la Tercera Sección del río.

Figura 118: Simbología utilizada en los esquemas topológicos de las figuras siguientes



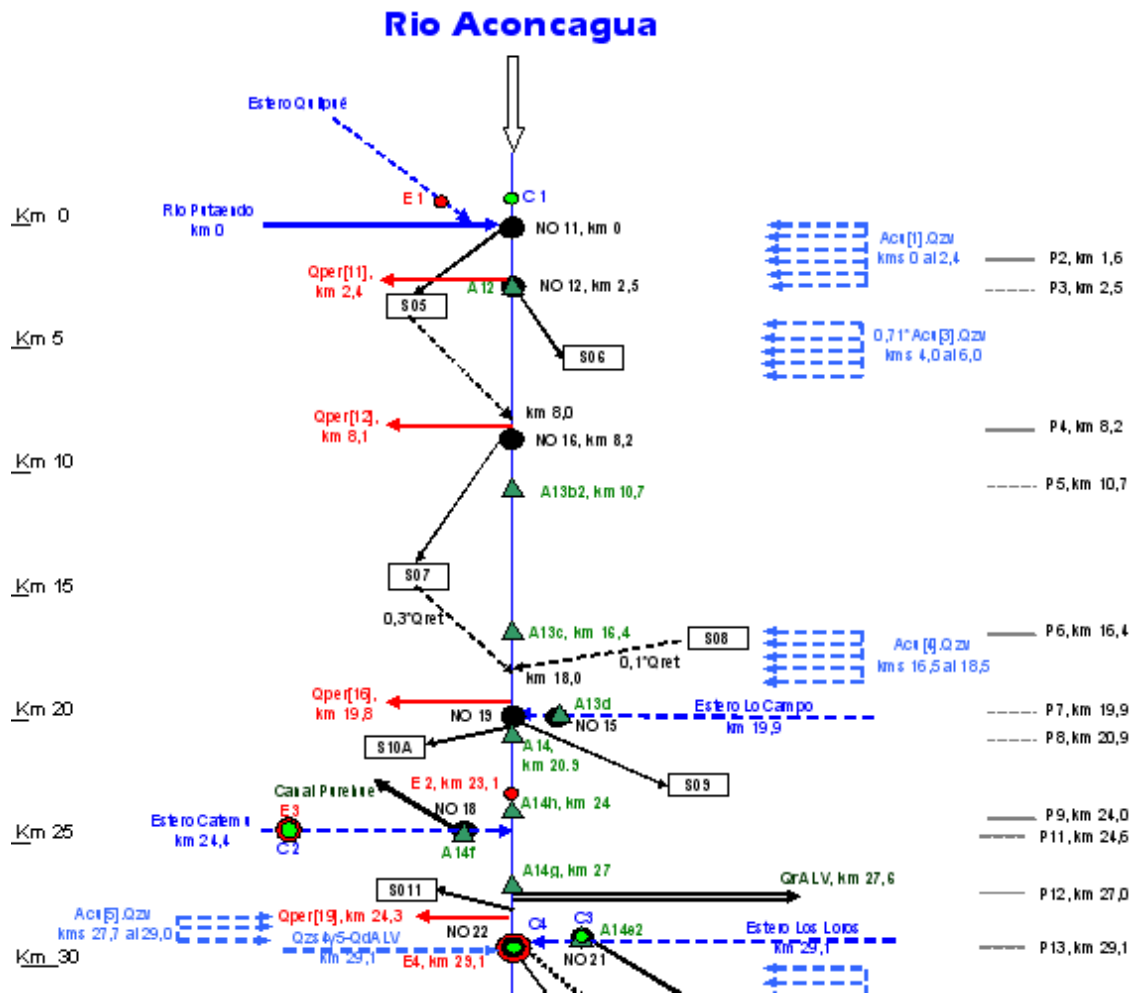


Figura 119: Esquema topológico de la representación de la Segunda Sección del río Aconcagua, utilizada en el modelo superficial de aguas Qual2Kw.

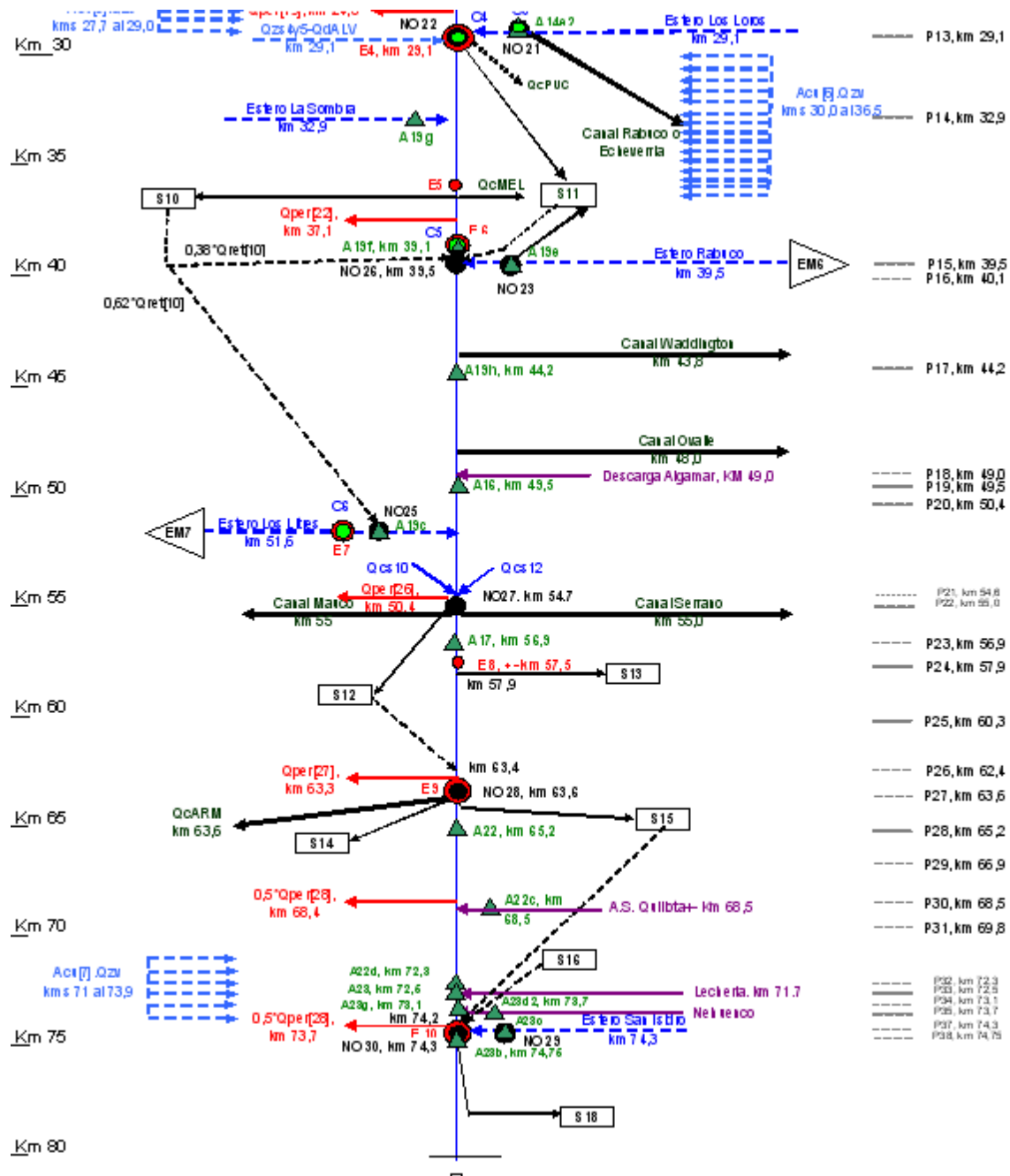


Figura 120: Esquema topológico de la representación de la Tercera Sección del río Aconcagua, utilizada en el modelo superficial de aguas Qual2Kw.

9.1.5 Implementación Computacional del Modelo de Calidad

Para la implementación del modelo de calidad de aguas Qual2k en la cuenca del río Aconcagua, se utilizó como km 0 la junta del río Aconcagua con el río Putaendo y fue necesario caracterizar hidráulicamente y en términos de calidad de agua todos los tramos considerados para el río Aconcagua y las correspondientes descargas al mismo (naturales y artificiales).

Las siguientes secciones describen la implementación realizada para el modelo Qual2Kw en la cuenca del río Aconcagua.

La aplicación QUAL2KW está montada sobre la plataforma de EXCEL.

Al ser ejecutada se abre un archivo EXCEL conteniendo una serie de Hojas de Cálculo, donde las primeras se refieren a datos de entrada del modelo. Enseguida vienen hojas de cálculo con tablas de resultados de la modelación, y luego aparecen hojas de cálculo conteniendo gráficos de resultados.

Las principales tablas consideradas en este trabajo serán descritas brevemente a continuación:

9.1.5.1 Hoja “Qual2K”

En esta hoja se ingresa la información general sobre el modelo en particular. Los datos considerados fueron:

- **River name: Aconcagua.** Cuando el programa es corrido, este nombre, junto con la fecha, aparecen en cada uno de las hojas de cálculo y gráficos de resultados.
- **Month: 9,** correspondiente a la representación numérica del mes de septiembre (e.d., enero=1, febrero=2, etc.)
- **Day: 1,** correspondiente al primer día del período de simulación
- **Year.** El año de la simulación
- **Time zone: -4,** correspondiente a la hora de Chile relativa a GMT.

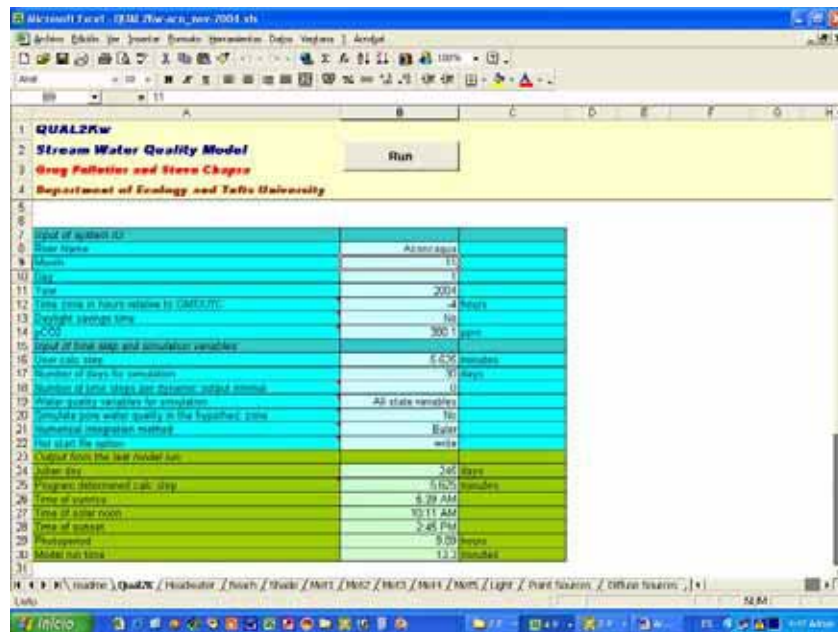


Figura 121: Hoja "Qual2K" del modelo Qual2Kw

7.1.5.2 Hoja "Headwater"

En esta hoja de cálculo se ingresa la información básica de la cabecera del sistema modelado, es decir, el Km "0" de la modelación. En este caso se consideró como cabecera el caudal sobrante desde el nodo 11 del río Aconcagua, es decir, el caudal representado por **Qaf1[11]** y su caracterización en cuanto a calidad fisicoquímica fue asignada a la muestra **A12**, por considerar que esta muestra representa adecuadamente la calidad de agua que trae el río al salir del nodo 11.

Los principales datos a ingresar son:

- **Location:** 0, en este caso se asignó el km 0 a la ubicación de la confluencia del río Putaendo con el río Aconcagua, lugar representado por el nodo 11 del modelo MOS de la DGA.
- **Headwater latitude y Headwater longitude:** 32°43'51.34" N y 70°45'33,47" W, determinadas mediante las coberturas SIG que posee el consultor.
- **Elevation: 605 m**, determinada a partir del modelo digital de terreno que el consultor posee.
- **Flow:** 11,005 m³/s, correspondiente al valor de Qsbn[11] mostrado en la Sección 9.1.3.2 del presente informe.
- **a-velocity, b-Velocity, Alpha-width or Depth, Beta-width or Depth:** Sus valores corresponden a los determinados para la sección transversal S01 en el Anexo A-4. $a = 0,4653$, $b = 0,3429$, $\text{Alfa} = 0,0728$ y $\text{Beta} = 0,7914$
- **Datos de calidad de agua de Headwater.** Como se explicó en la hoja "Headwater", los valores ingresados para temperatura, conductividad eléctrica, NO₃-N, pH e indicador patógeno (en este caso coliformes fecales), corresponden a los de la muestra A12.

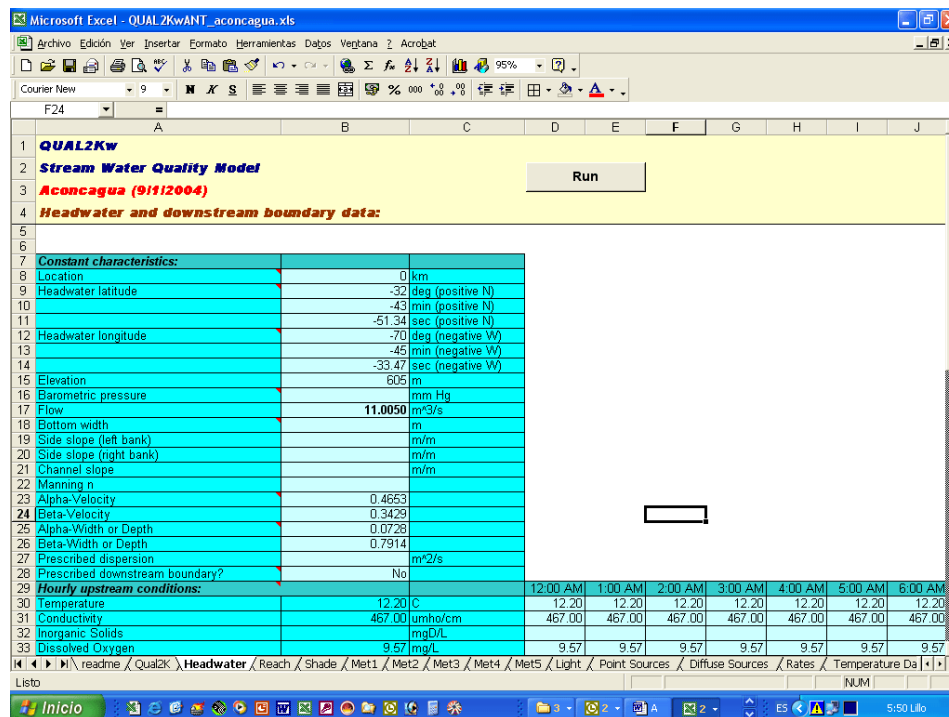


Figura 122: Hoja "Headwater" del modelo Qual2Kw

9.1.5.3 Hoja "Reach"

En esta hoja se indica la topología de los tramos de río considerados. El criterio de definición de los puntos límites de cada tramo de río fue, ordenados por prioridad, el siguiente:

- Aquellos puntos que coinciden con los nodos del modelo MOS en le río Aconcagua
- Punto de confluencia del río Aconcagua con un aporte natural, río o estero.
- Puntos de muestreo de las campañas de la Universidad Mayor.
- Puntos donde ocurre un cambio de dirección significativo del eje longitudinal del río.

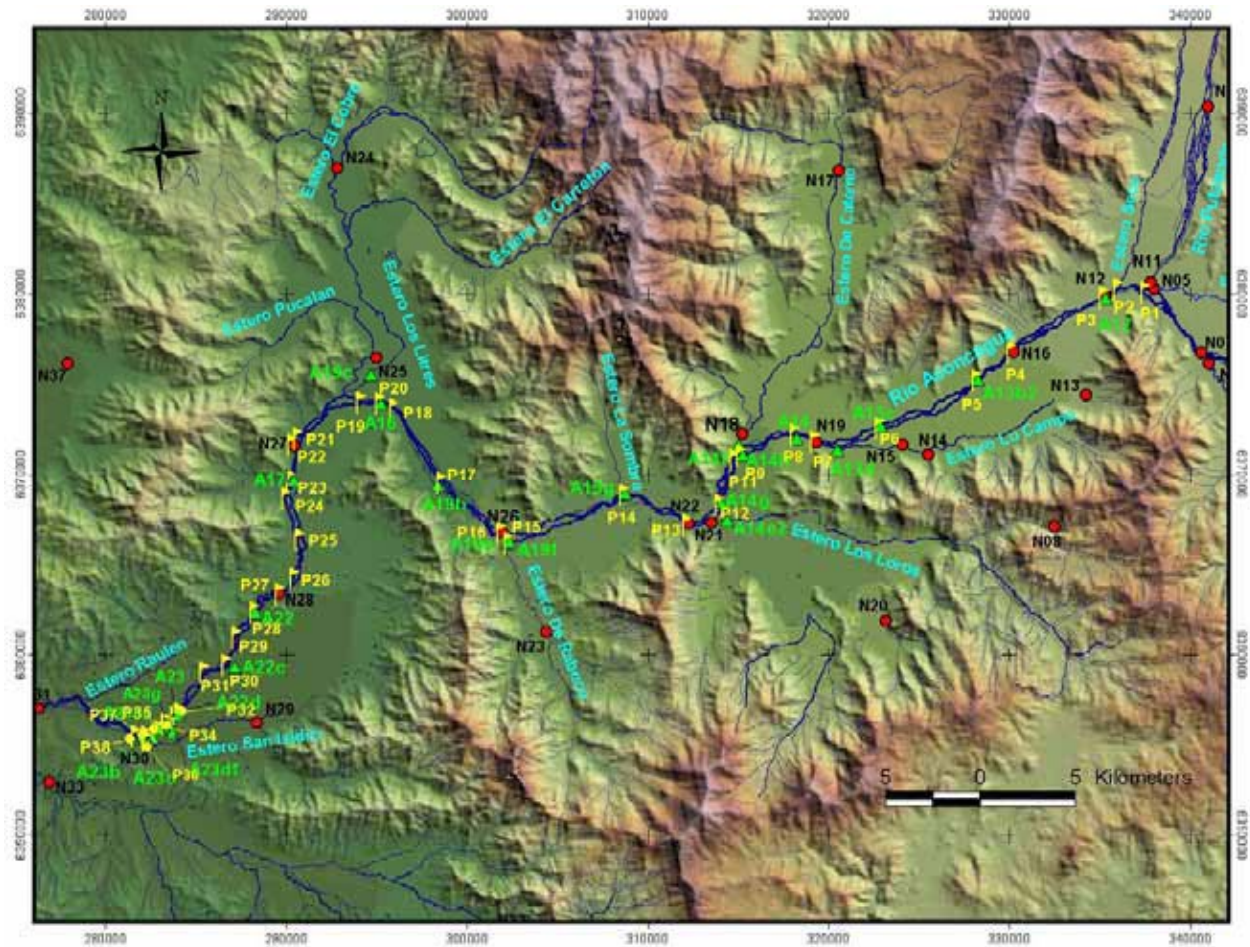


Figura 123: Puntos utilizados para la definición de los tramos de río en el modelo Qual2Kw.

De esta forma, resultaron 36 tramos con un ancho variable que va desde los 0,45 km hasta los 5,7 km. Estos tramos se muestran en la Figura 124.

A continuación se muestran dichos tramos de río con su correspondiente ubicación en el diagrama unifilar y sus longitudes.

Reach Labels	Segment	Downstream	Number	Reach length (km)	Downstream Latitude	Downstream Longitude	Down kilometer
Upstream							
1	P1-P2	2	1	1.60	-70.77	-32.73	1.60
2	P2-P3	3	2	0.90	-70.78	-32.73	2.50
3	P3-P4	4	3	5.70	-70.84	-32.76	8.20
4	P4-P5	5	4	2.50	-70.86	-32.77	10.70
5	P5-P6	6	5	5.70	-70.91	-32.79	16.40
6	P6-P7	7	6	3.50	-70.95	-32.80	19.90
7	P7-P8	8	7	1.00	-70.96	-32.80	20.90
8	P8-P9	9	8	3.10	-70.99	-32.81	24.00
9	P9-P11	11	9	0.60	-70.99	-32.81	24.60
11	P11-P12	12	10	2.40	-71.00	-32.83	27.00
12	P12-P13	13	11	2.10	-71.02	-32.84	29.10
13	P13-P14	14	12	3.80	-71.06	-32.82	32.90
14	P14-P15	15	13	6.60	-71.12	-32.84	39.50
15	P15-P16	16	14	0.60	-71.12	-32.84	40.10
16	P16-P17	17	15	4.10	-71.16	-32.82	44.20
17	P17-P18	18	16	4.80	-71.18	-32.78	49.00
18	P18-P19	19	17	0.50	-71.19	-32.78	49.50
19	P19-P20	20	18	0.90	-71.20	-32.78	50.40
20	P20-P21	21	19	4.20	-71.24	-32.79	54.60
21	P21-P22	22	20	0.40	-71.24	-32.80	55.00
22	P22-P23	23	21	1.90	-71.24	-32.81	56.90
23	P23-P24	24	22	1.00	-71.25	-32.82	57.90
24	P24-P25	25	23	2.40	-71.24	-32.84	60.30
25	P25-P26	26	24	2.10	-71.24	-32.86	62.40
26	P26-P27	27	25	1.20	-71.25	-32.87	63.60
27	P27-P28	28	26	1.60	-71.26	-32.88	65.20
28	P28-P29	29	27	1.70	-71.27	-32.89	66.90
29	P29-P30	30	28	1.60	-71.28	-32.90	68.50
30	P30-P31	31	29	1.30	-71.29	-32.90	69.80
31	P31-P32	32	30	2.50	-71.31	-32.92	72.30
32	P32-P33	33	31	0.20	-71.31	-32.92	72.50
33	P33-P34	34	32	0.60	-71.32	-32.93	73.10
34	P34-P35	35	33	0.60	-71.32	-32.93	73.70
35	P35-P37	37	34	0.60	-71.33	-32.93	74.30
37	P37-P38	38	35	0.45	-71.33	-32.93	74.75

Figura 124: Tramos de río definidos para el modelo Qual2Kw

Además, en la hoja REACH se deben incluir para cada tramo los coeficientes de las curvas de descarga (Q v/s h y V v/s h), los cuales fueron calculados en el Anexo A-4 y asociados a cada tramo suponiendo que los coeficientes calculados en cada una de las secciones, representan las condiciones desde la sección en cuestión hasta aquel punto aguas arriba donde se produzca un aporte o extracción significativa. La ilustra la ubicación relativa de las secciones de aforo consideradas en el Anexo A-4 y los tramos definidos anteriormente.

Por último, la siguiente figura muestra la hoja "Reaches" implementada.

Reach Labels	Segment	Downstream	Number	Reach length (km)	Downstream Latitude	Downstream Longitude	Downstream kilometer	Elevation Up (m)	Elevation Down (m)	Downstream latitude (positive N) in degrees/minutes/seconds	Downstream longitude (negative W) in degrees/minutes/seconds	Bottom Width (m)
1	P1-P2	2	1	1.60	-70.77	-32.73	1.60	605.0	590.0	-70 -46 -29	-32 -43 -44	
2	P2-P3	3	2	0.90	-70.78	-32.73	2.50	590.0	582.0	-70 -46 -59	-32 -43 -58	
3	P3-P4	4	3	5.70	-70.84	-32.76	8.20	582.0	543.0	-70 -50 -7	-32 -45 -30	
4	P4-P5	5	4	2.50	-70.86	-32.77	10.70	543.0	512.0	-70 -51 -19	-32 -46 -17	
5	P5-P6	6	5	5.70	-70.91	-32.79	16.40	512.0	459.0	-70 -54 -37	-32 -47 -34	
6	P6-P7	7	6	3.50	-70.95	-32.80	19.90	459.0	428.0	-70 -56 -48	-32 -47 -58	
7	P7-P8	8	7	1.00	-70.96	-32.80	20.90	428.0	420.0	-70 -57 -28	-32 -47 -44	
8	P8-P9	9	8	3.10	-70.99	-32.81	24.00	420.0	396.0	-70 -59 -19	-32 -48 -19	
9	P9-P11	11	9	0.60	-70.99	-32.81	24.60	396.0	392.0	-70 -59 -33	-32 -48 -26	
11	P11-P12	12	10	2.40	-71.00	-32.83	27.00	392.0	376.0	-71 0 -5	-32 -49 -43	
12	P12-P13	13	11	2.10	-71.02	-32.84	29.10	376.0	359.0	-71 -1 -11	-32 -50 -16	
13	P13-P14	14	12	3.80	-71.06	-32.82	32.90	359.0	338.0	-71 -3 -18	-32 -49 -23	
14	P14-P15	15	13	6.60	-71.12	-32.84	39.50	338.0	287.0	-71 -7 -14	-32 -50 -42	
15	P15-P16	16	14	0.60	-71.12	-32.84	40.10	287.0	286.0	-71 -7 -29	-32 -50 -25	
16	P16-P17	17	15	4.10	-71.16	-32.82	44.20	286.0	252.0	-71 -9 -27	-32 -48 -55	
17	P17-P18	18	16	4.80	-71.18	-32.78	49.00	252.0	225.0	-71 -10 -60	-32 -46 -48	
18	P18-P19	19	17	0.50	-71.19	-32.78	49.50	225.0	220.0	-71 -11 -28	-32 -46 -37	
19	P19-P20	20	18	0.90	-71.20	-32.78	50.40	220.0	214.0	-71 -12 -8	-32 -46 -35	
20	P20-P21	21	19	4.20	-71.24	-32.79	54.60	214.0	194.0	-71 -14 -17	-32 -47 -33	
21	P21-P22	22	20	0.40	-71.24	-32.80	55.00	194.0	184.0	-71 -14 -28	-32 -47 -46	
22	P22-P23	23	21	1.90	-71.24	-32.81	56.90	184.0	173.0	-71 -14 -33	-32 -48 -47	
23	P23-P24	24	22	1.00	-71.26	-32.83	57.90	173.0	168.0	-71 -14 -43	-32 -49 -18	

Figura 126: Hoja "Reaches" del modelo Qual2Kw

9.1.5.4 Shade, Met1, Met2, Met3, Met4, Met5, Light

Para cada tramo de río en estas hojas deben ingresarse datos meteorológicos y asociarlos a cada uno de los 36 tramos de río definidos previamente. Para la hoja "Light", se ingresan algunas constantes relacionadas con la luz solar y fotosíntesis. Los datos meteorológicos fueron obtenidos de los valores medios mensuales proporcionados por la Dirección Meteorológica de Chile y del Balance Hídrico de Chile y su distribución horaria, tanto como la asignación de los valores desconocidos se realizó de acuerdo al criterio del consultor.

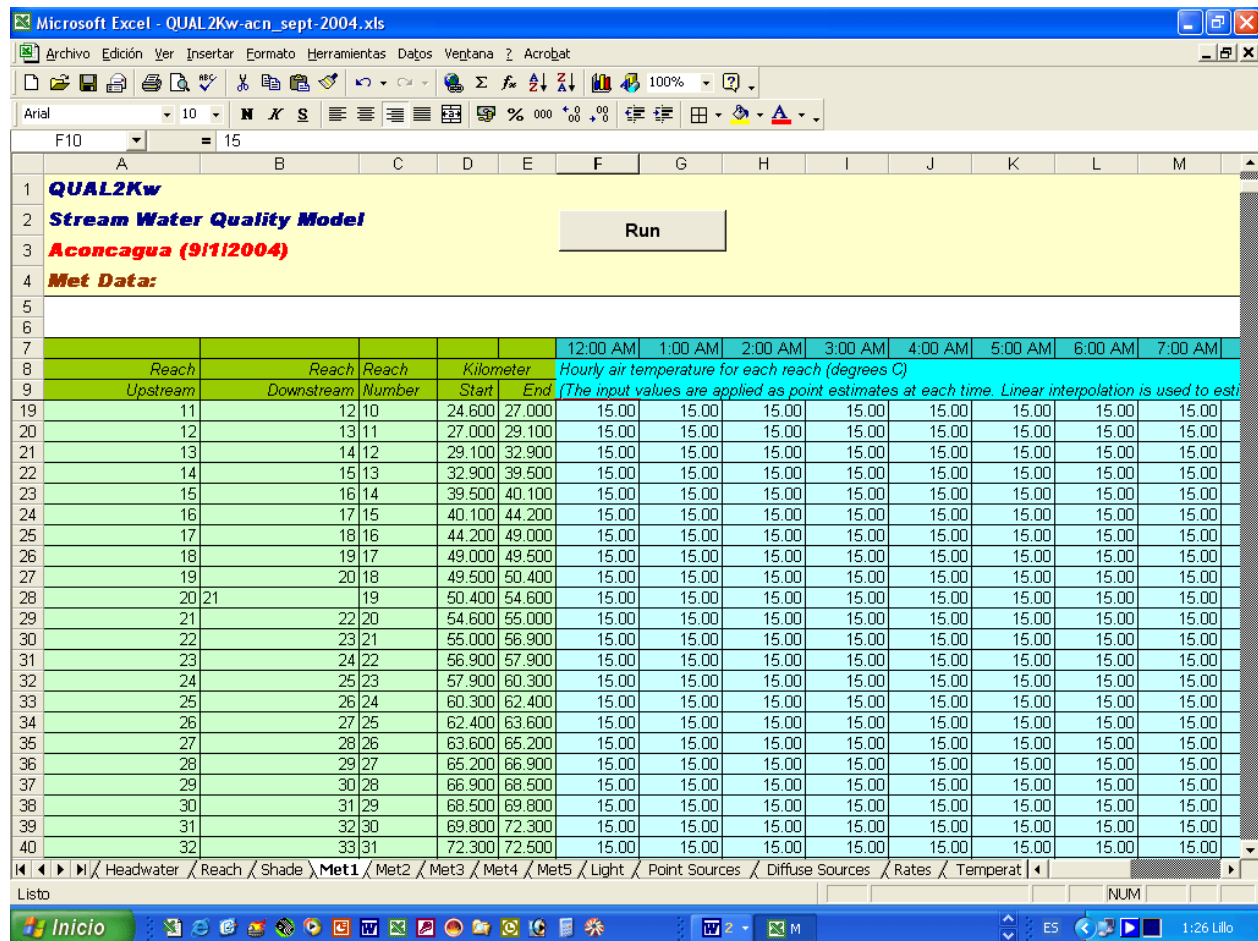


Figura 127: Hoja "Met1" del modelo Qual2Kw

La siguiente imagen muestra la hoja de cálculo Met1, donde deben ingresarse en forma horaria la temperatura horaria del aire para cada uno de los 37 tramos.

9.1.5.5 Point sources

Esta hoja es de gran relevancia, pues aquí se ingresan todos los caudales de entrada y de salida del tipo **PUNTUALES**. Aquí se ingresaron todas las descargas puntuales descritas en la sección 9.1.3.2, junto con su respectivo kilometraje, los flujos correspondientes (m^3/s) y los datos fisicoquímicos asociados a los caudales antes mencionados.

Name	Location (km)	Point Outflow (m^3/s)	Point Inflow (m^3/s)	mean Temperature (°C)	range/2 (°C)	time of day	mean Conductivity (umhos/cm)	range/2 (umhos/cm)	time of day
Qaff[11]	0.0	0.00	0.00	12.20		4:00 PM	467		
Qcni[05]	0.1	0.90	0.00	12.20		4:00 PM	467		
Qper[11]	2.4	0.00	0.00	12.20		4:00 PM	467		
Qsbn[7]	2.5	0.00	7.86	12.20		4:00 PM	467		
Qcni[06]	2.5	6.4	0.0	12.20		4:00 PM	467		
Qper[12]	7.9	0.5	0.0	14.80		4:00 PM	477		
Qrt[05]	8.2	0.00	0.64	14.80		4:00 PM	477		
Qcni[07]	9.7	9.58	0.00	14.80		4:00 PM	477		
Qrt[07]*	16.4	0.00	2.17	16.00		4:00 PM	488		
Qrt[08]*	16.4	0.00	0.34	16.00		4:00 PM	488		
Qper[16]	19.8	0.65	0.00	16.40		4:00 PM	527		
Qsbn[15]	19.9	0.00	6.26	15.60		4:00 PM	625		
Qcni[09]	20.0	10.24	0	16.40		4:00 PM	527		
Qcni[10a]	24.2	4.007	0	16.40		4:00 PM	527		
Qsbn[18]	24.4	0	4.465	19.10		4:00 PM	554		
QrALV	27.6	0.6	0	14.50		4:00 PM	565		
Qper[19]	28.9	0	0	14.50		4:00 PM	565		
Qsbn[21]	29.1	0	7.229	14.50		4:00 PM	696		
Qzs4y5-QdALV	29.1	0	0	19.50		4:00 PM	732		
Qcni[11]	29.2	1.8557	0	14.30		4:00 PM	554		
QcMEL	37.1	2.5	0	14.30		4:00 PM	554		
Qcni[10]	37.1	4.9241	0	14.30		4:00 PM	554		

Figura 128: Hoja "Point Sources" del modelo Qual2Kw.

La Figura 129, elaborada por el equipo ejecutor, muestra las relaciones entre Fuente Puntual, kilometraje y muestra de calidad asociada a esa fuente puntual. Esta muestra contiene el conjunto de datos de calidad química que se ingresan junto a cada muestra puntual en la hoja "Point Sources".

NOMBRE	K.M.I	Aporte/Extracción	Descripción	MUESTRA
Qan[11]	0.0	Aporte	Cardinal afluente al río 11.	A12
Qenl[05]	0.1	Extracción	Cardinal de entrega del río 11 al sector de riego S05	A12
Qper[11]	2.4	Extracción	Cardinal de percolación en el río 11	A12
Qabn[7]	2.5	Aporte	Cardinal sobrante en el río 11	A12
Qenl[06]	2.5	Extracción	Cardinal captado por los canales que abastecen al sector de riego S06.	A12
Qper[12]	7.9	Extracción	Cardinal de percolación en el río 12	A13B2
Qrt[05]	8.2	Aporte	Cardinal de retorno del sector de riego S05.	A13B2
Qenl[07]	9.7	Extracción	Cardinal captado por los canales que abastecen al sector de riego S07.	A13B2
Qrt[07]*	16.4	Aporte	30% de cardinal de retorno del sector de riego S07.	A13C
Qrt[08]*	16.4	Aporte	10% de cardinal de retorno del sector de riego S08.	A13C
Qper[16]	19.8	Extracción	Cardinal de percolación en el río 16	A14
Qabn[15]	19.9	Aporte	Cardinal sobrante en el río 15, corresponde al estero Los Campos en desembocadura	A13D
Qenl[09]	20.0	Extracción	Cardinal captado por los canales que abastecen al sector de riego S09	A14
Qenl[10a]	24.2	Extracción	Cardinal captado por los canales que abastecen al sector de riego S10A (La Sombra, Romel y Enrique Correa)	A14
Qabn[18]	24.4	Aporte	Cardinal sobrante en el río 18, corresponde al estero Cañem en desembocadura	A14F
QALV	27.6	Extracción	Agua en la para el acueducto de Las Vegas	A14G
Qper[19]	28.9	Extracción	Cardinal de percolación en el río 19	A14G
Qabn[21]	29.1	Aporte	Cardinal sobrante en el río 21, corresponde al estero Los Loros en desembocadura	A14E2
Qz4y5-QdALV	29.1	Aporte	Cardinal sobrante de salida de los acueductos 4 y 5 que no pudo ser captado por el acueducto Las Vegas por falta de capacidad.	P47
Qenl[11]	29.2	Extracción	Cardinal captado por los canales que abastecen al sector de riego S11.	A19G
QcMEL	37.1	Extracción	Cardinal captado por el posible embalse Mele	A19G
Qenl[10]	37.1	Extracción	Cardinal captado por los canales que abastecen al sector de riego S10.	A19G
Qper[22]	38.9	Extracción	Cardinal de percolación en el río 22	A19F
Qrt[10]*	39.0	Aporte	38% de cardinal de retorno del sector de riego S10.	A19F
Qrt[11]	39.0	Aporte	Cardinal de retorno del sector de riego S11.	A19F
Qabn[23]	39.5	Aporte	Cardinal sobrante del río 23, se asina al estero Rabo en desembocadura.	A19E
QcW	43.8	Extracción	Cardinal captado por el canal Wadligto	A19H
QcO	48.0	Extracción	Cardinal captado por el canal Ovalle	A19H
Algamar	49.0	Aporte	Des carga Algamar	Aa1g
Qabn[25]	51.6	Aporte	Cardinal sobrante en el río 15, corresponde al estero Los Libres en desembocadura	A19C
QcAlg	53.0	Extracción	Canal ficticio que extrae el cardinal descargado por la Industria Algamar, de tal forma de no afectar el balance de cardinales	A17
Qper[26]	54.6	Extracción	Cardinal de percolación en el río 19	A17
Qc10	54.7	Aporte	Cardinal de lacteica lateral del sector 10.	A17
Qc12	54.7	Aporte	Cardinal de lacteica lateral del sector 12.	A17
QcMAU	55.0	Extracción	Cardinal captado por el canal Maico	A17
QcSER	55.0	Extracción	Cardinal captado por el canal Serrano	A17
Qenl[12]	55.0	Extracción	Cardinal captado por los canales que abastecen al sector de riego S12.	A17
Qabn[13]	57.9	Extracción	Cardinal captado por los canales que abastecen al sector de riego S13.	A17
Qper[27]	63.3	Extracción	Cardinal de percolación en el río 27	A17
Qrt[12]	63.4	Aporte	Cardinal de retorno del sector de riego S12.	A22
Qenl[14]	63.6	Extracción	Cardinal captado por los canales que abastecen al sector de riego S14.	A22
Qenl[15]	63.6	Extracción	Cardinal captado por los canales que abastecen al sector de riego S15.	A22
QcARM	63.6	Extracción	Cardinal captado por el canal Almirante Armos.	A22
Qper[28]*	68.4	Extracción	50% de Cardinal de percolación en el río 28	A22
Qciv	68.5	Aporte	Des carga Aguas Serenas Quilba	A22c
QcEiv	70	Extracción	Canal ficticio que extrae el cardinal descargado por las aguas servidas de Quilba Algamar, de tal forma de no afectar el balance de cardinales	A22D
Qneh	73.1	Aporte	Des carga de la termo Elctrica Neleico	A23d2
QcNeh	73.1	Extracción	Canal ficticio que extrae el cardinal descargado por la termo Elctrica Neleico, de tal forma de no afectar el balance de cardinales	A23B
Qper[28]**	73.7	Extracción	50% de Cardinal de percolación en el río 28	A22D
Qrt[15]	74.2	Aporte	Cardinal de retorno del sector de riego S15.	A22D
Qrt[16]	74.2	Aporte	Cardinal de retorno del sector de riego S16.	A23C
Qabn[29]	74.3	Aporte	Cardinal sobrante en el río 29, se asina al estero Pocochay (San Isidro) en desembocadura.	A23C
Qenl[16]	74.3	Extracción	Cardinal captado por los canales que abastecen al sector de riego S16.	A23B

Figura 129: Relaciones entre Fuente Puntual, kilometraje y muestra de calidad asociada a esa fuente puntual

9.1.5.6 Diffuse Sources

En esta hoja se ingresan todos los caudales de entrada y de salida del tipo **DIFUSOS**, los cuales se consideran como un aporte distribuido a lo largo de un ancho “x” del río, tales como percolaciones y aporte de los acuíferos.

Sólo se consideraron como aportes difusos los afloramientos de acuíferos, pues las percolaciones en los tramos de ríos fueron consideradas como extracciones puntuales al final de cada tramo, como una primera aproximación al fenómeno estudiado.

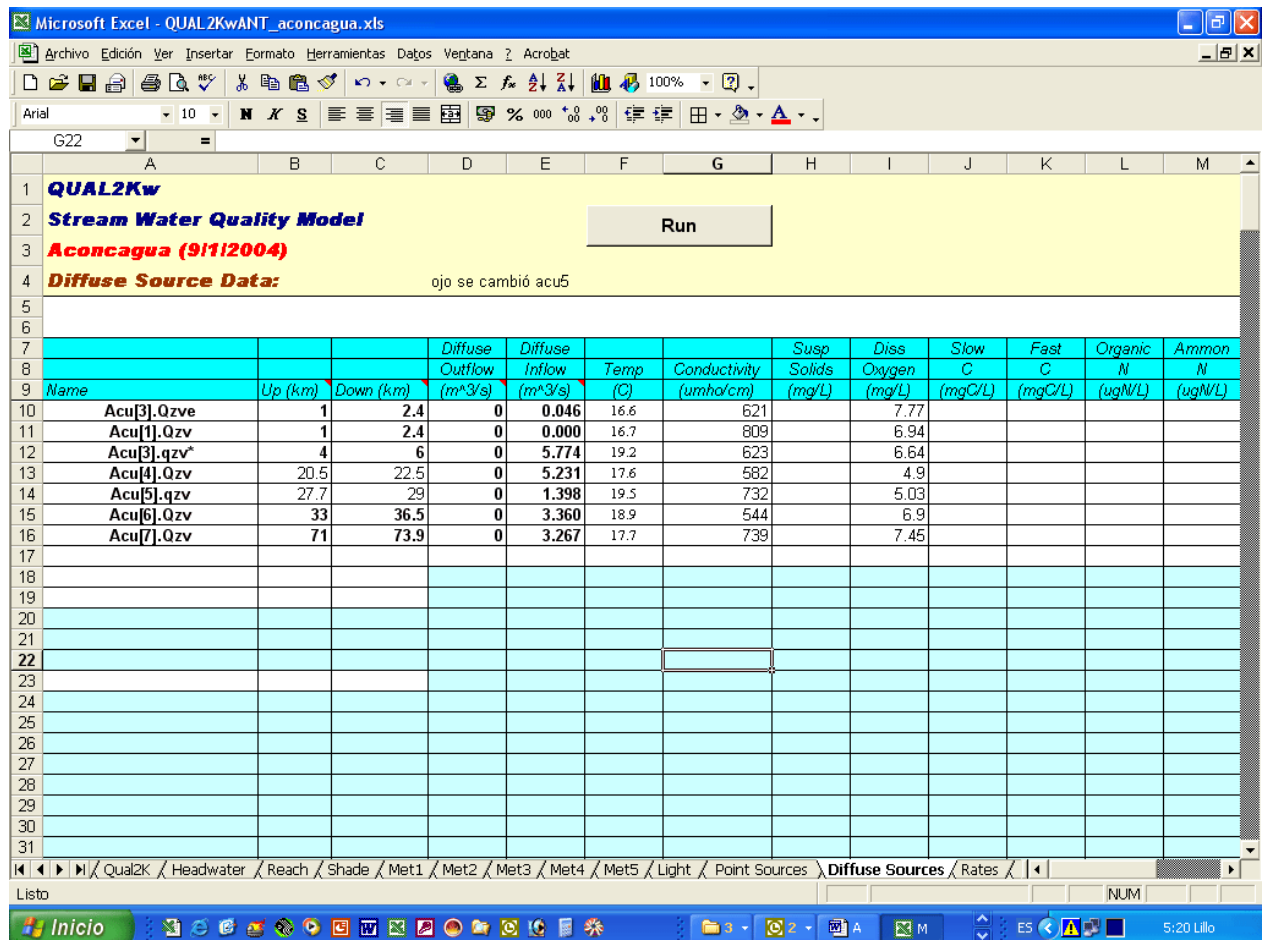


Figura 130: Hoja "Diffuse Sources" del modelo Qual2Kw

La Figura 131 indica el kilometraje del inicio y del fin de cada aporte, los flujos correspondientes (m³/s) y algunos datos de análisis fisicoquímicos asociados a los caudales antes mencionados.

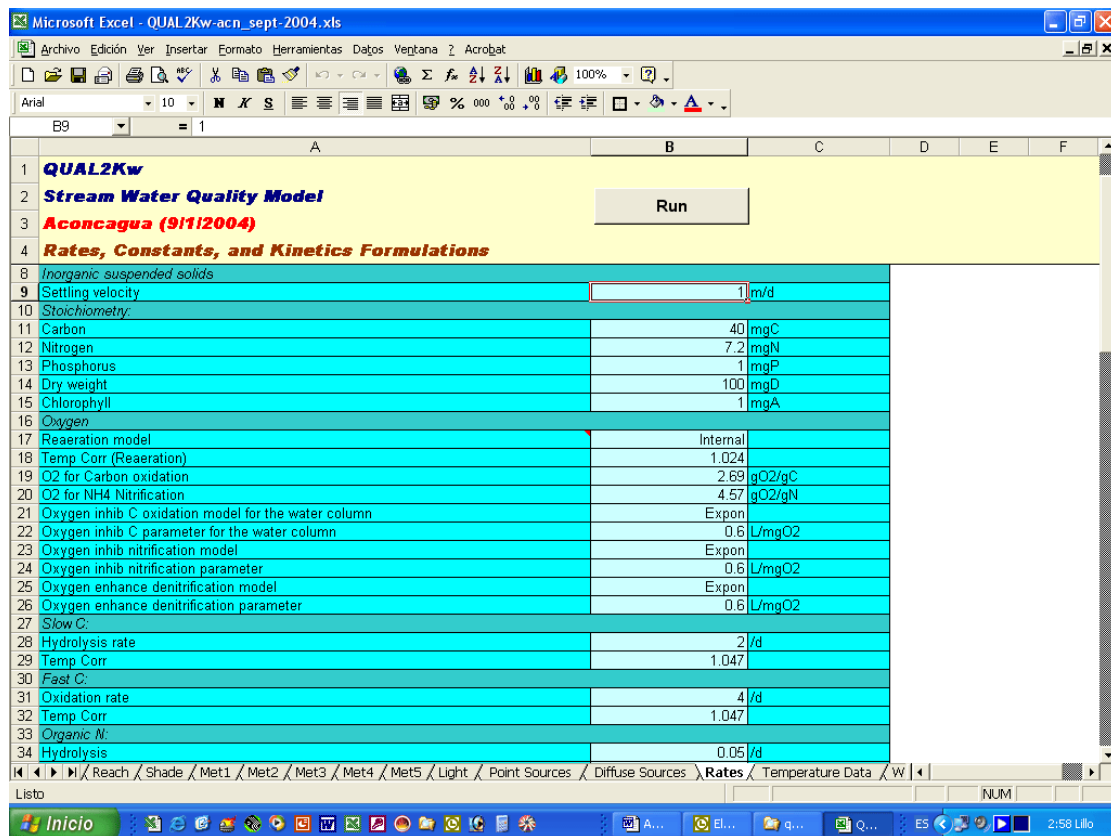
NOMBRE	KM ini	KM fin	Aporte/Extracción	Descripción	MUESTRA
Acu[3].Qzve	1	2.4	Aporte	Caudal de afloramiento en la sección de entrada de la cisterna 3	P 1
Acu[1].Qzv	1	2.4	Aporte	Caudal de afloramiento de la cisterna 1	P 04
Acu[3].qzv*	4	6	Aporte	71% del afloramiento de la cisterna 3.	P 011
Acu[4].Qzv	20.5	22.5	Aporte	Afloramiento de la cisterna 3.	P 45
Acu[5].qzv	27.7	29	Aporte	Afloramiento de la cisterna 5 más el caudal sobre el río de salida de las cisternas 4 y 5 que no pudo ser captado por la cisterna Las Vegas por falta de capacidad.	P 47
Acu[6].Qzv	33	36.5	Aporte	Afloramiento de la cisterna 6.	P-37
Acu[7].Qzv	71	73.9	Aporte	Afloramiento de la cisterna 7.	P 28

Figura 131: Relaciones entre fuente difusa, kilometraje y muestra de calidad asociada a esa fuente difusa

La tabla de datos que se presenta a continuación muestra las relaciones entre Fuente Difusa, kilometraje de inicio, kilometraje de fin y muestra asociada a esa fuente difusa. Esta muestra contiene el conjunto de datos de calidad química que se ingresan junto a cada fuente puntual en la

9.1.5.7 Rates

En esta hoja se ingresan algunas tasas de reacción que intervienen en los procesos internos de simulación de este modelo. Considera constantes del tipo termodinámico, relacionadas con la fotosíntesis, fisicoquímicas, etc.



QUAL2Kw	
Stream Water Quality Model	
Aconcagua (9/11/2004)	
Rates, Constants, and Kinetics Formulations	
Inorganic suspended solids	
Settling velocity	1 m/d
Stoichiometry:	
Carbon	40 mgC
Nitrogen	7.2 mgN
Phosphorus	1 mgP
Dry weight	100 mgD
Chlorophyll	1 mgA
Oxygen	
Reaeration model	Internal
Temp Corr (Reaeration)	1.024
O2 for Carbon oxidation	2.69 gO2/gC
O2 for NH4 Nitrification	4.57 gO2/gN
Oxygen inhib C oxidation model for the water column	Expon
Oxygen inhib C parameter for the water column	0.6 L/mgO2
Oxygen inhib nitrification model	Expon
Oxygen inhib nitrification parameter	0.6 L/mgO2
Oxygen enhance denitrification model	Expon
Oxygen enhance denitrification parameter	0.6 L/mgO2
Slow C:	
Hydrolysis rate	2 /d
Temp Corr	1.047
Fast C:	
Oxidation rate	4 /d
Temp Corr	1.047
Organic N:	
Hydrolysis	0.05 /d

Figura 132: Hoja Rates del modelo QUAL2K

En esta hoja se ingresan los valores de Temperatura a lo largo del río, indicándose en primer término el kilometraje asociado a esa medición, y un valor mínimo y máximo asociado.

Microsoft Excel - QUAL2Kw-acn_sept-2004.xls

Archivo Edición Ver Insertar Formato Herramientas Datos Ventana ? Acrobat

Arial 10 N X S [Format icons] % 000 +.00 -.00 [Language icon]

I18 =

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	QUAL2Kw												
2	Stream Water Quality Model												
3	Aconcagua (9/11/2004)												
4	Optional temperature data for comparison with predictions												
5													
6													
7		Temperature	Temperature										
8	Distance (km)	diel min (deg C)	diel max (deg C)										
9	2.50	12.2	12.2										
10	10.70	14.8	14.8										
11	16.40	16	16										
12	20.90	16.4	16.4										
13	24.00	18.4	18.4										
14	27.00	14.5	14.5										
15	39.10	14.4	14.4										
16	44.20	15	15										
17	49.50	15.7	15.7										
18	56.90	16.4	16.4										
19	65.20	15.5	15.5										
20	73.10	19.7	19.7										
21	72.30	19.8	19.8										
22	72.50	20.2	20.2										
23	74.75	19.1	19.1										
24													
25													
26													
27													
28													
29													
30													
31													

Listo NUM

Inicio [Taskbar icons] ES 3:00 Lillo

183

Laboratorio de Ecotoxicología, Universidad Mayor

9.1.5.9 WQ Data

En esta hoja se ingresan los valores de comparación de los resultados del modelo. Es decir, los datos contenidos en esta tabla deberán compararse con los valores calculados por el modelo. Cada punto considera el kilometraje y datos fisicoquímicos.

