



UNIVERSIDAD DE CONCEPCION
CENTRO EULA-CHILE



Informe Final

***“DIAGNÓSTICO Y PLAN DE GESTIÓN PARA LA CALIDAD
DEL AGUA DEL EMBALSE RAPEL”***

Preparada para:

MINISTERIO MEDIOAMBIENTE REGION DE O´HIGGINS

Abril, 2011

INDICE

| | |
|--|-----|
| RESUMEN EJECUTIVO | 10 |
| 1. INTRODUCCION | 17 |
| 2. PROGRAMAS DE MONITOREO..... | 17 |
| 2.1. Estructura de usos del suelo | 17 |
| 2.1.1 Materiales y métodos | 18 |
| 2.1.2 Resultados | 20 |
| 2.1.3. Conclusiones..... | 37 |
| 2.2 Identificación de actividades productivas en las comunas con influencia al embalse Rapel. | 38 |
| 2.2.1 Caracterización de las descargas puntuales..... | 38 |
| 2.2.2 Resultados | 39 |
| 2.2.3 Conclusiones..... | 54 |
| 2.3. Instrumentos de planificación vigentes en el área de estudio | 55 |
| 2.3.1 Metodología..... | 55 |
| 2.3.2 Resultados | 55 |
| 2.3.3. Conclusiones..... | 61 |
| 2.4. Monitoreo hidrológico | 63 |
| 2.4.1 Cuenca embalse Rapel | 63 |
| 2.4.2 Conclusiones..... | 95 |
| 2.5 Monitoreo de calidad de agua y sedimentos..... | 96 |
| 2.5.1 Aguas superficiales | 96 |
| 2.5.2 Metodología | 98 |
| 2.5.3 Resultados | 99 |
| 2.5.4 Conclusiones..... | 134 |
| 2.6. Calidad de los Sedimentos | 135 |
| 2.6.1 Metodología | 135 |
| 2.6.2 Resultados | 136 |
| 2.6.3 Conclusiones..... | 144 |
| 2.7 Biondicadores de calidad del agua..... | 144 |
| 2.7.1 Fitoplancton | 144 |
| 2.7.2. Zooplancton | 161 |
| 2.7.3 Bioensayos de toxicidad..... | 170 |
| 3 PLAN DE GESTIÓN EMBALSE RAPEL..... | 177 |

| | |
|---|-----|
| 3.1 Introducción | 177 |
| 3.2. Objetivos de la propuesta de gestión | 179 |
| 3.3 Diagnóstico participativo..... | 180 |
| 3.3.1 Identificación de actores involucrados con el embalse Rapel | 181 |
| 3.3.2 Usos actuales y potenciales identificados por los participantes de los talleres | 181 |
| 3.3.3 Problemáticas ambientales identificados por los participantes de los talleres..... | 185 |
| 3.3.4 Propuesta de integrantes para formar el futuro Comité de Gestión para la implementación del plan de gestión | 187 |
| 3.4 Zonificación y lineamientos preliminares | 187 |
| 3.5 Programas específicos de gestión | 192 |
| 3.5.1 Plan de Gestión en alerta temprana y medidas de contingencias..... | 192 |
| 3.5.2 Programa de Gestión en Rehabilitación..... | 197 |
| 3.5.3 Plan de Gestión en Turismo y Recreación..... | 204 |
| 3.5.5 Plan de Gestión en Administración | 217 |
| 4. INDICADORES AMBIENTALES Y DE GESTIÓN | 224 |
| ANEXO I: Calidad del agua..... | 229 |
| ANEXO II: Informe taller participación ciudadana | 244 |
| ANEXO III: Seminario de finalización de proyecto | 274 |
| ANEXO IV: Material de difusión y educación ambiental | 286 |

FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1: Mapa de Ubicación comunas en estudio..... | 18 |
| Figura 2: Uso del suelo en porcentaje (%). | 21 |
| Figura 3: Estructura de uso del suelo en comunas del área de influencia. | 22 |
| Figura 4: Uso de suelo, La Estrella. | 23 |
| Figura 5: Uso de suelo, Las Cabras. | 23 |
| Figura 6: Uso de suelo, Litueche. | 24 |
| Figura 7: Uso de suelo, Pichidegua..... | 24 |
| Figura 8: Subcuencas principales Embalse Rapel. | 26 |
| Figura 9: Uso de suelo Subcuenca Tinguiririca Alto..... | 27 |
| Figura 10: Uso de suelo Subcuenca Tinguiririca Bajo..... | 28 |
| Figura 11: Uso de Suelo Subcuenca Cachapoal Alto. | 29 |
| Figura 12: Uso de Suelo Subcuenca Cachapoal Bajo..... | 30 |
| Figura 13: Uso de Suelo Subcuenca Alhué. | 32 |
| Figura 14: Uso de Suelo Subcuenca Rapel..... | 33 |
| Figura 15: Actividades mineras en área de estudio. | 35 |
| Figura 16: Uso de suelo y estaciones de calidad del agua..... | 36 |
| Figura 17: Número de industrias o actividad productiva por comuna. | 40 |
| Figura 18: Ubicación espacial de las actividades industriales catastradas en el área de estudio..... | 46 |
| Figura 19: Ubicación de la actividades productivas con descargas de RILES en el área de estudio..... | 49 |
| Figura 20: Planteles porcinos existentes en el área de estudio..... | 52 |
| Figura 21: Zonificación según Plan Regulador de la comuna de Las Cabras. | 60 |
| Figura 22: Subcuencas de los tributarios del embalse Rapel. Elaboración propia. | 63 |
| Figura 23: Red hídrica embalse Rapel. | 65 |
| Figura 24: Curva de variación estacional del caudal, Río Cachapoal (Parte Alta). | 66 |
| Figura 25: Curva de variación estacional del caudal, Río Pangal. | 66 |
| Figura 26: Curva de variación estacional del caudal, Estero Cadenas. | 67 |
| Figura 27: Curva de variación estacional del caudal, Río Cachapoal (Parte Baja). | 67 |
| Figura 28: Curva de variación estacional del caudal, Río Cachapoal (Parte Alta) | 68 |
| Figura 29: Curva de variación estacional del caudal, Río Claro. | 69 |
| Figura 30: Curva de variación estacional del caudal, Estero Chimbarongo. | 70 |
| Figura 31: Curva de variación estacional del caudal, Tinguiririca en los Olmos..... | 71 |
| Figura 32: Caudales medidos en la estación R-3 durante las distintas campañas..... | 72 |
| Figura 33: Estero Alhué después de junta con estero Carén (Estación R-3). | 73 |
| Figura 34: Caudales medidos en la estación R-4 durante las distintas campañas..... | 74 |
| Figura 35: Estero Las Palmas en el Durazno (Estación R-4). | 75 |
| Figura 36: Caudales medidos en la estación R-7 durante las distintas campañas..... | 76 |
| Figura 37: Estero Las Cadenas (Estación R-7). | 77 |
| Figura 38: Evolución de la cota del embalse durante el periodo 1994-2010. | 79 |
| Figura 39: Fósforo total aportado por los tributarios..... | 82 |
| Figura 40: Nitrógeno total aportado por los tributarios. | 82 |
| Figura 41: Distribución porcentual aporte de fósforo por tributario al embalse Rapel. .. | 83 |
| Figura 42: Distribución porcentual aporte de nitrógeno por tributario al embalse Rapel..... | 83 |

| | |
|---|-----|
| Figura 43: Ubicación aproximada de las condiciones de borde utilizadas en el modelo. | 85 |
| Figura 44: Localización de puntos digitalizados para el desarrollo de la batimetría digital del Embalse Rapel. | 86 |
| Figura 45: Grilla numérica ortogonal en formato de batimetría del embalse con resolución de elementos de 50m x 50m. | 87 |
| Figura 46: Rosa de viento diciembre 2009. | 88 |
| Figura 47: Rosa de viento enero 2010. | 89 |
| Figura 48: Rosa de viento febrero 2010. | 90 |
| Figura 49: Vientos promedios y direcciones predominantes sobre el embalse Rapel durante el periodo de Diciembre 2009 a Febrero 2010. | 91 |
| Figura 50: Magnitud de velocidades en el embalse Rapel indicando los flujos característicos en la cubeta Cachapoal y Alhué. | 92 |
| Figura 51: Magnitud de temperaturas en el embalse Rapel forzadas por los flujos característicos en la cubeta Cachapoal y Alhué. | 93 |
| Figura 52: Campo de concentraciones de fósforo simuladas. | 94 |
| Figura 53: Campo de concentraciones de nitratos simulado. | 95 |
| Figura 54: Ubicación de las estaciones de muestreo de agua superficial. | 97 |
| Figura 55: Promedio del pH por cubeta en el embalse Rapel durante el periodo agosto 2009 – octubre 2010. | 100 |
| Figura 56: Variabilidad de la temperatura en el embalse Rapel durante el periodo agosto 2009 – octubre 2010. | 101 |
| Figura 57: Variabilidad de la conductividad en el embalse Rapel durante el periodo agosto 2009 – octubre 2010. | 102 |
| Figura 58: Variabilidad del amonio en el embalse Rapel durante el periodo agosto 2009 – octubre 2010. | 103 |
| Figura 59: Variabilidad del fósforo total en el embalse Rapel durante el periodo agosto 2009 – octubre 2010. | 104 |
| Figura 60: Variabilidad del nitrato en el embalse Rapel durante el periodo agosto 2009 – octubre 2010. | 105 |
| Figura 61: Variabilidad de la nitógeno total en el embalse Rapel durante el periodo agosto 2009 – octubre 2010. | 106 |
| Figura 62: Variabilidad del oxígeno disuelto en el embalse Rapel durante el periodo agosto 2009 – octubre 2010. | 107 |
| Figura 63: Variabilidad del sulfato en el embalse Rapel durante el periodo agosto 2009 – octubre 2010. | 108 |
| Figura 64: Variabilidad de la alcalinidad en el embalse Rapel durante el periodo agosto 2009 – octubre 2010. | 109 |
| Figura 65: Variabilidad de la DBO ₅ en el embalse Rapel durante el periodo agosto 2009 – octubre 2010. | 110 |
| Figura 66: Variabilidad de los sólidos suspendidos en el embalse Rapel durante el periodo agosto 2009 – octubre 2010. | 111 |
| Figura 67: Variabilidad del color verdadero en el embalse Rapel durante el periodo agosto 2009 – octubre 2010. | 112 |
| Figura 68: Variabilidad de metales en el embalse Rapel durante el periodo agosto 2009 – octubre 2010. | 113 |