The screenshot shows the 'WQ Data' worksheet in Microsoft Excel. The worksheet has a yellow background and contains the following data:

Distance (km)	Conductivity (umho/cm)	Total Suspended Solids (mg/L)	Dissolved Oxygen (mg/L)	Slow Dissolved Organic C (mgC/L)	Fast Dissolved Organic Carbon (mgC/L)	Total N (ugN/L)	Dissolved Organic N (ugN/L)	Ammonia N (ugN/L)	Nitrate + Nitrite N (ugN/L)	Total P (ugP/L)
2.50	467.00		9.57						1050	
10.70	477.00		9.71						1910	
16.40	488.00		9.61						2250	
20.90	527.00		8.87						2490	
24.00	506.00		8.20						2290	
27.00	565.00		9.45						2540	
29.10	696.00		6.39						2900	
39.10	596.00		9.20						2510	
44.20	578.00		9.70						2430	
49.50	574.00		10.62						2340	
56.90	598.00		9.90						2450	
65.20	615.00		9.16						2430	
73.10	619.00		9.50						2820	
72.30	743.00		7.27						3900	
72.50	674.00		10.45						960	
74.75	802.00		8.31						3850	

Figura 134: Hoja "WQ Data" del modelo Qual2Kw

9.1.5.10 Hydraulics

En esta hoja el software calcula para cada tramo algunos valores hidráulicos tales como velocidad, Caudal, reaireación, en base a los datos ingresados en las hojas anteriores y los procesos de cálculo involucrados. En las columnas finales deben ser ingresados (no necesariamente) valores del flujo, velocidad y tiempo de viaje esperados, para ser comparados gráficamente con los resultados del modelo.

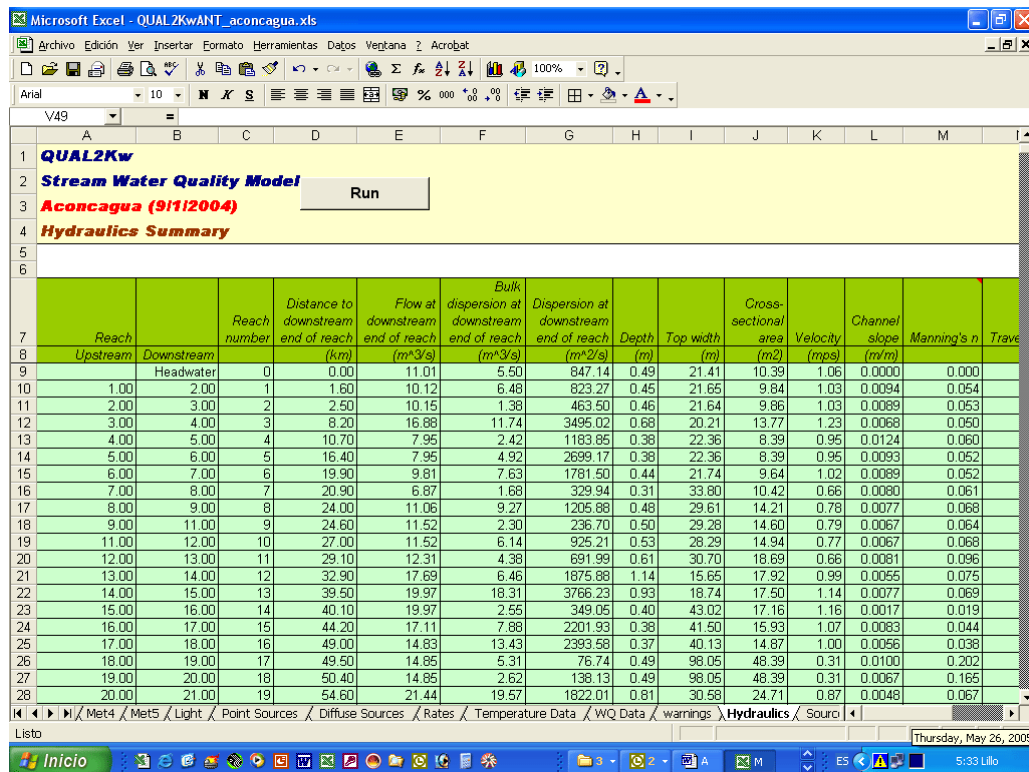


Figura 135: Hoja Hydraulics del modelo Qual2Kw

9.1.5.11 Otras hojas de cálculo

Las restantes hojas de cálculo que posee Qual2Kw, muestran principalmente resultados matemáticos de los valores simulados y calculados por el modelo, siguiendo aproximadamente el orden precedente.

Finalmente, se presentan hojas de cálculo con los gráficos de resultados y su comparación con los valores muestreados para las sustancias modeladas.

Las hojas de cálculo con resultados gráficos que de nuestro interés son:

- ❑ **Flow:** resultados de los caudales
- ❑ **Temp Plot:** resultados de temperatura
- ❑ **Conductivity:** resultados de temperatura
- ❑ **Oxygen:** resultados de oxígeno disuelto
- ❑ **NO3:** resultados de N-Nitrato + N-Nitrito
- ❑ **Alkalinity:** resultados de alcalinidad
- ❑ **PH:** resultados de pH
- ❑ **Pathogens:** resultados sobre los coliformes fecales

9.1.5.12 Preparación de datos de entrada

Antes de ingresar los datos, fue preparada una planilla de Excel independiente del QUAL2KW, con el objeto de agilizar la entrada definitiva de datos al Modelo lo que también facilita cualquier modificación en los valores de las variables consideradas.

La planilla fue relacional, estableciendo vínculos tanto entre los puntos medidos y las muestras químicas consideradas, como entre los tramos y kilometrajes resultantes de cualquier modificación.

La siguiente tabla muestra la preparación de datos para la hoja de cálculo Point Sources de QUAL2KW.

Microsoft Excel - DatosParaQUAL.xls																
Archivo Edición Ver Insertar Formato Herramientas Datos Ventana ? Acrobat																
Tahoma 10 4.5																
	A	B	G	H	I	J	K	L	S	T	U	V	W	X	Y	
1	SEPTIEMBRE						Caudal SEP-04				Temperature		Conductivity			
2							Outflow	Inflow			mean	range/2	time of	mean	range/2	t
3	NOMBR	KM	Caudal SEP-04	Caudal OCT-04	Caudal NOV-04	Caudal DIC-04	(m³/s)	(m³/s)	NOMBRE		°C	°C	max	umhos/cm	umhos/cm	
4	Qafl[11]	0.0	0.000	10.791	19.654	12.697	0	0	Qafl[11]	A12	12.2		4:00 PM	467		
5	Qcni[05]	0.1	0.900	0.900	0.900	0.900	0.9	0	Qcni[05]	A12	12.2		4:00 PM	467		
6	Qper[11]	2.4	0.000	0.000	0.000	0.000	0	0	Qper[11]	A12	12.2		4:00 PM	467		
7	Qsbn[7]	2.5	7.859	7.207	18.903	22.158	0	7.859	Qsbn[7]	A12	12.2		4:00 PM	467		
8	Qcni[06]	2.5	6.400	6.400	6.400	6.400	6.4	0	Qcni[06]	A12	12.2		4:00 PM	467		
9	Qper[12]	7.9	0.501	0.477	0.907	0.841	0.501	0	Qper[12]	A13B2	14.8		4:00 PM	477		
10	Qrt[05]	8.2	0.644	0.480	0.294	0.179	0	0.6436	Qrt[05]	A13B2	14.8		4:00 PM	477		
11	Qcni[07]	9.7	9.580	9.580	9.580	9.580	9.58	0	Qcni[07]	A13B2	14.8		4:00 PM	477		
12	Qrt[07]*	16.4	2.171	1.771	1.304	0.917	0	2.1708	Qrt[07]*	A13C	16		4:00 PM	488		
13	Qrt[08]*	16.4	0.341	0.297	0.243	0.214	0	0.3411	Qrt[08]*	A13C	16		4:00 PM	488		
14	Qper[16]	19.8	0.649	0.604	1.370	1.264	0.649	0	Qper[16]	A14	16.4		4:00 PM	527		
15	Qsbn[15]	19.9	6.258	5.187	4.087	3.384	0	6.258	Qsbn[15]	A13D	15.6		4:00 PM	625		
16	Qcni[09]	20.0	10.240	10.240	10.240	10.240	10.24	0	Qcni[09]	A14	16.4		4:00 PM	527		
17	Qcni[10a]	24.2	4.007	3.712	4.500	4.500	4.007	0	Qcni[10a]	A14	16.4		4:00 PM	527		
18	Qsbn[18]	24.4	4.465	3.533	2.444	1.539	0	4.465	Qsbn[18]	A14F	19.1		4:00 PM	554		
19	QrALV	27.6	0.600	0.600	0.600	0.600	0.6	0	QrALV	A14G	14.5		4:00 PM	565		
20	Qper[19]	28.9	0.000	0.000	0.000	0.000	0	0	Qper[19]	A14G	14.5		4:00 PM	565		
21	Qsbn[21]	29.1	7.229	6.029	4.495	3.197	0	7.229	Qsbn[21]	A14E2	14.5		4:00 PM	696		
22	zs4y5-QdAL	29.1	0.000	0.000	0.000	0.000	0	0	zs4y5-QdAL	P47	19.5		4:00 PM	732		
23	Qcni[11]	29.2	1.856	1.572	3.385	2.794	1.8567	0	Qcni[11]	A19G	14.30		4:00 PM	554		
24	QcMEL	37.1	2.500	2.011	2.500	2.500	2.5	0	QcMEL	A19G	14.30		4:00 PM	554		
25	Qcni[10]	37.1	4.924	4.171	8.485	7.414	4.9241	0	Qcni[10]	A19G	14.30		4:00 PM	554		
26	Qper[22]	38.9	0.607	0.549	0.884	0.775	0.607	0	Qper[22]	A19F	14.4		4:00 PM	596		
27	Qrt[10]*	39.0	3.593	2.200	3.135	2.060	0	3.5929	Qrt[10]*	A19F	14.4		4:00 PM	596		
28	Qrt[11]	39.0	3.361	2.447	3.505	2.401	0	3.361	Qrt[11]	A19F	14.4		4:00 PM	596		
29	Qsbn[23]	39.5	0.000	0.000	0.000	0.000	0	0	Qsbn[23]	A19E	14.7		4:00 PM	714		
30	QcW	43.8	2.860	2.257	3.001	3.001	2.859591	0	QcW	A19H	15		4:00 PM	578		
31	QcO	48.0	2.285	1.804	2.399	2.399	2.285409	0	QcO	A19H	15		4:00 PM	578		

Figura 136: Hoja de cálculo de preparación de datos para la Hoja “Point Sources” de Qual2Kw.

La siguiente tabla muestra la preparación de datos para la hoja de cálculo Diffuse Sources de QUAL2KW.

Microsoft Excel - DatosParaQUAL.xls

Archivo Edición Ver Insertar Formato Herramientas Datos Ventana ? Acrobat

Arial 10

	A	B	C	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
1	SEPTIEMBRE			Caudal SEP-04		Caudal OCT-04		Caudal NOV-04		Caudal DIC-04					
2				Outflow	Inflow	Outflow	Inflow	Outflow	Inflow	Outflow	Inflow			Temp	Conductivity
3	Name	Up (km)	Down (km)	(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)	POZO	POZO	(C)	(umho/cm)
4	Acu[3].Qzve	1	2.4	0	0.046	0	0	0	0	0	0.0086	P1	P-42	16.6	621
5	Acu[1].Qzv	1	2.4	0	0.000	0	0	0	0	0	0	P04		16.7	809
6	Acu[3].qzv*	4	6	0	5.774	0	5.940712	0	6.572967	0	6.837726	P010		19.2	623
7	Acu[4].Qzv	20.5	22.5	0	5.231	0	6.0187	0	7.7308	0	8.3985	P46		17.6	582
8	Acu[5].qzv	27.7	29	0	1.398	0	1.708	0	2.359	0	2.9609	P47		19.5	732
9	Acu[6].Qzv	33	36.5	0	3.360	0	2.9692	0	4.8676	0	5.4859	P-37		18.9	544
10	Acu[7].Qzv	71	73.9	0	3.267	0	1.5197	0	3.7099	0	3.679	P28		17.7	739
11					19.076										
12										DEL ACU3QZV*		P42		16.5	678
13															
14															
15															
16															
17															
18															
19															
20															
21															
22															
23															
24															
25															
26															
27															
28															
29															
30															
31															

QcaDif12 / Qca9 / Qca11 / Qca12 / P9 / P11 / P12 \ D9 / D11 / D12 / Qs_Tramos / BALANCE / QcaTot / Descr_Qs_nodos /

Listo NUM

Inicio

5:47 Lillo

Figura 137: Hoja de cálculo de preparación de datos para la Hoja “Diffuse Sources” de Qual2Kw.

9.2. RESULTADOS DE LA CALIBRACIÓN DEL MODELO DE CALIDAD DE AGUAS SUPERFICIALES

9.2.1 Introducción

En esta sección se presentan los resultados obtenidos para modelación superficial realizada en los meses de septiembre, noviembre y diciembre de 2004 con el modelo Qual2Kw. Sin embargo, es necesario destacar que el modelo utilizado no es capaz de simular contaminantes conservativos, por lo cual, es imposible obtener con éste resultados para los contaminantes Cu y Mn que se desea modelar. Debido a esto, ha sido necesario recurrir a la antigua versión del modelo, Qual2E, lo cual ha requerido rehacer completamente la topología, pues mientras que en Qual2Kw el kilometraje comienza aguas arriba, en Qual2E comienza aguas abajo. Además, Qual2Kw permite definir los aportes y extracciones en cualquier kilometraje, en cambio Qual2E obliga a dividir cada tramo en elementos computacionales de igual longitud, en este caso 0,5 km, lo cual obligó a modificar levemente la ubicación de algunos aportes y extracciones. Finalmente, luego de un laborioso trabajo, se ha llegado a modelar dichos contaminantes y en este capítulo se muestran los resultados obtenidos en todas las sustancias modeladas.

Por otra parte, es necesario mencionar dos aspectos relevantes en la modelación:

- Qual2Kw permite simular la DBO mediante dos componentes, una fracción de oxidación lenta (slow DOC) y una fracción de oxidación rápida (fast DOC), y en el presente trabajo se ha decidido incorporar completamente la DBO medida dentro de la DBO de oxidación rápida, pues es esta componente la que afecta directamente el balance de oxígeno en la columna de agua, mientras que la fracción de oxidación lenta intervienen en el consumo de oxígeno por parte de los sedimentos de fondo, y debido a la falta de información acerca de % de cobertura de fondo de los sedimentos y composición de los mismos, se decidió despreciar el consumo de oxígeno por parte de los mismos.
- Qual2Kw simula los compuestos nitrogenados a través de la suma de nitritos más nitratos, pero debido a que sólo existen mediciones de nitratos y no de nitritos, serán éstos quienes se ingresarán al modelo, despreciando de esta forma el aporte de los nitritos.

9.2.2 Resultados hidráulicos

A continuación se presenta una tabla donde se muestran los resultados obtenidos para el caudal, profundidad, velocidad, tiempo de viaje, pendiente longitudinal, coeficiente de dispersión longitudinal y de reaireación en cada uno de los tramos, para los meses de septiembre, noviembre y diciembre de 2004.

Tabla 42: Resultados hidráulicos entregados por Qual2Kw para el mes de septiembre de 2004

Reach Upstream	Reach Downstream	Reach number	Km Fin (km)	Flow* (m³/s)	Dispersion* (m²/s)	Depth (m)	Top width (m)	Cross- sectional area (m²)	Velocity (mps)	Channel slope (m/m)	Manning's n 0	Travel time (d)	Reaeration ka,20(d)	Reaeration formula 0
0	Headwater	0	0	11.01	847.1	0.49	21.41	10.39	1.06	0.00	0.00	0.00	21.97	Owens
1	2	1	1.6	10.12	823.3	0.45	21.65	9.84	1.03	0.01	0.05	0.02	24.31	Owens
2	3	2	2.5	10.15	483.5	0.46	21.64	9.86	1.03	0.01	0.05	0.03	24.24	Owens
3	4	3	8.2	16.88	3495.0	0.68	20.21	13.77	1.23	0.01	0.05	0.08	12.36	Church
4	5	4	10.7	7.95	1183.8	0.38	22.36	8.39	0.95	0.01	0.06	0.11	32.88	Owens
5	6	5	16.4	7.95	2699.2	0.38	22.36	8.39	0.95	0.01	0.05	0.18	32.88	Owens
6	7	6	19.9	9.81	1781.5	0.44	21.74	9.64	1.02	0.01	0.05	0.22	25.46	Owens
7	8	7	20.9	6.53	324.1	0.29	34.29	10.07	0.65	0.01	0.06	0.24	40.21	Owens
8	9	8	24	11.06	1206.0	0.48	29.61	14.22	0.78	0.01	0.07	0.29	18.59	Owens
9	11	9	24.6	11.52	236.7	0.50	29.28	14.60	0.79	0.01	0.06	0.29	17.52	Owens
11	12	10	27	11.52	925.3	0.53	28.29	14.94	0.77	0.01	0.07	0.33	15.58	Owens
12	13	11	29.1	10.92	675.9	0.54	31.39	16.96	0.64	0.01	0.09	0.37	13.35	Owens
13	14	12	32.9	20.59	1899.4	1.30	15.81	20.60	1.00	0.01	0.08	0.41	3.64	Church
14	15	13	39.5	21.61	3902.6	0.98	18.74	18.28	1.18	0.01	0.07	0.48	6.75	Church
15	16	14	40.1	21.61	363.6	0.41	43.83	17.83	1.21	0.00	0.02	0.48	33.26	Owens
16	17	15	44.2	18.75	2308.8	0.39	42.40	16.65	1.13	0.01	0.04	0.52	33.83	Owens
17	18	16	49	16.47	2527.3	0.38	41.13	15.64	1.05	0.01	0.04	0.58	34.36	Owens
18	19	17	49.5	16.50	77.5	0.50	106.17	53.24	0.31	0.01	0.20	0.60	9.77	Owens
19	20	18	50.4	16.50	139.4	0.50	106.17	53.24	0.31	0.01	0.17	0.63	9.82	Owens
20	21	19	54.6	23.08	1870.1	0.82	31.43	25.92	0.89	0.00	0.07	0.68	6.86	Church
21	22	20	55	23.23	178.5	0.83	31.51	26.03	0.89	0.03	0.15	0.69	6.86	Church
22	23	21	56.9	19.93	803.3	0.79	29.76	23.57	0.85	0.01	0.07	0.72	7.00	Church
23	24	22	57.9	19.93	422.8	0.79	29.76	23.57	0.85	0.01	0.07	0.73	7.00	Church
24	25	23	60.3	11.75	1313.6	0.56	19.31	10.74	1.09	0.01	0.04	0.75	17.79	Owens
25	26	24	62.4	11.75	1291.0	0.46	20.62	9.56	1.23	0.01	0.04	0.77	26.60	Owens
26	27	25	63.6	11.42	725.4	0.46	20.54	9.44	1.21	0.01	0.04	0.79	26.73	Owens
27	28	26	65.2	7.09	601.5	0.61	15.53	9.42	0.75	0.01	0.07	0.81	12.06	Owens
28	29	27	66.9	7.09	639.1	0.61	15.53	9.42	0.75	0.00	0.05	0.84	12.07	Owens
29	30	28	68.5	6.79	593.9	0.59	15.46	9.15	0.74	0.01	0.08	0.86	12.53	Owens
30	31	29	69.8	6.89	484.7	0.60	15.49	9.24	0.75	0.00	0.06	0.88	12.38	Owens
31	32	30	72.3	8.26	984.3	0.66	15.78	10.49	0.79	0.01	0.08	0.92	8.76	Church
32	33	31	72.5	8.48	79.4	0.67	15.83	10.68	0.79	0.01	0.09	0.92	8.61	Church
33	34	32	73.1	9.16	243.7	0.71	15.96	11.27	0.81	0.01	0.07	0.93	8.18	Church
34	35	33	73.7	9.83	249.0	0.74	16.08	11.85	0.83	0.00	0.07	0.94	7.80	Church
35	37	34	74.3	14.82	174.3	1.13	22.56	25.51	0.58	0.01	0.14	0.95	3.05	O'Conn
37	38	35	74.75	16.66	67.4	1.83	30.33	55.61	0.30	0.00	0.31	0.97	1.22	O'Conn

Los valores de caudal y dispersión longitudinal representan el valor acumulado en el km final de cada tramo.

Tabla 43: Resultados hidráulicos entregados por Qual2Kw para el mes de noviembre de 2004.

Reach number	Km Fin (km)	Flow* (m ³ /s)	Dispersion* (m ² /s)	Depth (m)	Top width (m)	Cross- sectional area (m ²)	Velocity (mps)	Channel slope (m/m)	Manning's n	Travel time (d)	Reaeration ka,20/(d)	Reaeration formula
0,00	0,00	19,65	1033,5	0,77	19,80	15,21	1,29	0,00	0,00	0,00	10,67	Church
1,00	1,60	38,41	1300,5	1,31	18,10	23,63	1,63	0,01	0,07	0,01	5,58	Church
2,00	2,50	38,41	731,5	1,31	18,10	23,63	1,63	0,01	0,06	0,02	5,58	Church
3,00	8,20	56,58	5291,0	1,77	17,18	30,48	1,86	0,01	0,06	0,05	3,84	Church
4,00	10,70	47,29	2182,2	1,54	17,60	27,09	1,75	0,01	0,08	0,07	4,62	Church
5,00	16,40	47,29	4975,5	1,54	17,60	27,09	1,75	0,01	0,07	0,11	4,62	Church
6,00	19,90	47,47	3059,1	1,54	17,59	27,15	1,75	0,01	0,06	0,13	4,60	Church
7,00	20,90	42,86	621,8	1,70	20,31	34,46	1,24	0,01	0,09	0,14	2,90	Church
8,00	24,00	49,05	2019,8	1,92	19,56	37,64	1,30	0,01	0,09	0,17	2,48	Church
9,00	24,60	46,99	385,2	1,85	19,80	36,60	1,28	0,01	0,09	0,17	2,60	Church
10,00	27,00	46,99	1341,0	1,21	34,82	42,05	1,12	0,01	0,08	0,20	4,55	Church
11,00	29,10	48,75	906,2	2,37	23,86	56,49	0,86	0,01	0,16	0,23	1,26	Church
12,00	32,90	49,86	2042,5	2,76	16,77	46,38	1,07	0,01	0,11	0,27	1,18	Church
13,00	39,50	49,50	5666,2	1,54	18,74	28,83	1,72	0,01	0,06	0,31	4,56	Church
14,00	40,10	49,50	558,3	0,50	53,19	26,60	1,86	0,00	0,01	0,32	30,15	Owens
15,00	44,20	46,50	3693,2	0,49	52,42	25,81	1,80	0,01	0,03	0,34	30,37	Owens
16,00	49,00	44,10	4206,9	0,49	51,77	25,16	1,75	0,01	0,03	0,37	30,56	Owens
17,00	49,50	44,13	84,6	0,58	224,13	130,33	0,34	0,01	0,21	0,39	7,95	Owens
18,00	50,40	44,13	152,4	0,58	224,13	130,33	0,34	0,01	0,17	0,42	7,99	Owens
19,00	54,60	50,32	2462,3	1,02	42,04	42,92	1,17	0,00	0,06	0,46	6,25	Church
20,00	55,00	50,32	234,5	1,02	42,04	42,92	1,17	0,03	0,13	0,47	6,25	Church
21,00	56,90	47,02	1087,5	1,00	40,99	41,07	1,14	0,01	0,06	0,49	6,31	Church
22,00	57,90	47,02	572,4	1,00	40,99	41,07	1,14	0,01	0,06	0,50	6,32	Church
23,00	60,30	38,84	2534,3	0,77	23,87	18,39	2,11	0,01	0,03	0,51	17,17	Church
24,00	62,40	38,84	2567,1	0,65	24,29	15,89	2,44	0,01	0,02	0,52	25,88	Church
25,00	63,60	37,93	1446,9	0,65	24,22	15,73	2,41	0,01	0,02	0,52	25,84	Church
26,00	65,20	33,60	962,0	1,53	18,30	27,94	1,20	0,01	0,08	0,54	3,38	Church
27,00	66,90	33,60	1022,2	1,53	18,30	27,94	1,20	0,00	0,05	0,56	3,38	Church
28,00	68,50	33,08	957,6	1,51	18,27	27,64	1,20	0,01	0,09	0,57	3,42	Church
29,00	69,80	33,18	778,7	1,52	18,27	27,70	1,20	0,00	0,06	0,58	3,41	Church
30,00	72,30	34,74	1518,5	1,56	18,36	28,60	1,21	0,01	0,09	0,61	3,31	Church
31,00	72,50	35,00	121,7	1,56	18,38	28,75	1,22	0,01	0,10	0,61	3,30	Church
32,00	73,10	35,77	367,6	1,58	18,42	29,19	1,23	0,01	0,07	0,62	3,26	Church
33,00	73,70	36,54	370,0	1,60	18,46	29,62	1,23	0,00	0,07	0,62	3,21	Church
34,00	74,30	40,34	223,1	1,90	28,49	54,24	0,74	0,01	0,16	0,63	1,63	O'Conn
35,00	74,75	40,75	46,3	4,73	41,85	197,91	0,21	0,00	0,80	0,66	0,31	O'Conn

9.2.3 Tablas de resultados de calidad

A continuación se presentan las tablas que muestran las concentraciones de oxígeno disuelto (OD), DBO₅ rápida (DOC fast), nitrógeno en forma de nitrito más nitrato (nitrate + nitrite N) y de conductividad eléctrica (CE), pH, Coliformes fecales (C.F) y temperatura en cada uno de los tramos definidos en la Sección 9.1 para los meses de septiembre, noviembre y diciembre de 2004.

Tabla 44: Resultados de calidad entregados por Qual2Kw para el mes de septiembre de 2004.

Reach number	Km Fin	Plotting Km	C.E.	O.D.	pH	DOC, fast	nitrate + nitrite N	C.F.	Temp
	(Km)	(Km)	(umho/cm)	(mg/L)	(standard units)	(mg/L)	(ugN/L)	(cfu/100ml)	(°C)
0	0,0	0,0	467	9,57	8,10	0,00	1050,00	500	12,20
1	1,6	0,8	467	9,67	7,84	0,00	1052,41	271	12,16
2	2,5	2,1	468	9,72	7,73	0,00	1055,90	178	12,15
3	8,2	5,4	505	9,31	7,54	0,31	1380,18	111	13,16
4	10,7	9,5	504	9,44	7,48	0,36	1399,60	77	13,16
5	16,4	13,6	504	9,73	7,37	0,30	1399,47	22	12,90
6	19,9	18,2	500	9,67	7,36	0,69	1603,64	11	13,50
7	20,9	20,4	550	9,20	7,44	1,51	2193,78	572	14,41
8	24,0	22,5	563	8,15	7,31	0,77	2482,68	228	15,49
9	24,6	24,3	561	9,18	7,46	0,82	2571,01	459	16,49
10	27,0	25,8	561	9,09	7,32	0,73	2570,74	364	16,31
11	29,1	28,1	561	9,04	7,24	0,65	2570,47	285	16,13
12	32,9	31,0	613	7,52	7,14	1,10	2720,47	4286	16,09
13	39,5	36,2	604	7,96	7,13	0,87	2630,69	2283	15,77
14	40,1	39,8	604	8,16	7,14	0,85	2630,61	2167	15,74
15	44,2	42,2	604	8,83	7,18	0,76	2630,30	1577	15,52
16	49,0	46,6	604	9,26	7,22	0,66	2630,00	1027	15,24
17	49,5	49,3	605	9,24	7,19	0,63	2634,65	837	15,13
18	50,4	50,0	605	9,24	7,16	0,56	2634,43	586	14,98
19	54,6	52,5	616	8,23	6,91	2,79	2898,45	1366	14,76
20	55,0	54,8	616	8,18	6,89	2,73	2895,46	1267	14,76
21	56,9	56,0	616	7,96	6,83	2,56	2895,08	958	14,70
22	57,9	57,4	616	7,85	6,79	2,45	2894,84	798	14,66
23	60,3	59,1	616	8,02	6,80	2,34	2894,60	651	14,61
24	62,4	61,4	616	8,39	6,85	2,21	2894,34	497	14,52
25	63,6	63,0	616	8,59	6,89	2,09	2874,83	436	14,51
26	65,2	64,4	616	8,57	6,87	1,99	2874,65	350	14,46

Reach number	Km Fin	Plotting Km	C.E.	O.D.	pH	DOC, fast	nitrate + nitrite N	C.F.	Temp
27	66,9	66,1	616	8,58	6,86	1,84	2874,34	245	14,38
28	68,5	67,7	616	8,61	6,85	1,72	2874,05	174	14,30
29	69,8	69,2	623	8,64	6,86	1,62	2997,98	128	14,31
30	72,3	71,1	643	8,48	6,84	1,20	4310,16	72	14,78
31	72,5	72,4	646	8,45	6,84	1,16	4474,26	67	14,85
32	73,1	72,8	653	8,40	6,84	1,04	4918,07	57	15,03
33	73,7	73,4	676	8,36	6,84	0,95	5278,98	49	15,25
34	74,3	74,0	710	8,06	6,92	1,89	5156,45	3897	16,60
35	74,8	74,5	731	7,86	6,90	2,47	5214,03	7912	17,08

Tabla 45: Resultados de calidad entregados por Qual2Kw para el mes de noviembre de 2004.

Reach number	Km Fin	Plotting Km	C.E.	O.D.	pH	DOC, fast	nitrate + nitrite N	C.F.	Temp
	(Km)	(Km)	(umho/cm)	(mg/L)	(standard units)	(mg/L)	(ugN/L)	(cfu/100ml)	(°C)
0	0,0	0,0	553	8,09	8,11	0,00	3480,00	800	16,00
1	1,6	0,8	553	8,01	8,09	1,45	3479,77	695	16,01
2	2,5	2,1	553	7,97	8,08	1,42	3479,64	642	16,01
3	8,2	5,4	559	7,50	7,88	1,57	3518,00	468	16,08
4	10,7	9,5	559	7,43	7,87	1,50	3513,89	412	16,09
5	16,4	13,6	559	7,30	7,85	1,33	3512,69	319	16,10
6	19,9	18,2	557	7,33	7,86	1,23	3482,13	268	16,18
7	20,9	20,4	567	7,30	7,83	1,15	3518,89	376	16,44
8	24,0	22,5	568	6,75	7,64	0,92	3410,64	273	17,01
9	24,6	24,3	568	6,94	7,67	0,90	3393,33	274	17,13
10	27,0	25,8	568	6,98	7,69	0,83	3392,39	234	17,14
11	29,1	28,1	576	6,85	7,66	0,72	3401,64	193	17,38
12	32,9	31,0	596	6,59	7,67	0,88	3516,92	635	17,34
13	39,5	36,2	579	7,00	7,65	0,73	3529,86	505	17,77
14	40,1	39,8	579	7,19	7,68	0,72	3529,72	489	17,77
15	44,2	42,2	579	7,94	7,84	0,66	3529,17	411	17,76
16	49,0	46,6	579	8,45	8,00	0,59	3528,68	343	17,76
17	49,5	49,3	579	8,46	8,01	0,56	3539,84	311	17,75
18	50,4	50,0	579	8,49	8,03	0,50	3539,36	264	17,74
19	54,6	52,5	608	7,72	7,92	2,32	3803,86	258	18,07
20	55,0	54,8	608	7,67	7,91	2,28	3803,73	251	18,07

Reach number	Km Fin	Plotting Km	C.E.	O.D.	pH	DOC, fast	nitrate + nitrite N	C.F.	Temp
21	56,9	56,0	608	7,48	7,89	2,14	3803,08	226	18,07
22	57,9	57,4	608	7,39	7,89	2,07	3802,70	213	18,07
23	60,3	59,1	608	7,49	7,90	1,99	3802,31	200	18,06
24	62,4	61,4	608	7,70	7,94	1,92	3802,00	189	18,06
25	63,6	63,0	609	7,82	7,96	1,87	3819,70	182	18,08
26	65,2	64,4	609	7,65	7,93	1,78	3819,26	169	18,08
27	66,9	66,1	609	7,48	7,91	1,68	3818,67	155	18,08
28	68,5	67,7	609	7,33	7,89	1,60	3818,08	143	18,08
29	69,8	69,2	610	7,23	7,87	1,53	3837,77	133	18,09
30	72,3	71,1	616	7,07	7,67	1,34	4340,65	112	18,06
31	72,5	72,4	616	7,05	7,64	1,32	4414,09	110	18,05
32	73,1	72,8	619	7,02	7,58	1,27	4628,06	105	18,04
33	73,7	73,4	629	6,99	7,53	1,22	4836,73	100	18,04
34	74,3	74,0	645	7,18	7,57	1,15	4983,31	4175	18,26
35	74,8	74,5	660	6,99	7,58	1,04	5381,23	8314	18,26

Tabla 46: Resultados de calidad entregados por Qual2Kw para el mes de diciembre de 2004.

Reach number	Km Fin	Plotting Km	C.E.	O.D.	pH	DOC, fast	nitrate + nitrite N	C.F.	Temp
	(Km)	(Km)	(umho/cm)	(mg/L)	(standard units)	(mg/L)	(ugN/L)	(cfu/100ml)	(°C)
0	0,0	0,0	343	9,90	7,67	0,00	560,00	0	17,70
1	1,6	0,8	343	9,59	7,64	1,91	560,18	0	17,70
2	2,5	2,1	343	9,42	7,63	1,86	560,45	0	17,70
3	8,2	5,4	387	8,46	7,23	2,24	1004,82	0	17,74
4	10,7	9,5	387	8,22	7,23	2,13	1004,33	0	17,74
5	16,4	13,6	387	7,76	7,26	1,86	1004,01	0	17,74
6	19,9	18,2	387	7,58	7,27	1,74	1015,58	0	17,78
7	20,9	20,4	418	7,50	7,19	1,65	1253,71	81	17,82
8	24,0	22,5	459	6,97	7,13	1,23	1447,42	51	17,94
9	24,6	24,3	463	7,13	7,17	1,27	1490,73	50	18,11
10	27,0	25,8	463	7,10	7,21	1,16	1490,28	41	18,11
11	29,1	28,1	484	7,12	7,20	0,97	1679,33	32	17,07
12	32,9	31,0	505	6,69	7,23	1,41	1819,20	5031	17,29
13	39,5	36,2	510	6,89	7,30	1,22	1860,92	3012	18,15
14	40,1	39,8	510	7,10	7,34	1,20	1860,83	2903	18,14

Reach number	Km Fin	Plotting Km	C.E.	O.D.	pH	DOC, fast	nitrate + nitrite N	C.F.	Temp
15	44,2	42,2	510	7,88	7,55	1,09	1860,45	2411	18,13
16	49,0	46,6	510	8,38	7,77	0,97	1860,11	1985	18,11
17	49,5	49,3	510	8,35	7,79	0,91	1876,67	1804	18,09
18	50,4	50,0	510	8,32	7,82	0,81	1876,35	1542	18,08
19	54,6	52,5	525	7,79	7,75	1,80	2075,50	5344	18,36
20	55,0	54,8	525	7,75	7,75	1,77	2075,42	5138	18,35
21	56,9	56,0	525	7,62	7,75	1,65	2075,06	4454	18,35
22	57,9	57,4	525	7,56	7,75	1,58	2074,85	4119	18,34
23	60,3	59,1	525	7,68	7,78	1,51	2074,63	3798	18,34
24	62,4	61,4	525	7,89	7,83	1,45	2074,43	3515	18,33
25	63,6	63,0	525	8,01	7,86	1,41	2063,93	3362	18,37
26	65,2	64,4	525	7,90	7,85	1,34	2063,71	3112	18,36
27	66,9	66,1	525	7,79	7,84	1,25	2063,40	2832	18,36
28	68,5	67,7	525	7,70	7,83	1,17	2063,10	2599	18,35
29	69,8	69,2	528	7,65	7,81	1,11	2100,64	2410	18,38
30	72,3	71,1	544	7,55	7,57	0,93	2876,32	1959	18,43
31	72,5	72,4	546	7,55	7,55	0,91	2985,75	1916	18,44
32	73,1	72,8	552	7,52	7,48	0,86	3299,11	1793	18,47
33	73,7	73,4	566	7,51	7,43	0,82	3584,80	1673	18,51
34	74,3	74,0	584	7,44	7,44	0,74	3262,44	1665	18,89
35	74,8	74,5	602	7,12	7,43	0,63	3002,88	1399	19,02

9.2.4 Gráficos de resultados de calidad

A continuación se muestran los gráficos que representan los resultados mostrados anteriormente en las Tablas 44, 45 y 46 con el error cuadrático medio normalizado (RMSnorm) como medida de bondad de ajuste, el cual se calculan mediante la fórmula:

$$RMSnorm = \frac{100}{|Obs_{max} - Obs_{min}|} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^n (Obs_i - Sim_i)^2}$$

Donde:

- **RMSnorm** : Error cuadrático medio, [%].
- **Obs_i** : i-ésimo valor observado.
- **Sim_i** : i-ésimo valor simulado.
- **Obs_{max}** : Valor observado máximo
- **Sim_{max}** : Valor simulado máximo.

Estos gráficos tienen un encabezado el cual señala la fecha de simulación en formato inglés, es decir, mes/día/año.

Es necesario destacar que se decidió que los gráficos entregados por Qual2Kw sólo muestran los valores medidos en el río Aconcagua mismo, y no aquellos valores medidos en los esteros afluentes y descargas; puntos A13d, A14f, A14e2, A19g, A19e, Aalg, A19c, A22c, A23d2, y A23c, en los kilómetros 19,9; 24,4; 29,1; 32,9; 39,5; 49,0; 51,6; 68,5; 73,7 y 74,3 respectivamente; lo cual a veces conduce a falsas apreciaciones acerca de los resultados, pues se producen peaks en los valores simulados que no tiene un correspondiente valor medido, y por eso pareciera que el modelo se aleja de los valores medidos, pero eso se explica teniendo presente que en dichos kilómetros se produce una descarga o desemboca alguno de los esteros de los modelados.

Por otra parte, también es necesario mencionar que en el cálculo del RMS normalizado, se decidió asignar a aquellos puntos, que tenían mediciones inferiores a la sensibilidad del instrumento de medición, un valor igual a la mitad de la sensibilidad del instrumento, lo cual se indica con celdas en relleno azul claro en el Anexo A-7. Por último, es necesario indicar que para el mes de noviembre de 2004, se supuso, para el punto Aalg, correspondiente a la descarga de Algamar, y con el fin de incorporar esta descarga en la modelación, un pH y una temperatura iguales a los valores medidos en el autocontrol de diciembre, debido a la proximidad temporal entre ambos meses.

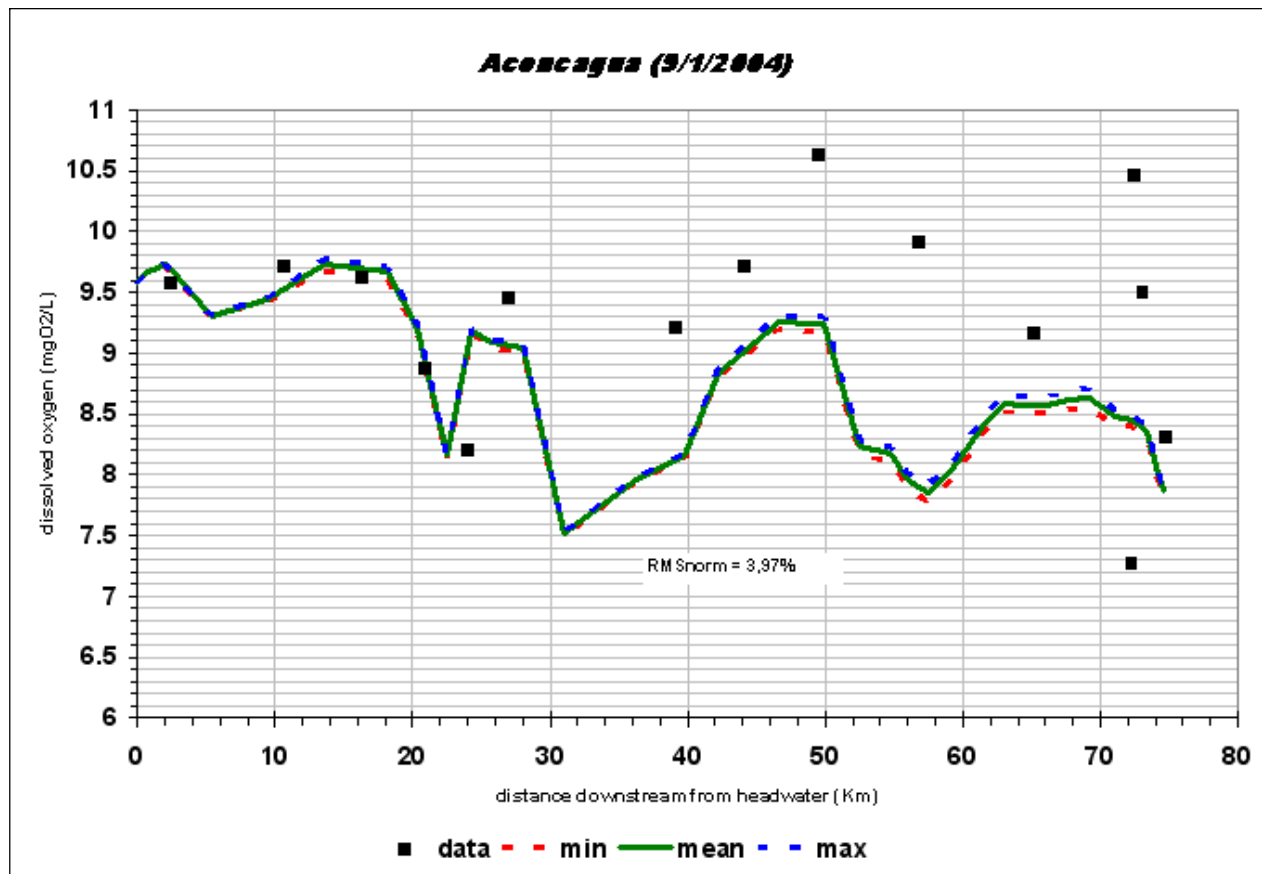


Figura 138: Gráfico de oxígeno disuelto simulado v/s observado durante septiembre de 2004

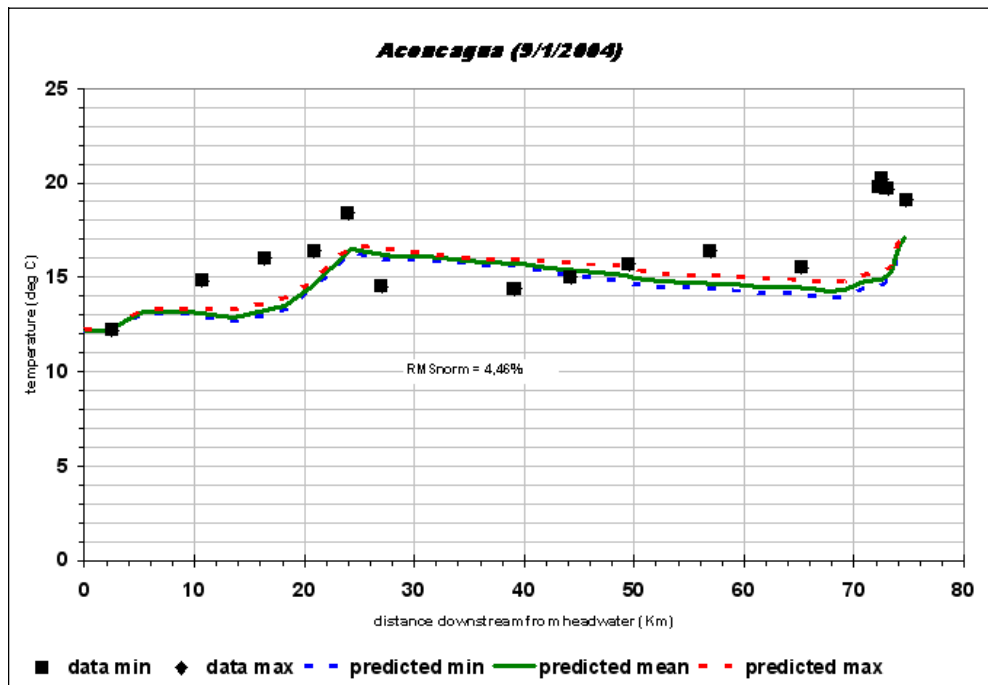


Figura 139: Gráfico de temperatura simulada v/s observada durante septiembre de 2004.