| | |
|--|-----|
| Figura 69: Variabilidad de coliformes fecales (NMP/100ml) en el embalse Rapel durante el periodo agosto 2009 – octubre 2010 | 114 |
| Figura 70: Variabilidad de coliformes totales (NMP/100ml) en el embalse Rapel durante el periodo agosto 2009 – octubre 2010 | 115 |
| Figura 71: Alcalinidad en los tributarios embalse Rapel..... | 121 |
| Figura 72: Concentración de amonio en los tributarios embalse Rapel | 122 |
| Figura 73: Conductividad en los tributarios embalse Rapel. | 122 |
| Figura 74: DBO ₅ en los tributarios embalse Rapel. | 123 |
| Figura 75: DQO en los tributarios embalse Rapel..... | 123 |
| Figura 76: Concentración de nitrato en los tributarios embalse Rapel. | 124 |
| Figura 77: Concentración de nitrito en los tributarios embalse Rapel. | 124 |
| Figura 78: Concentración de nitrógeno en los tributarios embalse Rapel. | 125 |
| Figura 79: Concentración de ortofosfato en los tributarios embalse Rapel. | 125 |
| Figura 80: Concentración de fósforo soluble en los tributarios embalse Rapel..... | 126 |
| Figura 81: Concentración de fósforo total en los tributarios embalse Rapel. | 126 |
| Figura 82: Concentración de oxígeno disuelto en los tributarios embalse Rapel. | 127 |
| Figura 83: pH en los tributarios embalse Rapel..... | 127 |
| Figura 84: Concentración de sólidos suspendidos totales en los tributarios embalse Rapel..... | 128 |
| Figura 85: Concentración de sulfato en los tributarios embalse Rapel..... | 129 |
| Figura 86: Temperatura en los tributarios embalse Rapel..... | 129 |
| Figura 87: Color verdadero en los tributarios embalse Rapel..... | 130 |
| Figura 88: Concentración de cobre en los tributarios embalse Rapel. | 130 |
| Figura 89: Concentración de hierro en los tributarios embalse Rapel..... | 131 |
| Figura 90: Concentración de molibdeno en los tributarios embalse Rapel..... | 131 |
| Figura 91: Concentración de zinc en los tributarios embalse Rapel..... | 132 |
| Figura 92: Coliformes fecales en los tributarios embalse Rapel..... | 133 |
| Figura 93: Coliformes totales en los tributarios embalse Rapel..... | 133 |
| Figura 94: Histogramas de distribución de tamaños de las muestras analizadas. | 139 |
| Figura 95: Clasificación textural de los sedimentos del embalse. | 140 |
| Figura 96: Concentraciones de metales pesados en los sedimentos del embalse, durante los dos muestreos realizados en este proyecto... .. | 142 |
| Figura 97: Concentraciones de metales pesados, contenido de materia orgánica y nitrógeno en los sedimentos del embalse, durante los dos muestreos realizados en este proyecto (agosto 2009 y mayo 2010). | 143 |
| Figura 98: Abundancia relativa de los distintos grupos del fitoplancton por estación de muestreo y época el año. Chlorophyceae; Bacillariophyceae; Cyanophyceae, Otras (Crypthophyceae, Chrysophyceae, Dinophyceae). | 153 |
| Figura 99: Análisis de ordenamiento por escalamiento multidimensional no paramétrico (nMDS), para la abundancia estacional del fitoplancton, empleando datos transformados a logaritmo y matriz de similitud Bray & Curtis..... | 154 |
| Figura 100: Análisis de ordenamiento por escalamiento multidimensional no paramétrico (nMDS), para la abundancia del fitoplancton por cubeta, empleando datos transformados a logaritmo y matriz de similitud Bray & Curtis..... | 155 |
| Figura 101: Análisis de ordenamiento por escalamiento multidimensional no paramétrico (nMDS), para las variables físico-químicas por estación anual, empleando los datos normalizados y el índice de distancia Euclidiana. | 156 |