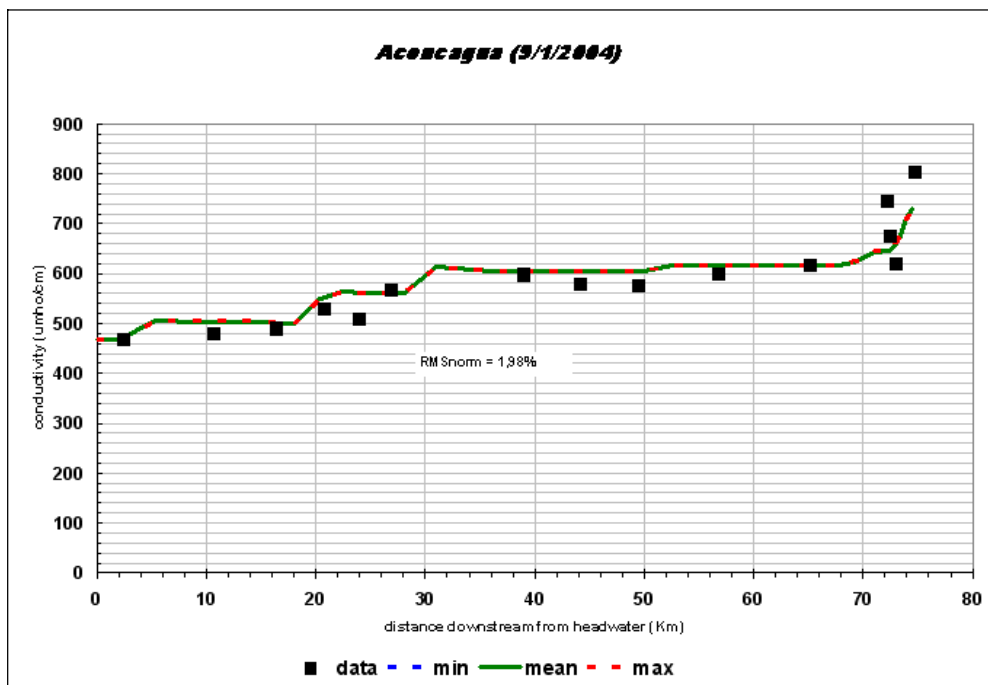


Figura 140: Gráfico de conductividad eléctrica simulada v/s observada durante septiembre de 2004

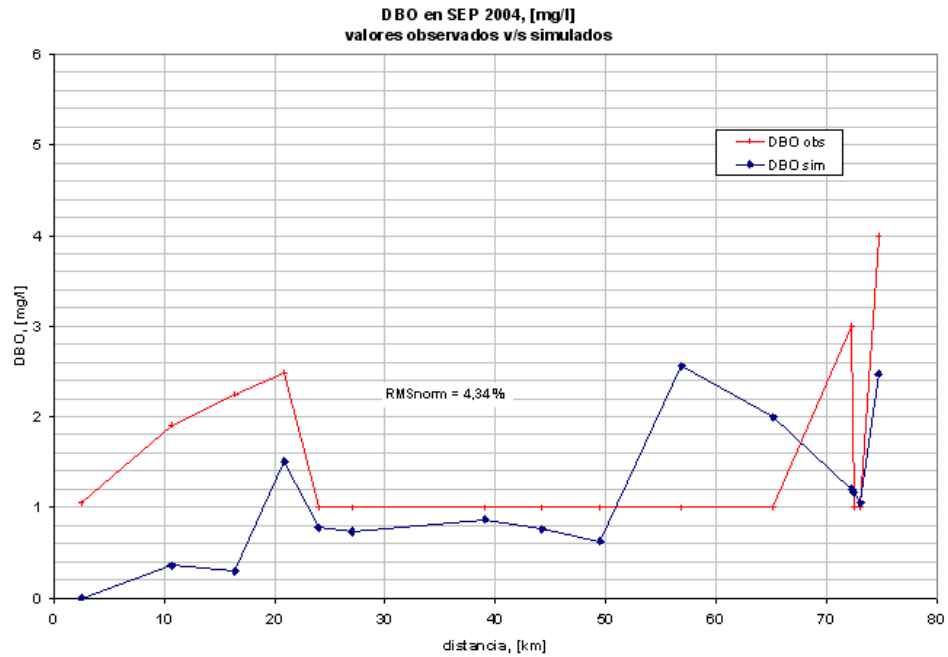


Figura 141: Gráfico de DBO simulada v/s observada durante septiembre de 2004

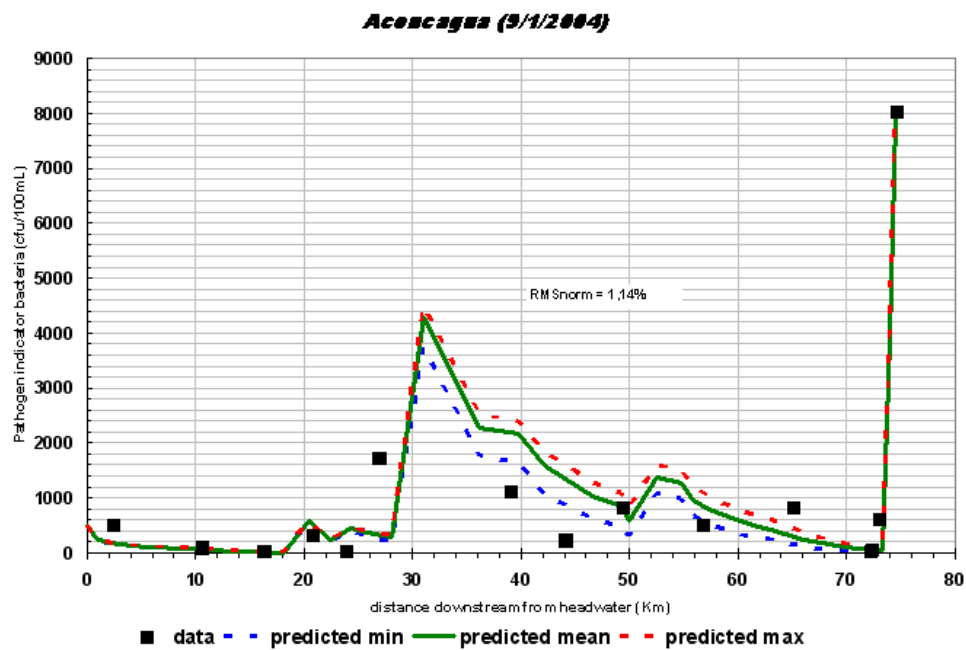


Figura 142: Gráfico de coliformes fecales simulados v/s observados durante septiembre de 2004

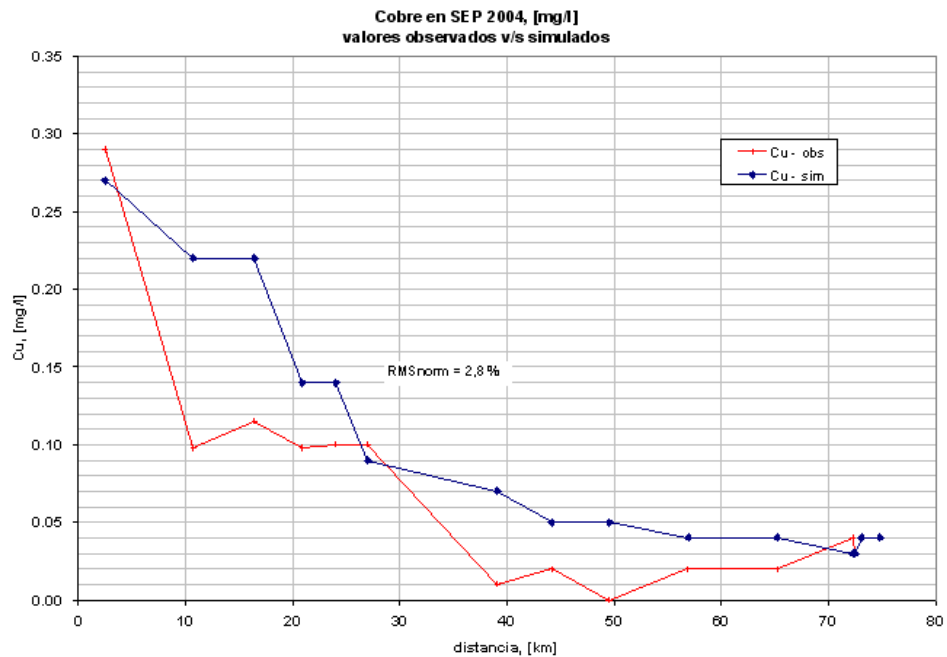


Figura 143: Gráfico de cobre simulado v/s observado durante septiembre de 2004

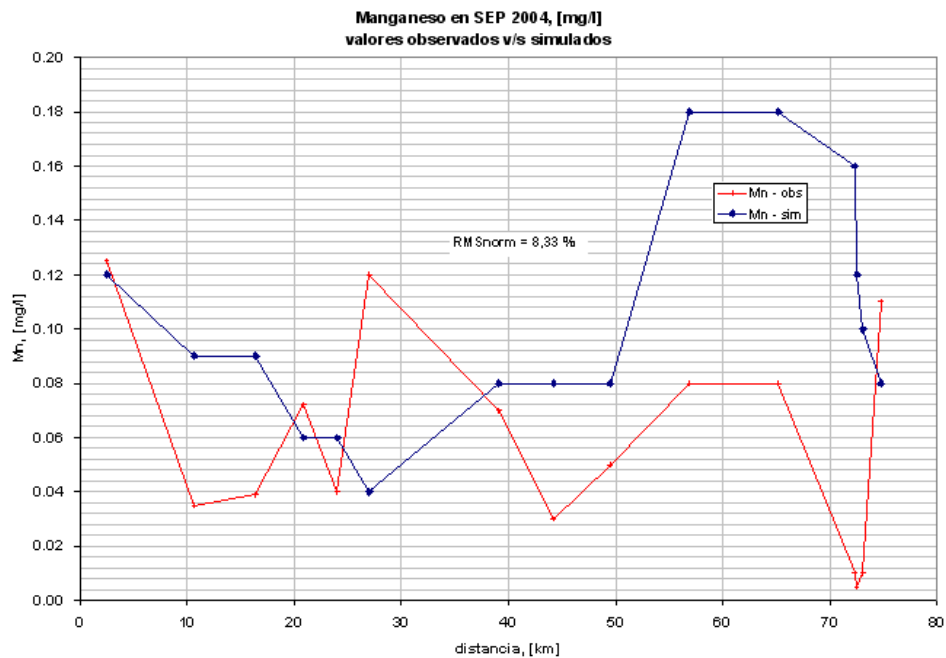


Figura 144: Gráfico de manganeso simulado v/s observado durante septiembre de 2004

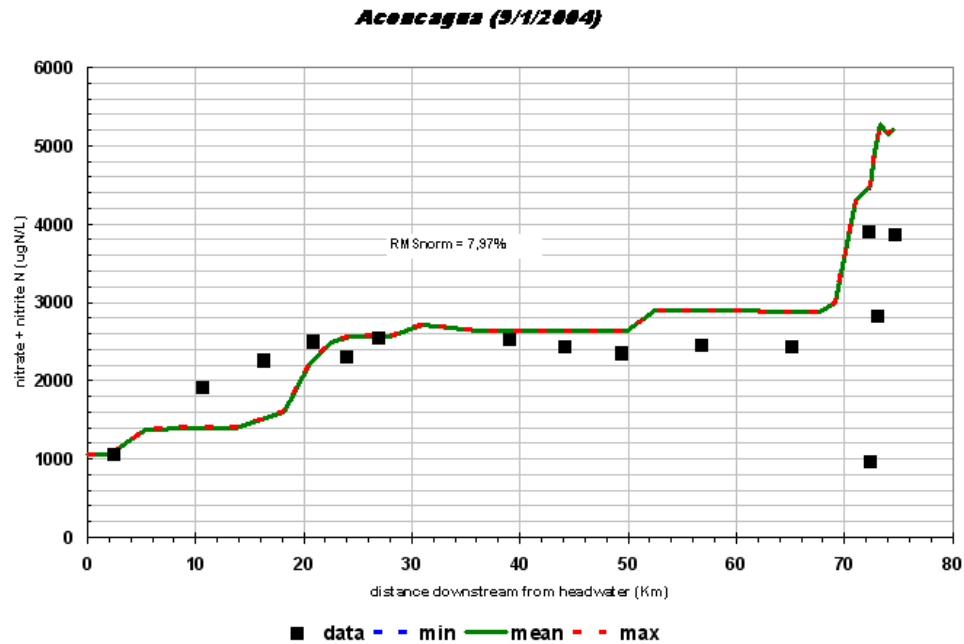


Figura 145: Gráfico de nitratos + nitritos simulados v/s observados durante septiembre de 2004

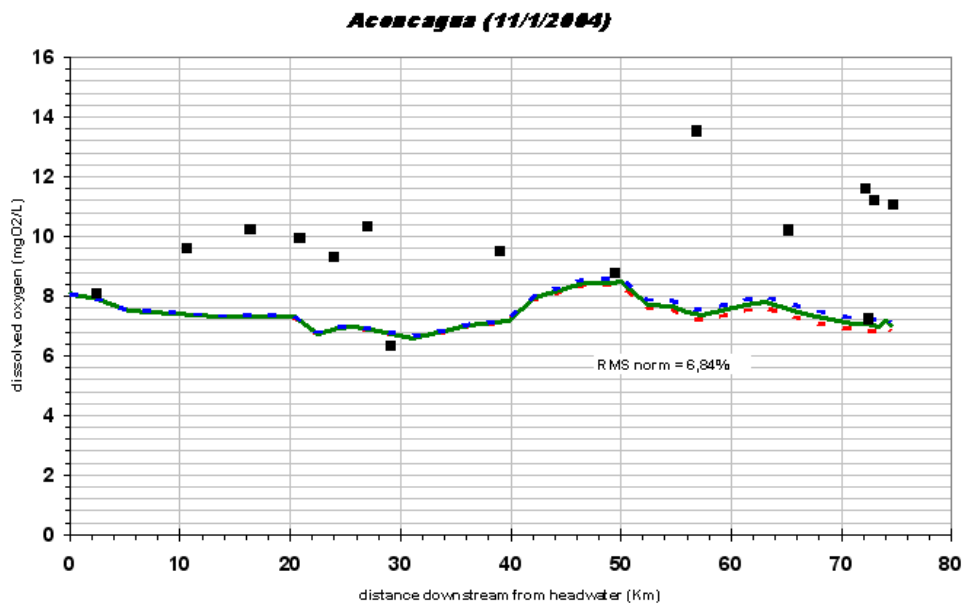


Figura 146: Gráfico de oxígeno disuelto simulado v/s observado durante noviembre de 2004

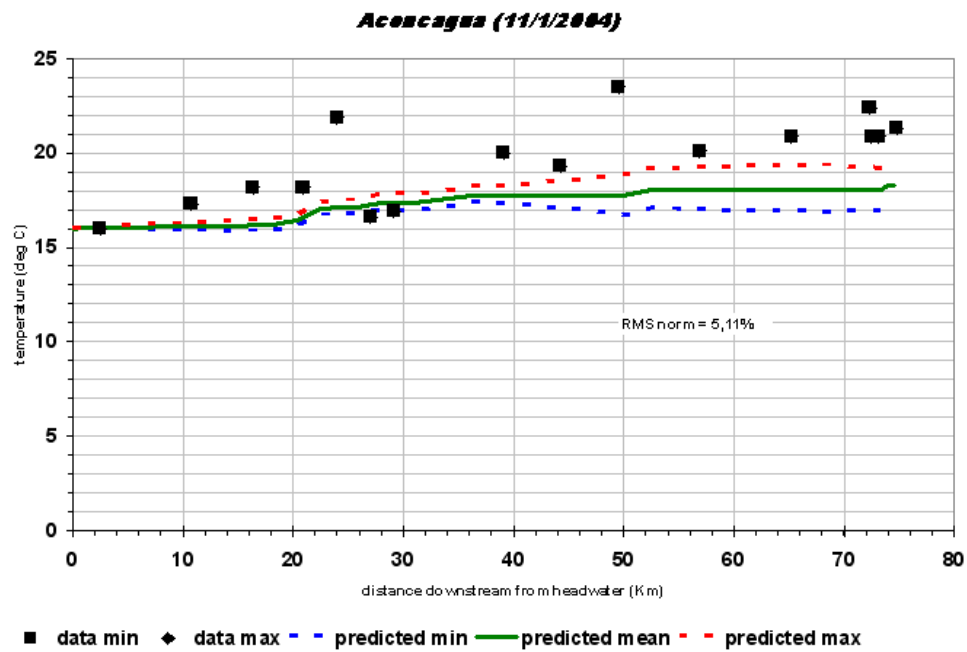


Figura 147: Gráfico de temperatura simulada v/s observada durante noviembre de 2004

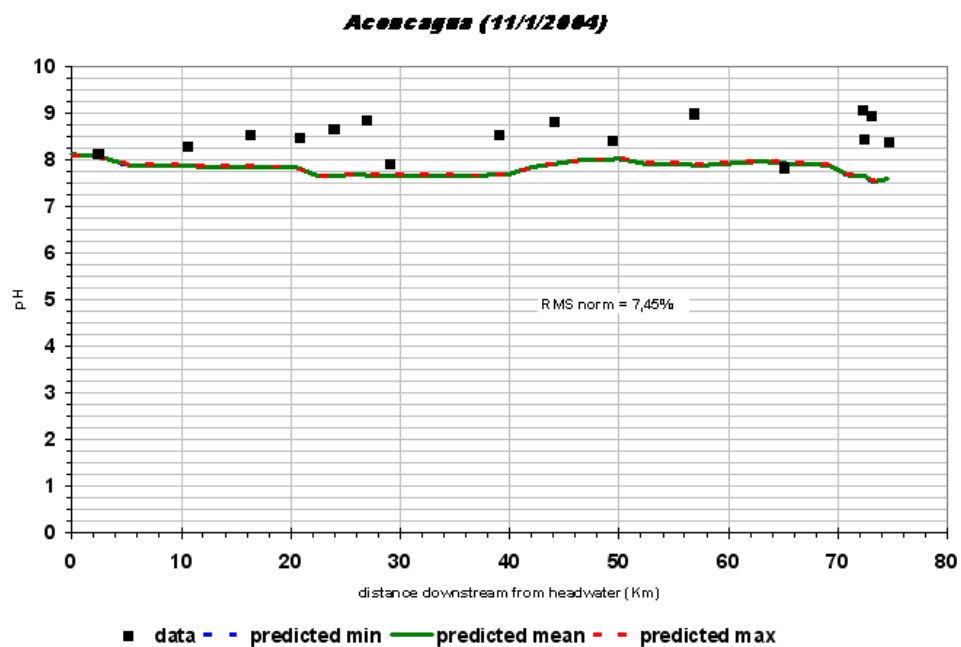


Figura 148: Gráfico de pH simulado v/s observado durante noviembre de 2004

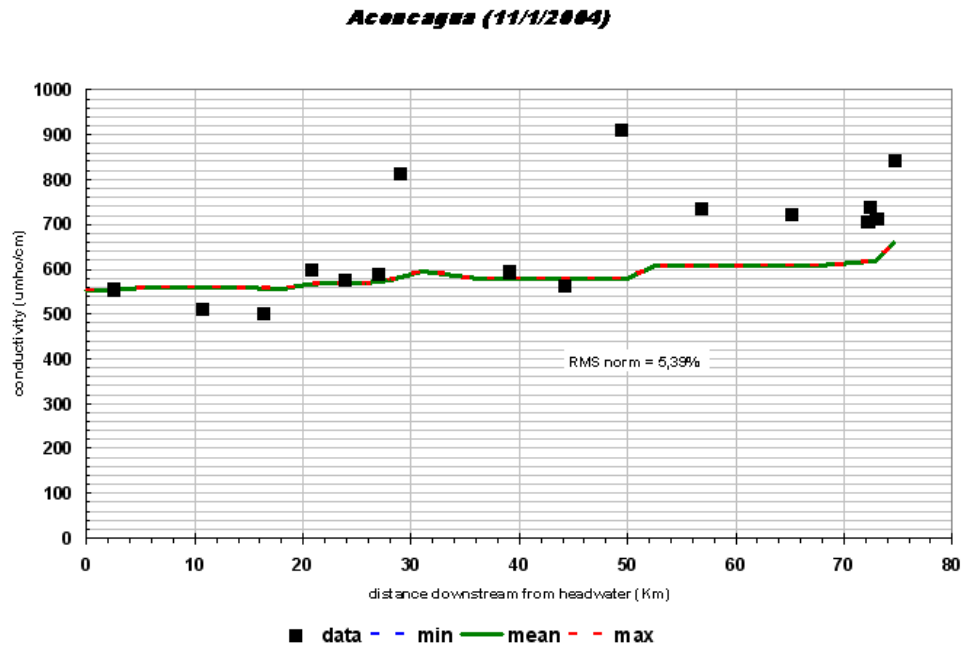


Figura 149: Gráfico de conductividad eléctrica simulada v/s observada durante noviembre de 2004

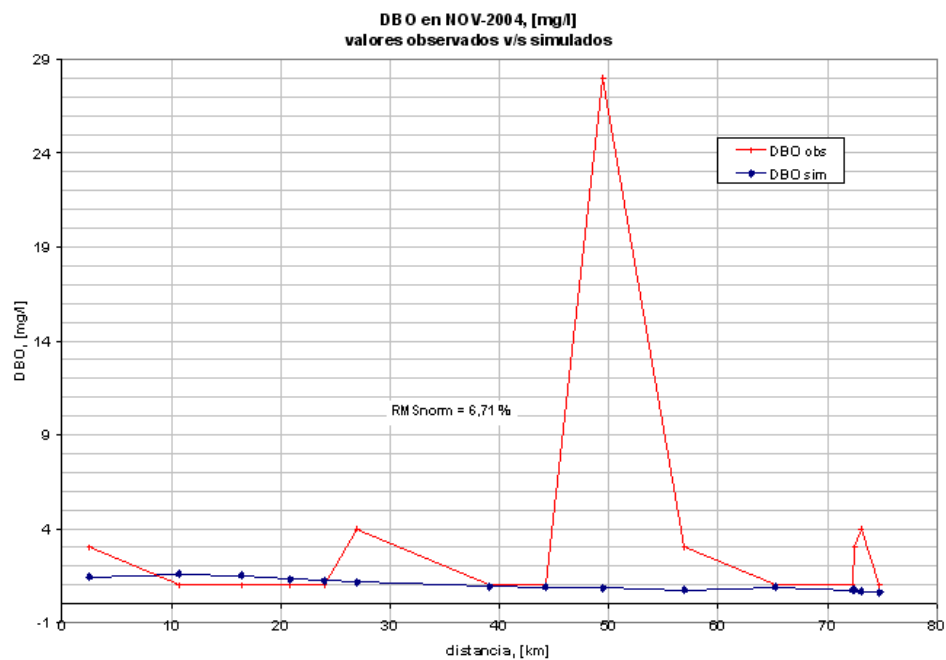


Figura 150: Gráfico de DBO simulada v/s observada durante noviembre de 2004

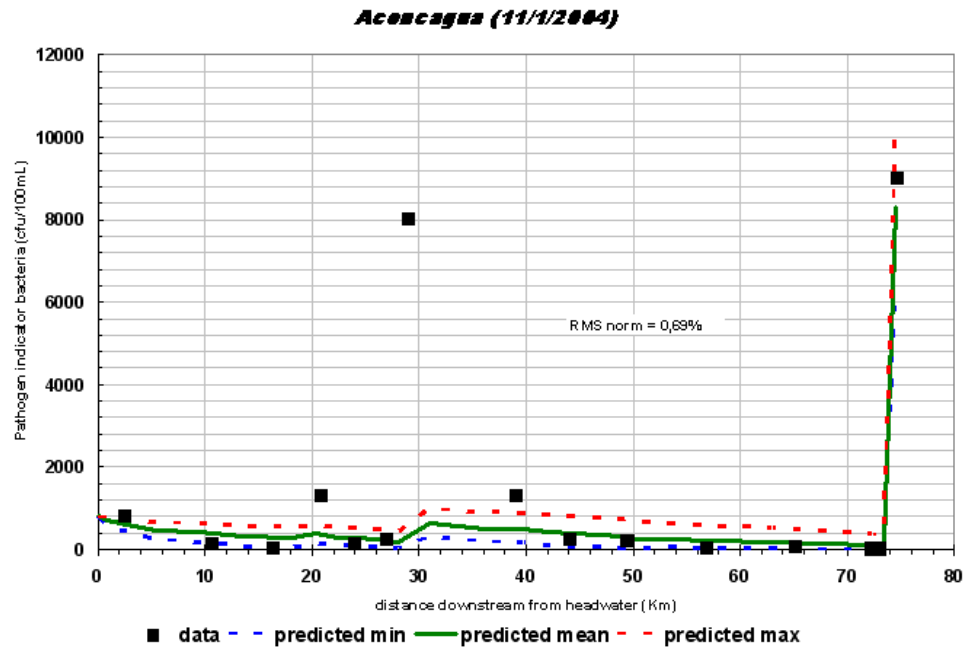


Figura 151: Gráfico de coliformes fecales simulados v/s observados durante noviembre de 2004

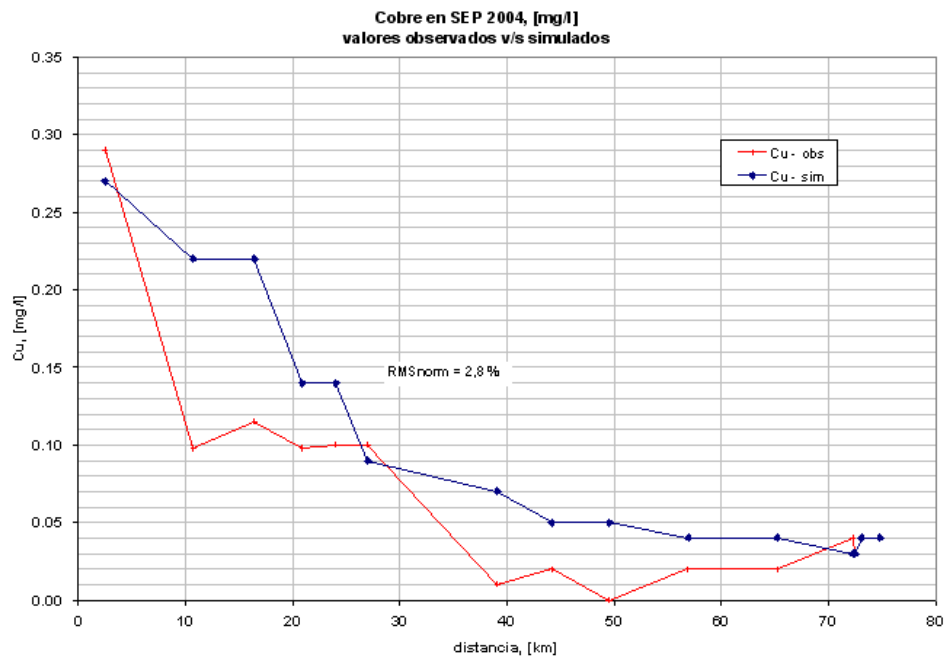


Figura 152: Gráfico de cobre simulado v/s observado durante noviembre de 2004

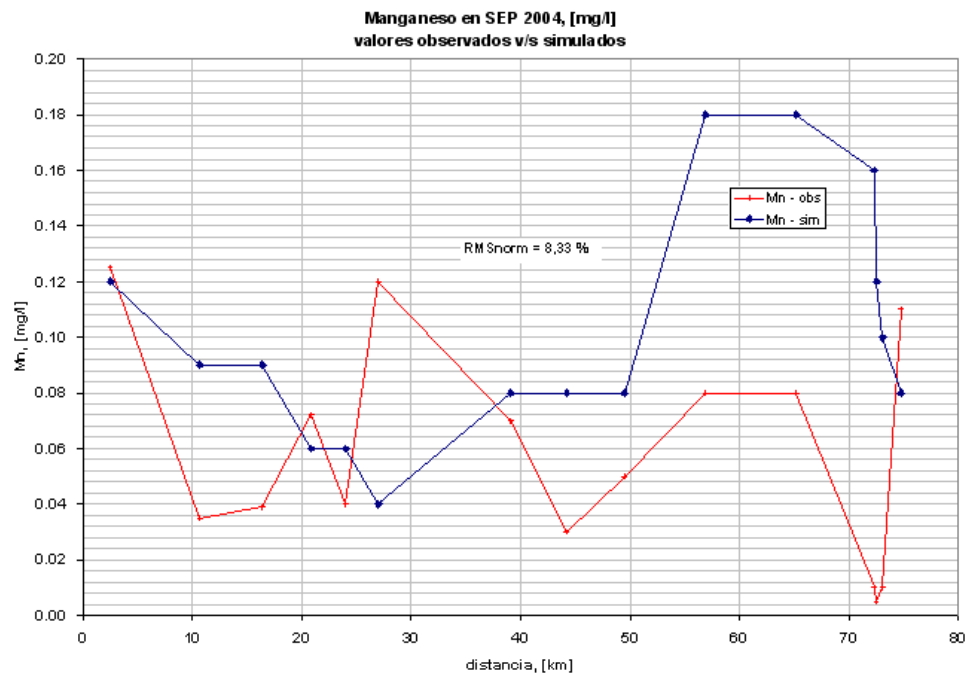


Figura 153: Gráfico de manganeso simulado v/s observado durante noviembre de 2004

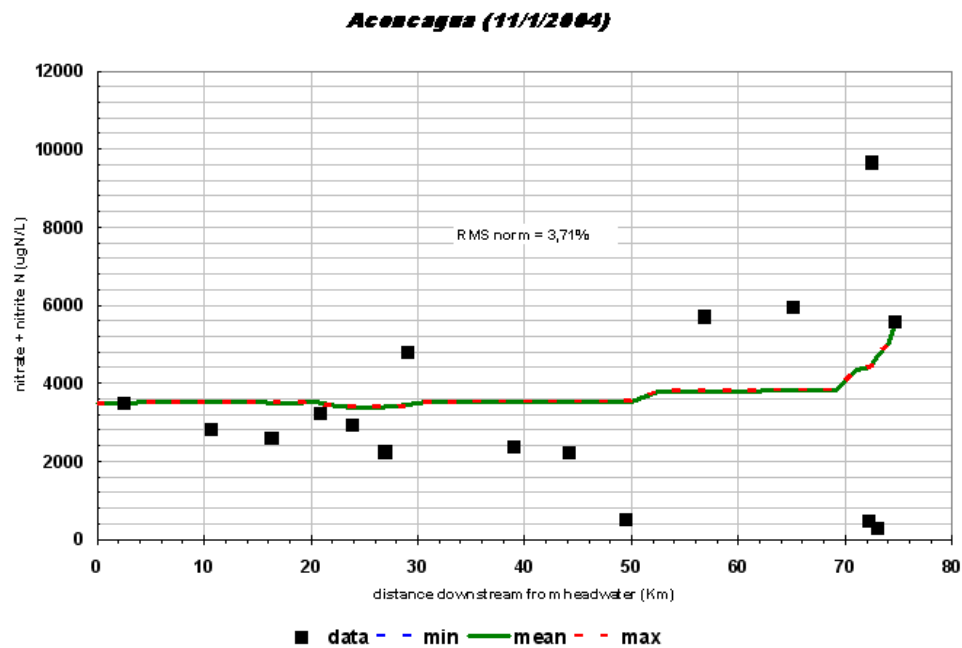


Figura 154: Gráfico de nitratos + nitritos simulados v/s observados durante noviembre de 2004

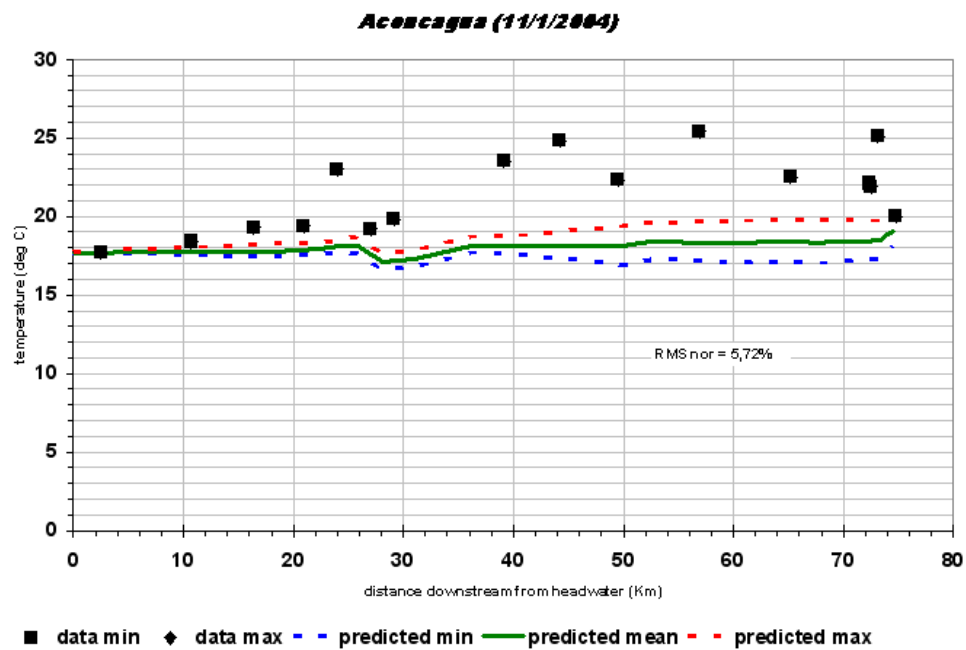


Figura 155: Gráfico de oxígeno disuelto simulado v/s observado durante diciembre de 2004

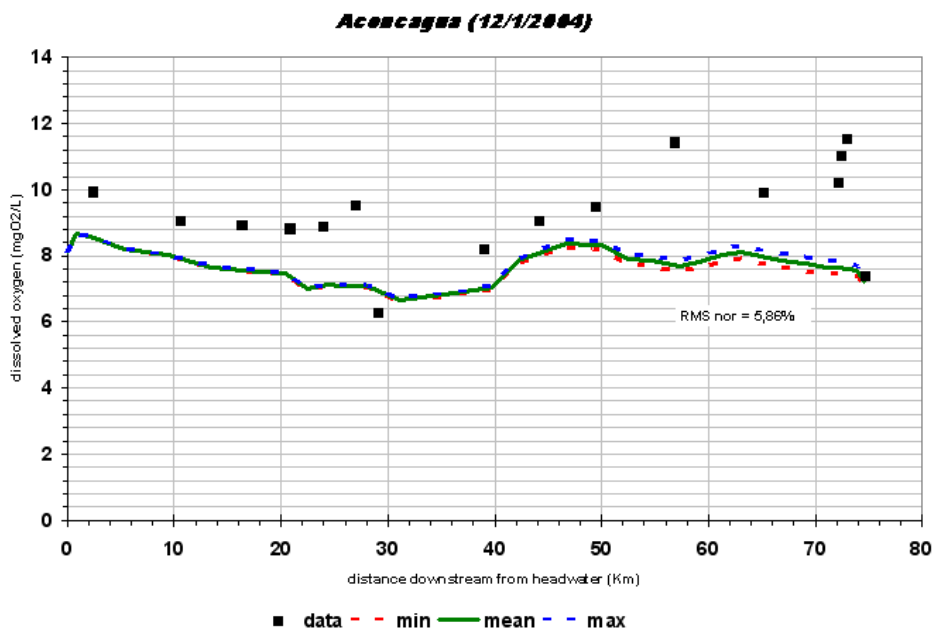


Figura 156: Gráfico de temperatura simulada v/s observada durante diciembre de 2004

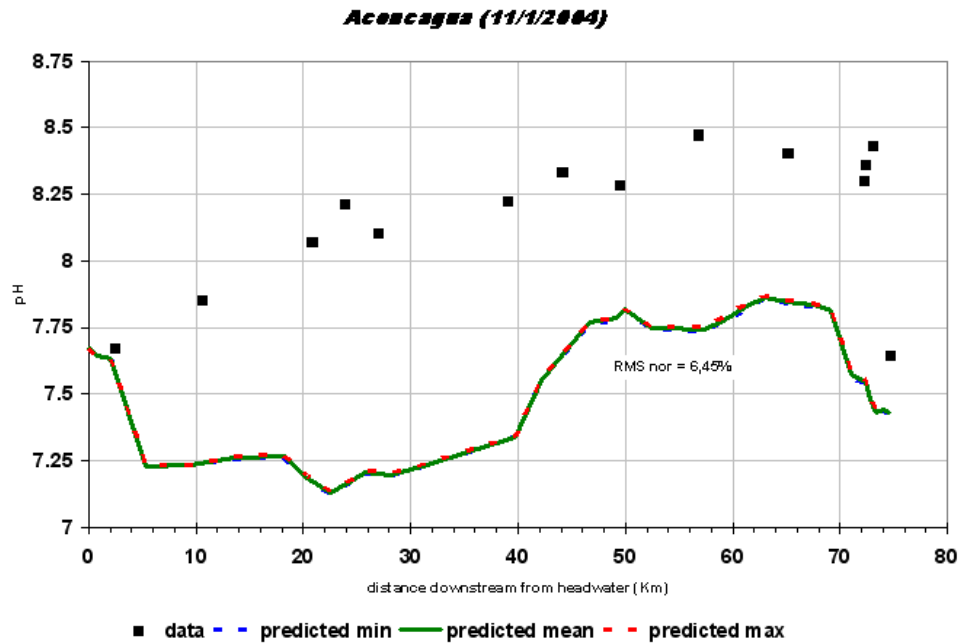


Figura 157: Gráfico de pH simulado v/s observado durante diciembre de 2004

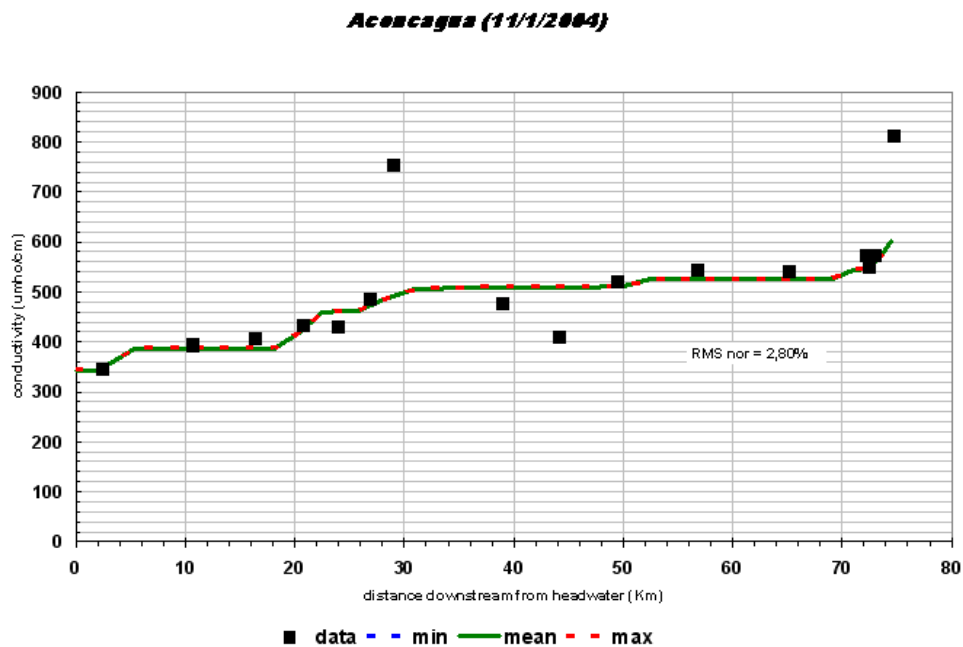


Figura 158: Gráfico de conductividad eléctrica simulada v/s observada durante diciembre de 2004

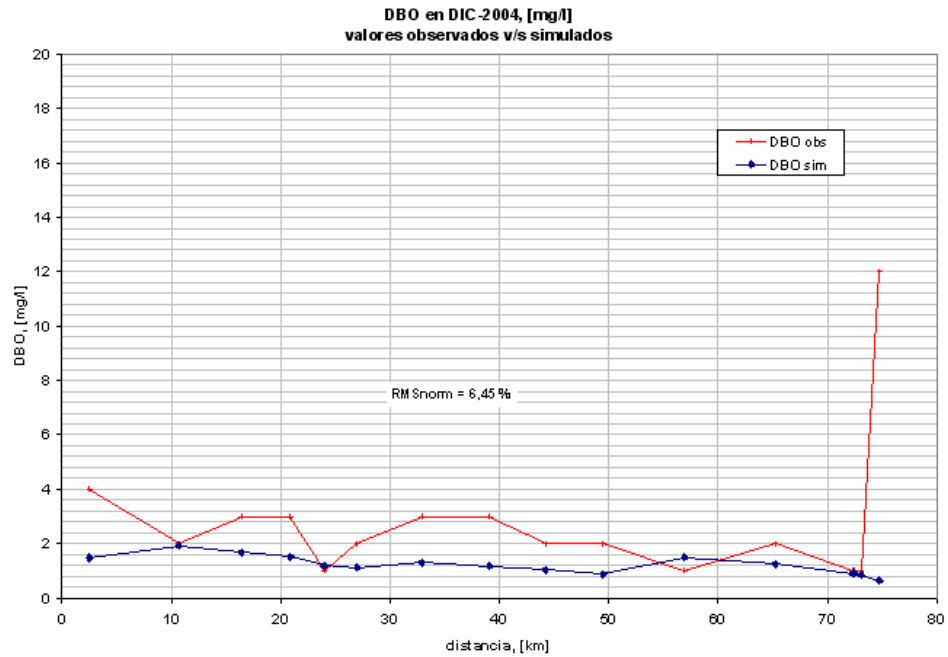


Figura 159: Gráfico de DBO simulada v/s observada durante diciembre de 2004

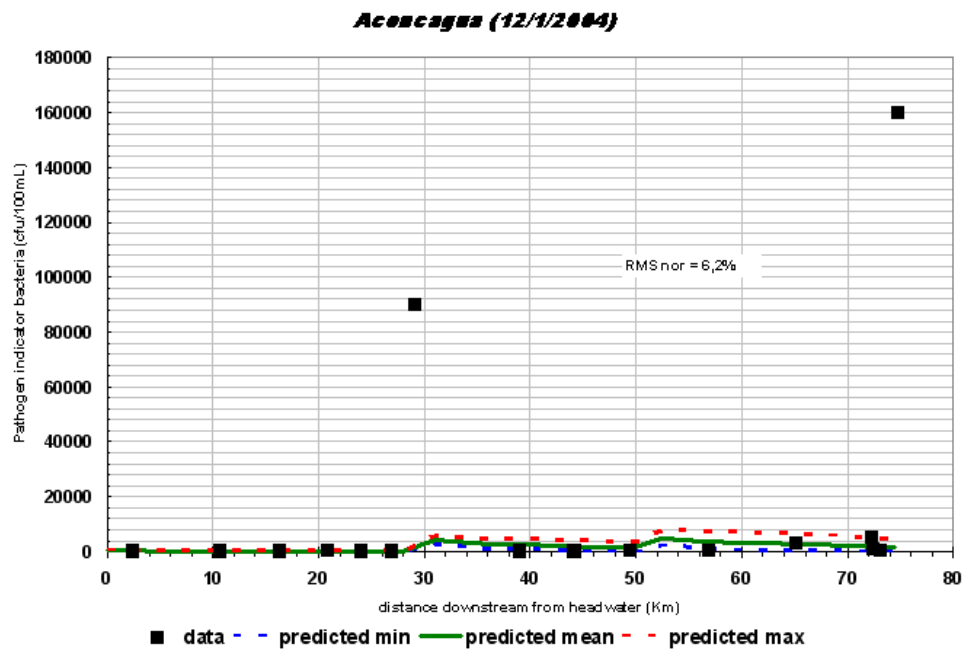


Figura 160: Gráfico de coliformes fecales simulados v/s observados durante diciembre de 2004

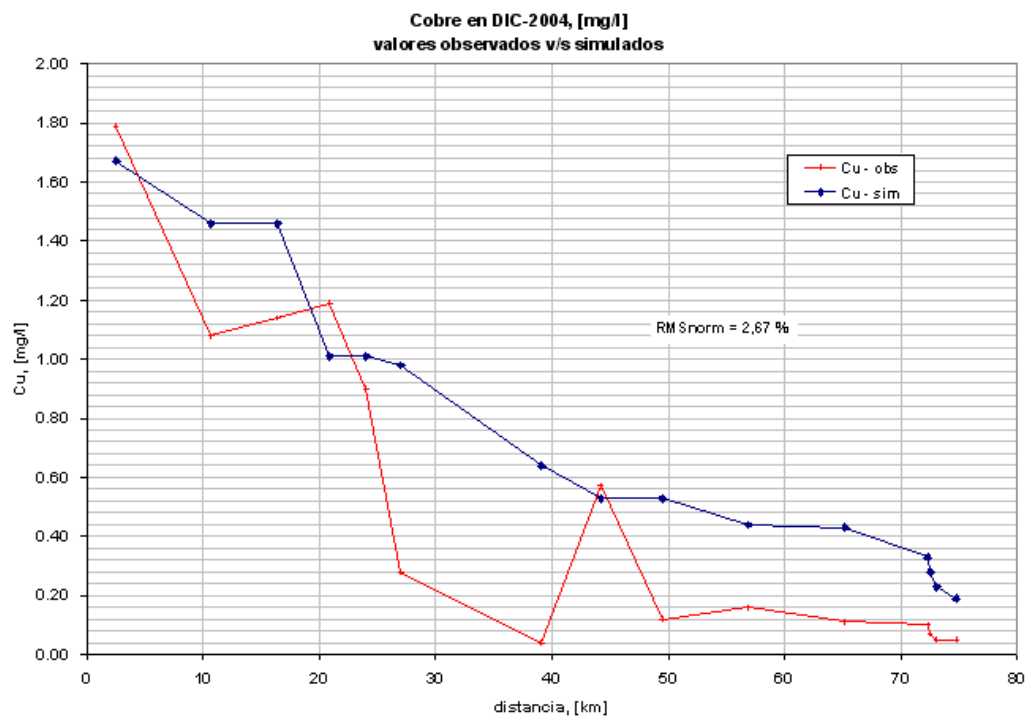


Figura 161: Gráfico de cobre simulado v/s observado durante diciembre de 2004

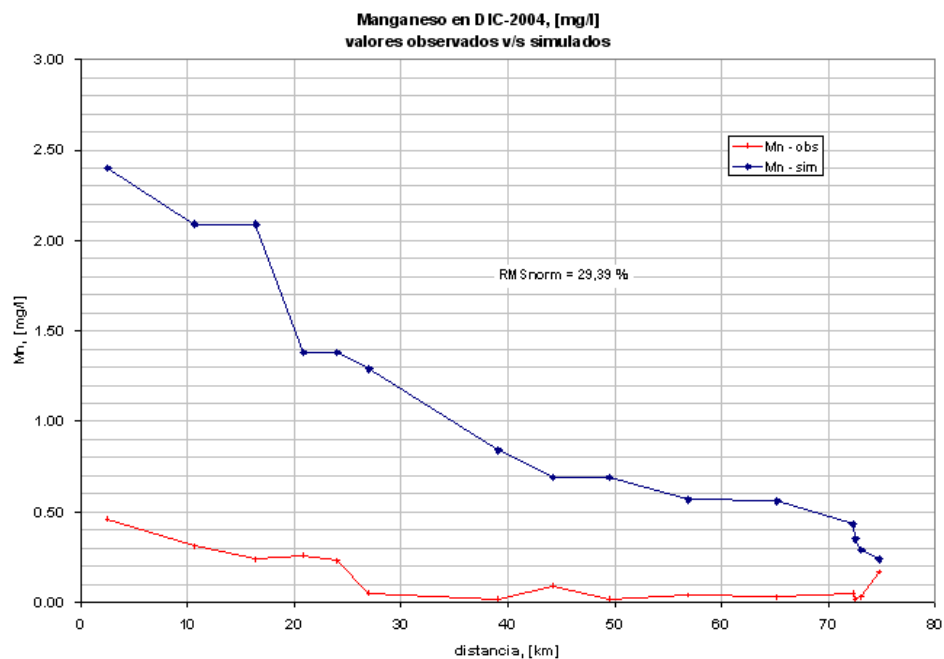


Figura 162: Gráfico de manganeso simulado v/s observado durante diciembre de 2004

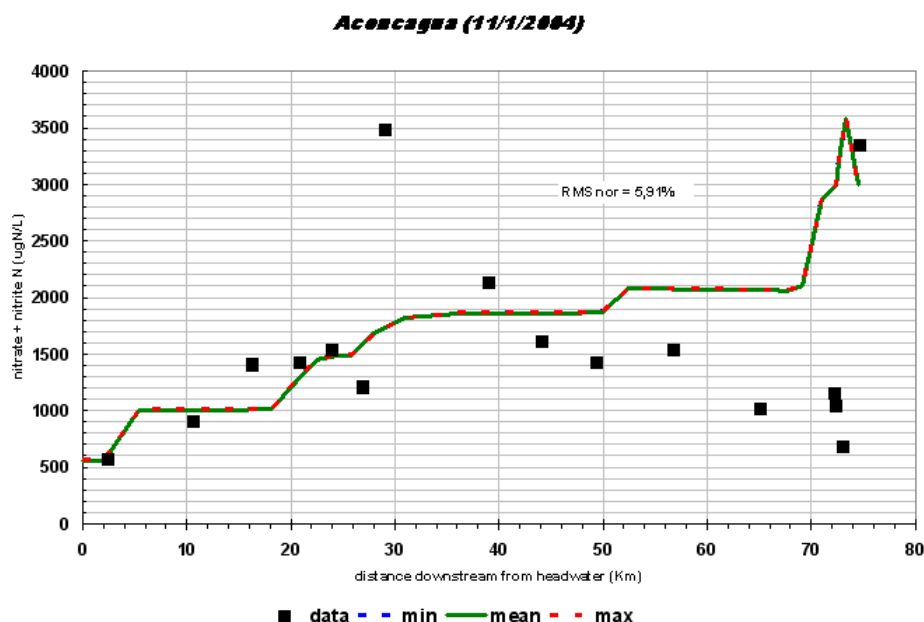


Figura 163: Gráfico de nitritos + nitratos simulados v/s observados durante diciembre de 2004

9.2.5 Análisis de los resultados

En esta sección sólo se analizarán los valores simulados en relación a los valores observados de cada uno de los contaminantes modelados, pues su comparación con respecto a las actuales normas de calidad para agua potable y riego se hace en otro capítulo del presente informe.

Para asegurar que el modelo reprodujera adecuadamente las condiciones muestreadas, se debió considerar el valor medio mensual de una serie de valores medios diarios muestreados, pero debido a restricciones económicas, no fue posible realizar la serie de muestreos diarios requeridos, sino que sólo fue realizada una campaña de muestreo para cada mes de simulación, cuyos valores se consideraron representativos del mes e intentaron ser reproducidos con el modelo. Sin embargo, dicho supuesto será tanto más cierto mientras más cercanas en el tiempo sean las mediciones realizadas en cada campaña, pues lo anterior disminuye las posibilidades de cambios en las condiciones de cantidad y/o calidad de la corriente, lo cual se traduciría en concentraciones imposibles de reproducir por el modelo. Sin embargo, debido a restricciones técnicas del equipo encargado de realizar las campañas de muestreo, no fue posible realizar ninguna campaña en un solo día, sino que las tres campañas de muestreo se realizaron en 3 o más días, lo cual se tradujo en que el modelo no pudo reproducir en su totalidad los valores muestreados, tal como se describe en las subsecciones siguientes.

9.2.5.1 Mes de septiembre

La campaña de septiembre se realizó en 4 días distintos, 10, 13, 21 y 27 de septiembre de 2004. A continuación se hace un análisis de los valores observados y simulados.

9.2.5.1.A Oxígeno disuelto

- El descenso en los niveles simulados de oxígeno disuelto ocurre entre el km 2,5 al 5,35, mientras que los niveles observados van en aumento, se debe, en parte, a los bajos niveles de OD que se asignó al afloramiento del acuífero 1 (Acu[1].Qzv) y al afloramiento que ocurre a la entrada del acuífero 3 (Acu[3].Qzve). Sin embargo, los bajos valores de dichos caudales en comparación con el caudal pasante del río, indica que sólo son responsables en parte de dicho descenso. La influencia dominante es, sin duda, el nivel de oxígeno asignado al afloramiento del acuífero 3 (Acu[3].Qzv), el cual se encuentra ubicado entre el km 4,0 al 6,0, por lo tanto, se recomienda hacer mediciones en distintos puntos de dicho acuífero para poder determinar de la mejor forma posible su calidad. Actualmente sólo se realizaron mediciones en el PO42, PO10 y PO1, los cuales se consideran poco representativos del acuífero en su conjunto, pues todos están ubicados en la ribera sur del río y se encuentran concentrados en los 3 primeros kilómetros del acuífero, siendo que dicho acuífero tiene una longitud aproximada de 9 km.
- El brusco descenso en los niveles simulados de oxígeno disuelto entre el km 16,4 al 24, se debe al bajo nivel de oxígeno disuelto asignado al afloramiento del acuífero 4 (Acu[4].Qzv), lo cual concuerda con los datos observados. La señal del oxígeno disuelto en este tramo del río, permitió ajustar la posición del afloramiento del acuífero 4, pues inicialmente se asignó al tramo comprendido entre el km 16,5 y el 18,5, hasta que finalmente se logró determinar que la mejor posición para este afloramiento está entre el km 20,5 al 23,5.
- Los niveles simulados de OD comienzan nuevamente a subir desde el km 24 hasta el 24,6, lo cual se debe al ingreso de caudal con altos niveles de OD proveniente del estero Catemu (Qsbn[18]), en el km 24,4, lo cual concuerda con los niveles observados. La razón que creemos determina que no se alcance el nivel máximo de OD medido por la estación A14g en el km 27, es una subestimación del caudal aportado por el estero Lo Campo. Se recomienda aforar dicho punto.
- El brusco descenso en los niveles simulados de oxígeno disuelto entre el km 24,6 al 29,1 se debe a los bajos niveles de OD aportados por la desembocadura del estero Los Loros en el km 29,1, lo cual a primera vista parece no concordar claramente con los niveles observados de OD, pero eso se debe a la falta de un punto de medición inmediatamente antes de la confluencia del estero Los Loros con el río Aconcagua.
- Desde el km 29,1 hasta el km 32,9, los niveles simulados de OD continúan disminuyendo, lo cual no puede ser cotejado con valores observados, por falta de un punto de medición antes de la desembocadura del estero La Sombra en el km 32,9.
- Desde el km 32,9 al 39,1 los niveles de OD comienzan a subir nuevamente, pero a una tasa menor a aquella con que aumentan los valores observados, lo cual creemos se debe a que los aportes del estero La Sombra, muestreados en el punto A19g, no han sido considerados en el modelo de cantidad, y los niveles de oxígeno disuelto en dicho punto indican que, de poseer un caudal no despreciable, dicho estero sería el responsable del aumento en los niveles de OD.

- Desde el km 39,1 al 49,0 los niveles simulados de OD continúan subiendo, pero a una tasa menor a aquella con que aumentan los valores observados, lo cual creemos se puede deber a que los aportes durante este mes del estero Rabuco, muestreado en el punto A19e, fueron considerados nulos en el modelo de cantidad y los niveles de oxígeno indican que si ese caudal no es despreciable, podría ser el responsable del aumento en los niveles de OD. En todo caso, para poder comprobar la suposición anterior, es necesario resolver antes lo mencionado anteriormente sobre el estero La Sombra. **Además, es necesario mencionar que los niveles observados de OD entre el km 27 y 44,2 fueron medidos 3 días después de las mediciones realizadas entre el km 2,5 y 24,4, lo cual puede explicar el hecho que la señal observada coincida en forma con la simulada pero no en magnitud.**
- Desde el km 49,5 hasta el km 65,2 los niveles observados de OD comienzan a descender, lo cual se debe a los bajos niveles de OD aportados por la desembocadura del estero Los Litres, muestreado en el punto A19c. Los niveles de OD simulados también son descendentes desde el km 49,5 hasta el km 57,9, punto en el cual comienza, a diferencia de la señal observada, a aumentar hasta el km 63,6. Lo anterior se debe a los valores asignados a los coeficientes a y b de la curva Velocidad v/s Caudal y α y β de la curva Profundidad v/s Caudal de los tramos 23, 24 y 25, que abarcan desde el km 57,9 al 63,6, pues al cambiar dichos coeficientes a valores iguales a los asignados al tramo inmediatamente anterior, el OD simulado en dicho tramo adquiere una forma descendente, similar a la señal observada.
- Desde el km 65,2 hasta el km 72,3 los niveles observados de OD continúan descendiendo, pero a una tasa mayor que la del tramo anterior, lo cual se debe a los bajos niveles de OD aportados por la descarga de las aguas servidas de Quillota, muestreada por el punto A22c en el km 68,5.
- Desde el km 72,3 hasta el km 72,5 los niveles observados de OD aumentan bruscamente, lo cual puede deberse principalmente al afloramiento del Acuífero 7. Creemos que lo anterior no está representado por la señal de OD simulado debido a una subestimación del nivel de OD asignado al afloramiento del Acuífero 7. Recomendamos agregar un punto de muestreo subterráneo en el tramo mencionado anteriormente.
- Desde el km 72,5 hasta el km 74,75 los niveles observados de OD comienzan a descender, lo cual se debe a los bajos niveles de OD aportados por la descarga de la central termoeléctrica Nehuenco, muestreada por el punto A23d2 en el km 73,7 y de la central termoeléctrica San Isidro, muestreada por el punto A23d1 en el km 74,3. Esto está adecuadamente representado por la señal de OD simulado.

9.2.5.1.B Temperatura

Sobre los resultados obtenidos para la simulación de temperatura mostrada en la Figura 139, es necesario distinguir dos situaciones:

- Para el tramo comprendido entre el km 0 y 65,2, es posible reconocer tres ciclos: el primero es una señal ascendente desde el km 0 al 24,4; el segundo es de temperatura aproximadamente

constante entre el km 27, 0 y 44,2; el tercero es un ciclo ascendente entre el km 49,5 y 56,9 con un leve descenso desde el km 56,9 al 65, 2, lo cual coincide casi completamente con los tres días utilizados para dichos muestreos, razón por la cual la señal simulada es incapaz de representar esos tres ciclos.

- Para el tramo comprendido entre el km 68,5 y 74,75, no es posible sacar ninguna conclusión, ya que los muestreos en dicho tramo se realizaron en dos días distintos, sin ninguna relación con el kilometraje.

Además, es necesario hacer notar que una muestra puntual de temperatura, para un único día del mes, difícilmente puede ser considerada como un valor representativo de la temperatura media del agua en dicho punto para todo el mes, por lo tanto, es muy poco probable que el modelo implementado se aproxime coherentemente a dicho valores puntuales únicos.

9.2.5.1.C pH

No fue posible simular pH para este mes, debido a que Qual2Kw requiere la concentración de CaCO_3 para dicha simulación, valor que no fue medido en la campaña de muestreo respectiva.

9.2.5.1.D Conductividad eléctrica

En la simulación de temperatura mostrada en la Figura 140, se aprecia claramente que los valores simulados se ajustan muy bien a los valores observados, aumentando levemente desde el km 0 hasta antes de la junta con el estero Catemu, para luego aumentar bruscamente con la desembocadura del estero Los Loros, el km 29,1, para finalmente mantenerse aproximadamente constante hasta la desembocadura del estero San Isidro, donde experimenta el último y brusco aumento.

El hecho de que la señal simulada se ajuste bastante bien a la señal observada a pesar de que los muestreos se realizaron en cuatro días distintos, indica que la CE se mantuvo aproximadamente constante dentro de cada tramo durante todo el período de muestreo.

9.2.5.1.E DBO_5

En primer lugar es necesario hacer notar que los valores iguales a 1 mg/L fueron asignados por el modelador, pues el valor real se encontraba bajo el límite de detección del instrumento de medición.

En la simulación de DBO mostrada en la Figura 141, se aprecia que los valores simulados siguen la tendencia de los valores observados, pero van siempre por debajo de esta última curva, salvo en el punto A17 (km 56,9), donde la DBO simulada pasa por sobre el valor observado, lo cual podría intentar explicarse con la desembocadura del estero Los Litres, el cual trae 10 veces más DBO que el río Aconcagua. Sin embargo, el punto A17, que se encuentra 5,3 km aguas abajo de dicha desembocadura, muestra que el nivel de DBO en dicho punto está por debajo de 1 mg/L, por lo tanto, la diferencia entre el valor muestreado y el simulado en dicho punto sólo puede deberse a una sobreestimación del caudal que trae el estero Los Litres (Qsbn[8]). Recomendamos

colocar un punto de muestreo inmediatamente aguas abajo de la desembocadura del estero Los Litres, para verificar el valor entregado por el modelo de cantidad MOS.

9.2.5.1.F Coliformes fecales

En la simulación de coliformes fecales mostrada en la Figura 142, se aprecia que los valores simulados se aproximan bastante a los valores observados, siempre por debajo de los 600 NPM/100 ml hasta la confluencia del estero Catemu en el km 24,4, el cual viene con una cantidad de coliformes fecales muy superior a la del río Aconcagua, por lo tanto, comienza a elevar la concentración de coliformes, por lo tanto, es muy razonable el aumento de los valores observados y simulados en dicho punto. En el km 29,1 se produce la desembocadura del estero Los Loros, el cual viene con una concentración de 17000 NPM/100 ml, lo cual eleva bruscamente la concentración de coliformes en el río, situación que no se ve reflejada en los valores observados, pero si en los simulados, por falta de un punto de muestreo inmediatamente después de la confluencia del río Aconcagua con el estero Los Loros.

9.2.5.1.G Cobre

En la simulación de Cobre, realizada con Qual2E, mostrada en la Figura 143, se aprecia que tanto los valores simulados como los valores observados, comienzan con una concentración de entre 0,25 y 0,30 mg/l, la cual disminuye hacia aguas abajo, para finalmente terminar en la junta con el estero San Isidro con valores inferiores a 0,05 mg/l. Sin embargo, a pesar de la buena correlación entre la señal observada y la simulada ($RMS_{norm} = 2,8\%$), es necesario hacer notar que, en el tramo de la simulación comprendido entre el punto A13b2, en el km10,7 hasta casi el punto A14g, en el km 27, la concentración simulada de cobre va sobre los valores observados, lo cual sólo es posible atribuirlo a dos factores : una sobreestimación del caudal en el punto inicial del tramo, o bien, a que una fracción del Cobre precipita, lo cual ocurre para pH mayores a 5. Luego del km 27, la señal simulada vuelve a estar por sobre de la observada hasta el punto A22, en el km 65,2, donde la señal observada comienza a aumentar hasta el punto A23d2, en el km 73,7, lo cual no es explicado por el modelo de simulación. Se recomienda un muestreo cuidadoso de Cobre en este sector.

9.2.5.1.H Manganeso

En la simulación de Manganeso, realizada con Qual2E, mostrada en la Figura 144, se aprecia que los valores observados comienzan con una concentración de 0,13 mg/L, la cual desciende bruscamente hasta el punto A13b2 en el km 10,7, donde experimenta un leve ascenso dado por el punto A13c, lo cual no puede ser representado por el modelo, debido a que en dicho tramo no se identificaron aportes, puntuales ni difusos, por lo tanto dicha diferencia sería sólo explicada por una sobreestimación del caudal en el punto inicial del tramo, lo cual está en concordancia con lo observado para el Cobre. Para evaluar la situación anterior, recomendamos agregar un punto de aforo cerca del punto de muestreo A12, para cada campaña de calidad.

Desde A13c, la concentración experimenta un nuevo aumento, hasta el punto A14 en el km 20,9, lo cual se debe a la descarga del estero Lo Campo, con una concentración de manganeso que es

casi el doble de la que trae el río Aconcagua hasta antes de dicha junta. Esto no fue adecuadamente representado por el modelo de simulación.

Desde el punto A14, la concentración observada de Mn vuelve a disminuir hasta el punto A14h en el km 24,0, para luego aumentar bruscamente hasta el punto A14g en el km 27,0, lo cual **no es atribuible** a la descarga del estero Catemu en el km 24,4 debido a que dicho estero, muestreado por el punto A14f, viene con una concentración menor que la que trae el río Aconcagua hasta dicha confluencia. Este aumento no fue adecuadamente representado por el modelo de simulación.

Hacia aguas abajo, la concentración observada de Manganeso comienza a disminuir hasta el punto A19f, en el km 39,1, mientras que la señal simulada va en aumento, esto podría ser atribuido a una sobreestimación del caudal del estero Los Loros, muestreado por el punto A14e2, pues dicho estero aporta una concentración de magnitud casi el doble de lo que trae el río Aconcagua antes de dicha desembocadura. Desde el km 39,1 la concentración observada de Manganeso continúa disminuyendo hasta el punto A19h, en el km 44,2, lugar en el cual comienza a ascender hasta el punto A17 en el km 56,9, primero debido a la descarga de la industria Algamar en el km 49,0 y luego debido al aporte del estero Los Litres en el km 51,6. Este último tramo ascendente está representado por los valores modelados, pero dichos valores son mucho mayores que los observados en dicho tramo, lo cual puede deberse a una sobreestimación del caudal de salida del estero Los Litres, muestreado por el punto A19c. Se recomienda aforar dicho estero en cada campaña de calidad.

Desde el km 56,9, la concentración observada de Manganeso disminuye hasta alcanzar valores inclusive menores al límite de detección en el punto A23g ubicado en el km 73,1, para experimentar un brusco aumento debido a la descarga de la termoeléctrica Nehuenco, muestreada en el punto A23d2 del km 73,7, la cual aporta 2,02 mg/L de Mn, lo cual es muy superior a la concentración del río hasta antes de dicha descarga. Los valores simulados comienzan a disminuir desde el km 72,3, en contraste a los valores observados, lo cual se puede deber a una sobreestimación del caudal de afloramiento del acuífero 7.

9.2.5.2 Mes de noviembre

La campaña de noviembre se realizó en 3 días distintos, 02, 03 y 04 de noviembre de 2004. Debido a que durante este mes no se dispuso una corrida de aforos, contra la cual validar los caudales entregados por el modelo superficial MOS y a que durante la campaña de muestreo de calidad se observó que en este mes el río había aumentado “*significativamente*” su caudal, modificando muchas veces el recorrido del río y las secciones transversales del mismo (lo cual afecta los coeficientes *a*, *b*, *Alfa* y *Beta* de las curvas de descarga determinadas en la campaña anterior), es que sólo se realizará un análisis global de los valores observados mostrados en las figuras de la sección anterior, siendo válidas muchas de las recomendaciones allí mencionadas.

9.2.5.2.A Oxígeno disuelto

- Desde el punto A12 el nivel de OD comienza a aumentar paulatinamente hasta alcanzar un máximo en el punto A13c, en el km 16,4, lo cual puede ser explicado por los afloramientos

ocurridos en el sector Panquehue. Se recomienda hacer mediciones en distintos puntos de dicho acuífero para poder determinar de la mejor forma posible su calidad.

- ❑ Desde el punto A13c, el OD comienza a disminuir, influenciado por los bajos niveles de OD del estero Lo Campo, que desemboca en el km 19,9, hasta la desembocadura del estero Catemu en el km 24,4.
- ❑ Los niveles simulados de OD comienzan nuevamente a subir desde el km 24,4 hasta el 24,6, lo cual se debe al ingreso de caudal con altos niveles de OD proveniente del estero Catemu (Qsbn[18]), en el km 24,4.
- ❑ El brusco descenso en los niveles simulados de oxígeno disuelto entre el km 24,6 al 29,1 se debe a los bajos niveles de OD aportados por la desembocadura del estero Los Loros en el km 29,1.
- ❑ Desde el km 29,1 al 39,1 los niveles de OD comienzan a subir nuevamente, lo cual creemos se debe al aporte del estero La Sombra o a los afloramientos del acuífero 6.
- ❑ Desde el km 39,1 al 49,5 los niveles simulados de OD experimentan una disminución, la cual podría ser explicada por la diferencia entre los días de muestreo.
- ❑ Desde el km 49,5 hasta el km 56,9 los niveles de OD experimentan un aumento que contrasta con la disminución observada en ese mismo tramo durante el mes de septiembre.
- ❑ De la variación experimentada entre el km 56,9 y el km 65,2, no podemos concluir nada, puesto que las mediciones desde el km 65,2 hacia adelante se realizaron un día antes que las del km 56,9 y anteriores.

9.2.5.2.B Temperatura, pH, Conductividad eléctrica y Coliformes fecales

Tanto los valores simulados de temperatura como los de pH, coliformes fecales y conductividad eléctrica, se ajustaron a los valores medios de sus correspondientes valores observados y la diferencia entre los peaks observados y los simulados, puede ser explicada en una primera instancia por la diferencia de fechas entre los días de muestreo.

9.2.5.2.C DBO₅

En primer lugar es necesario hacer notar que los valores iguales a 1 mg/L fueron asignados por el modelador, pues el valor real se encontraba bajo el límite de detección del instrumento de medición.

En la simulación de DBO mostrada en la figura 150 se aprecian claramente 3 peaks: el primero en el punto A14g, el cual no puede ser explicado mediante alguno de los procesos aquí simulados; el segundo en el punto A16 en el km 49,5 el cual se debe a la descarga de Algamar; y el tercero en los puntos A23 y A23g lo cual puede deberse a la descarga en el sector proveniente de una lechería, la cual fue imposible muestrear en forma directa.

9.2.5.2.D Cobre

En la simulación de Cobre, realizada con Qual2E, mostrada en la Figura 152, se aprecia que tanto los valores simulados, como los valores observados, comienzan con una concentración de entre 0,39 y 0,41 mg/l respectivamente, la cual disminuye hacia aguas abajo, para finalmente terminar en la junta con el estero San Isidro con valores cercanos a 0,05 mg/L. Sin embargo, es necesario hacer notar que, la señal simulada va siempre por encima de la observada, lo cual puede ser atribuido a una sobreestimación de los caudales pasantes. Se recomienda una serie de aforos para estimar los caudales a lo largo del río, sobre todo antes de cada afluente.

9.2.5.2.E Manganeseo

En la simulación de Manganeseo, realizada con Qual2E, mostrada en la Figura 153, se aprecia que los valores simulados van por lo general por sobre los observados, sin ninguna clara correlación entre ambos, lo cual puede ser atribuido a muchos de los factores mencionados anteriormente.

9.2.5.3 Mes de diciembre

La campaña de diciembre se realizó en 4 días distintos, 06, 07, 09 y 10 de diciembre de 2004. No se realizó un análisis de los resultados obtenidos en este período, debido a que de lo ya extensamente comentado para los meses de septiembre y noviembre, es posible deducir el comportamiento de las sustancias modeladas.

9.3 RESULTADOS CALIBRACIÓN DE MODELOS SUBTERRÁNEOS

9.3.1 Resultados Calibración Modelo 2

9.3.1.1 Calibración Modelo de Flujo

La calibración del modelo de flujo, discretizado y actualizado a nivel mensual, se comportó estable, y los parámetros elásticos se mantuvieron en relación a los iniciales tomados del modelo base del Aconcagua. Lo anterior, se debe fundamentalmente a que los niveles observados en el tiempo de los pozos permanecen también estables y la explotación real en el valle no excede los 500 L/s.

El error medio cuadrático normalizado (Normalized RMS) es del 1% y el valor residual es de aproximadamente 0.56m como promedio para todos los tiempos modelados. Estos valores pueden verse en la figura 159.

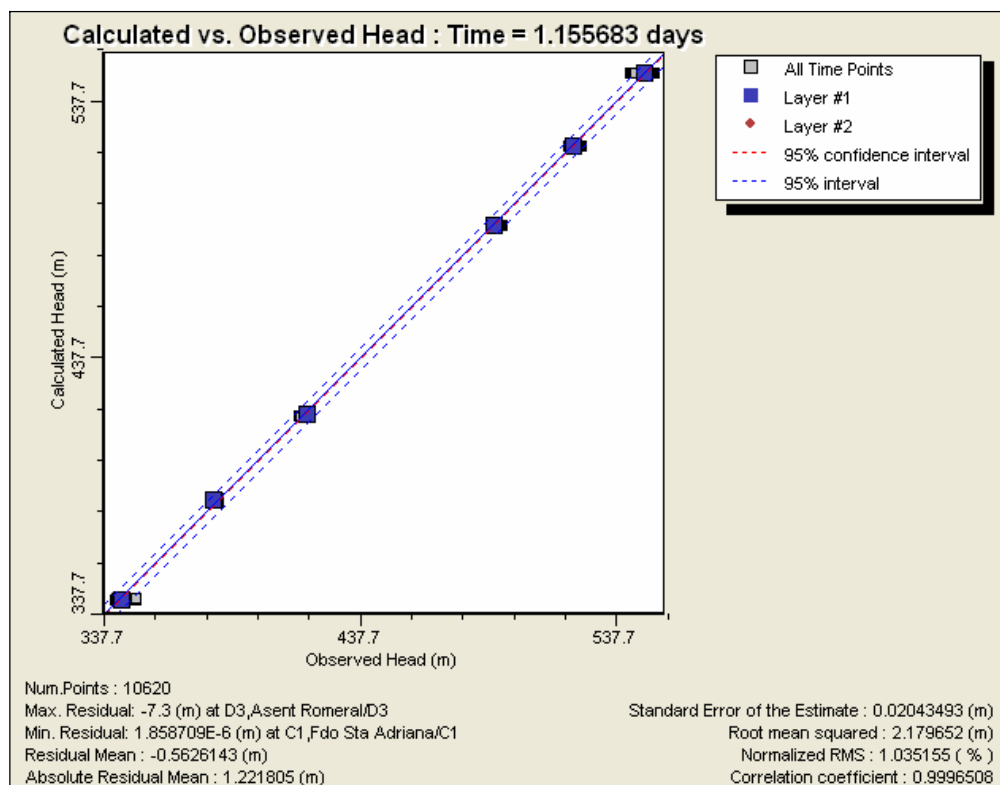


Figura 159: Estándares de Calibración MOD2

Niveles

La variación de niveles se ajustó bien, logrando un ajuste satisfactorio. Ningún pozo presenta tendencia al descenso en la zona de Aconcagua-Las Vegas.

La figura 160 muestra los niveles simulados versus los observados para todo el período de calibración. Las cotas piezométricas más altas se obtienen desde el sector de entrada al modelo 2, pozos C2, C1 y D2. En la zona de Catemu, los pozos Cate 1, Cate 2 y Cate 3, son sólo de referencia y se puede hacer notar que los niveles de la napa se presentan sobre el terreno y que el modelo de flujo base presenta esta inconsistencia. Lo anterior, se debe a que el río Catemu no fue modelado, es decir, el río fue simulado como condición de recarga, pero no como tal, y además, que en la zona no existen pozos de observación para contrastar.

Esta inconsistencia, es un patrón fuerte para la calibración de calidad, la cual no podrá tener posibilidad de ajustarse muy bien, ya que toda el agua de la zona de Catemu fluye a niveles superiores al terreno. En los demás pozos no existe problema.

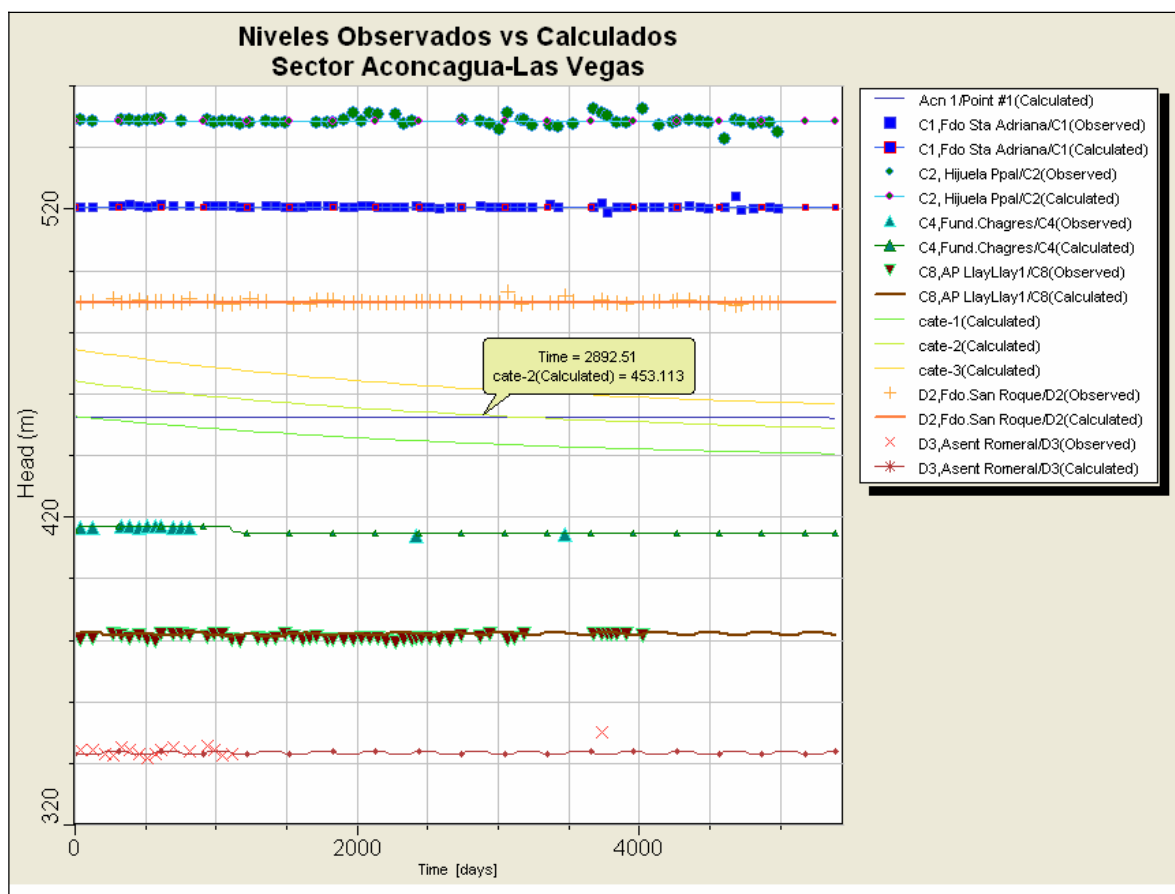


Figura 160: Niveles calculados versus niveles simulados.

Balance de Masa

El balance de masa resulta ser casi perfecto, con las entradas iguales a las salidas del sistema. En la tabla 47 se muestra un resumen del balance de masa para todo el sector del Modelo 2.

En las entradas, la condición de borde de aprox. $14 \text{ m}^3/\text{s}$ corresponde a la entrada subterránea del río Aconcagua, la cual es totalmente aflorada en el sector y principalmente en la zona final. El Storage IN, se interpreta como el caudal que sale del almacenamiento producto del uso del mismo.

Tabla 47: Balance de Masa Global sector 2

Entradas (m3/s)	
Recargas	0.617
Pozos, cond Llay Llay	0.311
Condición de Borde	13.944
STORAGE IN	0.215
TOTAL IN	15.087
Salidas (m3/s)	
Drenes	14.628
Extracción de Pozos	0.446
STORAGE OUT	0.013
TOTAL OUT	15.087

Zonas de Balance

Las zonas de balance implementadas y el resumen de los caudales de flujo obtenidas para las zonas de balance se muestra en la tabla 48.

Tabla 48: Flujos para las zonas de balance

Zonas de Balance		m3/s
ZB2	Dren Las Vegas	0.747
ZB3	Rio Aconcagua	12.813
ZB4	Salida	0.321
ZB5	Entrada	13.139
ZB6	Vertidos	0.559
ZB8	Catemu	0.595
ZB8 --> ZB1	Flujo Catemu a ACN	0.644

Mapas de Contorno

El modelo de flujo, permite extraer una serie de mapas de contorno, de los cuales se considera interesante mostrar, por ejemplo, los mapas de las curvas equipotenciales y los mapas de velocidades.

a) Equipotenciales

La figura 161 muestra las curvas equipotenciales para el sector Mod 2, con una discretización de cada 5 metros.

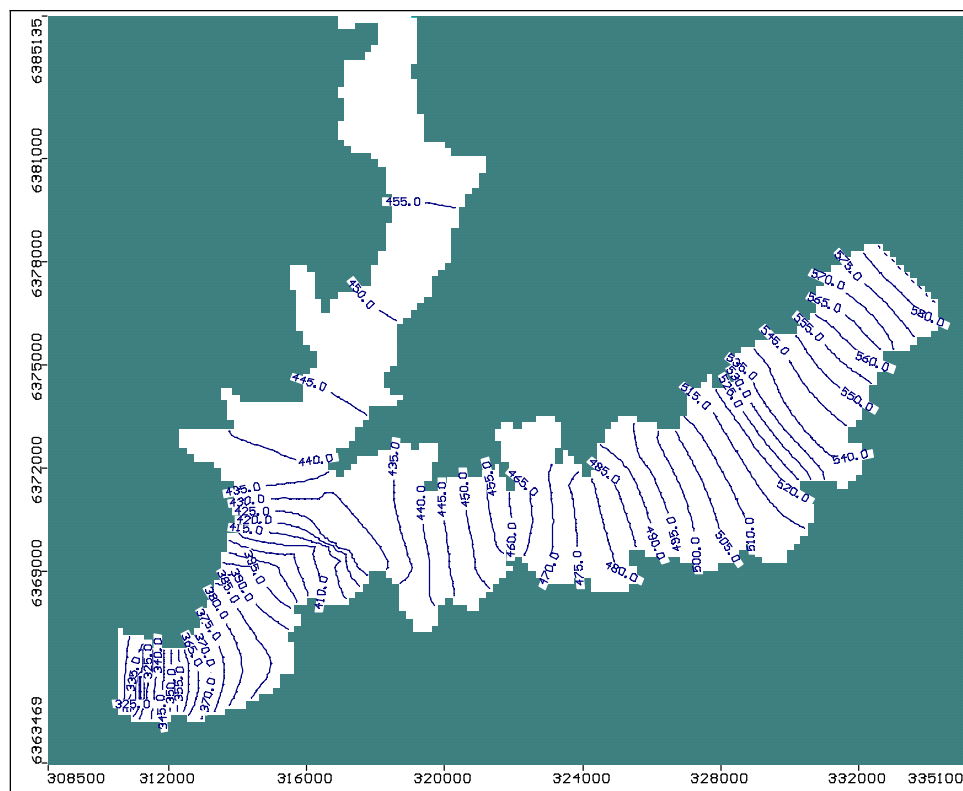


Figura 161: Curvas equipotenciales en el tiempo final.

b) Profundidad de la napa

Para una mayor claridad del nivel del agua en el sector, se muestra en la figura 162 el mapa de la profundidad del nivel del agua subterránea, realizado en tonos de colores para una mejor apreciación de la situación.

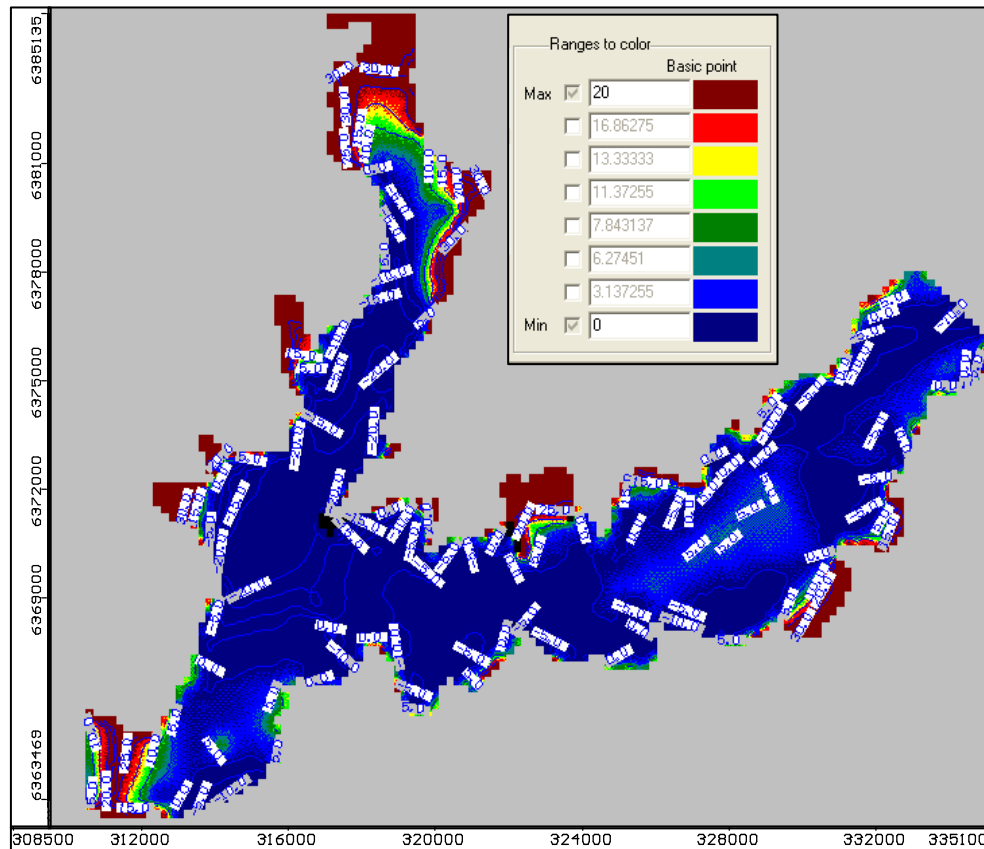


Figura 162: Profundidad de la napa.

Del mapa de profundidades se puede destacar que el nivel del agua se encuentra en casi todo el sector muy cerca de la superficie, entre los cero y 5 metros de profundidad, lo cual es correcto, y debido a eso, es que en la zona se presentan afloramientos y recuperaciones del río Aconcagua.

En la zona de Catemu, se tienen, como ya se mencionó anteriormente, profundidades negativas, es decir, niveles del agua por sobre el terreno, lo cual es inconsistente, pero como no existen pozos de observación de niveles, se prefirió no alterar la conformación del modelo base, pero si mencionarlo.

c) Velocidades

También se considera necesario conocer el mapa de velocidades, para tener una apreciación de la variación de la magnitud de las velocidades subterráneas dependiendo del sector en que uno se encuentre.

La figura 163 muestra el mapa de Magnitud de velocidades para el sector de modelación. Del mapa se traduce que las mayores velocidades se presentan en el valle principal del Aconcagua, con una velocidad máxima de 22 m/día. En el río Catemu y en la zona baja del río Aconcagua las velocidades son menores, debido a las menores permeabilidades, dando lugar a los afloramientos.

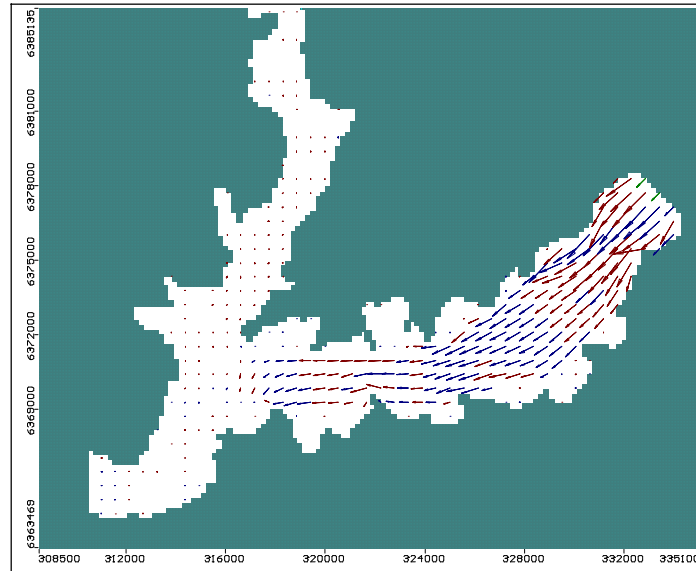


Figura 163: Mapa de Magnitud de Velocidades.

Para apreciar mejor la dirección del flujo, en la figura 164 se presentan las velocidades, pero proyectando la dirección de ellas.

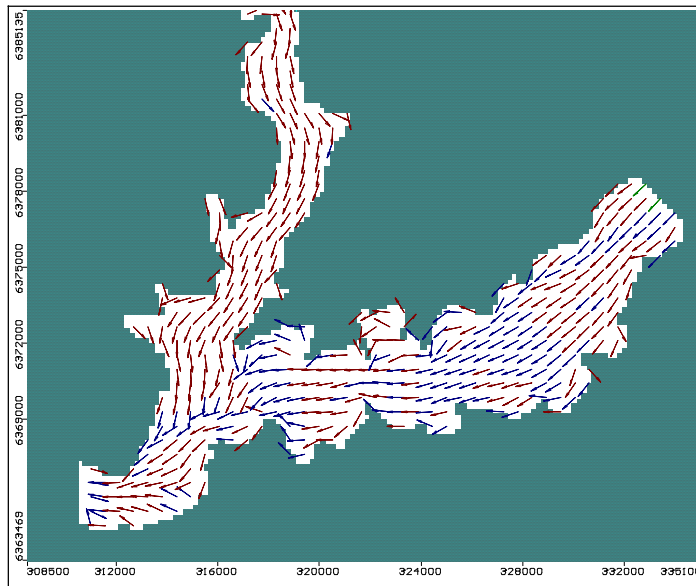


Figura 164: Mapa de Dirección de Velocidades

9.3.1.2 Calibración Modelo de Calidad, MT3DMS

Para la calibración del modelo de Calidad Subterránea, se utilizó la rutina MT3DMS (Modelo Modular de Transporte 3 tridimensional de Multi-parámetros ó Multi-especies), con el método de solución de advección de Tercer Orden Implícito TVD –Total Variation Diminishing- y con un criterio de convergencia de 0.005 (mg/L) para todos los parámetros. Dentro de la gamma de métodos de solución de transporte se escogió el TVD por ser (1) el método más estable para frentes bruscos, (2) conservativo en cuanto a balance de masa, (3) poca dispersión numérica, y (4) utiliza poca memoria de PCs.

La calibración es un proceso lento y de mucho análisis. Primero se debe revisar el modelo conceptual, luego identificar el régimen de transporte dominante (para el caso del ACN es el advectivo), luego seleccionar la opción de solución para el término advectivo (TVD), asignar los parámetros apropiados y por último verificar el criterio de estabilidad.

Se realizó una especie de sensibilidad para el coeficiente de dispersión longitudinal (α_L), en un rango de 2 a 100 (m) y éste fue totalmente insensible a los resultados del ajuste de la calibración. Producto de lo anterior, la calibración del modelo de calidad subterránea, se tradujo en ajustar las plumas de isoconcentraciones y manejar las curvas del comportamiento de los contaminantes, para lograr valores medios representativos a los muestreados en los últimos tres time steps.

Concientes de que la calibración obtenida no es satisfactoria, es lo mejor que se puede lograr al no contar con las concentraciones de recargas de los contaminantes en las áreas de riego, ya que éstas son fundamentales para poder lograr la variabilidad temporal de las concentraciones.

A continuación, se presentan los estándares de error que se obtuvieron para cada uno de los contaminantes en el proceso de calibración del modelo de calidad subterránea.

Estándares de Error

Tabla 49: Resultados de la Calibración

Parámetro	Unidad	Cu	Mn	NO3	Cl	SO4
Normalizado RMS	(%)	35	6.9	16.5	24	19.8
RMS	(mg/L)	0.023	0.462	2.26	7.5	43.7
Error Medio	(mg/L)	0.012	0.085	0.504	2.3	3.33

Los resultados de la tabla 49 corresponden a los valores medios para todo el período de calibración, considerando todos los pozos en análisis.

El Cobre es el que presenta el mayor grado de error y se debe fundamentalmente a la variación de los valores calculados en los pozos que se ubican en los piedemontes y no en la parte central del valle. Variación de concentración en el tiempo.- Gráficos por zonas

Para hacer más comprensible los gráficos de la variación de las concentraciones, se realizan gráficos por zonas, considerando sólo pozos representativos a todos los incluidos en el sector, y para cada uno de los contaminantes modelados.

ZONA DE ENTRADA

En general, para el sector de entrada del valle del Aconcagua, y para los 5 parámetros modelados, no existe una variación fuerte en el tiempo y esto se relaciona con la fuerte componente advectiva del medio. Las “grandes” velocidades subterráneas hacen que las concentraciones fluctúen al comienzo de la simulación, pero que se estabilicen en el tiempo, en cierta medida se mezclan rápidamente con las concentraciones del medio.

Para todas las figuras de este sector, se logró que los valores simulados estuvieran dentro de la media de los valores medidos.

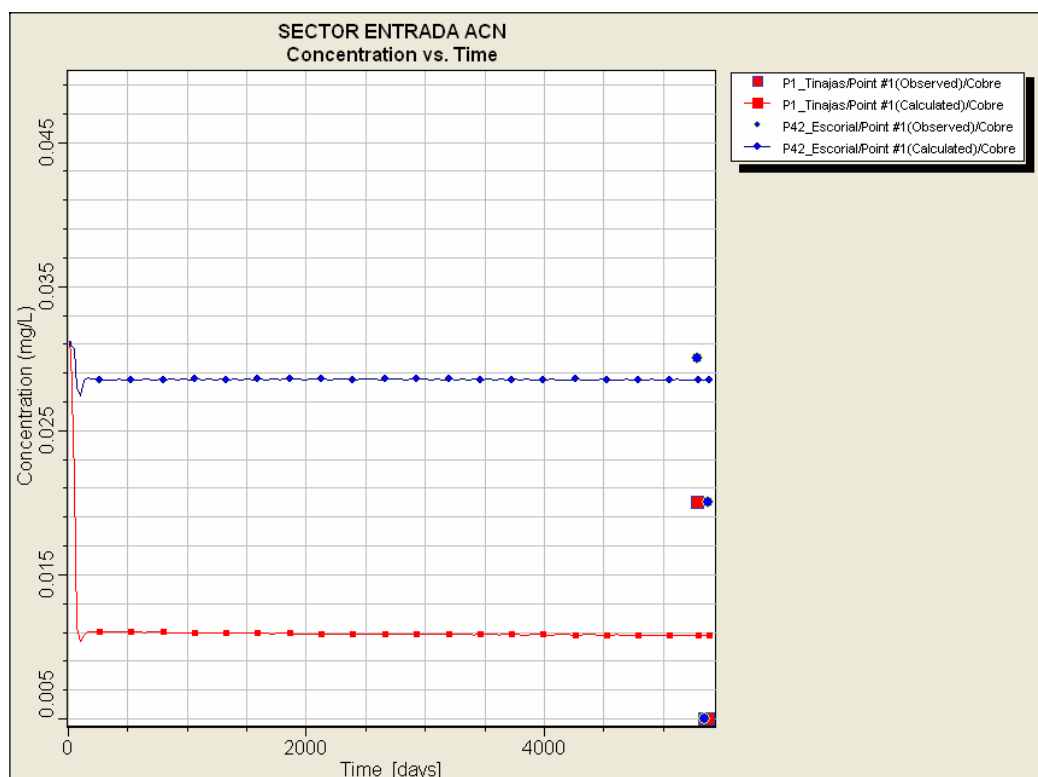


Figura 165: Zona de Entrada – COBRE

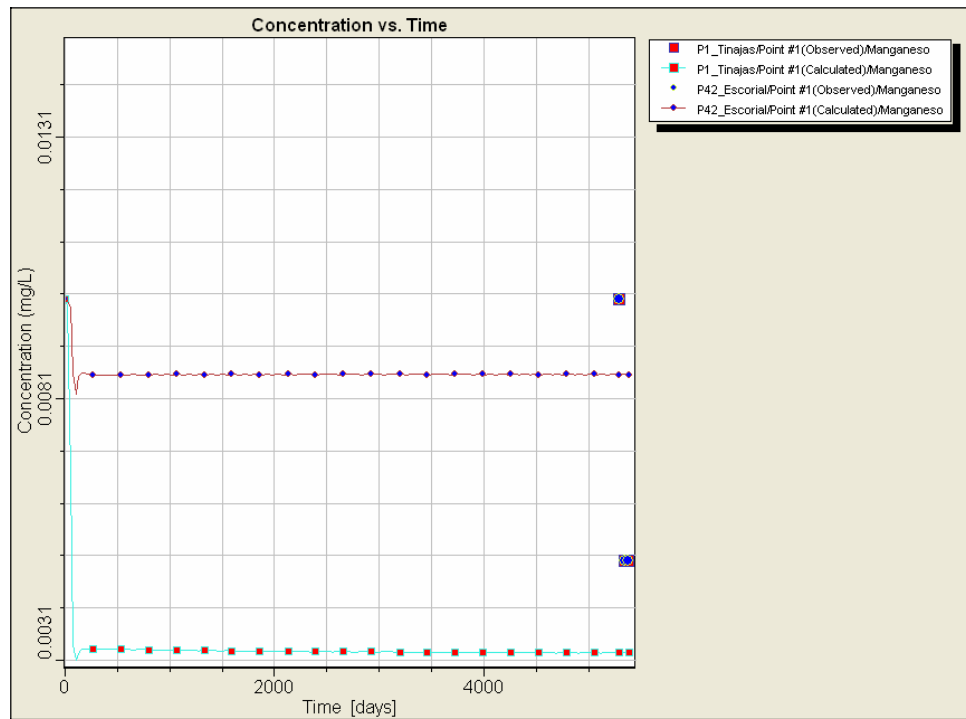


Figura 166: Zona de Entrada - MANGANESO

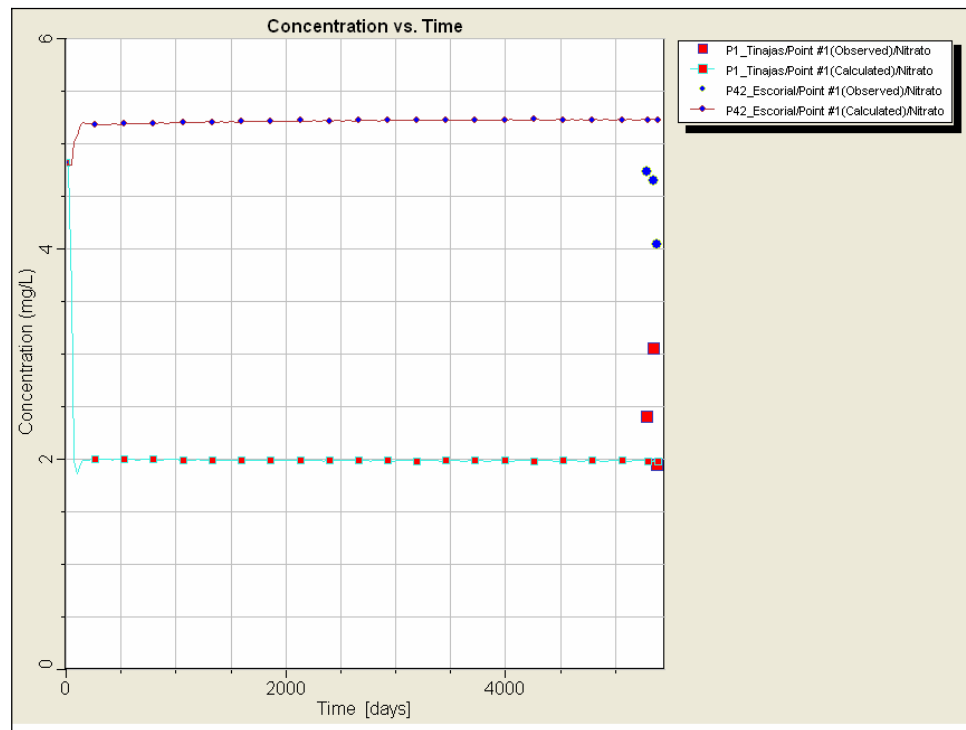


Figura 167: Zona de Entrada - NITRATOS.

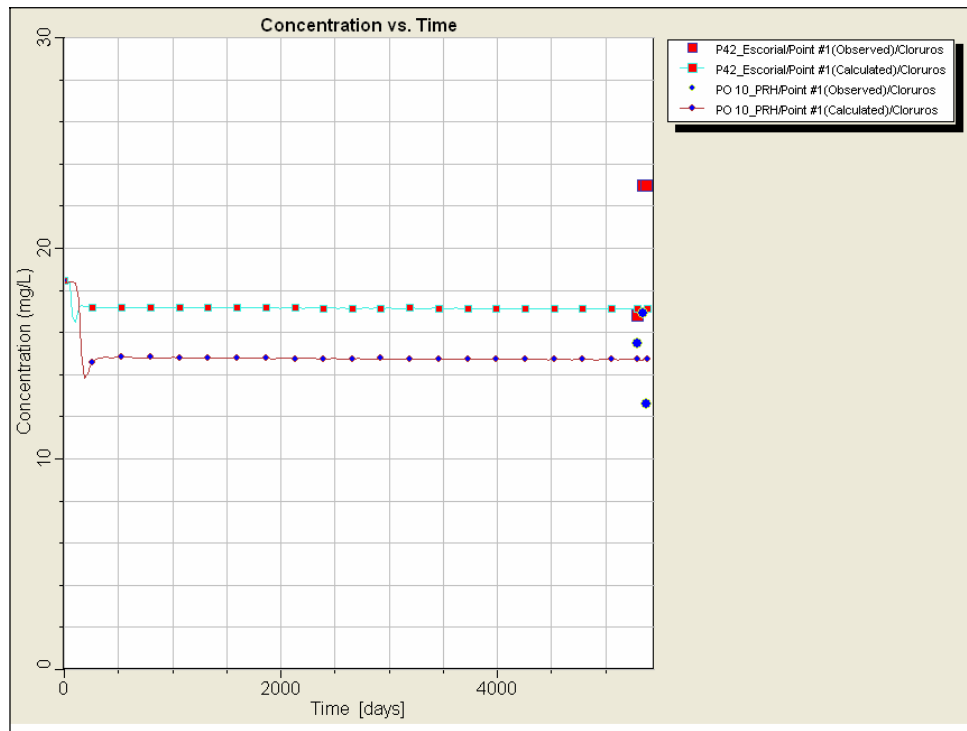


Figura 168: Zona de Entrada - CLORUROS.

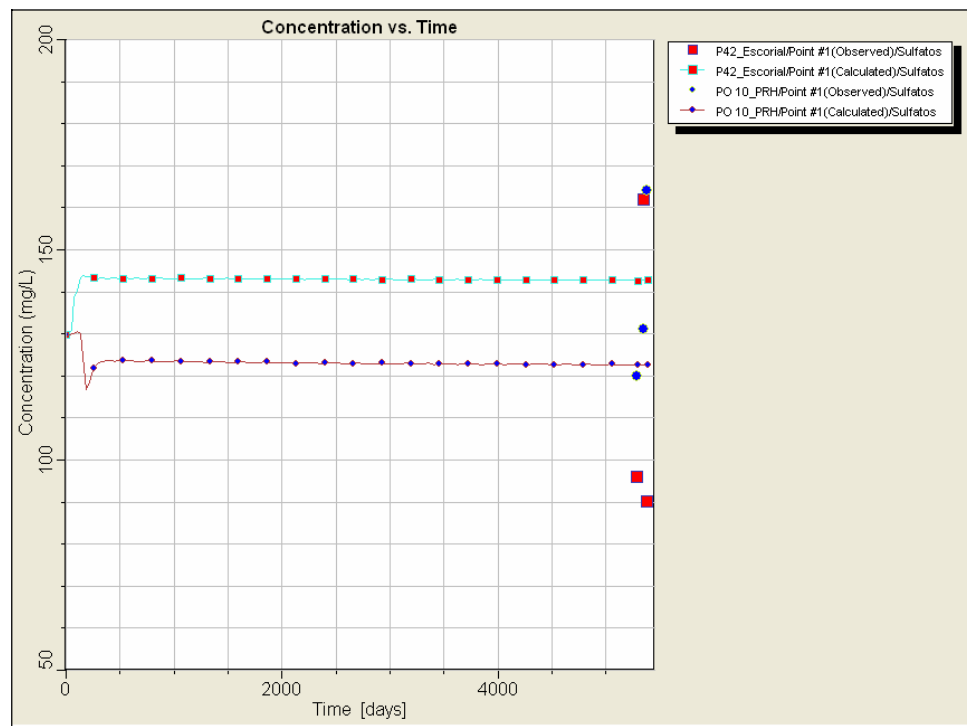


Figura 169: Zona de Entrada - SULFATOS.

ZONA MEDIA VALLE RIO ACONCAGUA

En esta zona existen 2 pozos de muestreo, el pozo 54 Lo Campo y el pozo 47 Santa Adela.

Para esta zona, el comportamiento es muy diferente entre un pozo y otro. Mientras para el pozo 47 las concentraciones son muy similares a través del tiempo, el pozo 54 presenta una variabilidad que depende directamente de la permeabilidad del sector y la mayor velocidad mezclado con concentraciones mayores de los parámetros aguas arriba, produce que al comienzo las concentraciones aumenten para posteriormente diluirse y mezclarse

Para el Cobre y el Manganese se logra estar en el valor de la media de las concentraciones, sin embargo para los nitratos, cloruros y sulfatos, el pozo 54 siempre está por debajo de los valores medidos.

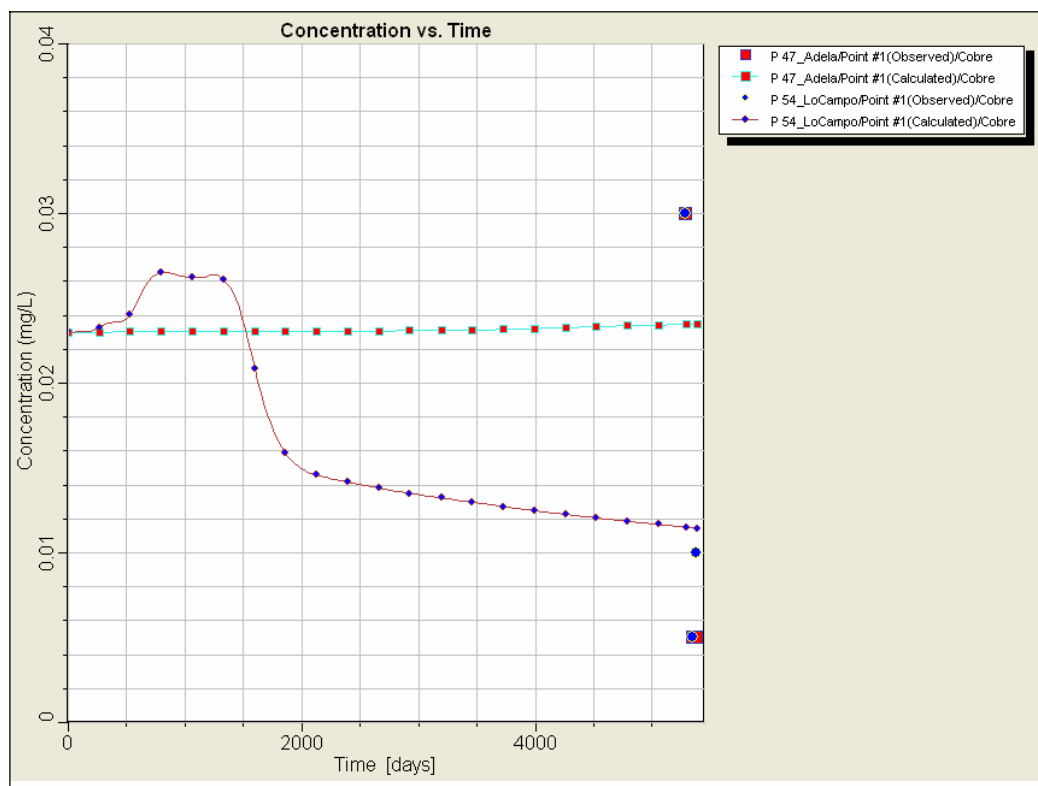


Figura 170: Zona Media Aconcagua - COBRE.

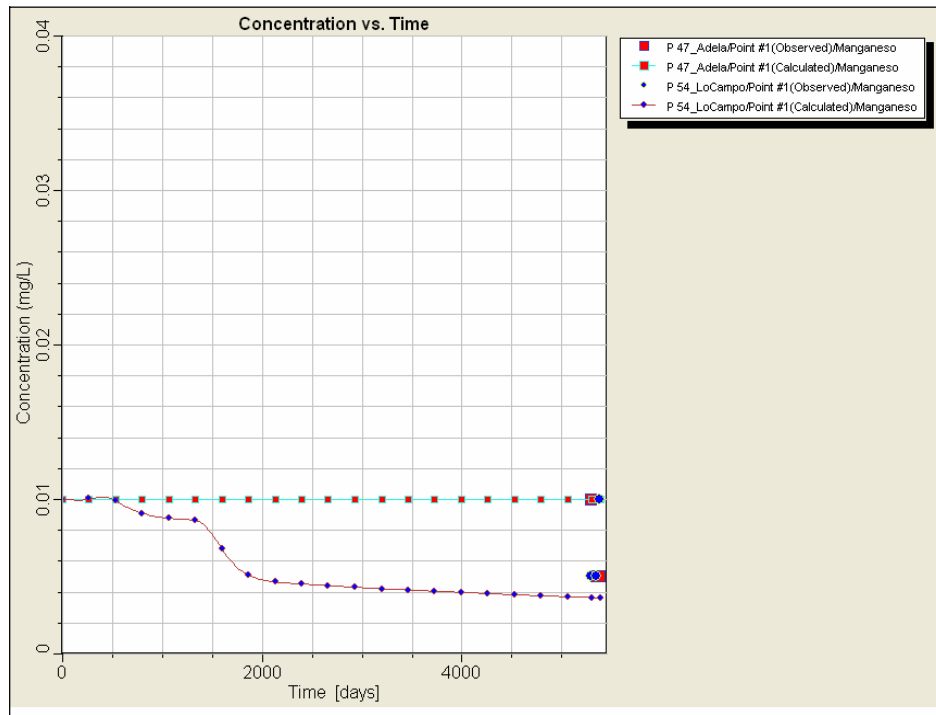


Figura 171: Zona Media Aconcagua - MANGANESO.