| | |
|--|-----|
| Figura 102: Análisis de ordenamiento por escalamiento multidimensional no paramétrico (nMDS), para las variables físico-químicas cubeta, empleando los datos normalizado y el índice de distancia Euclidiana. | 156 |
| Figura 103: Cluster de similitud utilizando el índice de Bray & Curtis, para los 6 muestreos y utilizando las abundancias de las 6 estaciones evaluadas. | 166 |
| Figura 104: Análisis de Similitud (Anosim) a) fechas, b) estaciones y c) cubetas, considerando los 5 muestreos realizados y utilizando las abundancias de las 6 estaciones evaluadas. | 167 |
| Figura 105: Gráfico del análisis de ordenación mediante escalamiento multidimensional no métrico (NMDS), en términos de abundancia de las estaciones por fechas de muestreos. | 168 |
| Figura 106: Cluster de similitud utilizando el índice de Bray & Curtis, para los 5 muestreos realizados y utilizando las abundancias de las 6 estaciones evaluadas.... | 169 |
| Figura 107: Secuencia de decisiones a tomar para realizar el plan de gestión (extraído de Ryding & Rast, 1992). | 179 |
| Figura 108: Usos actuales determinados por los participantes de los talleres de la comuna de Las Cabras y La Estrella. | 183 |
| Figura 109: Usos potenciales determinados por los participantes de los talleres de la comuna de Las Cabras y La Estrella. | 184 |
| Figura 110: Problemas ambientales identificados por los participantes de los talleres de la comuna de Las Cabras y La Estrella. | 186 |
| Figura 111: Zonificación Indicativa para propuesta de Plan de Gestión para la Calidad del Agua del Embalse Rapel. | 190 |
| Figura 112: Carta comparativa entre Anteproyecto Plan Regulador Intercomunal Embalse Rapel y Zonificación Indicativa Plan de Gestión para la Calidad del Agua del Embalse Rapel. | 191 |
| Figura 113: Propuesta de comité de gestión local. | 219 |

TABLAS

| | |
|---|-----|
| Tabla 1: Uso actual del suelo área de influencia..... | 21 |
| Tabla 2: Superficie total sembrada o plantada por grupo de cultivos (ha), según provincia y comuna | 25 |
| Tabla 3: Superficie total sembrada o plantada por grupo de cultivos (ha), según comuna estudiada | 25 |
| Tabla 4: Uso actual de suelo Subcuenca Tinguiririca Alto. | 27 |
| Tabla 5: Uso actual de suelo Subcuenca Tinguiririca Bajo | 28 |
| Tabla 6: Uso actual de suelo Subcuenca Cachapoal Alto..... | 30 |
| Tabla 7: Uso actual de suelo Subcuenca Cachapoal Bajo..... | 31 |
| Tabla 8: Uso actual de suelo Subcuenca Alhué..... | 32 |
| Tabla 9: Uso actual de suelo Subcuenca Rapel..... | 34 |
| Tabla 10: Fuentes de información para la consultoría..... | 38 |
| Tabla 11: Criterios de llenado de la base de datos. | 39 |
| Tabla 12: Actividades productivas identificadas en el área de estudio..... | 41 |
| Tabla 13: Actividades productivas que descargan al embalse Rapel o bien en sus tributarios..... | 47 |
| Tabla 14: Caracterización física, química y microbiológica de las descargas en el embalse Rapel. | 48 |
| Tabla 15: Actividades económicas de acuerdo a los códigos CIIU. | 51 |
| Tabla 16: Caudales registrados en las campañas de aforo. | 72 |
| Tabla 17: Caudales medios mensuales ríos Cachapoal y Tinguiririca. | 78 |
| Tabla 18: Concentraciones de fósforo y nitrógeno total medidos en las campañas de terreno..... | 80 |
| Tabla 19: Caudales en los tributarios. | 80 |
| Tabla 20: Estimación carga de fósforo total al embalse Rapel..... | 81 |
| Tabla 21: Carga de nitrógeno total al embalse Rapel estimadas | 81 |
| Tabla 22: Nombre y ubicación de las estaciones de muestreo. | 96 |
| Tabla 23: Parámetros y métodos analíticos considerados en el presente estudio..... | 98 |
| Tabla 24: Resultados de los parámetros microbiológicos de las estaciones monitoreadas en el embalse Rapel en mayo, julio y octubre de 2010. | 116 |
| Tabla 25: Determinación de clasificación trófica: Cubeta Alhué; Cubeta Cachapoal; Cubeta: Muro..... | 117 |
| Tabla 26: Clasificación del estado trófico TSI según Carlson (1977). | 118 |
| Tabla 27: Resultados del Índice del Estado Trófico (TSI) de embalse Rapel..... | 118 |
| Tabla 28: Estimación del nutriente limitante en el embalse Rapel. | 121 |
| Tabla 29: Resultados de los parámetros microbiológicos de las estaciones monitoreadas en los tributarios del embalse Rapel en mayo, julio y octubre de 2010. | 133 |
| Tabla 30: Parámetros granulométricos de las muestras analizadas. | 138 |
| Tabla 31. Facies texturales de las muestras analizadas..... | 138 |
| Tabla 32: Concentraciones de los parámetros químicos en los sedimentos del embalse Rapel. | 141 |
| Tabla 33: Lista de taxa presentes en el embalse Rapel..... | 151 |
| Tabla 34: Parámetros comunitarios estimados para el fitoplancton del embalse Rapel..... | 152 |