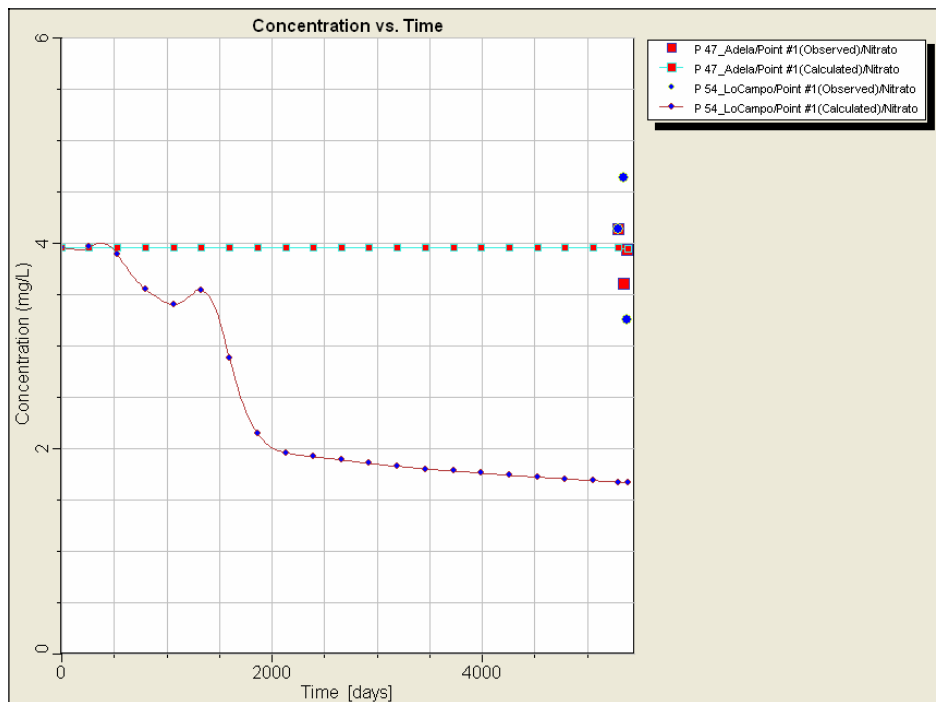


Figura 172: Zona Media Aconcagua - NITRATOS.

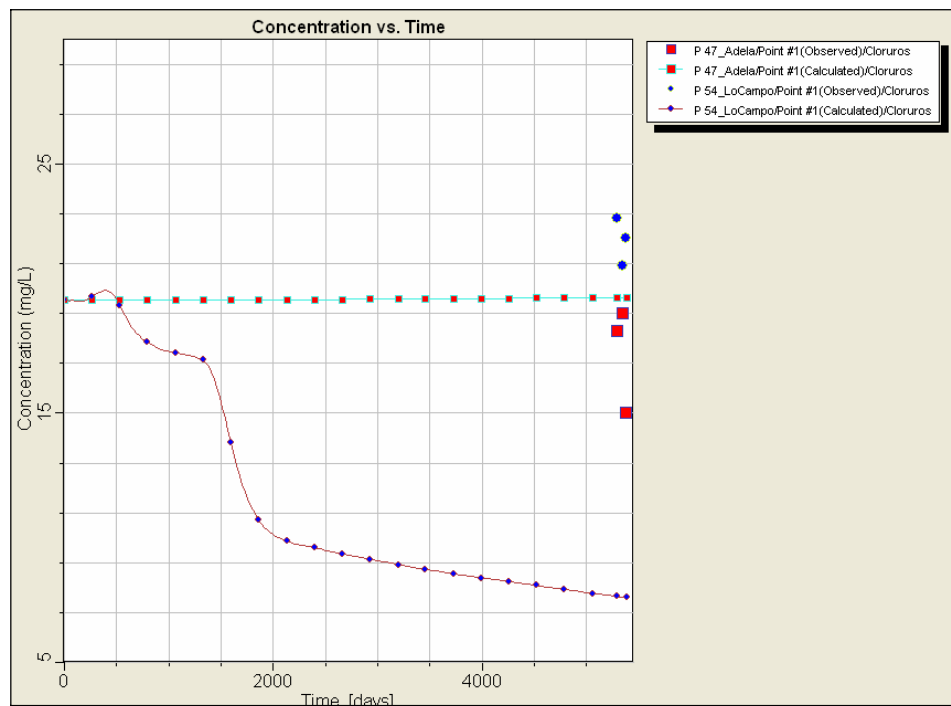


Figura 173: Zona Media Aconcagua - CLORUROS.

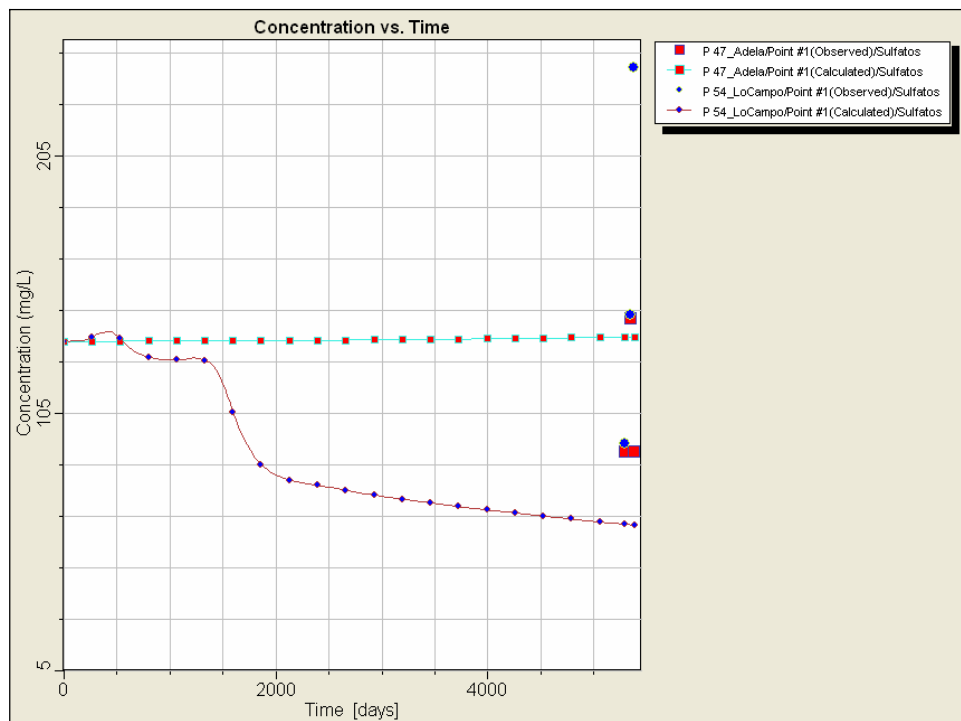


Figura 174: Zona Media Aconcagua – SULFATOS

ZONA MEDIA BAJA, RIO ACONCAGUA ANTES DE LA JUNTA CON EL CATEMU

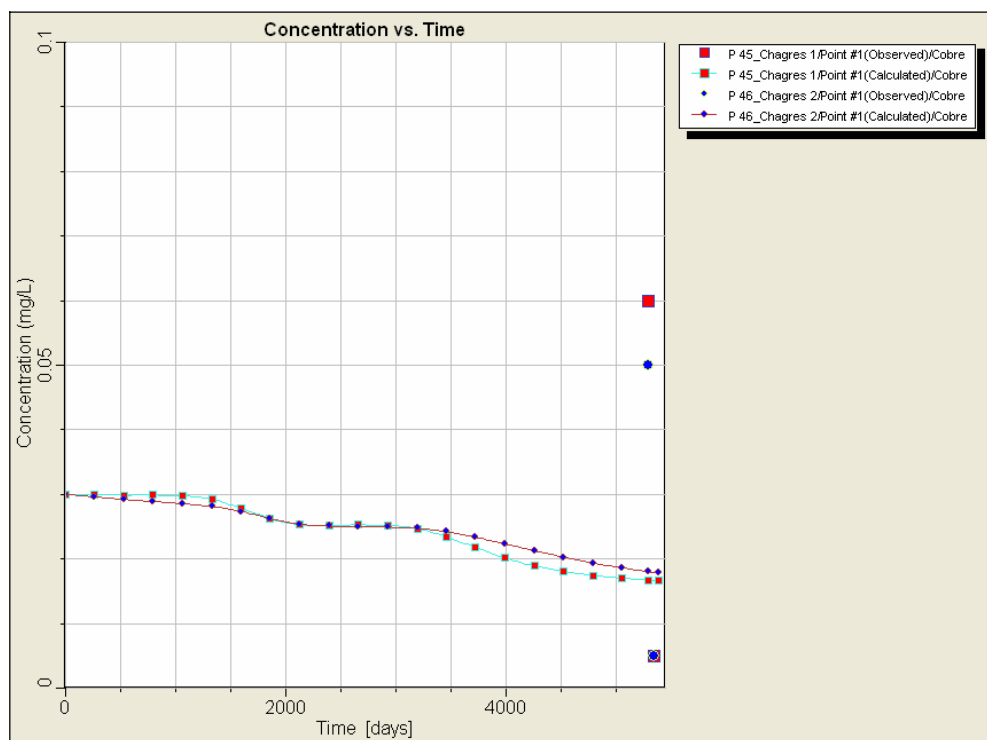


Figura 175: Zona Media Aconcagua - COBRE.

En general, en esta zona la tendencia del comportamiento de los contaminantes es distinta. Mientras el Cobre y el Manganeseo son valores más bien bajos, los cloruros, nitratos y sulfatos presentan una curva de tendencia tipo campana de gauss, esto es, parten con concentraciones estables, luego se elevan exponencialmente, para luego bajar nuevamente de manera muy brusca.

El ascenso “tardío” de las concentraciones de NO_3 , Cl y SO_4 , se deben a las concentraciones más elevadas que presenta el agua subterránea aguas arriba de este sector, las cuales llegan después de un tiempo (2000 días) a contaminar la aguas de este sector. Una vez que llegan al sector, y logran elevar las concentraciones hasta un cierto peak, éstas son nuevamente aminoradas producto del flujo advectivo del valle.

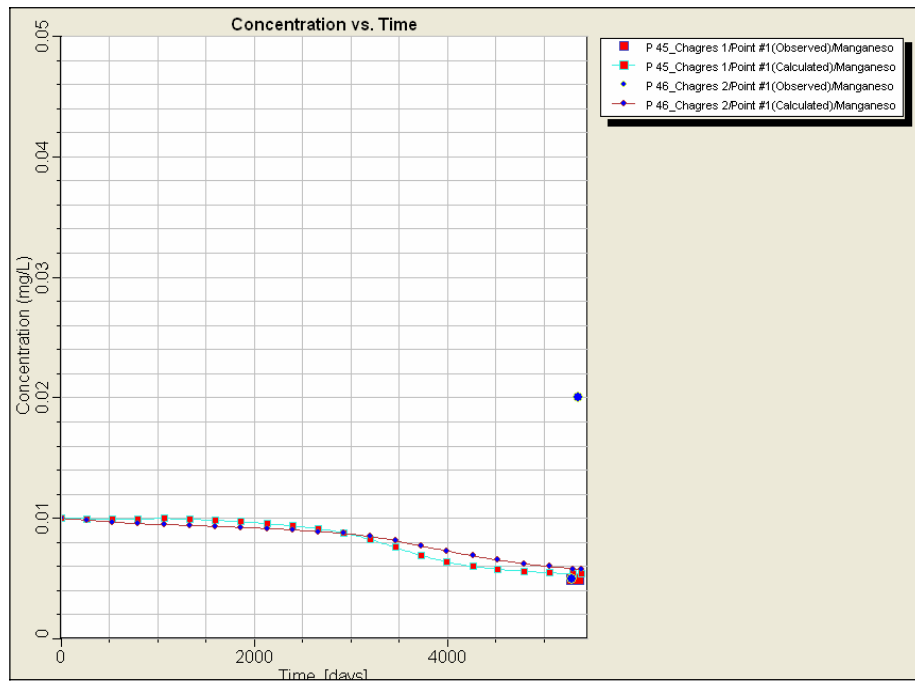


Figura 176: Zona Media Aconcagua – MANGANESO

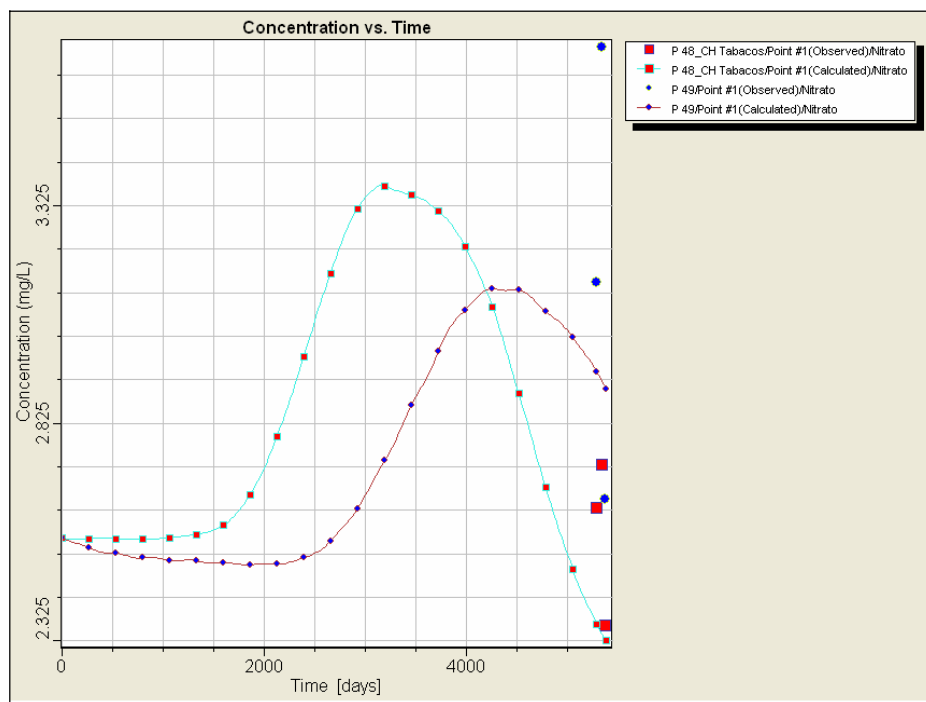


Figura 177: Zona Media Aconcagua – NITRATOS

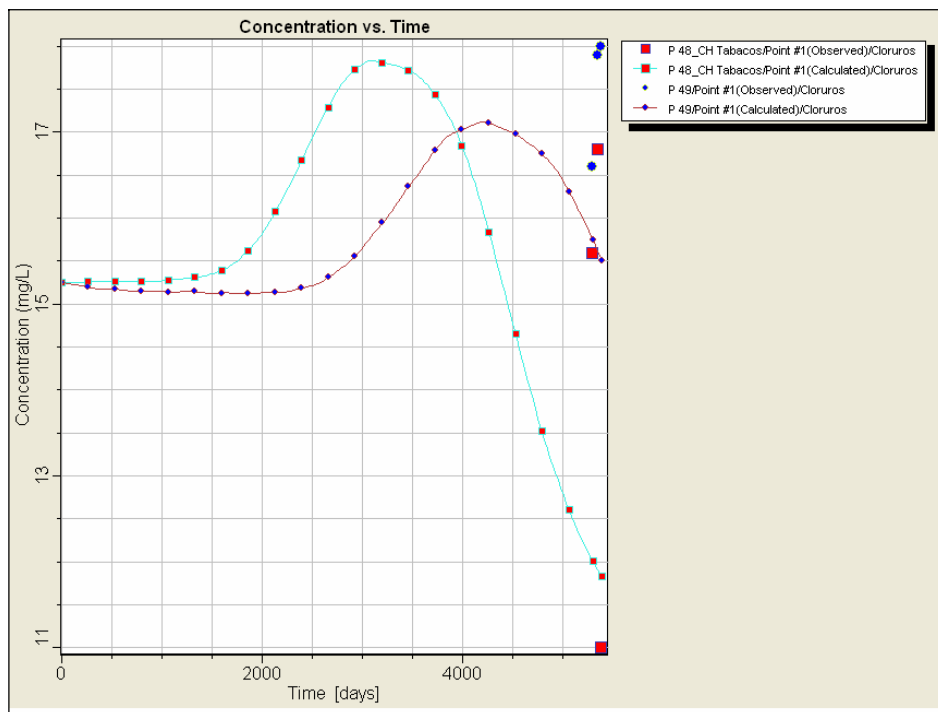


Figura 178: Zona Media Aconcagua – CLORUROS

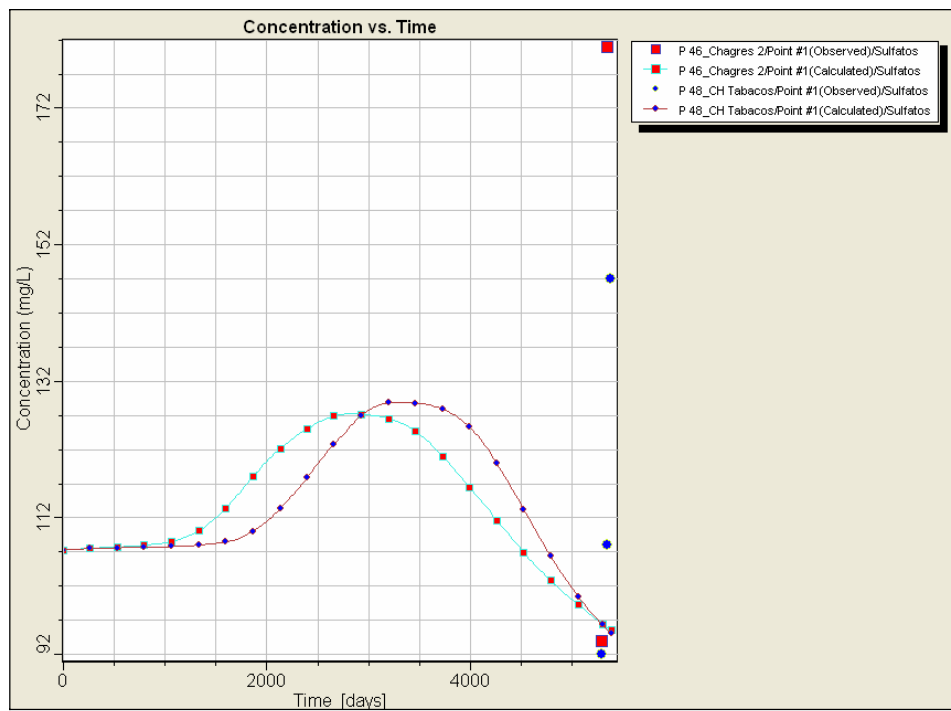


Figura 179: Zona Media Aconcagua – SULFATOS

ZONA VALLE ESTERO CATEMU

En la zona del Catemu, el cobre presenta valores medidos altos en relación con las demás zonas. A su vez, el pozo 44, que está ubicado antes de la junta con el río Aconcagua presenta una fuerte componente de la permeabilidad, lo que hace que la variación de concentraciones descienda en el tiempo, pero de todas maneras se logró conservar la media. Es importante señalar la alta variabilidad de los datos medidos, los que pueden verse en la figura 180.

Por otro lado, el Manganeso, tuvo que ser graficado por separado para el pozo 44 y los demás de la misma zona, debido al alto contenido de éste en el pozo 44 (ver diferencias de escala en las figuras 181 y 185) en comparación con los demás. Se cree que se tendría la influencia de alguna mina aguas arriba en el sector de Catemu, cuyos flujos subterráneos estarían directamente ligados con el pozo 44.

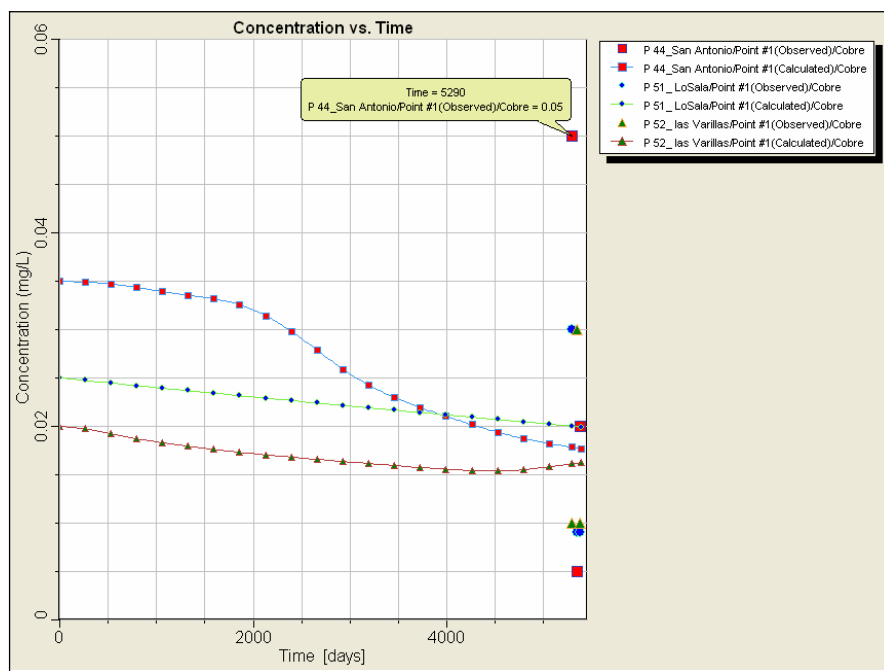


Figura 180: Zona Valle Catemu – COBRE

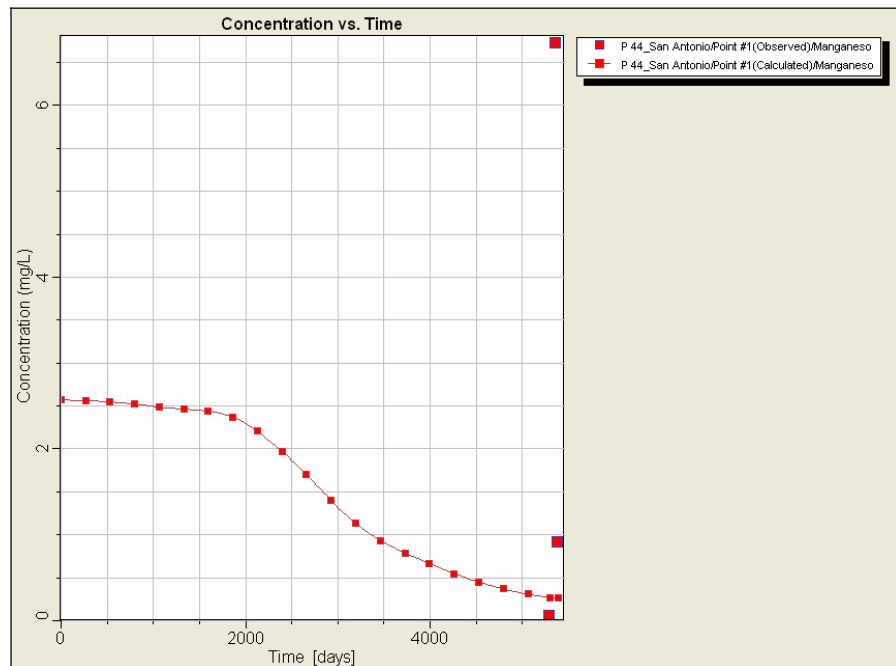


Figura 181: Zona Valle Catemu – MANGANESO

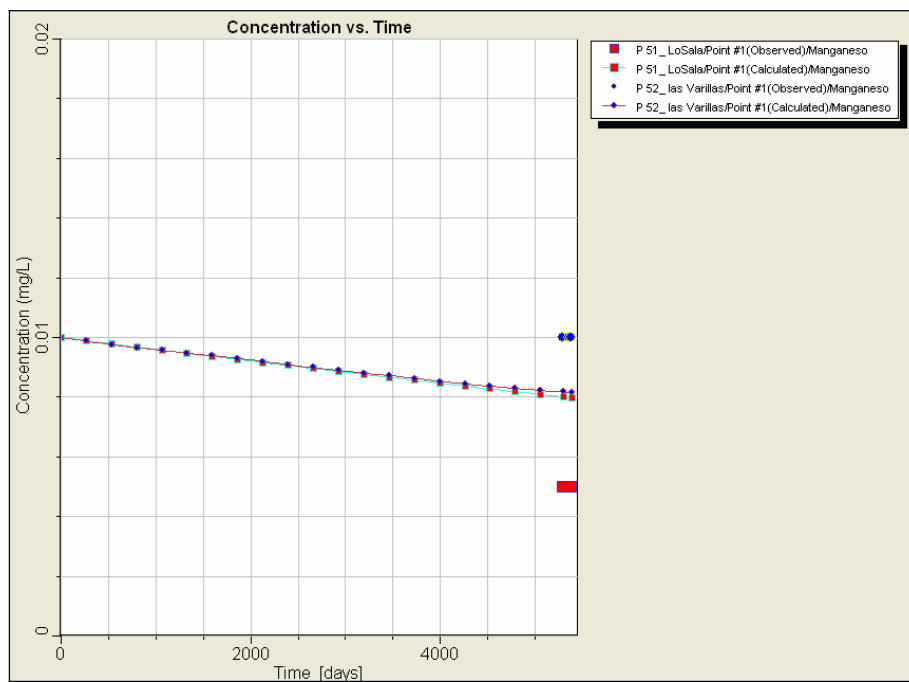


Figura 182: Zona Valle Catemu – MANGANESO

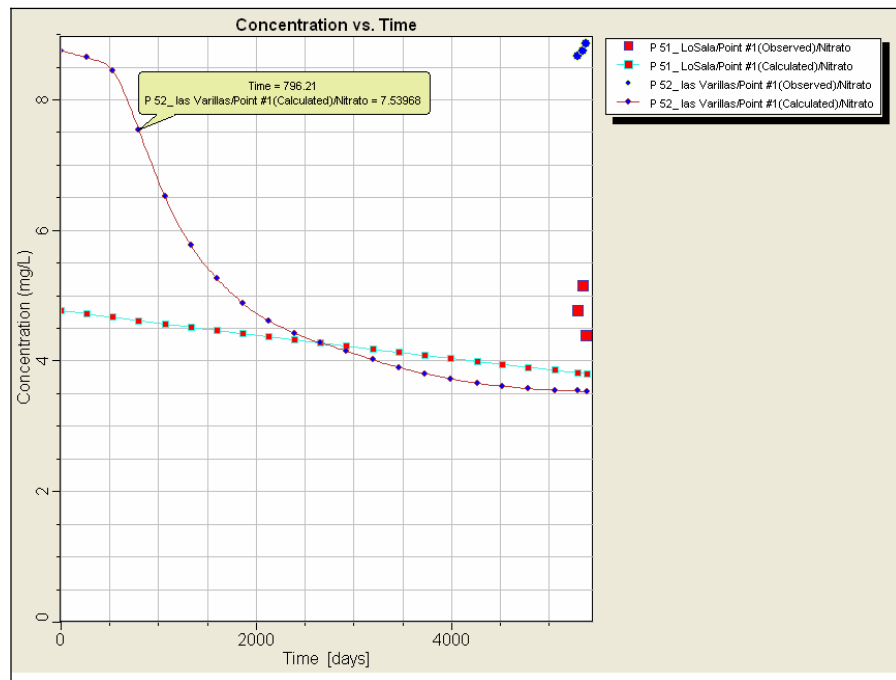


Figura 183: Zona Valle Catemu – NITRATOS

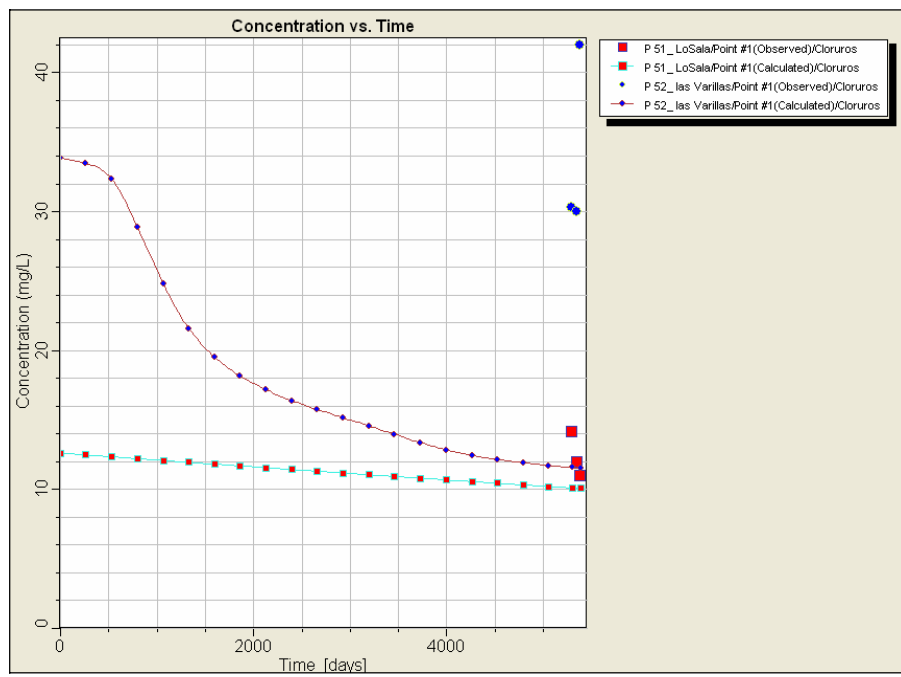


Figura 184: Zona Valle Catemu – NITRATOS

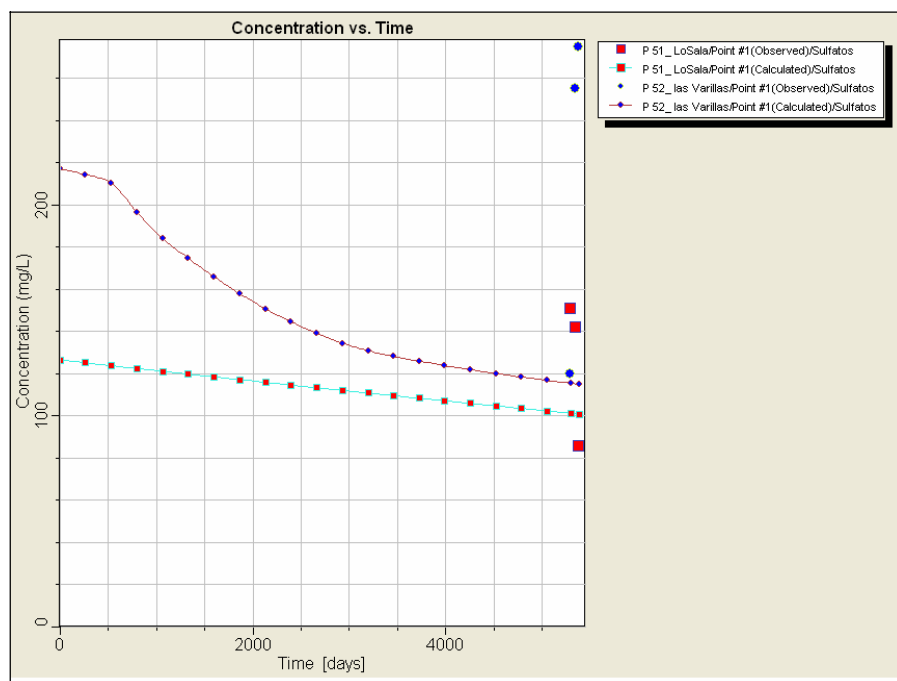


Figura 185: Zona Valle Catemu – SULFATOS

Es importante señalar que, para el sector de Catemu, los parámetros Nitratos, Cloruros y Sulfatos presentan el problema que las concentraciones calculadas por el modelo siempre subestiman los valores medidos y esto se debe a que en el modelo de flujo, en la zona de Catemu los niveles freáticos están por encima del nivel de terreno y esto produce que las concentraciones iniciales impuestas decaigan rápidamente (se diluyen).

9.3.2 Resultados Calibración Modelo 3

9.3.2.1 Calibración Modelo de Flujo

La calibración del modelo de flujo, discretizado y actualizado a nivel mensual, se comportó estable, y los parámetros elásticos se mantuvieron en relación a los iniciales tomados del modelo base del Aconcagua.

El error medio cuadrático normalizado (Normalized RMS) es del 2.6% y el valor residual es de aproximadamente -1.04m como promedio para todos los tiempos modelados y el coeficiente de correlación es poco mayor a 0.99. Estos valores pueden verse en la figura 186

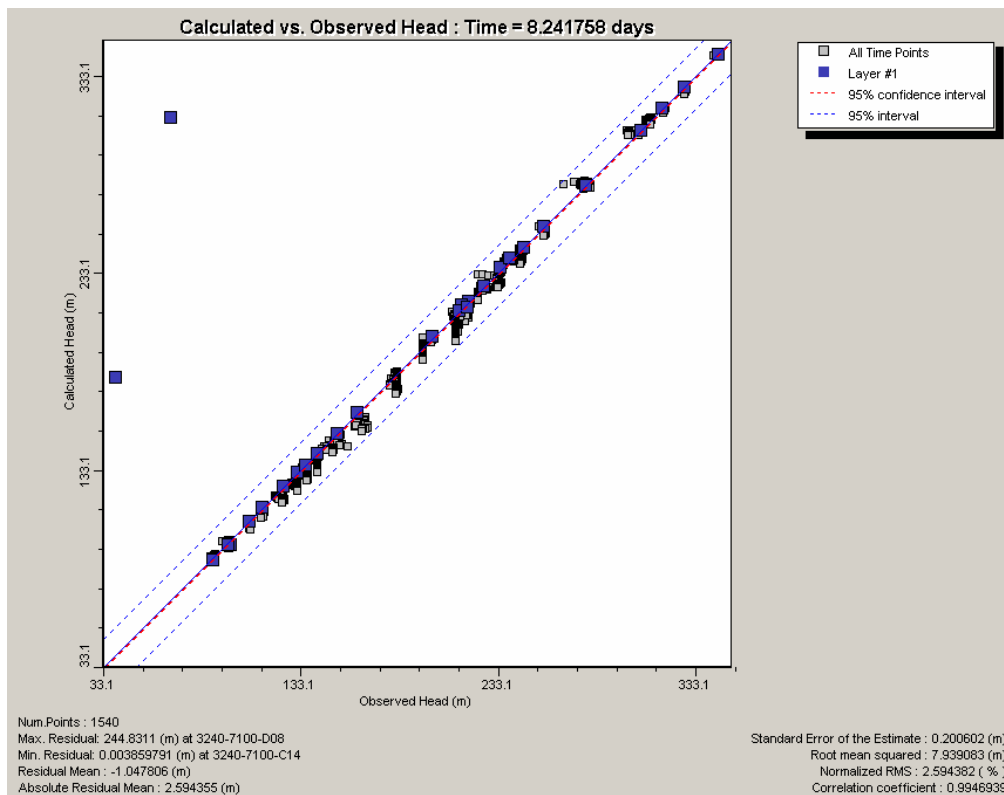


Figura 186: Estándares de Calibración MOD3

Niveles

La variación de niveles se simuló de buena forma, logrando un ajuste satisfactorio.

Las figuras 187 a 189 muestran los niveles simulados versus los observados para todo el período de calibración.

De las figuras se aprecia que, en general, los valores calculados por el modelo tienden a disminuir a una tasa mayor que la observada, este efecto se ve mejor hacia el final del período de calibración. Este hecho implica que el modelo de flujo puede ser mejorado, obteniendo así, una mejor y más sólida herramienta de simulación.

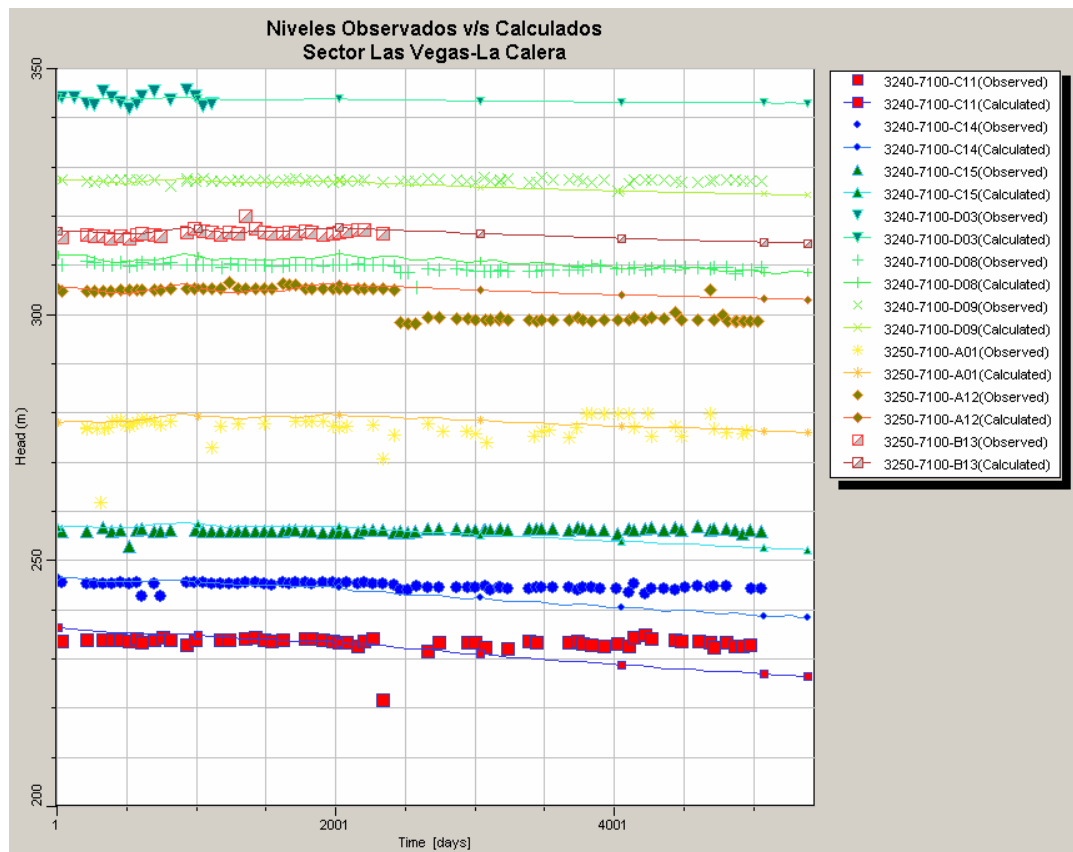


Figura 187: Niveles calculados versus niveles simulados

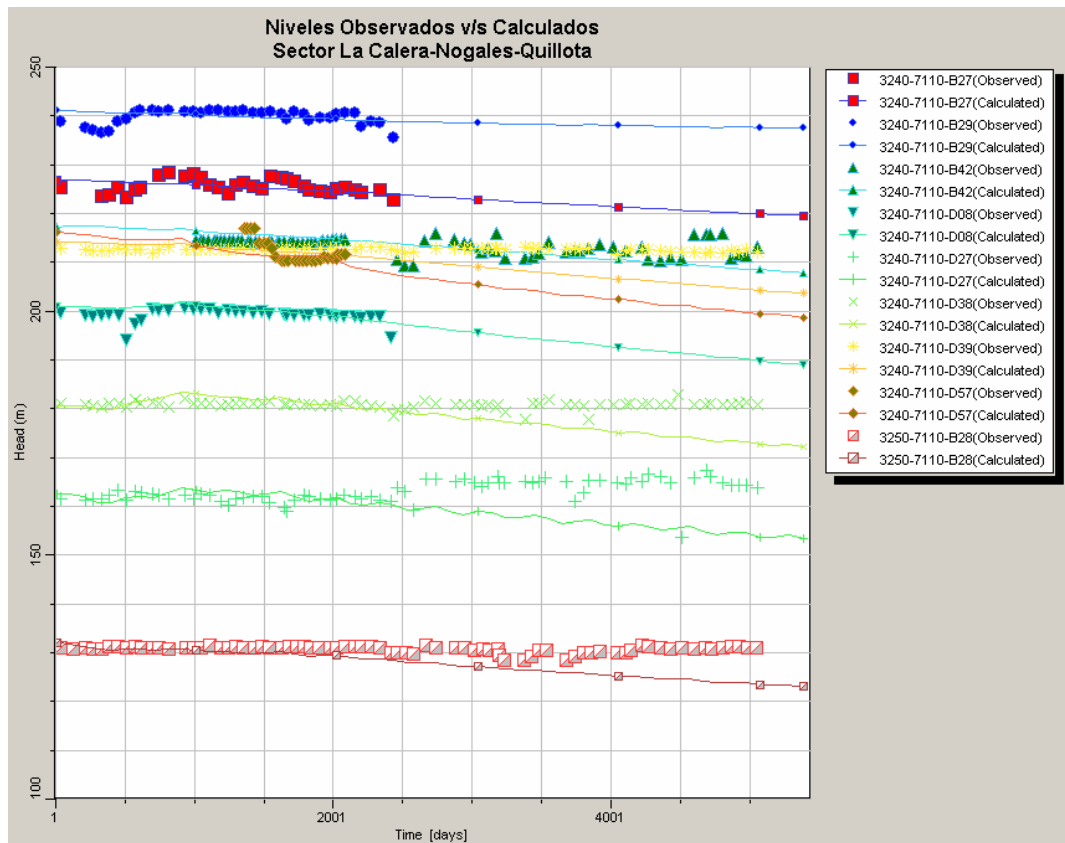


Figura 188: Niveles calculados versus niveles simulados

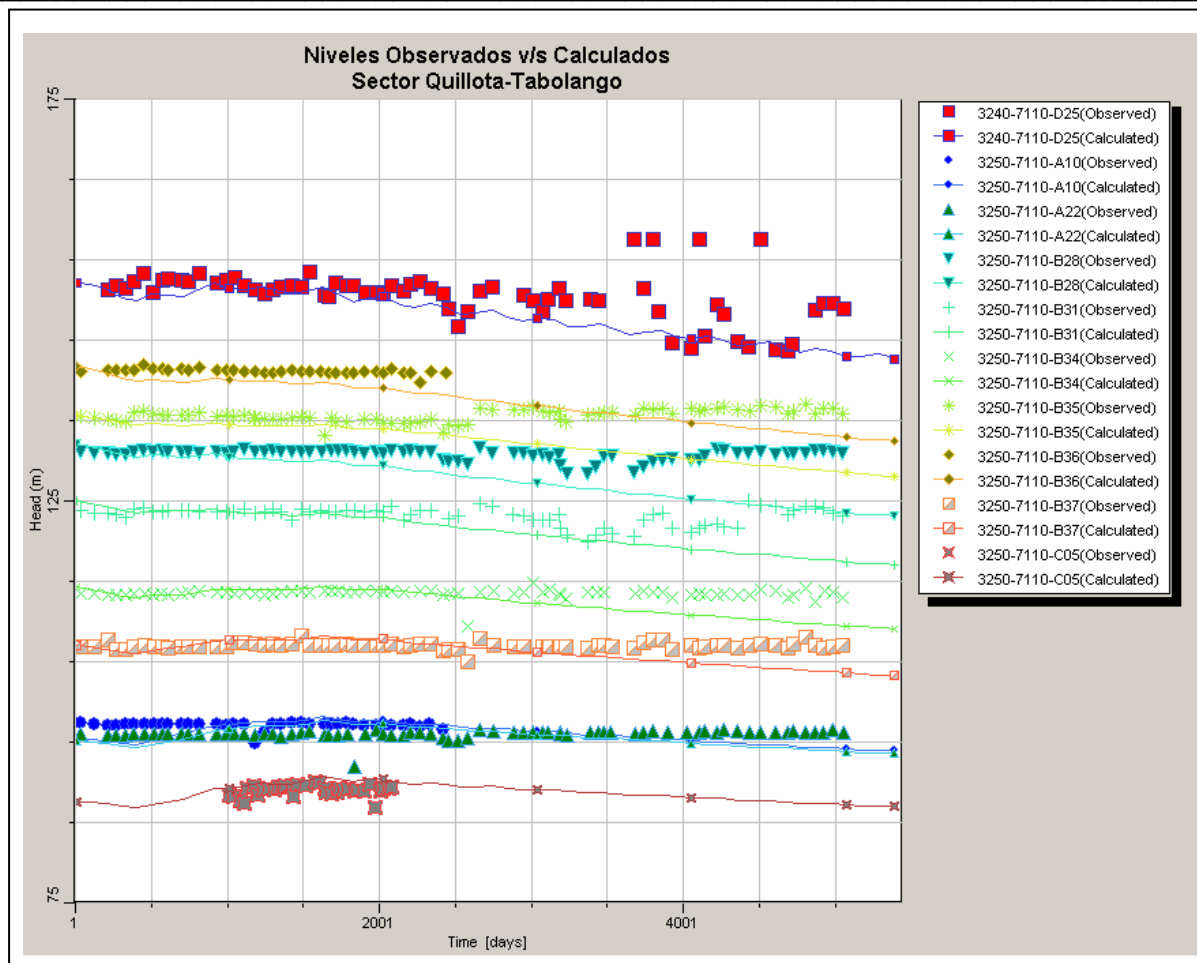


Figura 189: Niveles calculados versus niveles simulados

Balance de Masa

El balance de masa indica que el mayor caudal de recarga al acuífero lo constituyen las recargas, las que provienen desde los cauces superficiales y zonas de riego de cultivos, mientras tanto que las mayores descargas se producen por bombeo desde pozos.

Por otra parte, en términos generales, el sistema se encuentra balanceado, sin embargo, el balance global arroja una pequeña diferencia entre entradas y salidas, esta diferencia es de alrededor de 21 L/s, caudal marginal si se considera que representa tan solo un 0.01% de las entradas al sistema, sin embargo, esto demuestra nuevamente que el modelo de flujo es posible afinarlo aun más realizándole algunos cambios.

En la tabla 50 se muestra un resumen del balance de masa para todo el sector del Modelo 3.

Tabla 50: Balance de Masa Global sector 2

Entradas	(m3/s)
Recargas	111320.32
Condiciones de Borde	18403.49
Almacenamiento	45474.04
TOTAL IN	175218.11
Salidas	(m3/s)
Drenes	67812.81
Extracción de Pozos	82796.85
Condición de Borde	7230.55
Almacenamiento	17377.89
TOTAL OUT	175197.85

Zonas de Balance

La figura 190 muestra las zonas de balance implementadas y el resumen de los caudales de flujo obtenidas para las zonas de balance se muestra en la tabla 51. Éstos concuerdan con los valores del modelo conceptual.

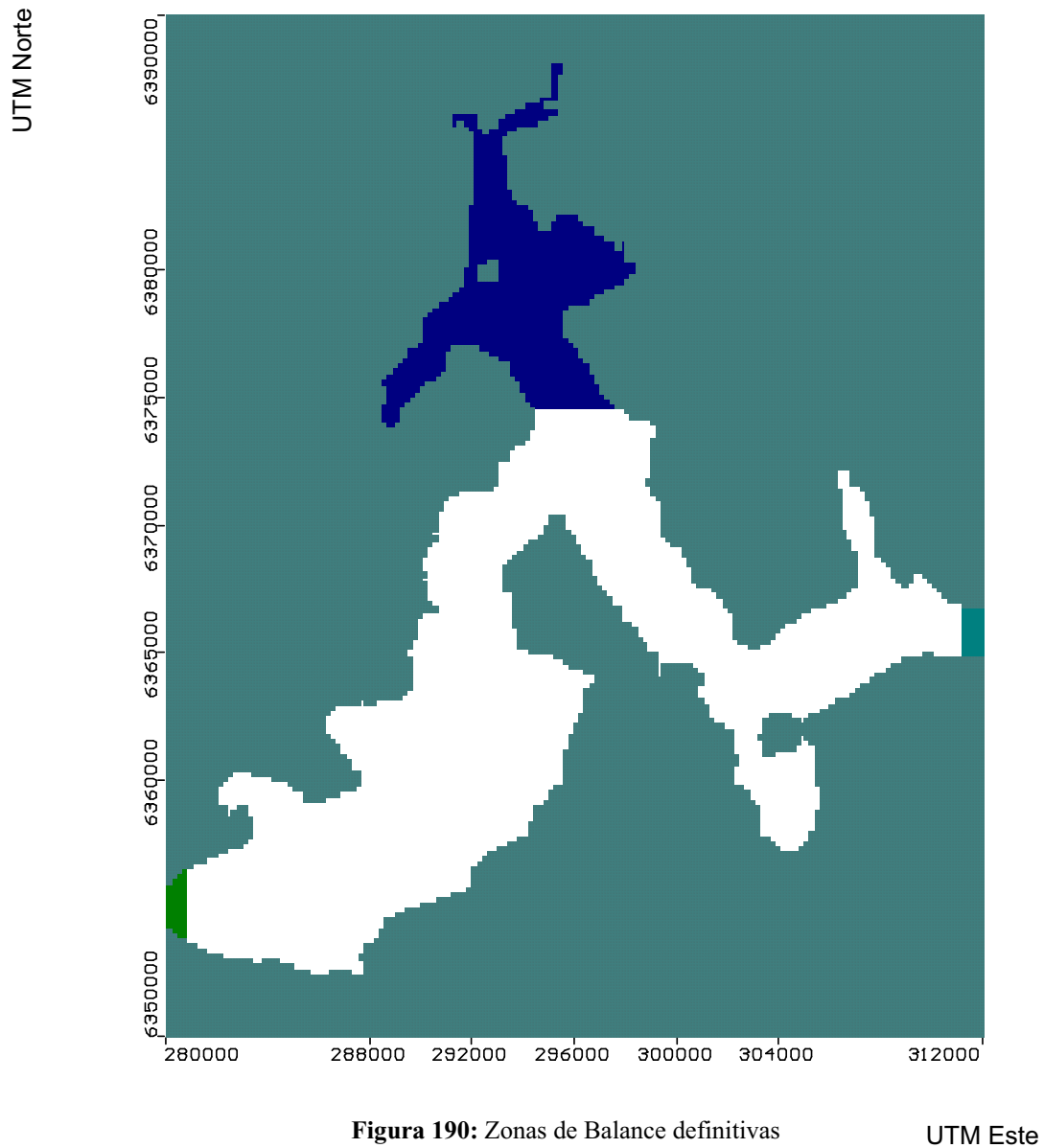


Tabla 51: Flujos Subterráneos pasantes en zonas de balance

Flujo Subterráneo Promedio	Caudal	
	(m3/s)	(l/s)
Desde Las Vegas	7156.84	82
Desde Nogales	8703.28	100.73
Salida Tabolango	6325.95	73.22

Mapas de Contorno

El modelo de flujo, permite extraer una serie de mapas de contorno, de los cuales se considera interesante mostrar, por ejemplo, los mapas de las curvas equipotenciales y los mapas de velocidades.

d) Equipotenciales

La figura 191 muestra las curvas equipotenciales con una discretización cada 5 metros.

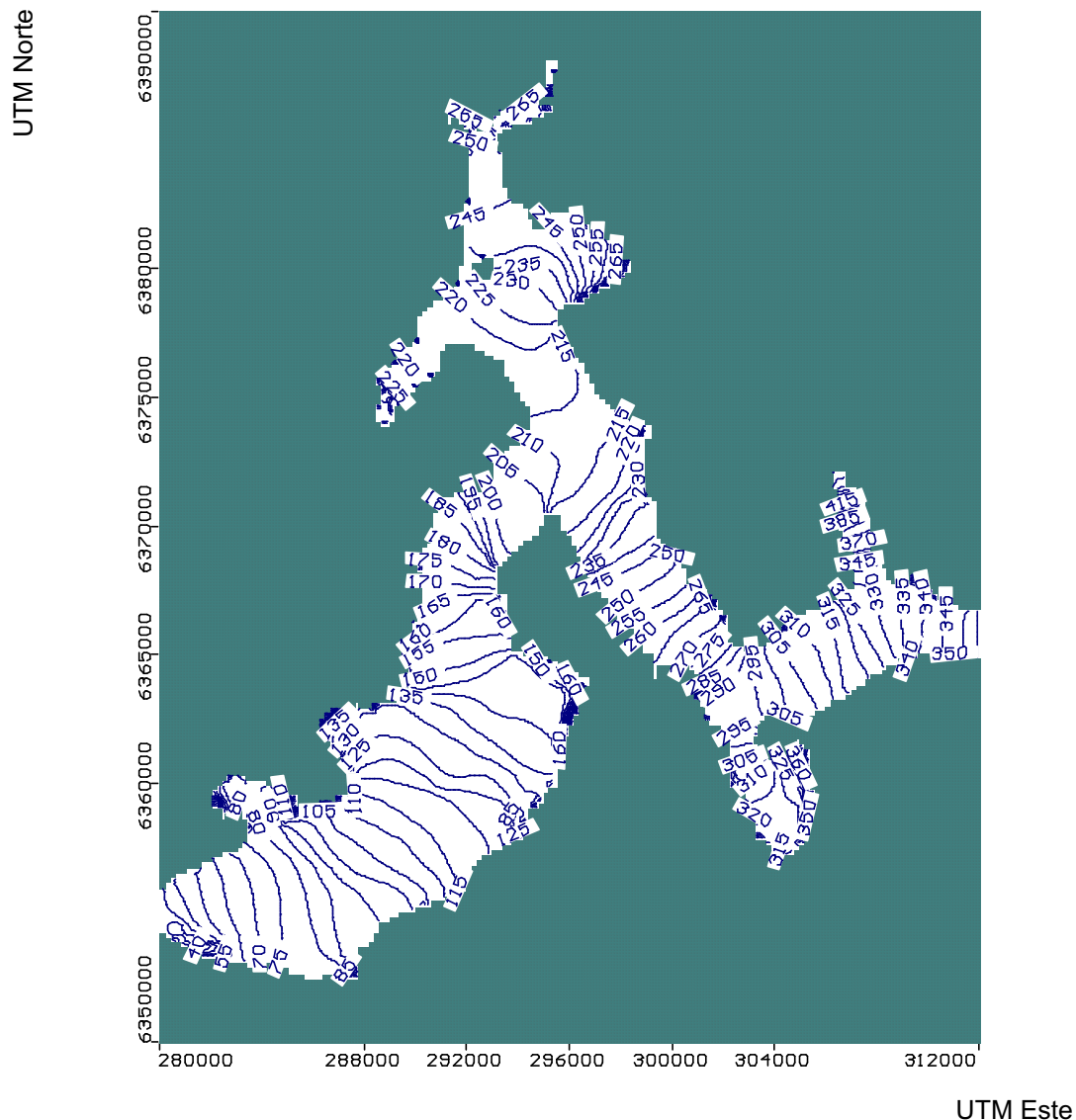


Figura 191: Curvas equipotenciales en el tiempo final.

Profundidad de la napa

Para una mayor claridad del nivel del agua en el sector, se muestra en la figura 192 el mapa de la profundidad del nivel del agua subterránea.

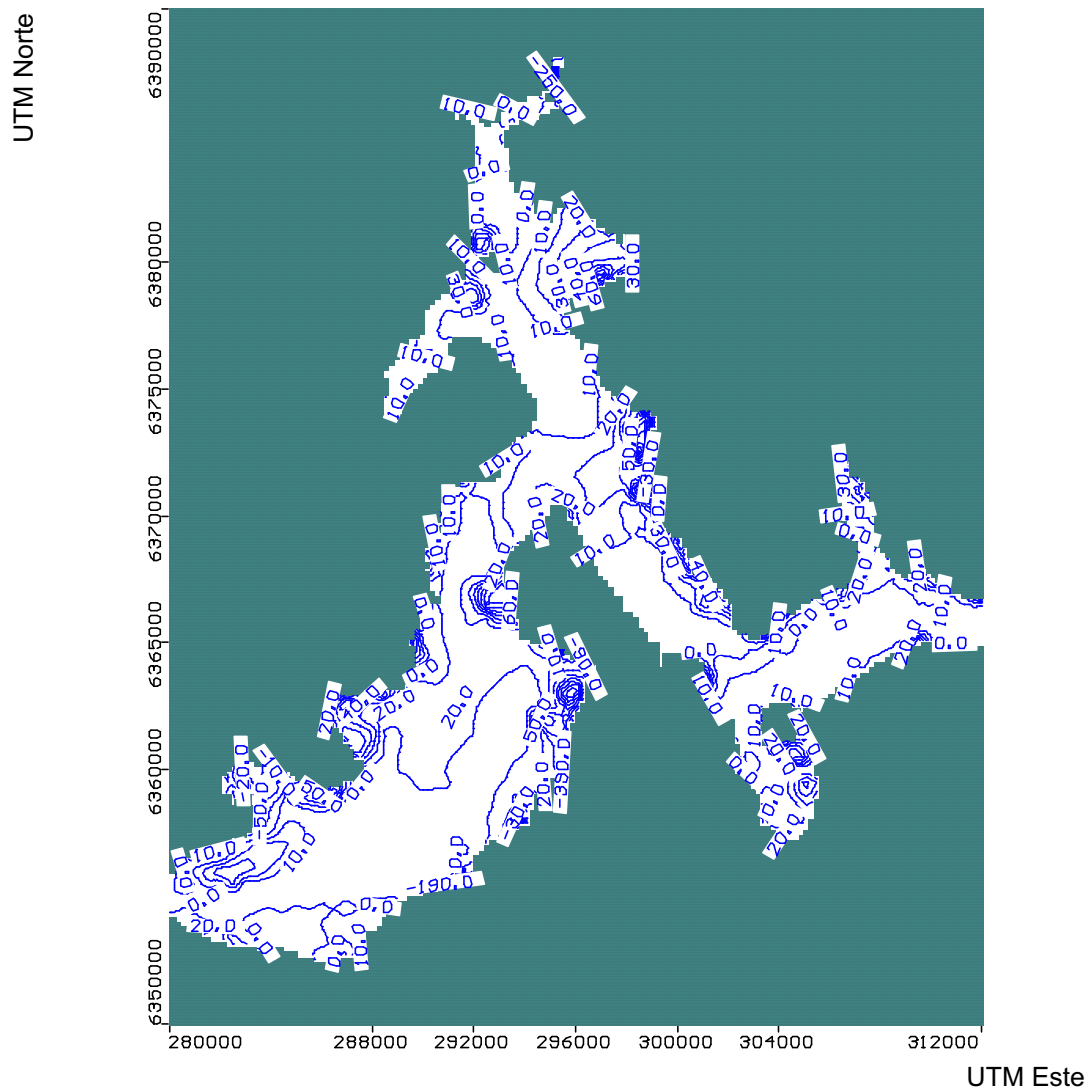


Figura 192: Profundidad de la napa.

Del mapa de profundidades, se puede destacar que el nivel del agua se encuentra en casi todo el sector, a no más allá de 20 m de profundidad e inclusive en la zona donde comienza el modelo y en el valle del estero Rabuco, los niveles de la napa son casi superficiales, con excepciones en algunas zona puntuales distribuidas a lo largo del valle principal donde producto del intenso bombeo desde pozos la napa se profundiza hasta llegar a los 30 m.

e) Velocidades

También se considera necesario conocer el mapa de velocidades, para tener una apreciación de la variación de la magnitud de las velocidades subterráneas dependiendo del sector en que uno se encuentre.

La figura 193 muestra el mapa de Magnitud de velocidades para el sector de modelación. Del mapa se traduce que las mayores velocidades se presentan en el valle principal del Aconcagua, con velocidades máximas por sobre los 16 m/día. Nótese que a medida que se avanza hacia aguas abajo, la velocidad del flujo va aumentando, alcanzándose hacia el sector de salida del modelo las mayores velocidades de flujo, en cambio, hacia el sector de entrada del modelo, la menor velocidad del flujo permite la presencia de afloramientos.

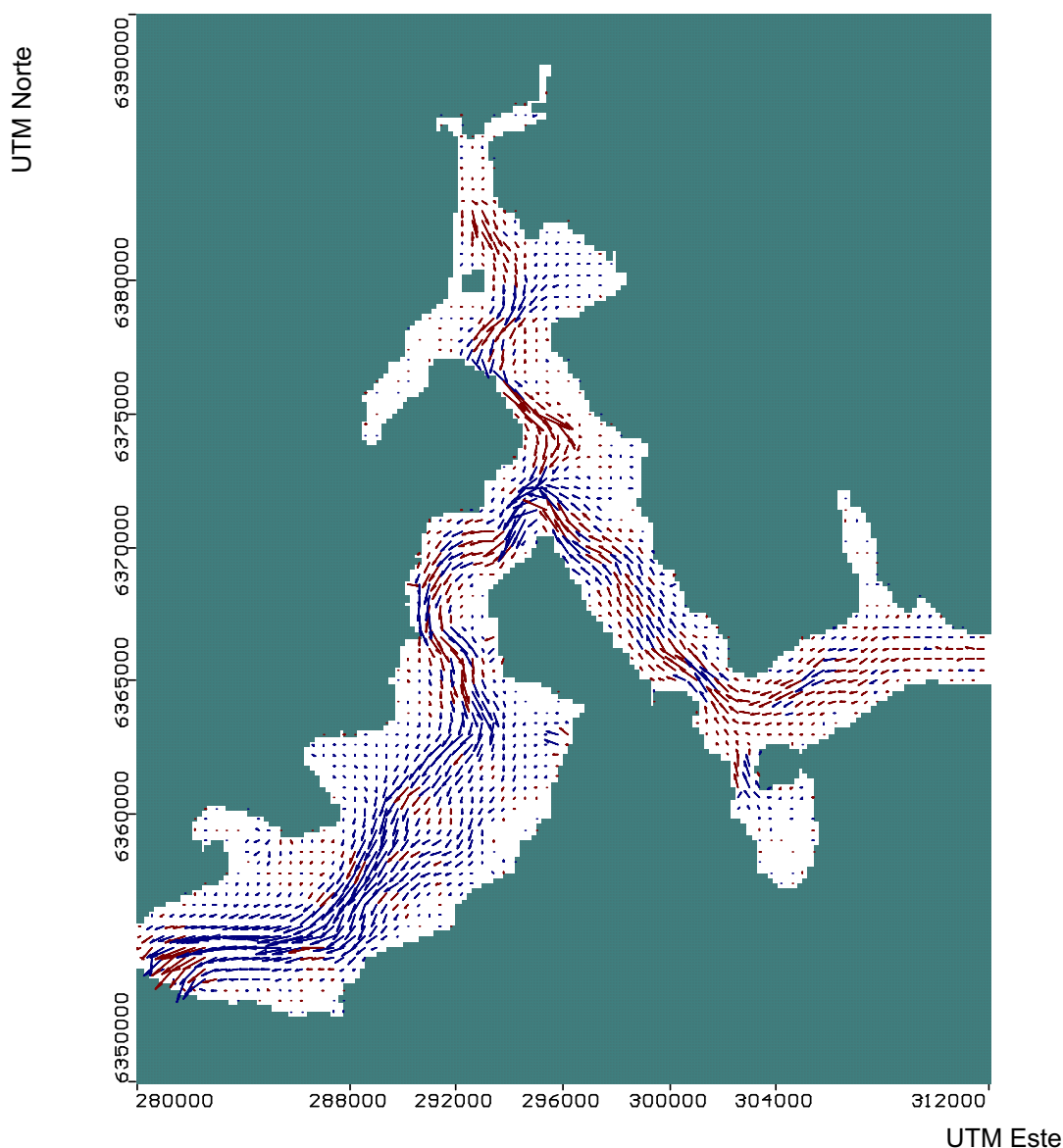


Figura 193: Mapa de Magnitud de Velocidades

Con el fin de apreciar mejor la dirección del flujo, en la figura 194 se presentan las velocidades, pero proyectando la dirección de ellas.

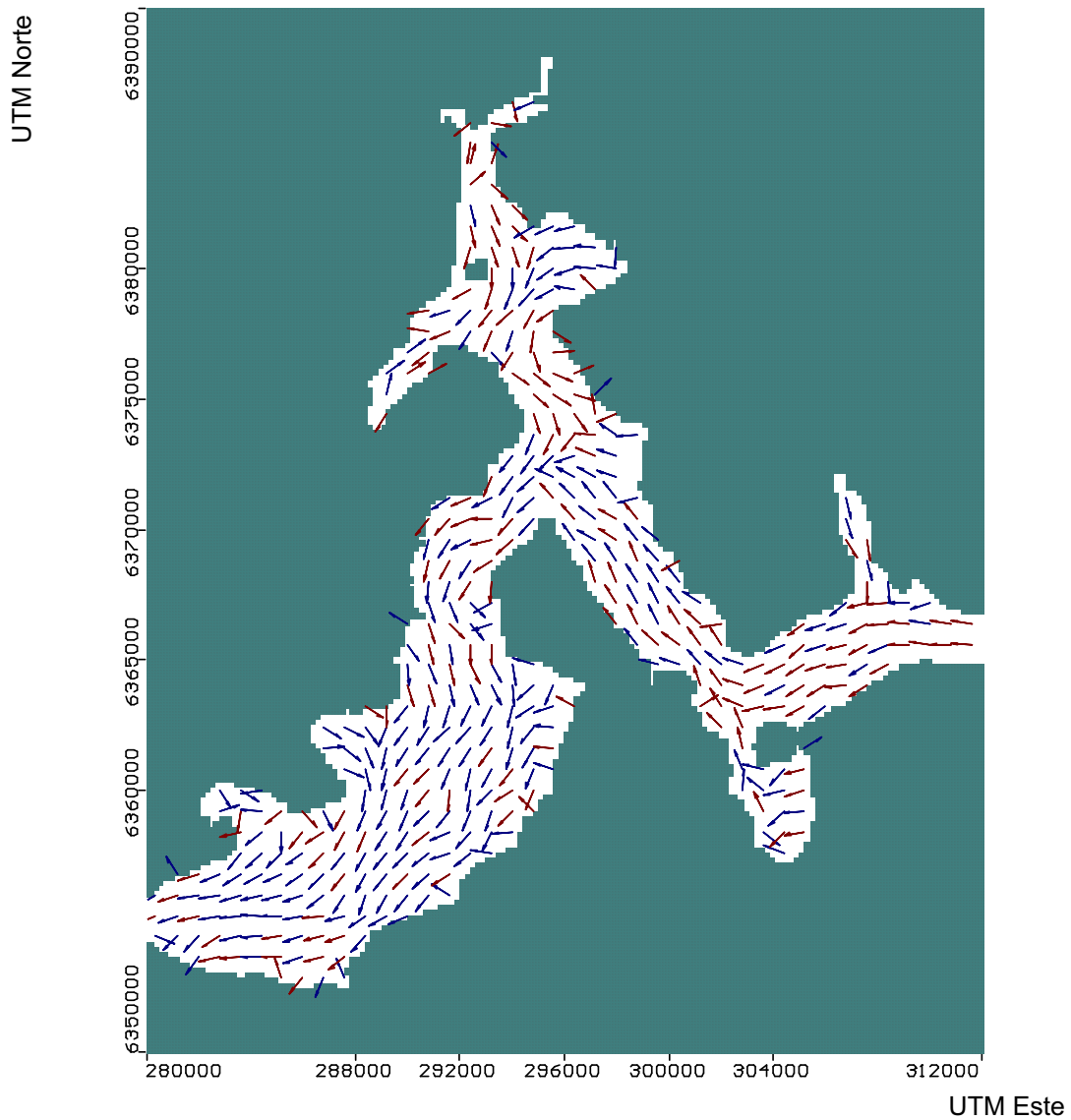


Figura 194: Mapa de Dirección de Velocidades

9.3.2.2 Calibración Modelo de Calidad, MT3DMS

Para la calibración del modelo de Calidad Subterránea, se utilizó la rutina MT3DMS, con el método de solución de advección TVD y con un criterio de convergencia de 0.005 (mg/L) para todos los parámetros.

La calibración fue un proceso lento y de mucho análisis, puesto que la variación de la dispersividad, en un rango de 2 a 50 (m) fue casi insensible a los resultados del ajuste de la calibración. Producto de lo anterior, la calibración del modelo de calidad subterránea, se tradujo en ajustar las plumas de isoconcentraciones y manejar las curvas del comportamiento de los contaminantes, para lograr valores medios representativos a los muestreados en los últimos tres time steps (períodos en los que se realizaron las mediciones de contaminantes).

Concientes de que la calibración obtenida no finalizó de manera satisfactoria, es lo mejor que se puede lograr al no contar con las concentraciones de recargas de los contaminantes en las áreas de riego, ya que éstas son fundamentales para poder lograr la variabilidad temporal de las concentraciones, sobre todo si se considera que el caudal de recarga al acuífero de las zonas de riego es cinco veces mayor que la de los cauces superficiales.

A continuación, se presentan los estándares de error que se obtuvieron para cada uno de los contaminantes en el proceso de calibración del modelo de calidad subterránea.

Estándares de Error

Tabla 52: Resultados de la Calibración

Parámetro	Unidad	Cu	Mn	NO3	Cl	SO4
Normalizado RMS	(%)	12.87	8.57	18.07	4.97	12.07
Error Medio	(mg/L)	7.9E-5	-4.3E-3	-0.34	1.53	7.34
Coef. Correlación	(%)	0.88	0.94	0.76	0.96	0.69

Los resultados de la tabla 52, corresponden a los valores de ajuste para todo el período de calibración, considerando todos los pozos en análisis.

De la tabla anterior se observa que según los indicadores de ajuste RMS Normalizado y Coeficiente de Correlación los contaminantes mejor reproducidos por el modelo corresponden a los cloruros y al manganeso. Por el contrario, los contaminantes a los cuales el modelo reproduce con menor ajuste son los nitratos y los sulfatos. Además, para la modelación de contaminantes se considera muy bien ajustado un parámetro cuando el RMS normalizado es inferior a 10%, lo que indica que tanto los cloruros como el manganeso están bien representados por el modelo.

Por otro lado, el indicador Error Promedio, al poseer las mismas unidades de medición del contaminante, se ve muy influenciado por la dispersión de los datos del contaminante, sin embargo, tiene otra utilidad, de este se deduce que los valores estimados para el manganeso y el nitrato tienen una subestimación ínfima, por el contrario los restantes contaminantes están sobreestimados.

Variación de concentración en el tiempo - Gráficos por zonas

Para hacer más comprensible los gráficos de la variación de las concentraciones, se realizan gráficos por zonas, considerando pozos representativos a todos los incluidos en el sector, y para cada uno de los contaminantes modelados.

La subdivisión del área representada en el modelo 3 ACN-Quillota, se ha realizado en cuatro sectores teniendo en cuenta la distribución de pozos de muestreo, configuración geográfica del valle y puntos de referencia. Así, los cuatro sectores definidos son, desde aguas arriba hacia aguas abajo, los siguientes: Las Vegas-La Calera, Nogales, La Calera-Quillota y Quillota Tabolango.

SECTOR LAS VEGAS-LA CALERA

Este sector abarca toda el área comprendida entre el inicio del Modelo 3, 2400 metros aguas abajo del dren Las Vegas, hasta la ciudad de La Calera.

En este sector se logró que todos los valores estimados estuvieran dentro de la media de los valores medidos. En general, no se observan fluctuaciones apreciables en las concentraciones de los contaminantes en estudio, sin embargo, se tiene un rango de fluctuación mayor en la variable temporal, es decir, a pesar de no existir grandes variaciones de concentración en el sector para alguno de los contaminantes, si existe mayor diferencia de ésta entre una y otra muestra. Los contaminantes con mayor variabilidad temporal son sulfato, cobre y manganeso.

Las figuras 195 a 199 muestran los gráficos de concentración en el tiempo, tanto observados como calculados para los distintos contaminantes modelados.

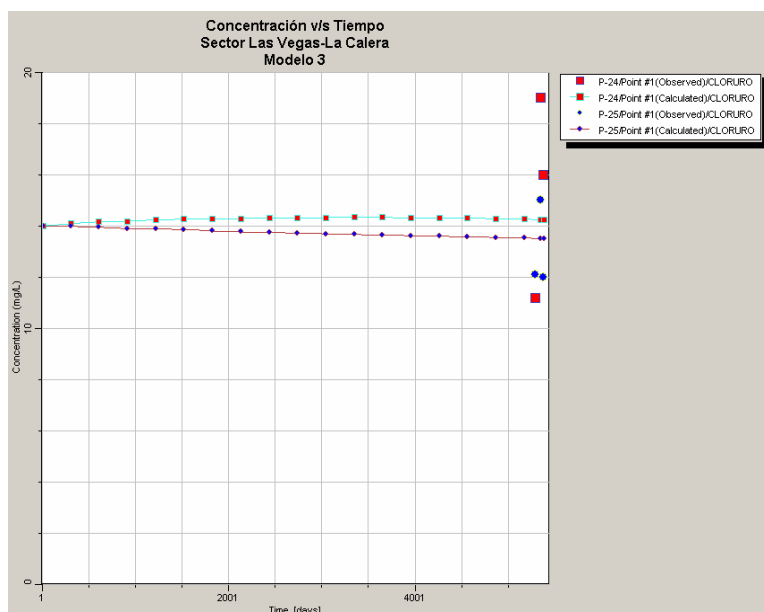


Figura 195: Modelación de Concentraciones de Cloruro

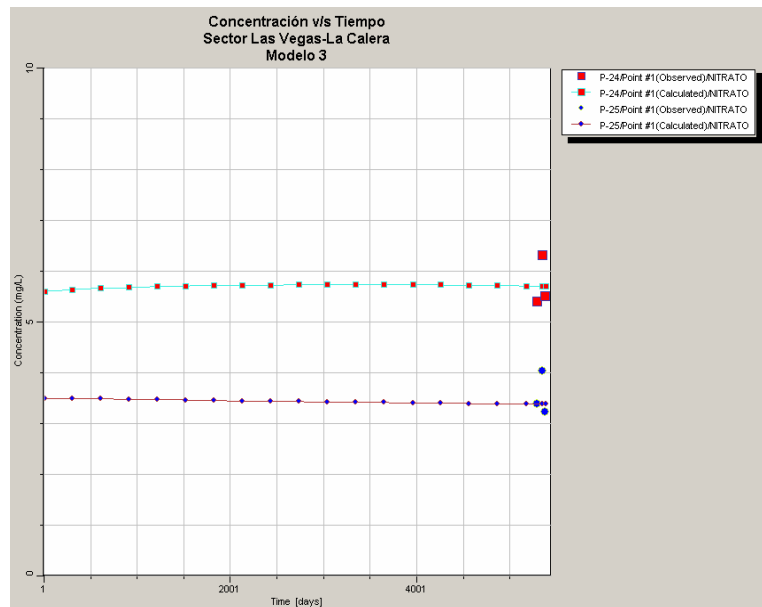


Figura 196: Modelación de Concentraciones de Nitrato

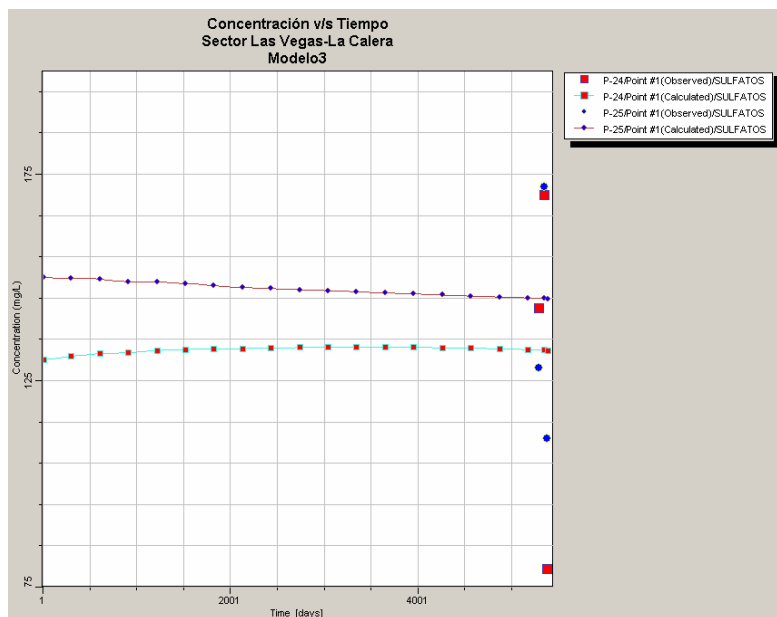


Figura 197: Modelación de Concentraciones de Sulfato

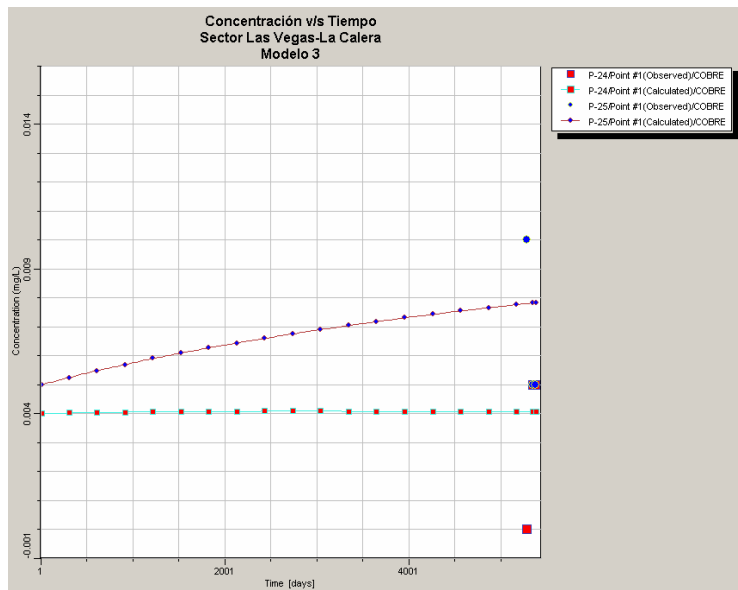


Figura 198: Modelación de Concentraciones de Cobre

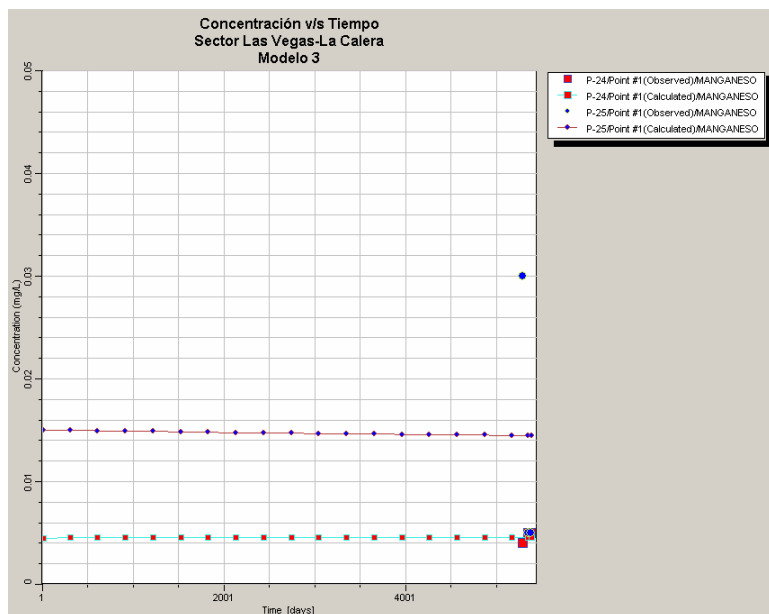


Figura 199: Modelación de Concentraciones de Manganeseo

SECTOR NOGALES

Este sector abarca el valle des estero Los Litres, incluyendo sus afluentes (esteros La Javiera, El Cobre, El Melón y Pucalan), hasta la junta con el río Aconcagua, entre Nogales y La Calera.

Al igual que en el sector anterior se logró que todos los valores estimados estuvieran dentro de la media de los valores medidos, pero a diferencia del sector anterior, aquí si se presentan variaciones de concentraciones en la componente espacial, en especial en lo que se refiere a cloruro, sulfato, cobre y manganeso. A esto se agrega que en la componente temporal, los contaminantes sulfato y manganeso también sufren grandes fluctuaciones.

En general, la concentración media de sulfatos en este sector es la más alta del área modelada.

Las figuras 200 a 204 muestran los gráficos de concentración en el tiempo, tanto observados como calculados para los distintos contaminantes modelados.

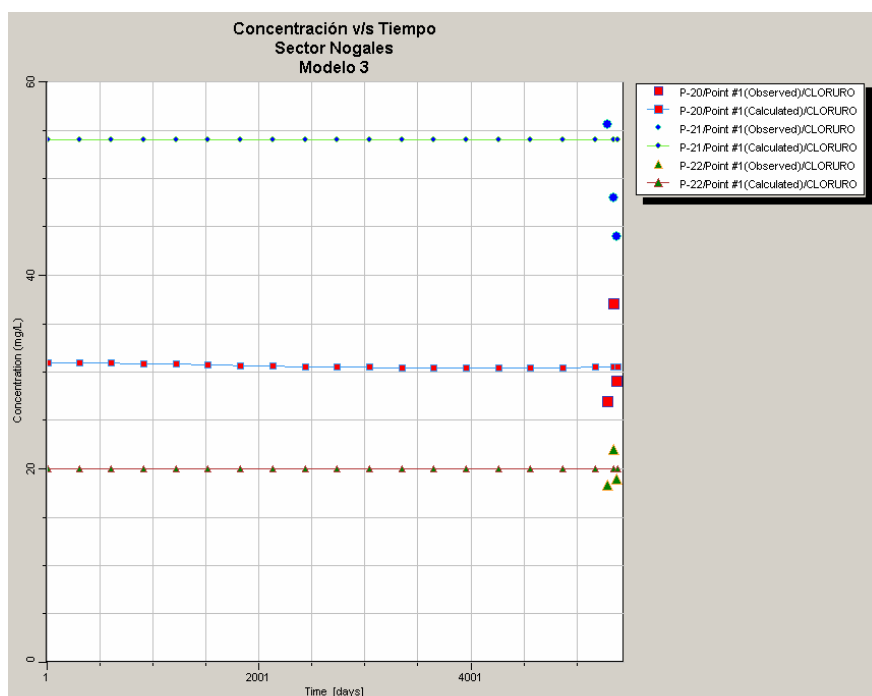


Figura 200: Modelación de Concentraciones de Cloruro

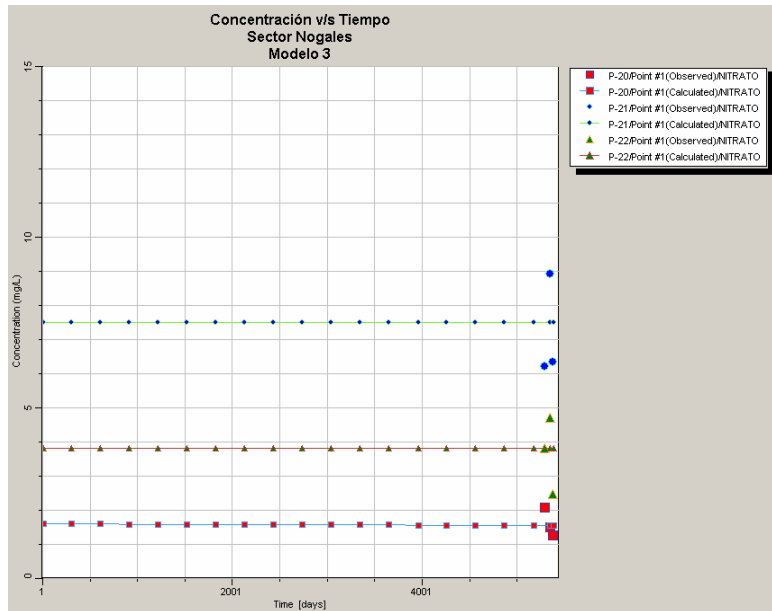


Figura 201: Modelación de Concentraciones de Nitrato

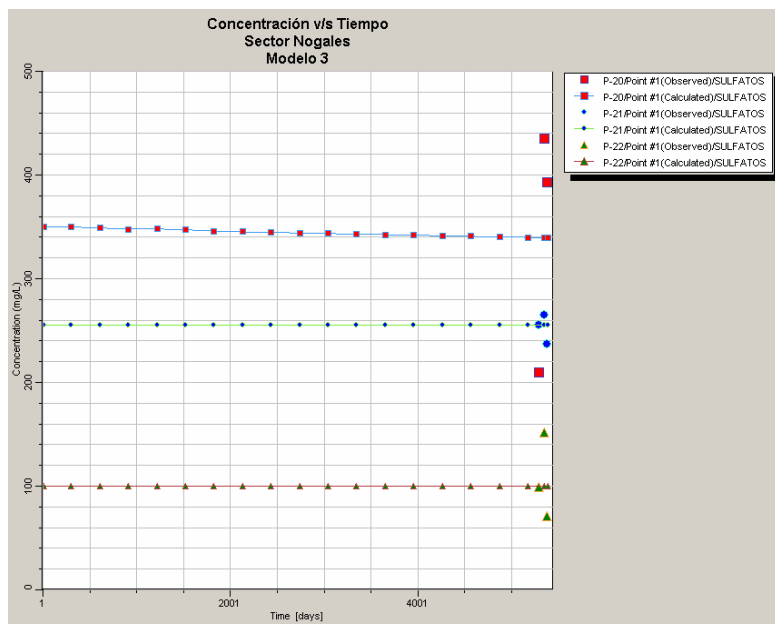


Figura 202: Modelación de Concentraciones de Sulfato

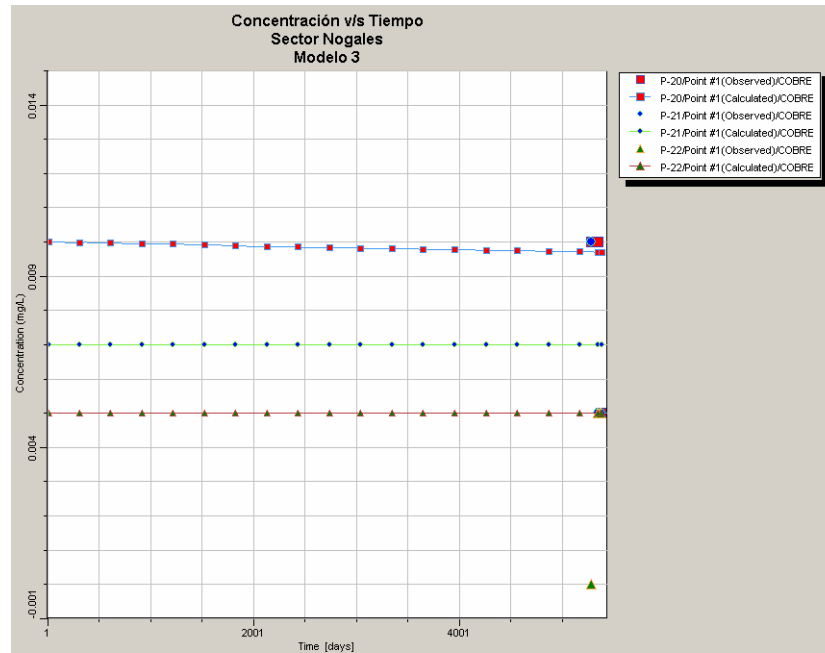


Figura 203: Modelación de Concentraciones de Cobre

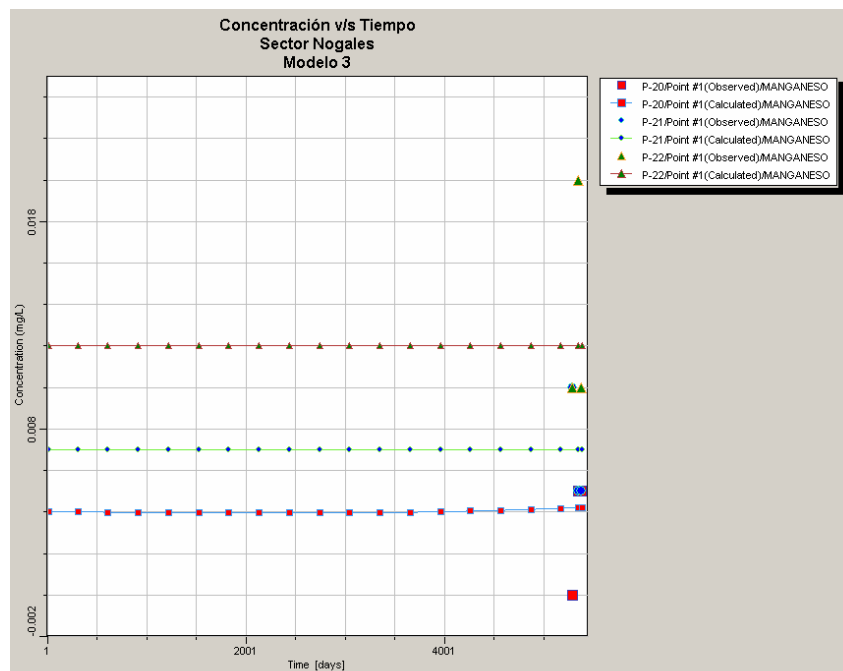


Figura 204: Modelación de Concentraciones de Manganeso

SECTOR LA CALERA-QUILLOTA

Este sector abarca toda el área del valle comprendida entre las ciudades de La Calera y Quillota.

En este sector también se logró que todos los valores estimados estuvieran dentro de la media de los valores medidos, pero se observan, de igual modo que en el sector anterior, diferencias de concentración tanto en la componente espacial como temporal. El contaminante con una mayor variación espacial es el nitrato, en tanto que los restantes se mueven en un rango bastante menor.

Los contaminantes con mayor variabilidad temporal son cloruro, sulfatos, cobre y manganeso.

Las figuras 205 a 209 muestran los gráficos de concentración en el tiempo, tanto observados como calculados para los distintos contaminantes modelados

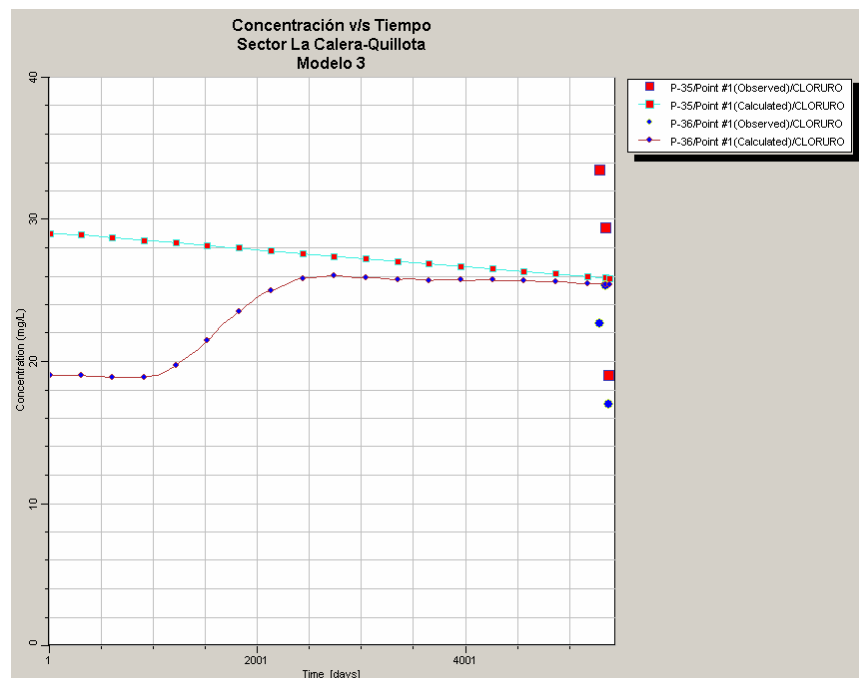


Figura 205: Modelación de Concentraciones de Cloruro

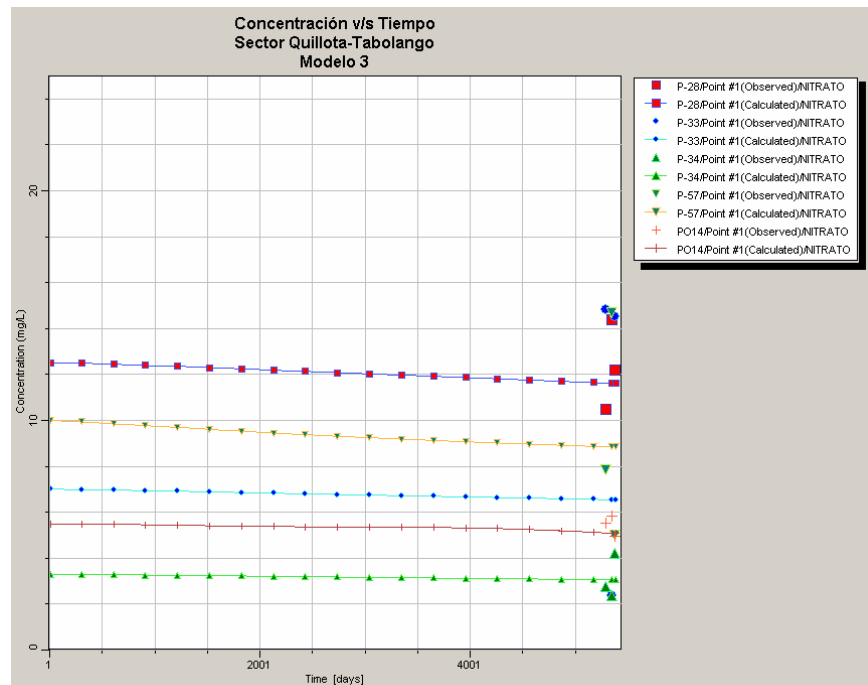


Figura 206: Modelación de Concentraciones de Nitrato

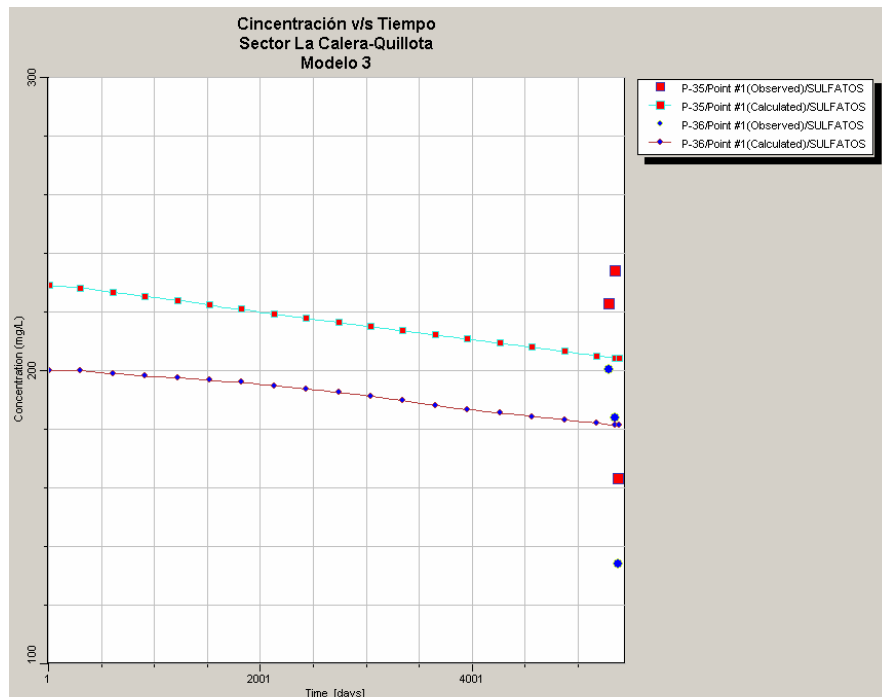


Figura 207: Modelación de Concentraciones de Sulfato

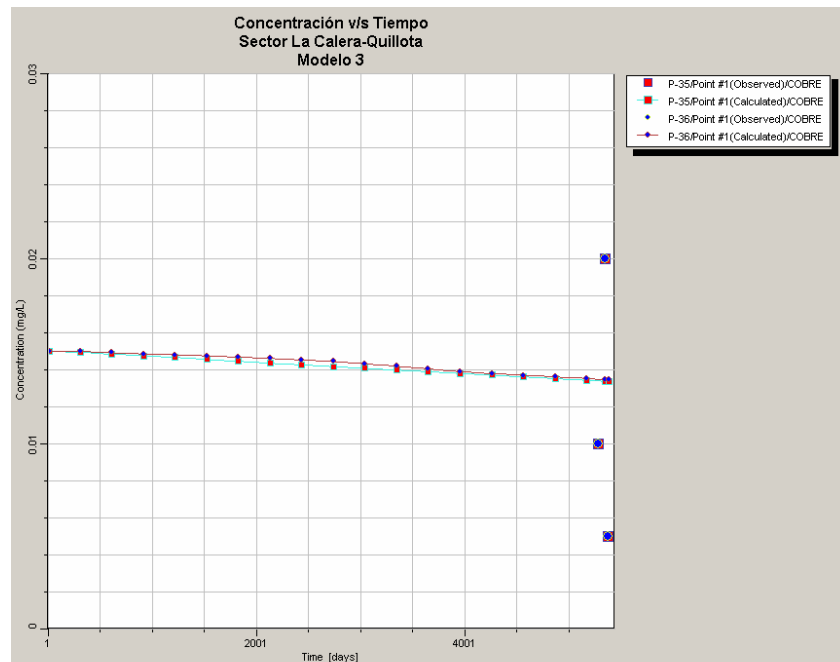


Figura 208: Modelación de Concentraciones de Cobre

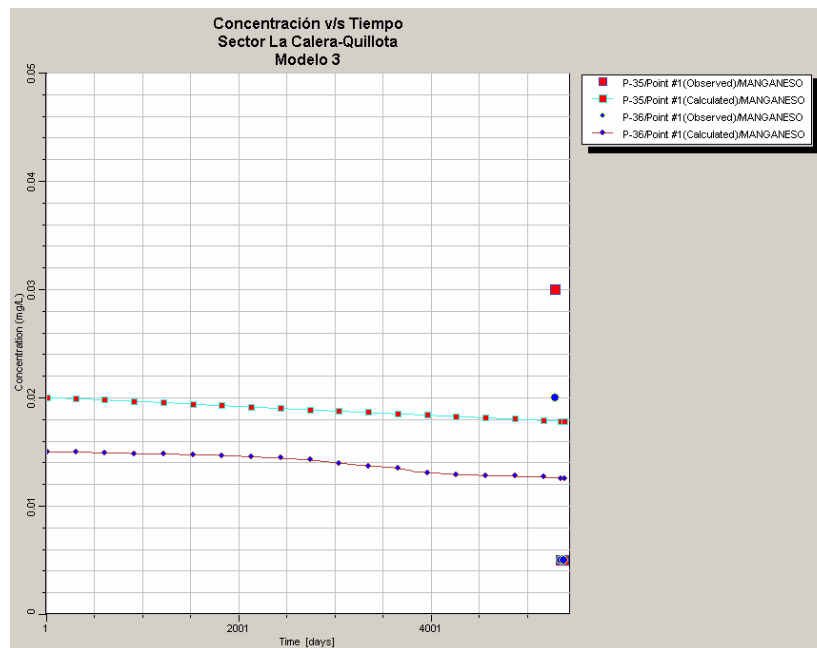


Figura 209: Modelación de Concentraciones de Manganeso

ZONA QUILLOTA-TABOLANGO

Este sector abarca toda el área del valle comprendida entre la ciudad de Quillota y el sector denominado Tabolango, en la salida del Modelo 3.

En este sector también se logró que todos los valores estimados estuvieran dentro de la media de los valores medidos, sin embargo, se aprecia gran variación temporal en las concentraciones del cloruro, y a su vez, se observa en forma puntual gran fluctuación en la concentración de sulfato y cobre en el pozo PO14, en la localidad de San Pedro, y de manganeso en el pozo P-57, en las cercanías de la ciudad de Quillota.

En cuanto a la componente espacial, solo en el sector de los pozos PO14 y P-57 existe una variación considerable con respecto al resto de la zona, los contaminantes que muestran altas concentraciones en dichos pozos son el cobre y el manganeso respectivamente.