| | |
|---|-----|
| Tabla 35: Análisis de similitud (ANOSIM) de variables ambientales y variables biológicas entre las distintas estaciones del año y entre las cubetas del embalse Rapel..... | 157 |
| Tabla 36: Porcentaje de contribución de especies por estación del año..... | 158 |
| Tabla 37: Variables ambientales que explican el patrón de abundancia del fitoplancton..... | 158 |
| Tabla 38: Composición del zooplancton en los tres sitios de muestreo del embalse Rapel durante el estudio 2003..... | 162 |
| Tabla 39: Composición del zooplancton en los tres sitios de muestreo del embalse Rapel durante el estudio 2003..... | 164 |
| Tabla 40: Composición y abundancia del zooplancton en las tres cubetas muestreadas del Embalse Rapel, obtenida en noviembre de 2009, enero, mayo, julio y octubre de 2010..... | 165 |
| Tabla 41: (a) Resultados de los bioensayos de toxicidad aguda con <i>D. magna</i> , para las muestras de los tributarios (R-1, R-2, R-3, R-4, R-5, R-6 y R-7) del río Rapel y (b) para las muestras del embalse (E-1, E-2, E-3, E-4, E-5 y E-6) durante el mes de noviembre de 2009..... | 171 |
| Tabla 42: (a) Resultados de los bioensayos de toxicidad aguda con <i>D. magna</i> , para las muestras de los tributarios (R-1, R-2, R-3, R-4, R-5, R-6 y R-7) del río Rapel y (b) para las muestras del embalse (E-1, E-2, E-3, E-4, E-5 y E-6) durante el mes de mayo de 2010..... | 171 |
| Tabla 43: Resultados de los bioensayos de toxicidad aguda con <i>D. magna</i> , para las muestras de los tributarios (R-1, R-2, R-3, R-4, R-5, R-6 y R-7) del río Rapel durante el mes de octubre de 2010..... | 172 |
| Tabla 44: Valores promedio de neonatos producidos por <i>D. magna</i> , desviación estándar, varianza y valor t del test de Dunnett a los 21 días de exposición durante el mes de noviembre de 2009..... | 173 |
| Tabla 45: Valores promedio de neonatos producidos por <i>D. magna</i> , desviación estándar, varianza y valor t del test de Dunnett a los 21 días de exposición durante el mes de Mayo de 2010..... | 174 |
| Tabla 46: Densidad celular (N (células ml ⁻¹ x10 ⁵), tasa de crecimiento absoluta (k div.día ⁻¹) y relativa (% k del control) y % de inhibición y de activación de la tasa de crecimiento de <i>Selenastrum capricornutum</i> , en las muestra de agua ensayada al 50 y 100% de su concentración durante el mes de noviembre 2009..... | 175 |
| Tabla 47: Cronograma de actividades..... | 194 |
| Tabla 48: Propuesta de costos priorizados por actividad..... | 195 |
| Tabla 49: Cronograma de actividades..... | 200 |
| Tabla 50: Propuesta de costos priorizados por actividad..... | 201 |
| Tabla 51: Cronograma de actividades..... | 206 |
| Tabla 52: Propuesta de costos priorizados por actividad..... | 207 |
| Tabla 53: Cronograma de actividades..... | 210 |
| Tabla 54: Propuesta de costos priorizados por actividad..... | 211 |
| Tabla 55: Cronograma de actividades..... | 215 |
| Tabla 56: Propuesta de costos priorizados por actividad..... | 216 |
| Tabla 57: Cronograma de actividades..... | 221 |
| Tabla 58: Propuesta de costos priorizados por actividad..... | 222 |
| Tabla 59: Indicadores de calidad..... | 224 |

RESUMEN EJECUTIVO

En el presente informe se entregan los resultados de las actividades realizadas entre los meses de agosto de 2009 y abril de 2011, correspondientes al informe final del presente proyecto. Estas corresponden a las siguientes actividades: estructura de uso de suelo, identificación de actividades productivas, monitoreo hidrológico (medición de caudales) y modelación, calidad de agua y sedimentos, indicadores biológicos y diseño del plan de gestión del embalse Rapel.

Uso de suelo

La cobertura de uso de suelo más dominante es la de matorral, el uso de suelo más importante en las comunas estudiadas es el uso agrícola, llegando en algunas comunas a dominar casi en su totalidad la superficie de terreno, seguido de las plantaciones forestales y praderas destinadas a pastoreo de vacunos.