Las figuras 210 a 214 muestran los gráficos de concentración en el tiempo, tanto observados como calculados para los distintos contaminantes modelados

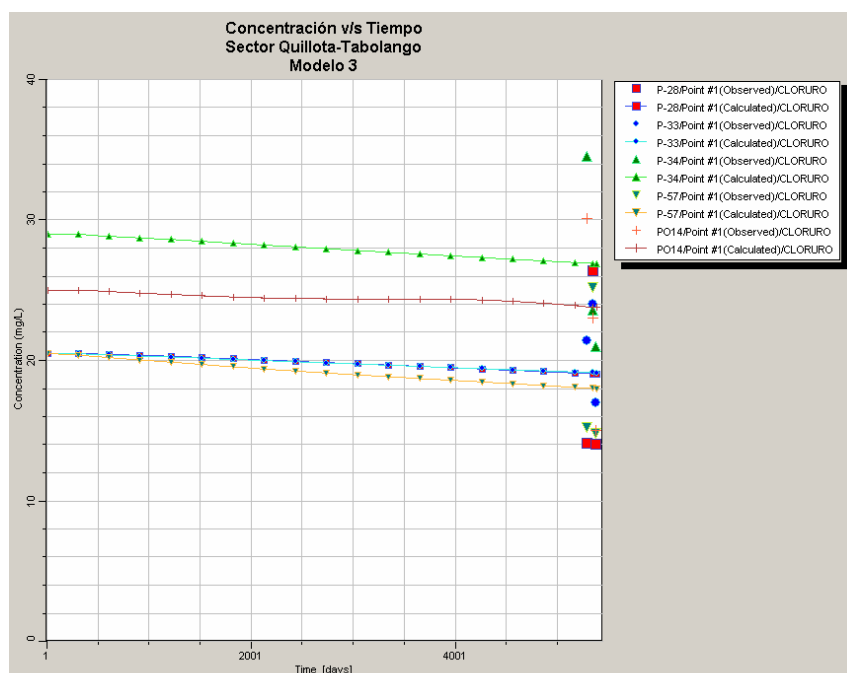


Figura 210: Modelación de Concentraciones de Cloruro

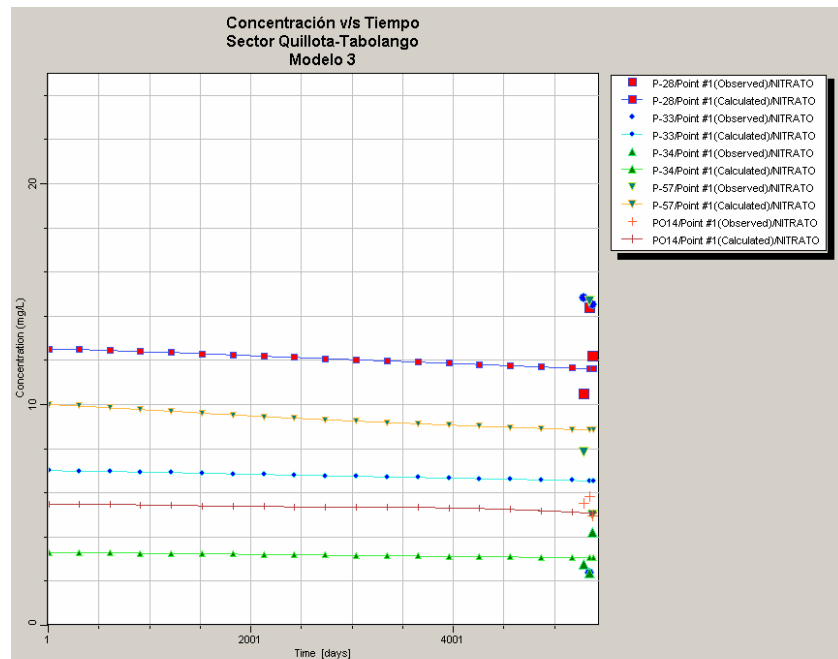


Figura 211: Modelación de Concentraciones de Nitrato

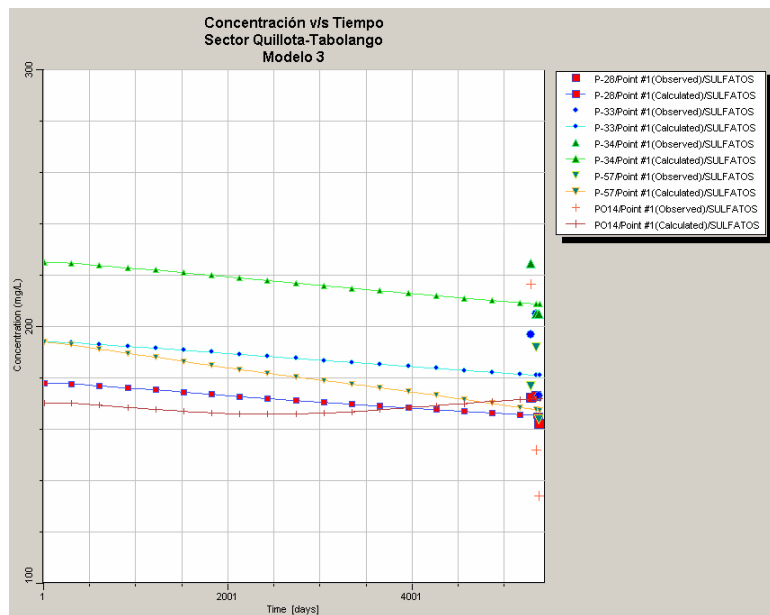


Figura 212: Modelación de Concentraciones de Sulfato

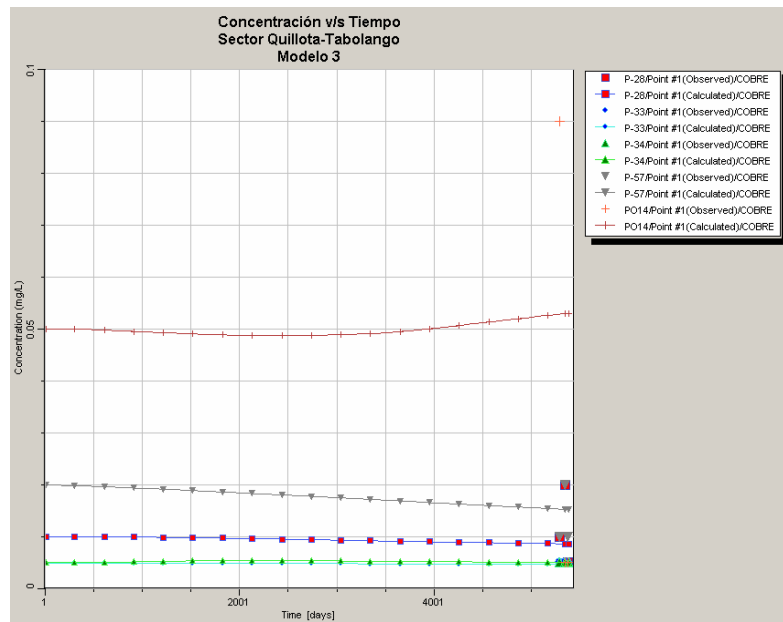


Figura 213: Modelación de Concentraciones de Cobre

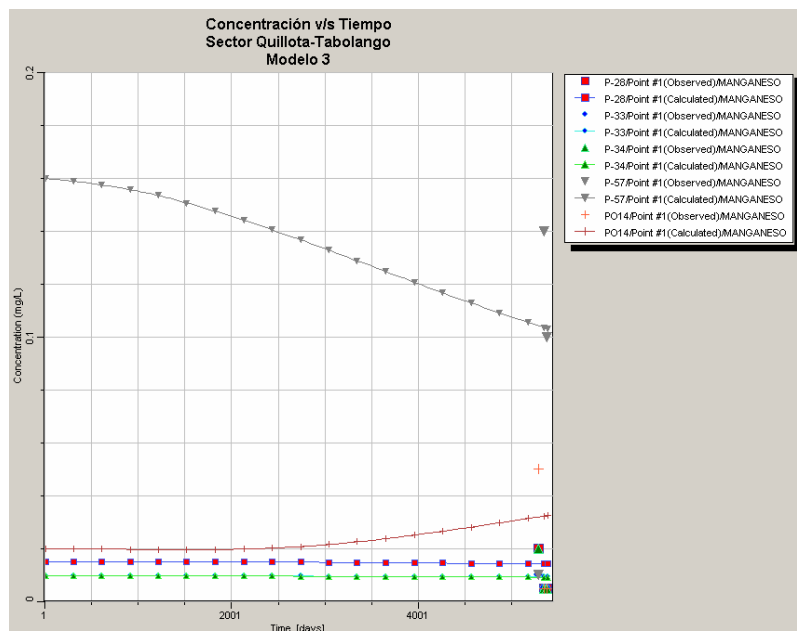


Figura 214: Modelación de Concentraciones de Manganeseo

9.4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

9.4.1 Conclusiones generales relativas al modelo superficial

- Los bajos RMSnorm que se observaron en las simulaciones realizadas de OD, conductividad eléctrica, nitratos + nitritos, coliformes fecales, cobre y manganeso, principalmente durante el mes de septiembre, indican que, cumplidos ciertos requisitos mínimos de información disponible, el supuesto de comportamiento unidimensional del río es aceptable, y que el modelo seleccionado (Qual2Kw) es una buena herramienta para representar las reacciones que ocurren al interior del cuerpo de agua a lo largo de todo su desarrollo.
- El ajuste entre los valores simulados y los observados, para todos los parámetros, depende en gran medida de que tan representativos de las condiciones medias de todo el mes puedan considerarse las mediciones realizadas en un único día de cada mes de simulación.
- Los valores obtenidos para las velocidades medias simuladas en cada uno de los tramos definidos para el río presentan un ajuste razonablemente bueno con los valores medidos en las campañas de aforo de septiembre de 2004, lo cual valida la metodología para el cálculo de los coeficientes *a*, *b*, *Alfa* y *Beta* detallada en el AnexoA-4, a pesar de lo irregular del curso del río y de la existencia de más de un brazo en muchas secciones del mismo. **Sin embargo, en los meses de noviembre y diciembre, el aumento de caudal sufrido por el río modificó tanto el curso como la caja ocupada por el mismo, lo cual se tradujo en que los coeficientes mencionados anteriormente no fuesen tan representativos de las condiciones de escurrimiento como si lo fueron para el mes de septiembre.**
- El proceso de definición del topología a utilizar, proceso muy largo y laborioso, es una etapa clave en la determinación de la facilidad el proceso de calibración, pues una vez definida la topología, en base al modelo MOS de la DGA y a las coberturas SIG que poseía el consultor, el proceso de calibración fue relativamente fácil, logrando rápidamente reproducir las señales observadas. Lo anterior válida en gran parte, para el área de estudio analizada, la concepción topológica del modelo superficial de la DGA.
- No es posible encontrar coeficientes de dispersión longitudinal y tasas de reacción que caractericen adecuadamente cada uno de los tramos simulados para cualquier instante de tiempo, pues ellos, en general, son dependientes de uno o más de los siguientes factores: profundidad del curso de agua, velocidad de escurrimiento o caudal pasante, los cuales varían apreciablemente entre los distintos meses del año.
- La calibración consistió sólo en ajustar la tasa de decaimiento de primer orden para los coliformes fecales y las ubicaciones de los afloramientos de los acuíferos, pues el modelo Qual2Kw, en base a las condiciones de flujo y velocidades en cada instante de la simulación, selecciona automáticamente, de entre las múltiples ecuaciones disponibles y valores recomendados, el coeficiente de dispersión longitudinal y las tasas de reacción que mejor se ajustan a las condiciones imperantes en cada momento. **Los parámetros**

acerca de información meteorológica, tipo de lodos y algas presentes en el lecho fueron mucho menos influyentes en los resultados obtenidos que los caudales pasantes, la posición de los mismos, y los coeficientes a , b , Alfa y Beta.

- La utilización de un modelo de calidad topológicamente bien concebido puede ser una herramienta muy útil a la hora de estudiar los sitios donde comienzan y terminan los afloramientos de un acuífero, pues la no concordancia entre los valores observados y simulados de OD puede indicar una mala ubicación preliminar de los mismos.
- La utilización de un modelo de calidad adecuadamente calibrado y validado permite dar una sólida explicación a variaciones bruscas en las concentraciones de una sustancia determinada, pues aporta una visión holística de los distintos procesos físicos que ocurren en el sistema dentro del período de tiempo simulado. De la misma forma, dicho modelo permite estudiar los efectos que tendrá sobre el curso de agua estudiado, una o más alteraciones antrópicas, de tal forma de poder evaluar económicamente la factibilidad de distintas alternativas de inversión.
- Para poder utilizar el modelo aquí implementado como una herramienta predictiva a través del tiempo, sería necesario conocer la variación que experimenta, a través del tiempo, cada una de las descargas aquí consideradas.

9.4.2 Recomendaciones relativas al modelo superficial

- Para realizar una mejor representación de cada una de las sustancias modeladas, especialmente la temperatura, es necesario realizar mediciones a lo largo del día (un mínimo de tres) para cada uno de los días del mes a simular, pues sólo de esta forma es posible asegurar que los valores utilizados representan las condiciones medias para el mes en cuestión, o incluso, sería posible calcular la distribución horaria de dichas variables. **Es absolutamente deseable que, en caso de que restricciones económicas impidan realizar más de una campaña de muestreo por mes, todas las mediciones se realicen el mismo día, aunque sean necesarios varios equipos de trabajo, para de esta forma poder asegurar una mejor ajuste entre los valores medidos y simulados.**
- Disminuir el límite de detección inferior de los instrumentos que miden DBO₅, Cu y Mn, pues muchos de los valores medidos quedaron bajo el límite de detección actual.
- Incorporar mediciones de DBO a los próximos muestreos de aguas subterráneas, para así caracterizar adecuadamente, en términos de calidad, los afloramientos de aquellos acuíferos que aportan al sistema superficial.
- Agregar un punto de aforo cercano al punto A12, en cada campaña de calidad, para poder estudiar adecuadamente el comportamiento del cobre y manganeso (principalmente).
- Agregar un punto de muestreo en río Aconcagua antes de la junta con estero La Sombra, para una mejor verificación de los niveles de OD simulados.

- Agregar un punto de muestreo en la descarga de la fundición Chagres, pues en el presente estudio no fue posible realizar medición alguna a dicha industria.
- Agregar un punto de muestreo en río Aconcagua, antes de la junta con estero Los Litres, para verificar la señal de OD en ese sector y en caso que se desee verificar la DBO simulada en dicho sector, agregar un punto de muestreo aguas abajo de dicha junta.
- Realizar aforos, en cada campaña de muestreo, en la desembocadura del estero Los Litres, con el fin de verificar los caudales entregados por el modelo MOS de la DGA, y de esta forma poder caracterizar en mejor forma las variaciones en la concentración de OD, DBO, cobre y manganeso entre dicho estero y la estación A17, en el km 56,9.
- Agregar un punto de muestreo superficial entre los puntos A13b2 y A13c y otro entre el estero Catemu y A14 para poder explicar las variaciones en la concentración de manganeso en dichos tramos.
- Realizar aforos en la desembocadura del estero Lo Campo, para verificar los caudales entregados por el modelo MOS de la DGA, y de esta forma poder caracterizar en mejor forma las variaciones en la concentración de OD entre dicho estero y la estación A14g.
- Agregar un punto de muestreo superficial que esté ubicado, a lo más, 500 m aguas arriba de la confluencia del río Aconcagua con el estero Los Loros, para poder caracterizar en mejor forma las variaciones en la concentración de OD en el río Aconcagua entre el estero Catemu y el estero Los Loros, y, en caso que se desee verificar los coliformes fecales simulados en dicho sector, agregar un punto de muestreo aguas abajo de dicha junta. Además, es necesario agregar un punto de aforo en la desembocadura de este estero, para poder estudiar adecuadamente el comportamiento del cobre y manganeso (principalmente).
- Incorporar el estero La Sombra en la representación conceptual del modelo MOS de la DGA para poder caracterizar de mejor forma las variaciones que experimentan las distintas sustancias modeladas en su cercanía.
- Modificar los siguientes puntos de muestreo para poder caracterizar de mejor forma la variación de las distintas sustancias modeladas:
 - Desplazar el punto de muestreo A16 hasta antes de la descarga de la industria Algamar, para que mida lo más fielmente posible el río Aconcagua antes de dicha descarga.
 - Desplazar el punto de muestreo A22 unos 3 km aguas abajo, para que mida lo más fielmente posible el río Aconcagua, antes de la descarga de aguas servidas de Quillota.
 - Muestreo de aguas subterráneas entre A22d y A23d, para determinar la calidad de los aportes del acuífero 7, pues el PO-17 utilizado en las campañas de muestreo, no poseía datos para el mes de septiembre.

- Realizar una cuidadosa comparación, entre los valores simulados y los medidos, de profundidad, velocidad y caudal en las secciones de aforo descritas en el Anexo A-4, para de esta forma determinar, dadas las restricciones económicas con que normalmente cuentan los proyectos de modelación, aquellas secciones en que vale la pena construir secciones fijas de medición para el calculo de los coeficientes de las curvas V v/s Q y H v/s Q ahí determinados, pues sólo con ellas será posible mejorar la representación de las condiciones de flujo y de concentración a través del cauce. **Estos coeficientes influyen significativamente en la forma de las señales simuladas.**
- En los siguientes trabajos de modelación, ampliar el período de tiempo abarcado por la simulación, a por lo menos un año, para de esta forma, poder describir de mejor forma las variaciones estacionales que experimenta el río a lo largo del tiempo.

9.4.3 Conclusiones Modelación Hidrogeológica

9.4.3.1 En General

- Para el Modelo del valle del río Aconcagua, el tipo de transporte que domina es el advectivo. Esto se comprueba con los vectores de velocidad y el ejercicio de trayectoria de partículas, en donde los pathlines (líneas indicadoras de avance) indicaron tiempos de viaje equivalentes aproximadamente a 9 metros por día en la zona del valle principal del Aconcagua y de 0,435 metros por día para el sector de Catemu. Estos corresponden a avances rápidos del agua subterránea en comparación con otras cuencas y modelos hidrogeológicos.
- En cuanto a las concentraciones de los contaminantes estudiados, éstas se encuentran bajo la norma y no presentan, durante el período simulado, tendencia a la acumulación.

9.4.3.2 Modelo Subterráneo Sector 2

- Los resultados de la calibración del modelo de flujo sector 2, resultó ser óptima, con un error del 1% y un error medio absoluto de 1.22 metros
- La variación de niveles se muestra estable, sin tendencia al descenso en todo el período de calibración, años 1990-2004.
- La calibración del modelo de flujo resulta ser consistente con el modelo conceptual, con un cierre del balance de masa casi perfecto.

- La calibración del modelo de calidad subterráneo no es satisfactoria, debido a la poca representatividad de la variación de concentraciones a través del tiempo. Lo anterior se le atribuye a la falta de información de los parámetros en la componente riego y materiales aplicados: fertilizantes, pesticidas y otros componentes.
- La calibración de calidad subterránea se orientó a representar los valores medios obtenidos en las tres campañas 2004. En este sentido, se logró en toda la zona, excepto en el valle de Catemu.
- En la zona de entrada del sector 2, en general, para los 5 parámetros modelados, no existe una variación fuerte en el tiempo y esto se relaciona con la fuerte componente advectiva del medio. Las elevadas velocidades del flujo subterráneo hacen que las concentraciones fluctúen al comienzo de la simulación, pero que se estabilicen en el tiempo, en cierta medida se mezclan rápidamente con las concentraciones del medio.
- La variación de concentraciones en el tiempo, en el sector de entrada del modelo 2, es decir, en la zona de confluencia entre el río Aconcagua y el río Putaendo, hacia aguas abajo, es estable, y no se presentan grandes caídas o ascensos de variación de concentración para los 5 parámetros simulados. En el final del período, en particular en los meses en que se realizaron las campañas, el ajuste logrado fue la media de los valores observados.
- En la zona media del valle del río Aconcagua, el comportamiento es muy diferente entre un pozo y otro. Mientras para el pozo 47 las concentraciones son muy similares a través del tiempo, el pozo 54 presenta una variabilidad que depende directamente de la permeabilidad del sector y la mayor velocidad de mezclado con concentraciones mayores de los parámetros aguas arriba, produce que al comienzo las concentraciones aumenten para posteriormente diluirse y mezclarse.
- En la zona media del valle del Aconcagua, sector o modelo 2, para el Cobre y el Manganeseo se logra estar en el valor de la media de las concentraciones, sin embargo para los nitratos, cloruros y sulfatos, el pozo 54 siempre está por debajo de los valores medidos.
- En la zona media baja, río Aconcagua antes de la junta con el estero Catemu, en general, en esta zona la tendencia del comportamiento de los contaminantes es distinta. Mientras el Cobre y el Manganeseo son valores más bien bajos, los cloruros, nitratos y sulfatos presentan una curva de tendencia tipo campana de gauss, esto es, parten con concentraciones estables, luego se elevan exponencialmente, para luego bajar nuevamente de manera muy brusca. El ascenso “tardío” de las concentraciones de NO_3 , Cl y SO_4 , se deben a las concentraciones más elevadas que presenta el agua subterránea aguas arriba de este sector, las cuales llegan después de un tiempo (2000 días) a contaminar la aguas de este sector. Una vez que llegan al sector, y logran elevar las concentraciones hasta un cierto pick, éstas son nuevamente aminoradas producto del flujo advectivo del valle.

- En el sector del estero Catemu, el cobre presenta valores medidos altos en relación con las demás zonas. A su vez, el pozo 44, que está ubicado antes de la junta con el río Aconcagua presenta una fuerte componente de la permeabilidad, lo que hace que la variación de concentraciones descienda en el tiempo, pero de todas maneras se logró conservar la media. Es importante señalar la alta variabilidad de los datos medidos.
- Por otro lado, el Manganeseo, tuvo que ser graficado por separado para el pozo 44 y los demás de la misma zona, debido al alto contenido de éste en el pozo 44, en comparación con los demás. Se cree que se tendría la influencia de alguna mina aguas arriba en el sector de Catemu, cuyos flujos subterráneos estarían directamente ligados con el pozo 44.
- Es importante señalar que, para el sector de Catemu, los parámetros Nitratos, Cloruros y Sulfatos presentan el problema que las concentraciones calculadas por el modelo siempre subestiman los valores medidos, y esto se debe a que en el modelo de flujo, en el sector de Catemu, los niveles freáticos están por encima del nivel de terreno y esto produce que las concentraciones iniciales impuestas decaigan rápidamente. (se diluyen)

9.4.3.3 Modelo Subterráneo Sector 3

- Los resultados de la calibración del modelo de flujo sector 3, resultó ser aceptable, con un error del 2.6% y un error medio absoluto de 2.59 metros
- La variación de niveles se observa con una tendencia a los descensos, situación marcada en todo el período de calibración, años 1990-2004.
- La calibración del modelo de flujo resulta ser consistente con el modelo conceptual, sin embargo, tanto los resultados del cierre de balance como la exageración en los descensos de los niveles simulados respecto a los observados indican que existe algún grado de error, mejorable, en el modelo de flujo.
- La calibración del modelo de calidad subterráneo no es satisfactoria, debido a la poca representatividad de la variación de concentraciones a través del tiempo. Lo anterior es atribuible a la falta de información de los parámetros de recarga en las zonas de cultivos en lo referente a la componente riego y materiales aplicados: fertilizantes, pesticidas y otros componentes. Esto debido a que el volumen recargado por concepto de riego de cultivos es del orden de aproximadamente cinco veces más que el producido por infiltración desde cauces.
- La calibración de calidad subterránea se orientó a representar los valores medios obtenidos en las tres campañas 2004. En este sentido, se logró en toda la zona representada en el modelo 3.
- En cuanto a la fiabilidad de la simulación, según los indicadores de ajuste obtenidos del modelo, los contaminantes Cloruro y Manganeseo son los mejor representados, ambos con un RMS normalizado inferior al 10% y un coeficiente de correlación sobre el 94 %.

- Los contaminantes con mayor variación temporal, es decir, cuya fluctuación en la concentración es mayor entre una muestra y otra son el sulfato y el manganeso.
- En relación a la dispersión espacial en la concentración de los contaminantes estudiados es, en general, de poca importancia, la excepción a esto corresponde al sulfato que muestra una mayor concentración a lo largo de todo el período analizado en el sector de Nogales. Este fenómeno se observa desde la zona del estero El Cobre, extendiéndose a toda el área abarcada por el estero El Melón. Al parecer las altas concentraciones, en comparación con el resto del modelo, provienen desde el valle del estero El Cobre, desde alguna fuente no reconocida por los antecedentes con los que contó el presente estudio.
- Por otro lado, también es importante señalar que el pozo PO16, en las cercanías de la junta del estero San Isidro con el río Aconcagua, ostenta las mayores concentraciones del modelo tanto de Cloruro como de Manganeso. Este fenómeno también se presenta en las aguas superficiales, curso del estero San Isidro, por lo que se presume la existencia de alguna fuente de origen natural o antrópica en el sector de San Pedro.

9.4.4 Recomendaciones Generales a los modelos de Calidad Subterránea

- Se considera que para obtener un modelo de calidad de aguas subterráneas más representativo y sensible del valle del Aconcagua, se debería continuar con trabajos de refinamiento del modelo, es decir, discretizar más la definición geométrica y espacial de los sectores modelados, refinando por ejemplo, el espaciamiento de la grilla, que no supere los 50m x 50m. Así se obtendría una mayor sensibilidad por sectores y menores problemas de dispersión numérica.
- Se considera necesario, para el caso del modelo 2: zona Catemu, recalibrar el modelo de flujo. Los antecedentes necesarios para ello, se escapaban al objetivo de este proyecto, por lo que se tuvo que trabajar con el modelo base que ya existía implementado. Se recomienda incorporar el estero Catemu como condición tipo “river” y aminorar las recargas que se encuentran establecidas actualmente. Para lo anterior, también sería recomendable contar con una medición periódica de niveles, para poder contrastar los niveles simulados, puesto que en esa zona no existen registros de niveles de aguas subterráneas. De igual forma, en el modelo 3, se deberían incorporar tanto el río Aconcagua como, a lo menos, los esteros Los Litres y El Melón como condición tipo “river” y cuidar de que los niveles simulados se ajusten de mejor forma a los observados, de esta forma se puede tener un mejor ajuste del balance y en consecuencia convertir el modelo de flujo en una mejor herramienta para trabajar en transporte de contaminantes. (MT3D)
- Para el caso del modelo 2, se considera recomendable contar con más antecedentes de medición de concentraciones en la zona terminal del sector, esto con el objetivo de poder calibrar esa zona, ya que actualmente lo que el modelo entrega, no es validable.
- Un aspecto muy importante que faltó incorporar al modelo, es la recarga areal o difusa de contaminantes, producto de la acción del riego. Esta componente es la que permite

simular la variabilidad temporal de las concentraciones, la que en el modelo implementado para este estudio es muy poco sinuosa. Lo anterior no fue posible, ya que no se contaba con las concentraciones de aplicación del riego para cada una de los parámetros modelados en un período extenso o aceptable de años (1 a 3 años de información).

- Por último, se recomienda aumentar el período de medición de concentraciones de los contaminantes a modelar, puesto que, como es el caso del modelo implementado en el presente estudio, sólo tres mediciones en un período de cuatro meses, lo más probable es que no logren representar el comportamiento de estos a lo largo del año y tampoco es posible verificar si es que existen fluctuaciones interanuales.

CAPÍTULO 10: MEDIDAS DE MITIGACIÓN

10.1 INTRODUCCIÓN

Las medidas de mitigación que se presentan a continuación se presentan como dos propuestas y una medida que ya se comenzó aplicar a través de una importante obra de ingeniería, con un alto costo financiado por CODELCO-Chile, de esta forma, el capítulo se divide de la siguiente forma:

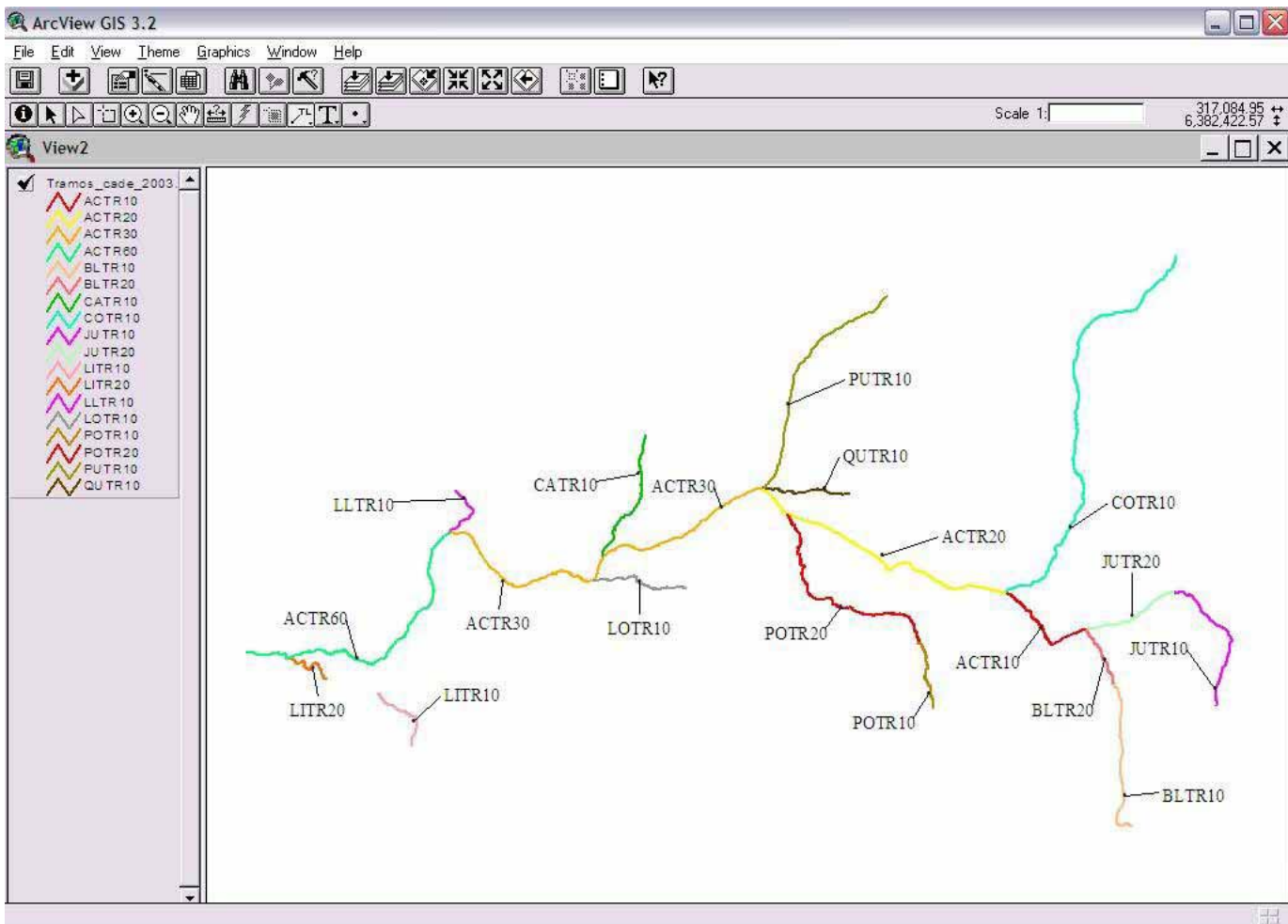
- Programa de Vigilancia de la calidad de las aguas superficiales de la cuenca
- Manejo de envases vacíos de plaguicidas
- Medidas de mitigación en la minería de cobre

El Programa de Vigilancia se sustenta sobre la base del monitoreo realizado a los cauces superficiales, durante la ejecución del proyecto, Su aplicación se debe llevar en los tramos de la cuenca definidos para la DGA (CADE-IDEPE, 2003), con el fin de aplicar las “Normas Secundarias de Calidad Ambiental para la protección de las Aguas Continentales Superficiales”, previo al estudio de la propuesta de calidad por tramo que se plantea en el texto. Se entrega un costo del programa, considerando los precios que cobra un laboratorio privado por análisis químico. No obstante, es preciso tener cautela respecto de la detección de plaguicidas, considerando los límites de detección de la infraestructura de laboratorios que existe en Chile, ya que la experiencia internacional indica que estos químicos pueden estar en los cuerpos de agua en concentraciones de nanogramos/L y generar alteraciones en la biota acuática, hecho importante a tener en cuenta en una cuenca, cuyo riesgo potencial de contaminación difusa de origen agrícola es elevado.

Respecto del manejo de envases, se plantea incrementar el N° de centros de acopio de la cuenca, para destruir los envases vacíos de plaguicidas previo triple lavado, apoyando un programa que ya se está realizando en la cuenca.

10.2 PROGRAMA DE VIGILANCIA DE LA CALIDAD DE LAS AGUAS SUPERFICIALES DE LA CUENCA DEL RÍO ACONCAGUA

El programa de vigilancia para la cuenca del río Aconcagua se ha diseñado considerando los tramos definidos por la Consultora CADE IDEPE (2003), según se observa en la figura 215, en el estudio encargado por la Dirección General de Aguas (DGA), **"Diagnóstico y Clasificación de los Cursos de Agua según Objetivos de Calidad: Cuenca del río Aconcagua"** y los resultados de los parámetros analizados producto del monitoreo de la calidad de las aguas superficiales de la cuenca, durante la ejecución del presente proyecto. Además, a dichos resultados se les aplicó percentil 66, con el objeto de determinar las clases de calidad, según lo señala la "Guía CONAMA para el Establecimiento de las Normas Secundarias de Calidad Ambiental para Aguas Continentales Superficiales y Marinas".



Fuente: CADE IDEPE (2003)

Figura 215: Tramos del río Aconcagua para la determinación de las clases de calidad.

10.2.1 Propuesta de clases de calidad para las aguas superficiales continentales de la cuenca del río Aconcagua.

Para efectos del proyecto, los parámetros a monitorear fueron seleccionados considerando la tabla 1, correspondiente a los **Criterios Nacionales Específicos para el Establecimiento de las Normas Secundarias de Calidad Ambiental, para la Protección de las Aguas Continentales Superficiales**. Debe recordarse que, a pesar de las modificaciones que se realizaron, durante el monitoreo, respecto de la ubicación de estaciones y de algunos parámetros que no se continuaron analizando, para ahorrar costos y de otros que se agregaron, el proyecto finalizó con 41 estaciones y con un total de siete campañas en un período de tres años (no se incluyó en el análisis el monitoreo de modelación).

Una vez ordenados los datos obtenidos del monitoreo, se procedió a calcular el percentil 66 de éstos, de acuerdo a lo estipulado por la Guía CONAMA, para cada compuesto o elemento medido en 15 de los cada tramo propuestos en el estudio de CADE IDEPE (2003) para la DGA. Respecto de los metales, fueron considerados los resultados como fracción total.

Las clases de calidad determinadas por tramo (**figura 216**), son las siguientes:

- **Tramo BL-TR-10:** Corresponde al estero Morado y río Barriga, hasta 2/3 del río Blanco incorporando, según lo descrito por CADE IDEPE (2003), dos segmentos. En este tramo se realizaron 10 campañas de muestreo, obteniéndose una **clase de calidad 4**, principalmente debido a los altos valores del cobre y manganeso.
- **Tramo BL-TR-20:** Corresponde al río Blanco desde el tramo precedente hasta su confluencia con el río Aconcagua. Nuevamente el cobre y el manganeso definen como **clase 4** este tramo.
- **Tramo JU-TR-20:** Corresponde al río Juncal, desde el estero Ojos de Agua hasta su confluencia con el río Blanco. Los sulfatos le otorgan una **clase 1** a este tramo.
- **Tramo AC-TR-10:** Tramo río Aconcagua desde la confluencia de los ríos Blanco y Juncal, hasta previo a su confluencia con el río Colorado. El cobre y el manganeso definen como **clase 4** este tramo.
- **Tramo C0-TR-10:** Corresponde al río Colorado y se describe como su origen el límite de la cuenca y se extiende hasta su confluencia con el río Aconcagua, presentando en su trayecto dos segmentos. La calidad del agua superficial para este tramo ha sido definida como **clase 2**, debido a su concentración de manganeso.
- **Tramo AC-TR-20:** Tramo río Aconcagua, desde la confluencia con el río Colorado, hasta la confluencia con el río Putaendo. El cobre y el manganeso definen como **clase 4** este tramo.

- **Tramo PO-TR-20:** Se encuentra en el estero Pocuro, entre el estero La Cuesta hasta su confluencia con el río Aconcagua, donde, el cobre, hierro y manganeso definen como **clase 4** este tramo.
- **Tramo PU-TR-10:** Desde el origen del río Putaendo hasta su confluencia con el río Aconcagua, el hierro y el manganeso definen como **clase 4** este tramo.
- **Tramo QU-TR-10:** Corresponde al estero Quilpué, que abarca desde el estero El Cobre hasta su confluencia con el río Aconcagua. El cobre y el manganeso definen como **clase 3** este tramo.
- **Tramo AC-TR-30:** Tramo río Aconcagua desde la confluencia con el río Putaendo, hasta la confluencia con el estero El Litre. El cobre y el manganeso definen como **clase 3** este tramo.
- **Tramo CA-TR-10:** corresponde al estero Catemu, descrito desde su origen en el estero Gómez hasta su confluencia con el río Aconcagua, el cobre define la calidad del las aguas como **clase 3**.
- **Tramo AC-TR-60:** Tramo río Aconcagua que se extiende desde la confluencia con el estero El Litre, hasta la desembocadura. Los sólidos disueltos totales y los coliformes totales definen la calidad del tramo como **clase 3**.
- **Tramo LO-TR-10:** Corresponde al estero Los Loros, su origen está en el estero Las Chilcas. La calidad de las aguas está descrita como **clase 4** por las altísimas concentraciones de coliformes fecales y de coliformes totales.
- **Tramo LL-TR-10:** Designa al estero El Litre, donde el origen del tramo se encuentra en el estero El Melón. La calidad de las aguas está descrita como **clase 4** por las concentraciones de coliformes fecales y de coliformes totales.
- **Tramo LI-TR-20:** Corresponde al estero Limache, desde el embalse hasta su desagüe en el río Aconcagua. En este tramo el manganeso define como **clase 4** la calidad superficial del agua.

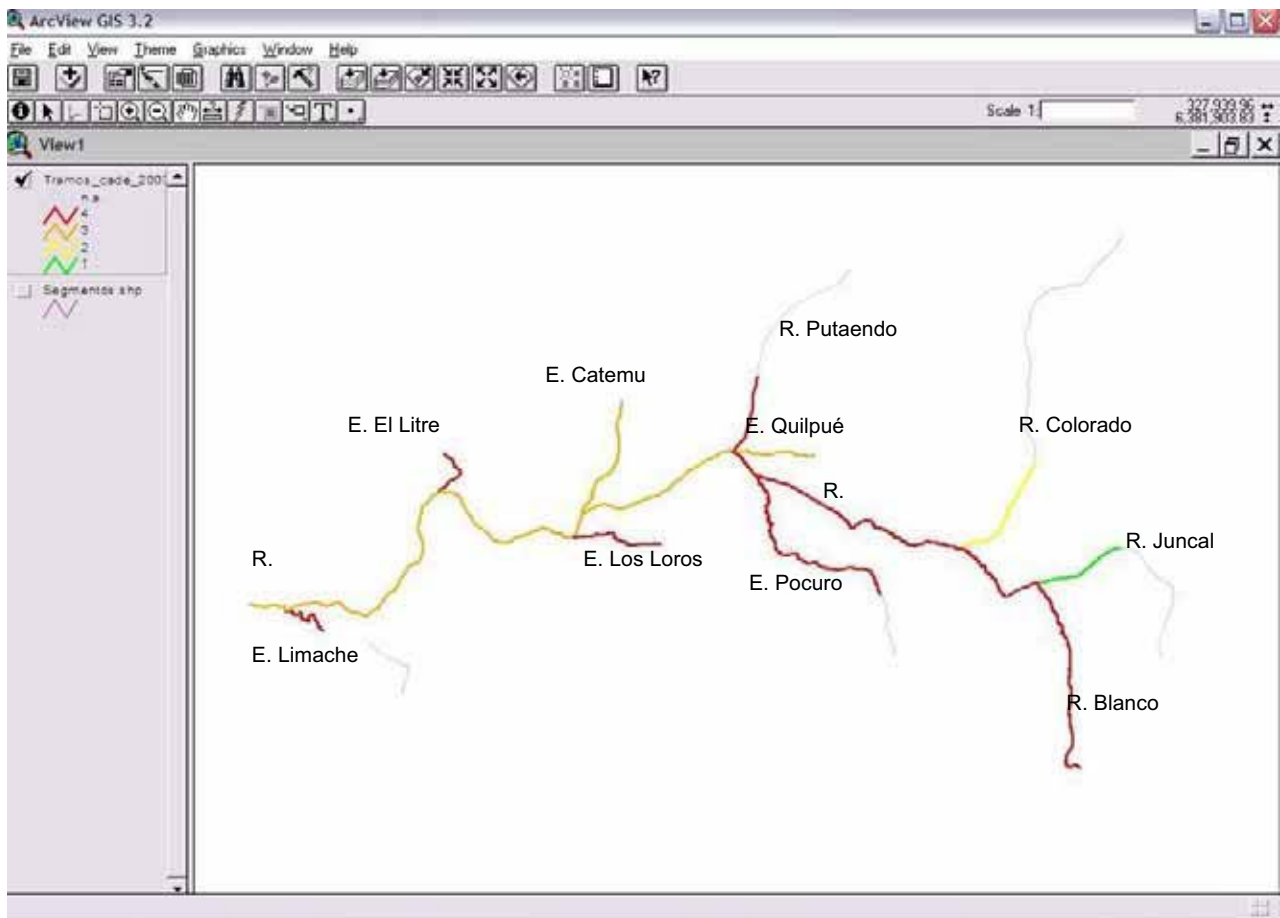


Figura 216: Clases de calidad de uso según la Guía de CONAMA, donde el color azul está ausente en todos los cauces e indicaría la clase de excepción. El color verde representa la clase 1; el amarillo la clase 2; el naranja la clase 3 y el rojo la clase 4. Sólo el río Juncal presenta clase 1 y el río Colorado clase 2, los demás ríos y esteros, clases 3 y 4. El color gris indica no analizado.

10.2.2 Parámetros a medir en el Programa de Vigilancia

El cobre y el manganeso son metales que contaminan las aguas del río Aconcagua y son generados principalmente por el drenaje ácido, producto de la actividad minera relacionada con La División Andina de Codelco-Chile.

Los coliformes fecales y totales son especialmente excesivos en los esteros El Litre y Los Loros. Cabe destacar la contaminación que afecta al estero El Litre, en la localidad de Artificio y al estero Los Loros, en su curso por la ciudad de Llay Llay. Con las actuales plantas de tratamiento de aguas servidas, dicha contaminación no debería presentarse en el primero y con respecto al 2º, las descargas de la ciudad de Llay Llay son tratadas en lagunas de estabilización, no obstante, los coliformes sobrepasan la calidad de agua para riego.

Los plaguicidas, altamente utilizados en la cuenca, sólo fueron detectados en la 1ª campaña de toma de muestras (diciembre 2001), aparentemente por requerir un bajísimo límite de detección

de las técnicas analíticas y del efecto de dilución del cauce. A su vez, es posible detectar metabolitos de degradación de los principios activos.

Junto con proponer un análisis químico de algunos parámetros para proteger la calidad de las aguas de según la norma, hay parámetros cuyos costos para lograr un nivel de detección adecuado son muy altos como para concretar un monitoreo periódico, como en el caso de los plaguicidas, de uso intensivo en la cuenca. Está demostrado según la experiencia de científicos de los EE.UU.², que los bioensayos de toxicidad crónica pueden detectar los efectos de concentraciones trazas de plaguicidas en las aguas. Es por eso que se aconseja junto al análisis químico realizar bioensayos de toxicidad aguda y crónica. Aquellas muestras que presenten toxicidad aguda, es pertinente que sean sometidas a una técnica TIE (Identificación y Evaluación de Toxicidad), con el objetivo de identificar el producto químico que produjo esa mortalidad, es decir, que produce toxicidad de las aguas para la biota acuática, alterando la trama trófica del ecosistema acuático. Dicha técnica se encuentra estandarizada por la USEPA y se aplica de rutina a través de tres fases, las cuales incluyen la utilización de bioensayos, en estudios de calidad de aguas en cuencas hidrográficas de Estados Unidos (USEPA, 1991 y 1993, Foe *et al.* 1998)

De acuerdo a la Guía de CONAMA, el monitoreo de las normas secundarias deberá efectuarse de acuerdo a un programa de vigilancia elaborado por las autoridades competentes, el cual deberá incluir el monitoreo en aquellos puntos considerados para la asignación de la calidad actual. A su vez, CONAMA, en coordinación con las autoridades competentes, dará a conocer a la opinión pública el programa de vigilancia, el que deberá señalar al menos las áreas de vigilancia, las profundidades de muestreo, los elementos o compuestos, la frecuencia mínima de muestreo, la que tratándose de corrientes de agua, no deberá ser inferior a cuatro veces al año, con una distribución estacional.

Considerando el párrafo precedente, se procedió a definir los parámetros de monitoreo, los cuales fueron divididos en obligatorios y adicionales. Los primeros son aquellos que deben monitorearse en todas las estaciones de muestreo (exceptuando la estación en San Isidro) y los adicionales, se monitorearán dependiendo de distintos factores, tales como, la presencia de agricultura, cultivos sensibles, actividad industrial, etc).

a) Parámetros obligatorios:

1. Conductividad eléctrica
2. pH
3. Oxígeno disuelto (O.D.)
4. Temperatura
5. DBO₅
6. Sólidos suspendidos totales.
7. Coliformes fecales y totales.
8. Aceites y grasas
9. Cobre
10. Manganeseo
11. Hierro (utilizado como floculante en plantas de tratamiento)

² Linda Deanovic., com. pers., 2005.

12. Cromo total
13. Plomo
14. Cloruros
15. Sulfato (utilizado como floculante asociado Al y Fe)
16. Bioensayos de toxicidad

b) Parámetros adicionales:

1. Detergentes (SAAM).
2. Molibdeno.
3. Orgánicos (PCB's, Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos, Hidrocarburos).
4. Orgánicos Plaguicidas (Los que se aplican en la cuenca y que coinciden con los que están señalados en la Tabla 1 son: atrazina, captan, dimetoato, trifluralina y simazina). Sin embargo, se recomienda incluir otros plaguicidas, de acuerdo al uso en la cuenca, ya que el listado de la tabla no coincide con los plaguicidas más utilizados. El herbicida glifosato es el químico de mayor uso, pero su persistencia en agua es muy baja.

Para poder medir la carga de los contaminantes del río y además, poder realizar modelaciones de la calidad del agua, es necesario que en cada estación de monitoreo se determine el **caudal**, al momento de la toma de muestra.

10.2.3 Descripción de las Estaciones de Monitoreo por segmentos:

Las estaciones de monitoreo propuestas a lo largo de la cuenca del río Aconcagua, se pueden observar en la **figura 217**.

- Se debe monitorear periódicamente el **río Blanco**, por el efecto de la actividad minera sobre la calidad de las aguas de la cuenca. Se debe monitorear los dos segmentos finales, 0540-BL-20 y 0540-BL-30, sólo este último cuenta con una estación de la DGA activa.

Parámetro adicional:

- Molibdeno.
- El **río Juncal** no presenta contaminación importante, sin embargo, es necesario muestrear para asegurar que su calidad de agua (clase 1) se conserve, a pesar de las actividades antrópicas que allí se generan. La estación de monitoreo se puede re-implementar en el último segmento de ese tramo, 0540-JU-30 ya que la DGA posee una estación fuera de servicio en el segmento 0540-JU-20.
- La confluencia de ambos ríos, Juncal y Blanco, da origen al **río Aconcagua**, cuya calidad debe ser medida, para conocer la clase de calidad del agua que llegará al área agrícola, una vez que se reúna con las aguas del río Colorado. Corresponde al segmento 0541-AC-10. No existe estación de monitoreo de la DGA.

- El **río Colorado** no presenta una alta contaminación, sin embargo, para asegurar la conservación de su calidad clase 2, se debe monitorear el último segmento de ese tramo, 0540-CO-20. La DGA cuenta con una estación de monitoreo activa.
- En el segmento 0541-AC-20, se encuentra una estación de monitoreo de la DGA activa y corresponde a **Aconcagua en Chacabuquito**, ésta entrega la calidad de las aguas al inicio de la zona agrícola de esta cuenca. Incluyendo la calidad de las aguas que recibe el río Aconcagua, como aportes de los by-pass de las centrales hidroeléctricas y de los afluentes ya mencionados.

Parámetros adicionales:

- Molibdeno.
- La siguiente estación de muestreo se propone localizar en el segmento 0541-AC-20 del **río Aconcagua**, entre las ciudades Los Andes y San Felipe y posterior a la planta de tratamiento de aguas servidas de la ciudad de Los Andes. No existe estación de la DGA.

Parámetros adicionales:

- Orgánicos Plaguicidas (atrazina, captan, clorotalonil, simazina y trifluralina).
- El **estero Pocuro**, también debe ser monitoreado en el segmento 0541-PO-30, antes de su unión con el río Aconcagua. Se propone debido a la alta actividad agrícola proveniente de las zonas que irriga dicho estero, como también por encontrarse en zonas urbanas cercanas a sus aguas. Existe una estación de la DGA inactiva.

Parámetros adicionales:

- Orgánicos Plaguicidas (atrazina, captan, clorotalonil, simtazina y trifluralina).
- Una estación de monitoreo relevante para el **río Aconcagua** se ubica en el puente El Rey, a la entrada de San Felipe, donde existe una estación de monitoreo de la DGA vigente y que corresponde al segmento 0541-AC-30. A dicho lugar confluyen las aguas que ya han dejado a su paso, dos importantes zonas urbanas de la cuenca, Los Andes y San Felipe, además, puede ser resumidero de los impactos antrópicos generados sobre las aguas superficiales, por la provincia de Los Andes.

Parámetros adicionales:

- Orgánicos Plaguicidas (atrazina, captan, clorotalonil, simazina y trifluralina).
- SAAM.

- El **estero Quilpué**, antes de su unión con el río Putaendo, en el segmento 0541-QU-10, recibe las aguas de actividades agrícolas y de la laguna de estabilización de la comuna de Santa María. Existe una estación inactiva de la DGA.

Parámetros adicionales:

- Orgánicos Plaguicidas (atrazina, captan, clorotanol, simazina y trifluralina).
- El **río Putaendo** también debe tener una estación de monitoreo permanente, en el segmento 0541-PU-30, antes de su confluencia con el río Aconcagua. Existe una estación suspendida de la DGA en este segmento. Hay zonas urbanas y de actividad agropecuaria que se desarrollan en esta subcuenca.

Parámetros adicionales:

- Orgánicos Plaguicidas (atrazina, captan, clorotalonil, simazina y trifluralina).
- Otro segmento importante en el **río Aconcagua** es 0542-AC-10, el cual se ubica a la altura de la localidad de Panquehue. El pueblo de Panquehue cuenta con una laguna de estabilización que descarga su efluente al río, también, como ocurre en toda la cuenca, la actividad agropecuaria es importante y además hay antecedentes de extrañas mortalidades generadas a los peces en esta zona. No existe estación de la DGA.

Parámetros adicionales:

- Orgánicos Plaguicidas (atrazina, captan, clorotalonil, trifluralina y simazina).
- El **estero Catemu** también debe tener una estación de monitoreo permanente, en el segmento 0542-CA-10, antes de su confluencia con el río Aconcagua. Esta subcuenca, al igual que la del río Putaendo, posee una fuerte actividad agrícola y zonas urbanas. Existe una estación vigente de la DGA en el segmento 0542-CA-20.

Parámetros adicionales:

- Orgánicos Plaguicidas (atrazina, captan, clorotalonil, simazina y trifluralina).
- El **estero Los Loros** en su segmento 0542-LO-10, antes de su unión con el río Aconcagua. Los coliformes representan una de las principales fuentes de contaminación de dicho estero, con una consecuente disminución del oxígeno disuelto. Existe una estación activa de la DGA.

- En el segmento 0542-AC-30, aguas arriba de la desembocadura del estero Los Litres en el **río Aconcagua**. Se pretende, con esta estación, conocer los efectos que podría causar la actividad agrícola, las zonas urbanas y los distintos afluentes de la comuna de Catemu hasta la comuna de Hijuelas. No existe estación de la DGA.

Parámetros adicionales:

- Orgánicos Plaguicidas (atrazina, captan, clorotalonil, simazina y trifluralina).
- En el **estero Los Litres**, segmento 0542-LL-10. Se reúnen las aguas del estero El Cobre y El Melón, ambos reciben aguas de distintos canales de la zona y por tanto, el efecto de las zonas urbanas que se hace notar por una alta carga de coliformes fecales en sus aguas, además el estero El Cobre recibe aguas provenientes de la mina El Soldado, aunque en los análisis realizados a dicho estero no se evidenció contaminación proveniente de la faena minera. Existe una estación fuera de servicio de la DGA.

Parámetros adicionales:

- Orgánicos Plaguicidas (atrazina, captan, clorotalonil, simazina y trifluralina).
- El **río Aconcagua** en el segmento 0542-AC-40, antes de su paso por la ciudad de Quillota. La presencia de grandes zonas urbanas (Calera y La Cruz) que siempre son fuentes potenciales de contaminación.

Parámetros adicionales:

- Orgánicos Plaguicidas (atrazina, captan, clorotalonil, simazina y trifluralina).
- El **río Aconcagua** al final de este segmento 0542-AC-50, a la altura del puente Colmo, posterior a la ciudad de Quillota y antes de recibir las aguas del estero Limache, donde existe una estación activa de la DGA. La actividad agropecuaria es muy intensiva en esta provincia existiendo un alto riesgo de contaminación por plaguicidas. Puede existir contaminación debido a las descargas de las zonas urbanas, si éstas no son debidamente tratadas.

Parámetros adicionales:

- Orgánicos Plaguicidas (atrazina, captan, clorotalonil, simazina y trifluralina).
- SAAM.

- El **estero San Isidro** no se encuentra descrito con segmentos por la DGA, sin embargo, recibe las aguas de distintos canales de regadío de la provincia de Quillota, por lo tanto, se debe monitorear en el puente San Isidro, de manera especial, sólo las concentraciones de los siguientes elementos (NO incluir parámetros obligatorio):

Parámetros especiales:

- Coliformes totales y fecales.
 - Aceites y grasas.
 - Bioensayos de toxicidad.
 - Orgánicos plaguicidas (atrazina, captan, clorotalonil, trifluralina y simazina).
- El **estero Limache** antes de su unión con el río Aconcagua, en el segmento 0542-LI-30. Es un importante afluente de dicho río, que necesita ser monitoreado para conocer los aportes que hace al río Aconcagua antes de su desembocadura. No existe estación de la DGA, aunque en el segmento 0542-LI-10, previo al embalse, hay una estación vigente de la DGA, cuyos resultados serían complementarios a los obtenidos por esta estación.

Parámetros adicionales:

- Orgánicos Plaguicidas (atrazina, captan, clorotalonil, simazina y trifluralina).
- Antes de la **desembocadura del río Aconcagua** se debe monitorear las aguas en ambos brazos del río, con el objeto de conocer la calidad de las aguas que se vierten al mar desde pueblo de Concón. El segmento a monitorear es el 0542-AC-60. La DGA posee una estación activa, pero no en ambos brazos.

Parámetros adicionales:

- Orgánicos:
 - SAAM.
 - PCB's.
 - Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos.
 - Hidrocarburos.

Respecto de las muestras para **plaguicidas**, se recomienda efectuar **un solo muestreo por año**, durante el período de máxima aplicación, entre agosto y octubre.

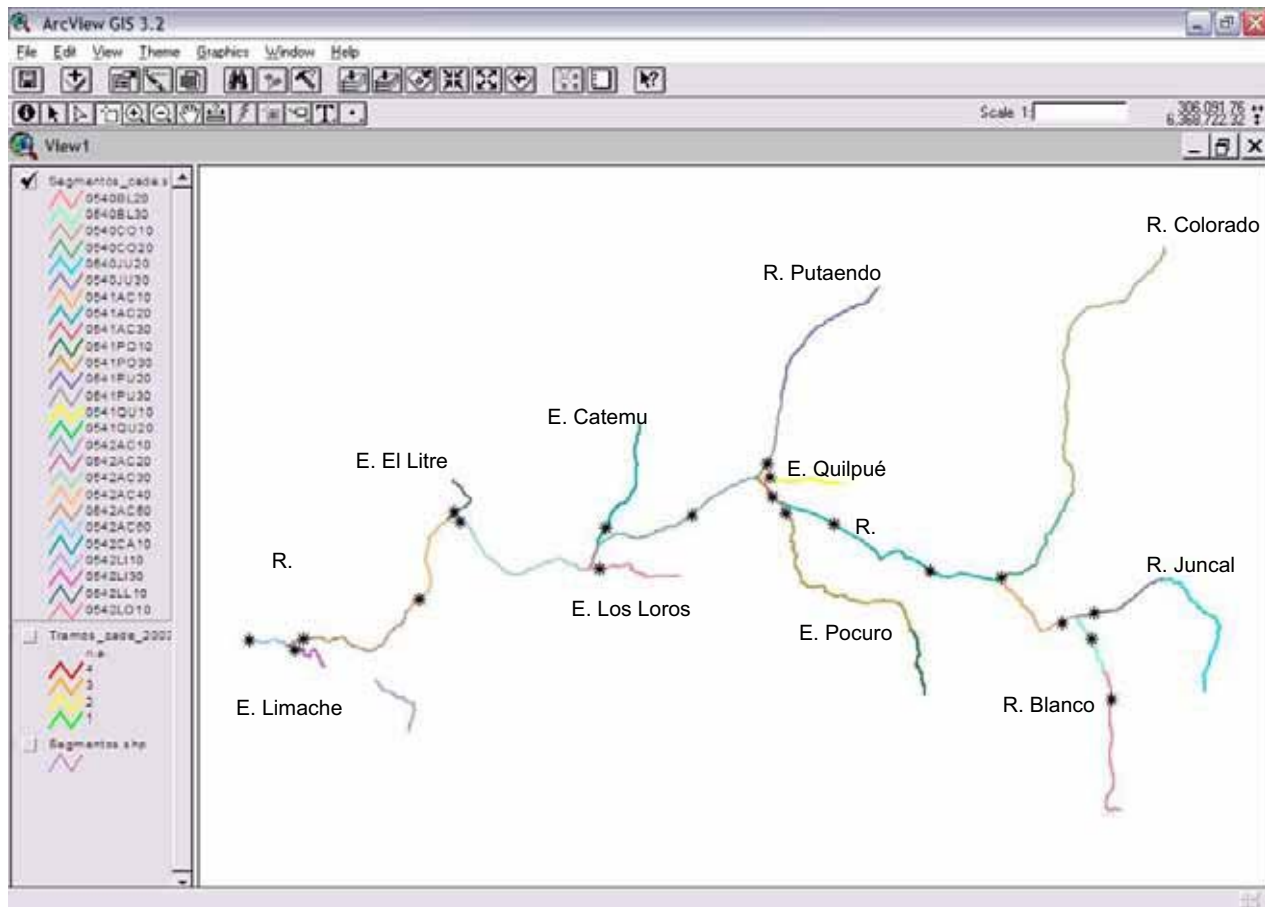


Figura 217: Los asteriscos indican las estaciones de muestreo y los segmentos del río Aconcagua y sus afluentes están demarcados con colores. No está incluida la estación de monitoreo del estero San Isidro por no existir como segmento.

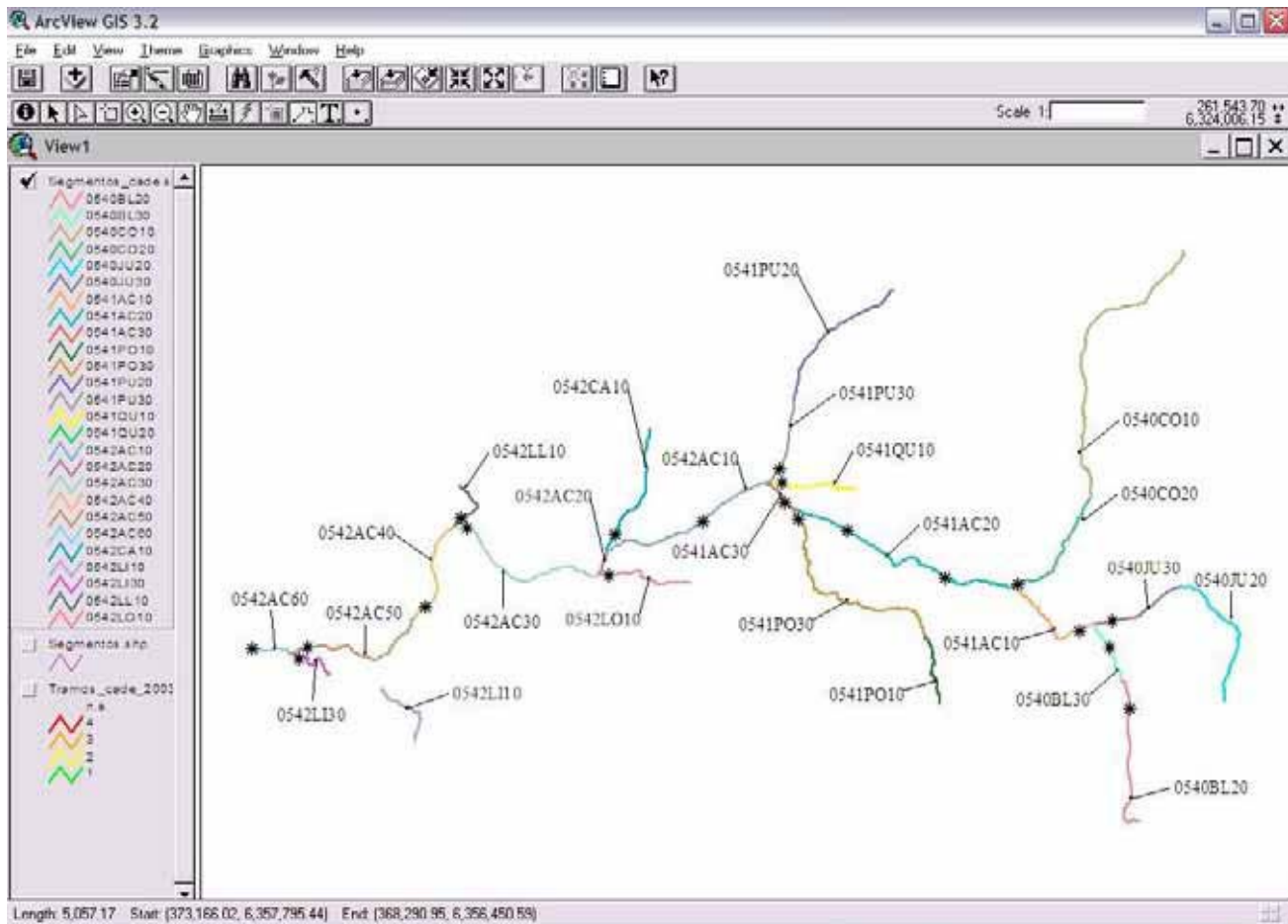


Figura 218: Ubicación de las estaciones de muestreo en los distintos segmentos descritos.

Esto hace un total de 22 estaciones de monitoreo (tabla 53) para el Programa de Vigilancia. Existen algunos tramos extensos donde no se incorporaron estaciones, a fin de disminuir los costos, sin embargo, si hay fondos disponibles y los servicios competentes consideren necesario incorporar otros segmentos, éstos podrían ser en el río Aconcagua entre: la confluencia del río Putaendo y el estero Catemu, entre el estero Catemu y los Loros, en el sector de Hijuelas entre el estero Los Loros y Los Litres, y entre los esteros Los Litres y Limache, como también los esteros Rabuco y La Sombra. También es importante conocer la calidad de las aguas en los orígenes de los distintos esteros y ríos de la cuenca.

Tabla 53: Estaciones de monitoreo para el Programa de Vigilancia y las que tiene la DGA.

N° Estación	Segmento	Estación de Monitoreo	Estación calidad DGA	Parámetros
1	0540-BL-20	Río Blanco	Ausente	O ¹ + Mo
2	0540-BL-30	Río Blanco	Activa	O + Mo
3	0540-JU-30	Río Juncal	Inactiva en 0540-JU-20	O
4	0541-AC-10	Río Aconcagua	Ausente	O
5	0540-CO-20	Río Colorado	Activa	O
6	0541-AC-20	Río Aconcagua en Chacabucuito	Vigente	O + Mo
7	0541-AC-20	Río Aconcagua entre L.A. y S.F.	Ausente	O + Plaguicidas
8	0541-PO-30	Estero Pocuro	Inactiva	O + Plaguicidas
9	0541-AC-30	Río Aconcagua en San Felipe	Activa	O + Plaguicidas y SAAM
10	0541-QU-10	Estero Quilpue	Activa	O + Plaguicidas
11	0541-PU-30	Río Putaendo	Inactiva	O + Plaguicidas
12	0542-AC-10	Río Aconcagua en Panquehue	Ausente	O + Plaguicidas
13	0542-CA-10	Estero Catemu	Activa en 0542-CA-20	O + Plaguicidas
14	0542-LO-10	Estero Los Loros	Activa	O
15	0542-AC-30	Río Aconcagua a/j El Litre	Ausente	O + Plaguicidas
16	0542-LL-10	Los Litres	Inactiva	O + Plaguicidas
17	0542-AC-40	Río Aconcagua antes Quillota	Ausente	O + Plaguicidas
18	Sin segmento	Puente San Isidro en el estero San Isidro	Ausente	Sólo: Coli-t-f. ² , Aceites y grasas, Plaguicidas, BT ³
19	0542-AC-50	Río Aconcagua puente Colmo	Inactiva	O + Plaguicidas SAAM
20	0542-LI-30	Estero Limache	Ausente	O+ Plaguicidas
21	0542-AC-60	Río Aconcagua desembocadura brazo RPC	Activa	O + SAAM, PCB's, HAP, HC
22		Río Aconcagua desembocadura brazo BASF	Ausente	O + SAAM, PCB's, HAP, HC

O¹ : Sólo parámetros obligatorios.

Coli-t-f² : Coliformes totales y fecales.

BT³ : Bioensayos de toxicidad.

10.2.4 Valoración Económica del Programa de Vigilancia.

El costo de los análisis de los distintos parámetros fue entregado por el laboratorio MRLAB. Estos costos están en UF y se describen con sus respectivos límites de detección en la **tabla 54**. Si bien, el pH se puede determinar en el laboratorio, lo ideal es que se realice en terreno, junto a la temperatura, conductividad eléctrica y el oxígeno disuelto (O.D).

Tabla 54: Unidades, límite de detección y costos de los parámetros de muestreo.

PARÁMETROS OBLIGATORIOS	Unidad	Límite detección	Aguas UF
Coliformes Totales	NMP CF/100 ml	2	0.23
Coliformes Fecales	NMP CT/100 ml	2	0.23
Sólidos suspendidos totales	mg L ⁻¹	1.0	0.19
Conductividad eléctrica	Microhoms	1.0	0.08
pH Laboratorio			0.08
Oxígeno disuelto	mg L ⁻¹	0.5	0.19
Cloruros	mg L ⁻¹	0.01	0.31
Sulfatos	mg L ⁻¹	5.0	0.25
Arsénico	mg L ⁻¹	0.001	0.36
Cobre	mg L ⁻¹	0.01	0.18
Cromo total	mg L ⁻¹	0.05	0.18
Hierro	mg L ⁻¹	0.01	0.18
Manganeso	mg L ⁻¹	0.01	0.18
Plomo	mg L ⁻¹	0.01	0.18
Zinc	mg L ⁻¹	0.01	0.18
DBO ₅	mg L ⁻¹	0.5	0.27
Aceites y grasas	mg L ⁻¹	5	0.6
Bioensayo Inhibición crecimiento algal	CI ₅₀ 96 h		6.3
Bioensayo Toxicidad Aguda Cladóceros	CL ₅₀ 24 - 48 h		6
PARÁMETROS ADICIONALES			
Molibdeno	mg L ⁻¹	0.01	0.22
Otros Orgánicos			
Bifenilos policlorados (PCB's)	µg L ⁻¹	0.2	3.4
Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos	µg L ⁻¹	0.2	3.85
Hidrocarburos totales	mg L ⁻¹	0.01	2.15
Detergentes (SAAM)	mg L ⁻¹	0.1	0.27
Orgánicos Plaguicidas			
Atrazina	µg L ⁻¹	2.0	3.15
Captan	µg L ⁻¹	2.0	2.85
Clorotalonil	µg L ⁻¹	2.0	3.15
Simazina	µg L ⁻¹	2.0	3.15
Trifluralina	µg L ⁻¹	5.0	3.85

El costo de los bioensayos de toxicidad es sólo una referencia, puede ser recalculado y disminuir su monto.

El costo del análisis de las muestras por estaciones de muestreo se describe en la tabla 55 (no se incluye IVA)

Tabla 55: Estaciones de monitoreo, sus segmentos, y el costo total de 1 año de muestreo (cuatro campañas).

Estaciones por Segmentos	Estación Monitoreo	Costo Parámetros Obligatorios	Costo Parámetros Adicionales sin plaguicidas	Costo Parámetros Plaguicidas	Costo Estación Monitoreo sin Plaguicidas	Costo Estación Monitoreo con Plaguicidas
0540-BL-20	Río Blanco	15.99	0.22	0.00	16	16
0540-BL-30	Río Blanco	15.99	0.22	0.00	16	16
0540-JU-30	Río Juncal	15.99	0.00	0.00	16	16
0541-AC-10	Río Aconcagua	15.99	0.22	0.00	16	16
0540-CO-20	Río Colorado	15.99	0.00	0.00	16	16
0541-AC-20	Río Aconcagua en Chacabuquito	15.99	0.22	0.00	16	16
0541-AC-20	Río Aconcagua entre L.A. y S.F.	15.99	0.00	16.15	16	32
0541-PO-30	Estero Pocuro	15.99	0.00	16.15	16	32
0541-AC-30	Río Aconcagua en San Felipe	15.99	0.27	16.15	16	32
0541-QU-10	Estero Quilpue	15.99	0.00	16.15	16	32
0541-PU-30	Río Putaendo	15.99	0.00	16.15	16	32
0542-AC-10	Río Aconcagua en Panquehue	15.99	0.00	16.15	16	32
0542-CA-10	Estero Catemu	15.99	0.00	16.15	16	32
0542-LO-10	Estero Los Loros	15.99	0.00	16.15	16	32
0542-AC-30	Río Aconcagua a/j Los Litres	15.99	0.00	16.15	16	32
0542-LL-10	Los Litres	15.99	0.00	16.15	16	32
0542-AC-40	Río Aconcagua antes Quillota	15.99	0.00	16.15	16	32
0542-AC-50	Río Aconcagua puente Colmo	15.99	0.27	16.15	16	32
San Isidro	Puente San Isidro en el estero San Isidro	0.00	13.36	16.15	13	30
0542-LI-30	Estero Limache	15.99	0.00	16.15	16	32
0542-AC-60	Río Aconcagua desembocadura brazo RPC	15.99	9.67	0.00	26	26
0542-AC-60	Río Aconcagua desembocadura brazo BASF	15.99	9.67	0.00	26	26
	Total Muestreo	336	34	226	370	596

El costo total del monitoreo anual, el cual incluye cuatro muestreos de los parámetros obligatorios y adicionales, más el muestreo de los plaguicidas, asciende a 1706 UF, equivalente \$ 29.679.657,32 (UF: \$17,397.22, correspondiente al 29/05/2005).

10.2.5 Conclusiones

- Es necesario efectuar una revisión de listado de plaguicidas señalados en la Tabla 1 de las Normas Secundarias, debido a que si se considera la encuesta aplicada a los productores, sólo seis de los plaguicidas de dicha tabla son aplicados en la cuenca.
- Considerando el costo que significan los análisis químicos para detectar la presencia de plaguicidas, se recomienda realizar campañas en los períodos de máxima aplicación, durante la primavera y a inicios del verano y en invierno después de los eventos de lluvia.
- Sin embargo, debe actualizarse anualmente un catastro de uso de plaguicidas, sobre la base de encuestas a los agricultores, a fin de orientar en forma efectiva el monitoreo hacia los principios activos que realmente se están utilizando durante que períodos del año.
- Para lograr un programa de vigilancia completo y útil para cualquier propósito, es necesario que los distintos servicios trabajen coordinadamente, destinando fondos a las actividades que les competen, pero apoyándose en las acciones necesarias para lograr el objetivo final del programa.
- De esta manera, las actividades de monitoreo de las aguas superficiales continentales, competen a la DGA y SAG (Las autoridades fiscalizadoras de las normas secundarias). Sin embargo, se considera necesario que exista una fluida comunicación con el SISS, entidad que puede exigir el monitoreo de los riles a las distintas empresas que descargan sus efluentes al río, idealmente en las mismas fechas (o semana) que se monitorea el cuerpo receptor.
- Los Servicios de Salud Regionales, también pueden participar en este programa, a pesar de que a éstos les corresponde la vigilancia de la normas primarias de calidad ambiental para aguas continentales superficiales, por tanto, los tres Servicios podrían establecer un monitoreo integrado para la cuenca, aumentando la eficiencia en el gasto del recurso, siempre sujeto a restricciones, sobre todo en aquellas entidades que para materias relacionadas con la protección del ambiente, sólo disponen de recursos marginales dentro de su presupuesto institucional.
- La DGA y el SAG cuentan con equipos analíticos que pueden disminuir ostensiblemente el costo del monitoreo, sobre todo en lo que se refiere a la adquisición de insumos para las técnicas de detección (columnas, reactivos, fungibles y otros), considerando además, el alto costo de los análisis de plaguicidas y otros contaminantes de origen orgánico. Por supuesto que los laboratorios de ambas instituciones deben acreditarse ante el INN y en lo posible certificarse con la norma ISO 17025.
- Si se logra el objetivo de trabajar en forma conjunta, compartiendo la información obtenida, se puede sustentar un adecuado programa de vigilancia de la calidad del recurso hídrico en la cuenca del río Aconcagua, con miras a establecer en el futuro, con una legislación que lo permita, una gestión sustentable del recurso en la cuenca.

10.2.6 Referencias

CADE IDEPE, 2003. Diagnóstico y Clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad. Gobierno de Chile. Ministerio de Obras Públicas. Dirección General de Aguas.

FOE C., DEANOVIC L. & HINTON D. 1998. Toxicity Identification Evaluations of orchard dormant spray storm runoff. Staff report of the California Environmental Protection Agency. Regional Water Quality Control Board Central Valley Region. December 1998. New Series No. 7.

USEPA, 1991. Methods for Aquatic Toxicity Identification Evaluations. Phase I Toxicity Characterization Procedures. EPA/600/6-91/003. February 1991. Second Edition

USEPA, 1993. Methods for Aquatic Toxicity Identification Evaluations. Phase II Identification Procedures for Samples Exhibiting Acute and Chronic Toxicity. EPA/600/R-92/080. September 1993.

USEPA, 1993. Methods for Aquatic Toxicity Identification Evaluations. Phase III Confirmation Procedures for Samples Exhibiting Acute and Chronic Toxicity. EPA/600/R-92/081. September 1993.

10.3 MANEJO DE ENVASES VACÍOS DE PLAGUICIDAS

10.3.1 Programa de Recolección y Eliminación Adecuada de Envases Vacíos de Productos Fitosanitarios

Debido al considerable uso de plaguicidas en la cuenca, uno de los problemas ambientales relevantes, lo constituye que hacer con los envase vacíos. Si se recuerdan los resultados de la encuesta realizada a los agricultores de un área de la cuenca, el 62,2% de los productores encuestados, quema los envases luego de ocuparlos y casi el 17% de los productores entierra los envases luego de utilizar su contenido.

El triple lavado, práctica recomendada por el SAG y AFIPA, es realizado por el 17,1% de los productores. Dentro de este porcentaje se encuentran los productores que además reciclan los envases enviándolos a centros de acopio y otros que luego del triple lavado queman, entierran o reutilizan dichos envases. Respecto a este último punto, un 3,7% de los agricultores reutiliza los envases después de lavarlos.

Por otra parte, de acuerdo a la encuesta, la fiscalización relativa al uso de plaguicidas de parte de los Servicios Públicos, también presenta problemas, siendo la más activa la fiscalización de parte del SAG, seguida por los Servicios de Salud Regionales y finalmente la Inspección del Trabajo. Los predios más visitados corresponden a los grandes productores, quienes a su vez, son exportadores.

Por lo tanto, una medida mitigación que genera resultados concretos, que ha sido ampliamente utilizada en los países con gran desarrollo agrícola, a través de centros de acopio de envases, en los cuales se trituran dichos envases y el producto final se recicla, para la elaboración de postes para cercos, fabricación de asfalto y otros.

Las primeras iniciativas de este tipo en América Latina se remontan al año 1995 en México, Guatemala y Brasil (CropLife, 2005). Para el año 2003, 15 países latinoamericanos contaban con un programa de eliminación de envases en pleno funcionamiento. De esta forma, se recolectaron durante el año 2003, aproximadamente 5.760 toneladas de plástico y para el año 2004 se había proyectado la recolección de 8,450 toneladas, cuya cifra real aún no se entrega en forma oficialmente (Epp D., 2005).

Brasil continúa siendo uno de los más importantes recolectores, por el enorme tamaño en su sector agrícola y la amplia infraestructura con que cuenta el programa, representa alrededor del 60% del volumen recolectado (Epp D., 2005)

Al respecto, el año 2001, la Asociación Nacional de Fabricantes e Importadores de Productos Fitosanitarios Agrícolas (AFIPA), implementó el **Programa de Recolección y Eliminación Adecuada de Envases Vacíos de Productos Fitosanitarios**, enmarcado en la normativa legal vigente, que corresponde al **D.S. 148 del Ministerio de Salud “Reglamento Sanitario sobre Manejo de Residuos Peligrosos”**.

Dicho reglamento, en el artículo 24 señala:

Los envases de plaguicidas se considerarán residuos peligrosos a menos que sean sometidos al procedimiento de triple lavado y manejados conforme a un programa de eliminación.

Se entenderá que un envase de plaguicida ha sido sometido al procedimiento de triple lavado, cuando dicho envase haya sido lavado con agua al menos tres veces en forma sucesiva utilizando no menos de un 10% del volumen del contenedor por cada lavado, o bien haya sido lavado mediante un método de efectividad equivalente, como por ejemplo el lavado a presión durante un minuto, y luego de todo lo cual, dicho envase haya sido inutilizado mediante punzonamiento, aplastamiento o cualquier otro método que lo destruya o inutilice. Además, el agua resultante del lavado deberá ser incorporada al estanque de aplicación del plaguicida como parte del agua de preparación o, en caso contrario, deberá ser manejada como un residuo peligroso.

El Programa de Eliminación deberá ser aprobado por la Autoridad Sanitaria y sus contenidos mínimos serán los siguientes:

- a) Capacitación de los generadores de envases de plaguicidas y definición de los procedimientos de triple lavado,*
- b) Diseño de los lugares de recepción y almacenamiento de envases una vez sometidos a triple lavado y definición del sistema de aceptación y registro,*
- c) Sistema de recolección y transporte de los envases hasta los lugares de recepción y almacenamiento y desde éstos hasta el sitio de eliminación,*
- d) Identificación de la instalación de eliminación y procedimiento a utilizar para disponer, tratar o reciclar los envases sometidos al triple lavado,*
- e) Identificación del uso que se dará al material recuperado, en caso que el procedimiento contemple el reciclaje.*

10.3.1.1 Requisitos de ingreso al Programa

Considerando el DS 148, los requisitos necesarios para la inclusión de envases vacíos en el Programa son los siguientes:

1. Triple lavado: Sólo se reciben envases plásticos (Polietileno/PET) y metálicos con "Triple Lavado".
2. Inspección: Inspección del interior del envase, asegurándose que esté limpio y que toda la formulación haya sido removida. En el exterior del envase se debe verificar que el gollete y la rosca estén libres de residuos de formulación.
3. Limpios y secos: Todo envase debe estar limpio y seco. Los envases no pueden contener ningún tipo de residuos.
4. Tapas: Siempre se debe devolver los envases sin tapa.
5. Inutilizados: Los envases deben estar inutilizados mediante perforación.
6. Manchas: Envases de formulaciones que tiñen los plásticos, sólo serán aceptados si cumplen con los requisitos señalados en los puntos 1 al 5.
7. Almacenamiento: Los envases con Triple Lavado y limpios deben ser almacenados en un lugar cerrado, seco y bajo techo, antes de ser entregados en los centros de acopio.

10.3.1.2 Aplicación del Triple lavado

Las primeras pruebas de la eficacia del "**Triple lavado**" tienen que ser realizadas en los propios establecimientos agrícolas, donde se inicia el programa y donde es posible obtener los mejores resultados de eliminación y aprovechamiento de los productos. Productos muy solubles en agua, son mucho más fáciles de eliminar, que las emulsiones suspendibles u oleosas.

Los envases rígidos, ya sean de plástico, metal o vidrio, pueden ser limpiados perfectamente antes de ser eliminados, ya sea directamente con dispositivos especiales integrados en los equipos de aspersión o a través de la práctica del triple enjuague. Los envases una vez lavados, deben ser inutilizados, perforándolos, preferentemente en la parte inferior.

Los instructivos para los usuarios de plaguicidas, contiene los siguientes pasos (**figura 219**):

- Vacíe el contenido en el tanque de la pulverizadora y mantenga en posición de descarga por 30 segundos.
- Adicione agua limpia hasta 1/4 de la capacidad del envase.
- Agite durante 30 segundos.
- Vierta en el tanque de la pulverizadora y mantenga en posición de descarga por 30 segundos.
- Inutilice el envase.

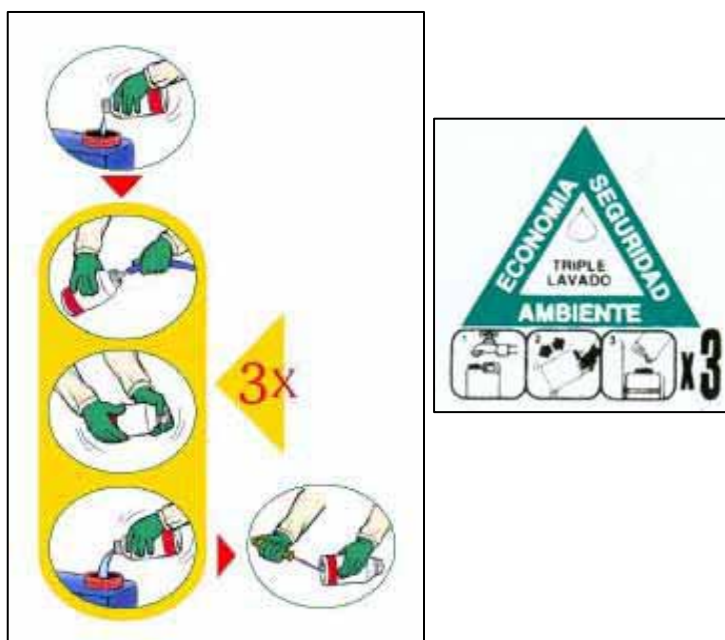


Figura 219. Pasos del tripe lavado y logo.

La mejor alternativa como destino final de los envases es su reutilización, ya sea como materia prima o como combustible alternativo.

Alternativa para el reciclado o reutilización de materiales

- Reciclado de materiales (plástico o metal).
- Reciclado dentro de la tela asfáltica.
- Reutilización térmica o energética, que puede ser en hornos de cemento, fábricas energéticas o siderúrgicas como combustible alterno.

Alternativas para la eliminación de materiales

- Incineración en hornos especiales.
- Eliminación en rellenos sanitarios autorizados.

Las alternativas son múltiples pero todas requieren algo en común: **la limpieza de los envases**. La forma más práctica es el "Triple Lavado".

El proceso de reciclado de metal tiene la ventaja de trabajar a temperaturas altas, que en caso de existir, eliminarían todo residuo de producto que pudiese contener el envase. Actualmente las empresas de este rubro son PROACER y SONAMEL.

En Chile aún no hay empresas dedicadas a reciclar el plástico proveniente de estos residuos. A diferencia del reciclado del metal, éste requiere de un proceso previo de clasificación de materiales. La industria trabaja con diferentes materiales, PEAD, PEBD, PET, polipropileno y COEX.

El mayor problema posiblemente representa el polipropileno y el COEX. El primero por tener un punto de fusión muy diferente a los demás plásticos y el segundo, por estar compuesto por diferentes productos y además por contener adhesivos entre las capas de plástico, lo cual es sumamente contraproducente durante el reciclado.

Después de la selección de materiales, los envases son triturados (**figura 220**) y posteriormente se someten a una limpieza exhaustiva, ya que además se deben eliminar restos de etiquetas, restos de tapas y suciedad en general. Como además todos los envases, a pesar del "triple lavado", contienen restos de plaguicidas, las aguas de lavado de envases deben ser tratadas antes de ser eliminadas.

Se usa una misma trituradora de plástico para varios centros de acopio, ya que la maquinaria está montada sobre un pequeño remolque, que en algunos casos tiene su propio equipo de energía. Es una modalidad muy versátil, donde se aprovecha más eficientemente la inversión realizada.



Fuente: www.croplifela.org

Figura 220: Muestra de un plástico triturado.

10.3.1.3 Centros de acopio de la V Región

Los centros de acopios de la V Región son los siguientes:

- **Quillota:** Catalina Silva e Hijos Ltda.
- **Los Andes:** Rafael Reyes y Cía Ltda.
- **La Ligua:** Discentro S.A

Obviamente, los dos primeros incorporan a la cuenca del río Aconcagua y comúnmente los agricultores de San Felipe derivan sus envases al Centro de Acopio de Los Andes.

En cuanto a la recolección de envases plásticos y metálicos de productos fitosanitarios con Triple Lavado en los Centros de Acopio de la V región, las cifras son las siguientes:

Año	Recolección de envases (Kg)
2002	1.700
2003	10.024
2004	15.797

Fuente: AFIPA, 2005³.

Actualmente el destino final de estos residuos no es el reciclaje, sino los rellenos sanitarios. En la V Región existen 2 rellenos sanitarios, el Relleno Sanitarios El Molle, ubicado en el camino de La Pólvora en Valparaíso y el Relleno Sanitario del Sector de La Hormiga, San Felipe G.E.A.

Tal como se indicó en el capítulo 2 del presente informe, en el área de la aplicación de la encuesta, el triple lavado entre medianos y productores es una práctica común (más del 60% de ambos estratos lo hace), entre los pequeños agricultores su realización es poco habitual, considerando que tan sólo el 6% de éstos lo lleva a cabo. Posteriormente, el destino de los envases a los centros de acopio es menor, sobre todo en los pequeños productores. Quizás la escasa cantidad de envases que cada productor utiliza, lo que hace que, para el centro de acopio, encargado de la recolección de los envases, pueda no ser, técnica o económicamente, factible el retiro de los mismos. El grupo en cuestión es el que muestra mayores porcentajes de quema y entierro de envases, a diferencia del estrato de los grandes productores, que es el que en mayor porcentaje realiza el triple lavado y, a la vez, es el que menos los quema o entierra.

De acuerdo a lo precedentemente expuesto, los centros de acopio actuales pueden incrementar la recepción y tratamiento de envases y sería necesario construir un nuevo centro en San Felipe, el cual pueda recibir los envases de un área de alta productividad agrícola.

³ Francisca Gebauer AFIPA, comunicación personal.

Respecto de los costos de aproximados en la implementación de un centro de acopio son los siguientes:

- Construcción: 2 – 4 millones.
- Chipiadora: 7 – 8 millones.

A dichos costos debe agregarse los gastos de operación, transporte y disposición.

Tres centros de acopio para la cuenca bien coordinados respecto del servicio de recolección, pueden mejorar el efecto de mitigación, si se acompañan de una activa campaña de difusión, que sea realizada sobre la base de la cooperación entre los Servicios Públicos, las asociaciones de productores y AFIPA, siempre buscando optimizar el gasto de recursos.

Es preciso que el sector productivo silvoagropecuario, tenga una participación activa en capacitaciones y programas de difusión de las buenas prácticas de manejo de los productos para lograr eficiencia en los procesos productivos e inocuidad alimentaria, protegiendo la salud humana y el medio ambiente. La implementación de programas de capacitación permite transmitir tanto los aspectos involucrados en el desarrollo de los productos, como el manejo del riesgo mediante su uso adecuado y eficiente.



Fuente: AFIPA.

Figura 221: Escolares en clases del “Programa Agricultores del Futuro” que dicta AFIPA.

10.3.2 Referencias

CROPLIFE, 2005 [En línea]

<http://www.croplifela.org/default.asp?id=14&mnu=14&ACT=5&content=4>

EPP D., 2005. Programa Manejo Adecuado de Envases. CropLife Latin America. Informe anual 2003-2004.

10.4 MEDIDAS DE MITIGACIÓN EN LA MINERÍA DE COBRE

10.4.1 Proyecto Despacho de Drenajes de Botaderos para la Utilización Externa CODELCO- Chile División Andina (información recopilada del Estudio de Impacto Ambiental del mismo nombre).

El objetivo de este proyecto es mejorar la calidad de las aguas del río Blanco y cursos inferiores, a través de una disminución significativa de los flujos de aguas acidificadas con contenidos elevados de cobre que incorporan a este río desde el área principal de disposición de lastre de la faena minera de División Andina para así continuar con las actividades mineras compatibles con el medio ambiente.

División Andina de CODELCO Chile explota un yacimiento de cobre ubicada en la cuenca alta del río Blanco, V Región, mediante minería subterránea y minería a rajo abierto. Los minerales son procesados mediante flotación convencional en una planta ubicada en un sector más bajo de la cuenca para producir concentrados de cobre. Para acceder a las zonas de yacimiento con mineral de interés para el proceso, la explotación a rajo abierto requiere la remoción de roca con bajo contenido de cobre (lastre o material con ley cobre inferior a la que permite su recuperación económica), material dispuesto en botaderos de lastre ubicados al Este de operación a rajo abierto, operación que se inició en el año 1983.

Los botaderos de lastre reciben anualmente las precipitaciones de nieve que se producen durante el invierno en la cuenca alta del río Blanco. El problema se produce en períodos de deshielo (primavera y verano) la nieve derretida y las escorrentías que se generan en el área se infiltran en los botaderos, apareciendo como drenajes inmediatamente aguas debajo de ellos. Debido a las características geoquímicas de la roca estéril se produce acidificación de las aguas de derretimiento de la nieve que se infiltran en los botaderos. Las aguas acidificadas lixivian los metales presentes en la roca (principalmente cobre) en la medida que se escurren por el interior de los botaderos, incorporando estos elementos a los cursos de agua receptores.

El drenaje ácido de las rocas es un proceso que se ha desarrollado de forma natural, en el río Blanco desde antes que se iniciara la actividad minera, debido a la mineralización presente en la cuenca alta. La actividad minera a rajo abierto iniciada a comienzos de los 80 ha acentuado este proceso natural, al exponer la roca de un modo más directo al oxígeno del aire y a las escorrentías de deshielo.

En el contexto de un protocolo de cooperación firmado en octubre de 2003 y ratificado en marzo de 2004, denominado “Acuerdo Ambiental Voluntario de Saneamiento de Situaciones Ambientales derivadas de la Actividad De la División Andina”, la División ha desarrollado un proyecto denominado “**Despacho de Drenajes de Botaderos para Utilización Externa**”, el cual consiste en la colección de las aguas de deshielo que se infiltran en los botaderos de lastre y luego emergen en el área de explotación a cielo abierto de la faena minera de División Andina, el envío de estos drenajes a una empresa externa para recuperación de los contenidos de cobre, y la devolución simultánea de aguas. La empresa externa que recibirá los drenajes ácidos de los botaderos de lastre es Minera Sur Andes Ltda. (MSA), cuyas instalaciones para el proceso de estos drenajes se ubican en la faena minera Los Bronces, en la Región Metropolitana. Para tal

efecto ambas empresas mineras han suscrito un Convenio párale despacho y recepción de los drenajes de botaderos de lastre de División Andina.

El proyecto implica una inversión total estimada de **19,5 millones de dólares**. Como consecuencia de este proyecto, se reducirá significativamente el flujo de aguas ácidas incorporadas al río Blanco (y cursos inferiores), traduciéndose ello en un mejoramiento significativo de la calidad de sus aguas y a su vez permitirá continuar las actividades mineras de División Andina de manera compatible con el medio ambiente, para lo cual el proyecto habilitó un área de disposición actual y futura de lastre como sitio con drenajes controlados. Este proyecto constituye una primera fase de mejoramiento ambiental relacionado con los drenajes de los botaderos de lastre.

Cabe señalar que la División Andina trabaja paralelamente en el desarrollo de una fase complementaria (no forma parte de este proyecto), de mejoramiento de la situación ambiental anteriormente señalada, esta segunda fase, contempla la definición e implementación de acciones de carácter preventivo en la generación de drenajes de botaderos y darán lugar a un proyecto complementario de manejo de lastre y manejo hídrico en la cuenca alta del río Blanco.

10.4.1.1 Objetivos y justificación

El proyecto Despacho de drenajes de Botaderos para Utilización Externa tiene por objetivos lo siguiente:

- Mejorar la calidad de las aguas del río Blanco (y sus cursos inferiores), a través de una disminución significativa de los flujos de aguas acidificadas, con contenidos elevados de cobre que se incorporan a este río, desde el área principal de disposición de lastre de faena minera de División Andina.
- Continuar las actividades mineras de División Andina de manera compatible con el medio ambiente, para lo cual el presente Proyecto permite habilitar un área de disposición actual y futura de lastre como un sitio con drenajes controlados

10.4.1.2 Localización geográfica

El proyecto se ubica en la comuna y Provincia de los Andes, V Región, sobre la cota 3.500 m sobre el nivel del mar, en la cuenca alta del río Blanco, tributario del río Aconcagua, en torno a las coordenadas UTM 6.332.000 N y E 383.000.

El despacho de los drenajes se realizará hacia la faena minera Los Bronces, de Minera Sur Andes Ltda.. El punto de entrega de drenajes se ubica en la comuna de lo Barnechea, Provincia de Santiago, RM, cerca del límite regional (3.575 m.s.n.m en el entorno de las coordenadas UTM 6.333.000 N y 380.500 E.). El proyecto requiere instalar un sistema de conducción de aguas para llevar a cabo la devolución de desechos de aprovechamiento de aguas que se requieren en el río Blanco. Estas instalaciones se ubican en la provincia y Comuna de los Andes, V Región, en la cuenca del estero Riecillos, entre las cotas 2.375 y 2.710 m.s.n.m. y las coordenadas UTM 6.348.470 N; 373.970 E, y 6.344.620 N; 373.610 E.

La localización de las obras destinadas a la captura y conducción de los drenajes ácidos de botaderos de lastre en la cuenca alta del río Blanco, inmediatamente aguas abajo del área principal de botaderos, se justifica ya que tanto la captura como la conducción de drenajes se hará de manera gravitacional, por lo cual todas las instalaciones se deben ubicar a cota inferior respecto de los botaderos, como además, de esta forma se limita la captura de agua sólo a los drenajes generados en el área de botaderos de lastre, las obras de captura se ubicarán lo más cercanas posibles de esta área.

10.4.1.3 Superficie y cronograma de fases

El proyecto involucra un área total de obras e instalaciones de aproximadamente 10 hectáreas distribuidas de la siguiente forma:

- Cuenca alta del río Blanco (V Región) : 5 hectáreas
- Cuenca alta estero San Francisco (Región Metropolitana) :1 hectárea
- Cuenca estero Riecillos (V Región): 4 hectáreas

(Las superficies anteriores corresponden básicamente a la instalación de tuberías, construcción de túnel y botaderos de marinas del túnel.)

La fase de construcción de obras del proyecto se inicio durante el primer semestre del año 2005 y tendrá una duración estimada de 20 meses. La puesta en marcha del Proyecto está prevista para fines del año 2006.

El Proyecto considera operar durante un periodo de 25 años, según el tiempo de despacho y recepción de drenajes ácidos que ha sido convenido entre División Andina y MSA.

La fase de cierre del Proyecto se desarrollará una vez finalizado el despacho de drenajes, y tendrá una duración estimada de 6 meses

10.4.1.3 Acciones del Proyecto

Fase de construcción

- a) Construcción de Bocatomas
- b) Instalación de tubería/sifón de conducción de drenajes, incluyendo sistemas desarenadores
- c) Construcción de túnel para acceder a la faena minera Los Bronces de MSA
- d) Disposición de marinas del túnel
- e) Instalación de tubería en el Estero Riecillos, incluyendo habilitación de camino deservicio
- f) Instalación de sistemas de control a distancia

Fase de Operación

El Proyecto Despacho de Drenajes de Botaderos para la utilización Externa considera las siguientes acciones durante la fase de operación:

a) Captación de Drenajes

En relación a los caudales de drenaje, la disposición de lastre y mineral de baja ley de la explotación minera de la División Andina se realiza principalmente en un sector ubicado al oriente del yacimiento, en la cuenca alta del río Blanco, V Región. En esta área se encuentran la mayoría de los depósitos generados por la actividad pasada y presente de la División Andina. El área posee capacidad para continuar disponiendo lastre a futuro.

El área de depósitos se inserta en una subcuenca hidrológica, cuya superficie es de aproximadamente 5.8 km². La red de drenaje superficial de la subcuenca comprende dos causes principales (quebrada La Marcela y río Blanco Superior), los cuales son afluentes del río Blanco en su cuenca alta. Según un estudio hidrológico para la cuenca del río Blanco, el cual contiene una serie de caudales medios mensuales generados sintéticamente sobre la base de la ecuación de balance hídrico y la información pluviométrica y meteorológica disponible para varios puntos de interés (periodo mayo 1942 a abril 2000), se calcularon los caudales de drenaje para las áreas de botaderos de lastre (que confluyen hacia las bocatomas La Marcela y río Blanco Superior).

Según se observa en la tabla 56, en un año normal (50% de probabilidad de excedencia) el sector de depósitos de lastre ubicado en la cuenca alta del río Blanco presenta un caudal medio anual de 164 L/s, en tanto en años húmedos (10% de probabilidad de excedencia) el caudal medio anual aumenta a 257 L/s, alcanzando un valor máximo mensual de 764 L/s en el mes de enero.

Tabla 56: Caudales de Drenaje del Área de Botaderos de Lastre (L/s)

Probabilidad de excedencia	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	Prom. Anual
85% (Año seco)	26	27	26	33	56	66	108	226	267	166	48	29	90
70%	36	38	37	46	79	92	152	318	377	233	68	41	127
50% (Año Normal)	47	49	48	60	102	120	198	413	489	303	89	54	164
35%	55	57	56	71	119	140	231	483	572	354	104	63	192
25%	61	64	63	78	132	155	256	535	634	393	115	69	213
10% (Año Húmedo)	74	77	75	94	160	187	309	645	764	473	138	84	257

La Captación de los drenajes del área de depósitos de lastre en la cuenca alta del río Blanco se realizará a través de dos bocatomas construidas en los dos principales cauces que drenan aguas de deshielo en la subcuenca. En conjunto, estas obras tendrán capacidad para captar hasta 652 L/s como caudal máximo instantáneo. Este caudal de diseño ha sido definido considerando la capacidad de recepción máxima que tiene MSA para los drenajes ácidos de la División Andina.

En los períodos hidrológicos en que MSA no pueda recibir aguas de proceso de División Andina, es decir, en los períodos en que el caudal supere la capacidad de recepción acordada con MSA, las aguas de deshielo excedentes continuarán su curso normal por el cauce del río Blanco superior, tal como en la actualidad. Los caudales excedentes se evacuarán desde la tubería de excedentes dispuesta en el sistema desarenador secundario.

Actualmente la División Andina no posee derechos de aprovechamientos, para captar los drenajes del área donde se ubican los depósitos de lastre en la cuenca alta del río Blanco. Por tanto, y a objeto de efectuar las captaciones conforme a derecho, la División Andina adquirirá u obtendrá los derechos que se requieran o utilizará los de su propia cartera que sean adecuados o aprobados según requieran. Se solicitará a la Dirección General de Aguas el traslado de derechos de agua que la División posee en diversos puntos de la cuenca media y baja del río Blanco, hacia la ubicación de las obras de captación proyectadas. El traslado se solicitará para puntos en los que la División Andina posee derechos de agua de carácter no consuntivo, totalizando el caudal máximo de captación previsto (652 L/s).

b) Conducción y Despacho de Drenajes hacia MSA

Las aguas de drenaje de la cuenca alta del río Blanco (subcuenca donde se ubican los depósitos de lastre) serán enviadas a las plantas N°1 y N°2 de recuperación de cobre que opera MSA Ltda. en la faena los Bronces, ubicada en la Comuna de Lo Barnechea, Región Metropolitana, a objeto quesean procesadas para recuperación de los contenidos de cobre. El envío delas aguas se efectuará mediante una tubería /sifón entre las obras de captación de los drenajes y la cámara de entrega de los mismos en la faena Los Bronces.

Los caudales a enviar se ajustarán a las siguientes condiciones acordadas previamente entre ambas empresas:

Probabilidad de Excedencia (P.E.) de Año Hidrológico	Período	Caudal a Procesar en MSA
P.E. \geq 50%	Enero a Diciembre	652 L/s máximo
$35\% \leq$ P.E. < 50%	Febrero a Noviembre Diciembre y Enero	652 L/s máximo 300L/s máximo
$25\% \leq$ P.E. < 35%	Febrero a Noviembre Diciembre y Enero	652 L/s máximo 100L/s máximo
P.E. < 25%	Marzo a Octubre Noviembre a Febrero	652 L/s máximo 0L/s

En la medida que exista capacidad disponible en el sistema de conducción y despacho de drenajes a MSA, por ejemplo en años y/o meses relativamente secos con caudal generado en el área de botaderos inferior a 652 L/s, División Andina podrá incorporar a este sistema caudales adicionales de drenajes con contenidos de cobre provenientes de otros puntos de su faena minera, de modo de aprovechar la capacidad disponible del sistema.

c) Devolución de aguas

La devolución de las aguas de drenaje captadas en el área donde se ubican los depósitos de lastre en la cuenca alta del río Blanco se realizará a partir de la entrega de aguas por parte de MSA, según lo establecido en el convenio suscrito entre ambas empresas y a partir de derechos consuntivos de agua que posee la División Andina en el río Blanco,.

MSA devolverá a División Andina un caudal equivalente al 92% del agua recibida para proceso, para lo cual se utilizarán derechos de aprovechamiento de carácter consuntivo, de ejercicio permanente y continuo que posee MSA en el estero Riecillos, V Región. Esta devolución se efectuará condicionada a que el respectivo cause cuenta con caudal suficiente, respetando en todo caso los caudales mínimos que se deben dejar escurrir en el estero, según la autorización ambiental otorgada para las captaciones de agua en el resto Riecillos (Resolución exenta N°012 de fecha 27 de junio de 1997 de Dirección Ejecutiva de la Comisión Nacional del Medio Ambiente).

Las aguas de restitución serán obtenidas del sistema de conducción, que opera MSA en la cuenca alta del estero Riecillos, para abastecimiento de la faena Los Bronces. La División Andina no intervendrá ni operará las bocatomas que posee MSA en este sector del estero.

Para el envío de las aguas de restitución desde el estero Riecillos hasta río Blanco, División Andina empleará la tubería instalada a lo largo de la ribera Este del estero y por un túnel N°1 de la canaleta de relaves de la División. La tubería se prolongará a lo largo de este túnel hasta el punto de restitución de aguas en el río Blanco.

La restitución de derechos no consuntivos en el río Blanco se complementará a partir de derechos de aprovechamiento de carácter consuntivo, de ejercicio permanente y continuo que posee División Andina.

d) Control Operacional

El proyecto dispondrá de un sistema de monitoreo de caudales compuesto por los siguientes dispositivos:

- Medidor electrónico de flujo de agua y válvula de control instalado en el sector del desarenador secundario del sifón de cruce del río Blanco, este dispositivo permitirá controlar permanentemente el caudal de drenajes ácidos enviados a MSA.

- Medidor electrónico de flujo de agua y válvula de control instalado en la tubería de devolución de aguas de MSA en el estero Riecillos, este dispositivo permitirá controlar permanentemente el caudal de devolución de MSA.
- Medidor electrónico de flujo de agua y válvula de control instalado en el punto de restitución correspondiente a derechos de División Andina (Dren Torre N°1 Los Leones, en la sección de salida de este dren), este dispositivo permitirá controlar permanentemente el caudal complementario de restitución, de tal forma de totalizar el 100% del caudal de drenaje entre las aguas devueltas por MSA y las aguas obtenidas de este dren.

Los dispositivos de medición de caudal contarán con un sistema de transmisión de información vía radio hacia la sala de control de División Andina y paralelamente hacia la planta de procesos de MSA en los Bronces. Los caudales quedarán registrados en forma magnética y estarán a disposición de la autoridad para efectos de fiscalización

EQUIPO EJECUTOR DEL PROYECTO

Jefe de Proyecto

Carlos Valdovinos Jeldes. Médico Veterinario. Postítulo en Gestión y Ordenamiento Ambiental. MSc (c)

Calidad de aguas superficiales y subterráneas

Carlos Valdovinos Jeldes.

César Mattar Martínez. Médico Veterinario. Postítulo en Gestión y Ordenamiento Ambiental.

Jocelyn Levy Gutiérrez. Médico Veterinario.

Dr. Manuel Ruiz Monje. Químico.

Calidad de suelos

Mario Urra Simonet. Ingeniero Agrónomo. Postítulo en Gestión y Ordenamiento Ambiental. MSc (c)

Dr. Manuel Casanova. Ingeniero Agrónomo. MSc .

Ecotoxicología

Paulina Sotomayor Cadenasso. Médico Veterinario.

Paulina Silva Arenas. Médico Veterinario.

Olga Aros Domínguez. Médico Veterinario.

Marcela Lara Fica. Médico Veterinario.

Carlos Valdovinos Jeldes

SIG Ambiental

Carlos Pattillo Ingeniero Civil

Marisol Bruna Técnico Forestal

Augusto González Venegas. Ingeniero Forestal. MSc.

Rocío Guerrero Médico Veterinario

César Mattar Martínez

Biomarcadores en Fauna Silvestre

Dr. Pedro Cattán Ayala. Médico Veterinario.

Dr. Rigoberto Solís Biólogo.

Danilo Vargas Bioquímico. MSc

Rafael Bonnet Médico Veterinario.

Macarena Rodríguez Egresada Medicina Veterinaria.

Modelación

Ana María Gangas Ingeniero Civil
Álvaro San Martín Ingeniero Civil en Geografía
Mauricio Zambrano Ingeniero Civil