Las principales actividades que se desarrollan en los suelos agrícolas, según lo observado en actividades de terreno, son los cultivos agro-industriales tales como la vitivinicultura, fruticultura, y el cultivo de maíz, este último vinculado a la industria avícola y porcina que se ubica en toda el área de influencia del embalse. Según el catastro de actividades económicas desarrollado en el curso de este estudio (Informe 4 página 12), estas actividades agro-industriales se distribuyen en los valles de los principales afluentes del embalse Rapel, especialmente en las comunas de La Cabras, La Estrella y Pichidegua, por lo que se esperaría una fuerte influencia en la composición y calidad del agua.

De acuerdo a la integración de los datos entre calidad de agua y el uso de suelo principalmente agrícola, se puede observar una relación entre los altos valores de DBO₅, DQO, sólidos suspendidos, compuestos inorgánicos y coliformes fecales y el uso de suelo principalmente agrícola en dichas áreas, estableciéndolo como uno de los principales generadores de impactos ambientales, incrementando la concentración de material particulado y de agroquímicos en el embalse.

Respecto a la actividad minera, las explotaciones en la cuenca del Estero Alhué, y la presencia del embalse de relaves de aguas claras Carén, sugieren un aumento de las concentraciones de sulfatos, sólidos suspendidos, molibdeno y conductividad en el embalse Rapel. Estos impactos son validados al observar los datos de calidad de agua para las estaciones de muestreo del estero Alhué, donde los valores máximos para estos parámetros están asociados exclusivamente a dichas estaciones.

Actividades productivas

Los resultados obtenidos, indican que las principales actividades industriales adyacentes al embalse Rapel, son la agroindustria y los frigoríficos relacionados con la conservación (packing). A su vez la agroindustria presenta gran diversidad en el

área de estudio, como actividad frutícola y cría de aves y porcinos. La industria vitivinícola por su parte, abarca grandes superficies de plantaciones frutales y viñas e involucra como cadena productiva, los packing e industrias elaboradoras de productos alimenticios.

Las comunas que presentan mayor actividad productiva son Pichidegua (42,5%), Las Cabras (26,5%) y La Estrella (11,5%), asociada a la empresa agrícola, actividades pecuarias y/o pesca, madera, minería y manufacturera. Por su parte, las comunas de Peumo (9,7%), Marchigüe (4,4%), Litueche (2,7%), Alhué (1,8%) y Navidad (0,9%), presentan porcentajes inferiores al 10%. El rubro productivo que presenta un mayor porcentaje de actividad en el área de estudio corresponde a la crianza de cerdos, que concentra el 30,0 %, localizándose principalmente en las comunas de Pichidegua, Las Cabras, La Estrella y Marchigüe.

De las 114 actividades productivas sólo seis presentan descargas de emisiones líquidas que llegan directamente al embalse o alguno de sus tributarios en el área de estudio. De las seis descargas identificadas, cinco corresponden a plantas de tratamiento de aguas servidas de las comunas de Pichidegua, La Estrella, Peumo y Las Cabras. La sexta actividad corresponde a la descarga de aguas claras de relaves del embalse Carén, perteneciente a Codelco-Chile, División El Teniente.

Además, durante el mes de mayo de 2010 se realizó un monitoreo y análisis físico, químico y microbiológico de cuatro descargas identificadas, correspondientes a las comunas de Las Cabras (Villa O'Higgins), Pichigua (Malpaso y Patagua) y Alhué.

Instrumentos de planificación vigentes en el área de estudio.

En el Plan Regulador Intercomunal del embalse Rapel se privilegia la zonificación con usos de vivienda y de equipamiento (comunitario) para la comunidad residente en forma permanente que también puede servir de apoyo a la población temporal (Z2, Z3 y Z4).

La importancia del turismo de acuerdo a la descripción de la zona Z1 destinada preferentemente a viviendas de temporadas vinculadas a las actividades recreacionales o turísticas. Asimismo, la zona Z3 es destinada preferentemente al desarrollo de actividades asociadas al turismo (acampamiento, equipamiento recreativo y deportes náuticos).

Respecto de las zonas con restricciones de uso es importante considerar la existencia de una zona (ZR1) destinada a la preservación de playas y riberas de cauces naturales entre los que se destaca el embalse Rapel.

Además, el Plan Regulador Intercomunal del embalse Rapel incorpora la protección del ambiente en la definición de la zona ZI donde el uso del suelo debe propender al mantenimiento y reforzamiento de las condiciones naturales y artificiales imperantes. De igual modo se plantean condiciones de zonificación y usos del suelo que

reconocen la presencia de terrenos con atractivos turísticos, usos rurales y suelos agrícolas y forestales, indicando expresamente la necesidad de preservar y mejorar el paisaje y evitar la erosión de los terrenos (ZR2 y ZR4).

En relación a los usos se observa una especial preocupación por la vivienda para residentes permanentes y temporales (Z1 y Z2). Además se destaca la importancia del comercio y del equipamiento turístico, recreacional y deportivo que se permite en las zonas Z1, Z3, Z4, ZR1. En este último caso se destaca el apoyo que el instrumento ofrece al desarrollo del equipamiento recreacional y deportivo como muelles y desembarcaderos para deportes náuticos.

Actualmente, se encuentra en proceso de elaboración del nuevo Plan Regulador Intercomunal denominado "Cachapoal Poniente", que comprende las comunas de: San Vicente de Tagua Tagua, Peumo, Pichidegua y Las Cabras.

Monitoreo hidrológico y modelación

De la comparación de los periodos de muestreo se aprecia un marcado régimen estacional de los caudales, donde los mayores caudales se presentan en los meses con mayores precipitaciones, es decir, un régimen pluvial. Cabe mencionar que el estero Las Palmas mantiene su caudal, debido a que este proviene de sistemas de riego, los cuales operan a mayor capacidad durante las estaciones más secas (primavera-verano).

Los principales aportes de nutrientes al embalse Rapel se encuentran determinados por los ríos Cachapoal y Tinguiririca. Las cargas provenientes de estos aportes son luego distribuidos en el embalse, manteniendo la dirección de escurrimiento de dichos ríos. Cabe destacar que una parte importante de los aportes de nutrientes generados en la cubeta Cachapoal son conducidos hacia la cubeta Alhué donde son retenidos debido a los mayores tiempos de residencia de ésta cubeta. Lo anterior determina además que las mayores concentraciones de nutrientes se localicen en la zona central del embalse, es decir, cerca de la unión de las cubetas, donde además se producen las temperaturas más elevadas, generándose condiciones que puedan ser favorables para la proliferación de microalgas.

Es importante indicar que una modelación acabada a nivel diario, necesariamente requiere de datos al mismo nivel temporal, es decir, se deben caracterizar los forzantes y condiciones de borde para el modelo hidrodinámico y de nutrientes diariamente. Para este estudio se tuvo que recurrir a valores medios mensuales que fueron artificialmente distribuidos al nivel diario, si bien esta metodología representa la mejor aproximación posible es relevante notar que hay espacio de mejora para el proceso de simulación matemática.

Calidad de agua

De acuerdo a los resultados obtenidos del análisis del estado trófico, es posible señalar que todas las cubetas del embalse presentan una condición eutrófica e hipertrófica, siendo la cubeta Alhué la que presenta los mayores niveles de productividad.

En general, en el presente estudio tanto los coliformes fecales como totales estuvieron dentro de los requisitos establecidos por la Norma Chilena Oficial N° 1333/78, para agua destinada a Uso Recreativo con Contacto Directo (1.000 NMP/100ml).

Desde un punto de vista microbiológico se puede indicar que la contaminación fecal en el embalse Rapel principalmente es de origen animal al igual que sus tributarios. Sin embargo fue posible observar contaminación puntual de origen presumiblemente humano en la cubeta Alhué, asociado a la descarga de la Planta de Tratamiento de Aguas servida de la población María Eliana (sector de El Durazno) pero con valores menores a 1000 NMP/100 ml.

La relación N/P utilizada para determinar el nutriente limitante del crecimiento de las algas y plantas acuáticas, estableció que el fósforo es el elemento limitante para el desarrollo de las floraciones algales, por lo tanto sería necesario implementar medidas para controlar las cargas que ingresan al embalse, especialmente a través de los ríos Cachapoal y Tinguiririca.

Al contrario de lo observado en las estaciones del embalse, en los tributarios regularmente se midieron niveles por sobre lo señalado por la Norma Chilena (N°1333/78), especialmente en las estaciones ubicadas en el estero las Palmas y el río Tinguiririca. Esta contaminación tendría origen difuso y estaría asociada a las actividades productivas que se desarrollan en estas cuencas.

Los resultados del índice de contaminación fecal (Razón CF/EF), indican señala que la contaminación fecal en los tributarios del embalse Rapel, es mayoritariamente de origen animal.

En relación a las cargas que llegan al embalse a través de los tributarios, es posible concluir que los mayores aporte de sulfatos y molibdeno provienen del estero Alhué, que recibe las descargas de aguas claras de relaves del embalse Carén. Por otra parte, el estero Las Palmas y los ríos Cachapoal y Tinguiririca son los que contienen las mayores aportes de nutrientes (nitrógeno y fósforo total) y coliformes fecales al embalse Rapel.

Calidad de los Sedimentos

Los sedimentos del embalse están compuestos principalmente por fracciones finas (fango), observándose escasa variación entre monitoreos.

Respecto de las concentraciones de metales pesados en sedimento y al igual que en el monitoreo anterior, no es posible indicar una tendencia general para todos los metales. El comportamiento de las concentraciones fue particular para cada cubeta. No obstante se replicaron muchas de las tendencias registradas en el monitoreo anterior.

En cuanto al nivel de referencia canadiense para las concentraciones de metales, nuevamente, tanto el arsénico como el cobre, presentaron niveles por sobre este valor, mientras que el cadmio y el zinc tuvieron concentraciones bastantes inferiores a la referencia.

Finalmente, el contenido de materia orgánica y de nitrógeno orgánico, siguieron siendo más altos en la cubeta Alhué, seguido por las concentraciones registradas en la cubeta Rapel. Los niveles más bajos fueron reportados en la cubeta Cachapoal.

Fitoplancton

En general la comunidad fitoplanctónica muestra en gran parte la misma estructura comunitaria que aquella descrita en estudios anteriores, ya sea en composición de especies como en densidades y patrones de abundancia relativa.

En cuanto a las abundancias, esta alcanza su mayor valor en la época estival (enero de 2010) en las tres cubetas, siendo la cubeta Alhué la que presenta los mayores valores. Los valores de las otras dos cubetas Rapel y Cachapoal son bastante similares.

En general, las especies más abundantes en el embalse corresponden fueron *Aulacoseira granulata*, *Ciclotella meneghiniana*, *Nitzschia sp*, *Coelastrum microporum*, *Scenedesmus quadricauda*, dominancia compartida entre algas diatomeas y algas verdes. *A. granulata* es la especie con mayor abundancia durante las estaciones de verano, otoño e invierno.

Los variables más importantes que modelan la abundancia de especies del fitoplancton corresponden a las siguientes variables física-químicas: transparencia, pH, temperatura, conductividad, y fósforo total.

La comunidad fitoplanctónica del Embalse Rapel, indica una clara condición de aguas eutróficas, al corresponder a ensambles dominados por diatomeas céntricas, algas chlorophyceae (particularmente Chlorococcales y algunos representantes de Desmidiaceae). Aún cuando siendo aguas de calidad eutrófica, el grupo de las algas cianofíceas están pobremente representadas, lo cual podría explicarse por las altas concentraciones de compuestos nitrogenados en la columna de agua.

Zooplancton

El embalse Rapel presenta una típica comunidad zooplanctónica observada en ecosistemas lénticos de Chile central, en la cual se observa la dominancia del copépodo *Diaptomus* sp.

Los diversos muestreos mostraron que existen diferencias entre el componente zooplantónico de las tres cubetas, siendo siempre la más diversa la cubeta Cachapoal. No obstante, el sistema tiende a una homogenización en periodos de invierno, donde al parecer los eventos de lluvia invernales son relevantes en este proceso. Al respecto, es importante indicar que el estudio de 2003 mostró a la cubeta Cachapoal como la menos diversa, probablemente asociado al tamaño de la red, puesto que en el actual estudio aparecen variados morfos de Rotíferos que por su menor tamaño no fueron registrados en el estudio anterior.

Bioensayos de toxicidad

Los ensayos realizados con *Daphnia magna* durante los meses noviembre de 2009, Mayo y Octubre de 2010, no registraron toxicidad aguda (LC_{50}) a las 24 y 48 horas de exposición, para las muestras de los tributarios. La estación R-2 durante le mes de Mayo no fue realizada, ya que el estero Alhué no presentaba caudal. Las muestras del embalse analizadas en los meses de Noviembre de 2009 y Mayo de 2010 no registraron toxicidad aguda.

Los ensayos de toxicidad crónica con *Daphnia magna* durante el mes de noviembre de 2009 registraron diferencias significativas respecto al control de laboratorio para las muestras R-4, R-5, E-2 y E-4, sin embargo en los ensayos realizados en el mes de Mayo de 2010 no presentaron toxicidad crónica a los 21 días de exposición. Los ensayos realizados durante el mes de noviembre de 2009 con *Selenastrum capricornotum* indican que no hubo toxicidad crónica en ninguna de las muestras ensayadas del embalse, por el contrario, se observó una leve estimulación del crecimiento poblacional en algunas muestras, debido probablemente a las altas concentraciones de nutrientes presentes en las muestras de agua.

Plan de gestión

El plan de gestión para el embalse Rapel, entrega las bases para iniciar el mejoramiento de la condición actual de eutroficación del embalse.

Como objetivo general, se busca, poder llevar a cabo, medidas de varios tipos, las cuales promuevan la rehabilitación y protección de la calidad su agua del embalse.

Para poder llevar a cabo este objetivo, se definieron los siguientes objetivos específicos, los cuales apuntaron a:

- Crear un sistema de vigilancia y alerta temprana de floraciones microalgales, para que la comunidad local y turistas del embalse Rapel, estuvieran informados sobre la presencia y permanencia de floraciones microalgales, minimizando de este modo, los riesgos en la salud humana y actividades turísticas.
- Lograr una calidad de agua compatible con los usos múltiples que se realizan en embalse Rapel, a través del control de la eutroficación.
- Promover a la diversificación turística que actualmente se desarrolla en torno al embalse Rapel.
- Concientizar y promover el sentido de responsabilidad a la comunidad local y turistas, respecto a la problemática ambiental que hoy en día tiene el embalse Rapel.
- Gestionar e implementar proyectos de investigación orientados al control de la eutroficación y manejo sustentable del embalse y su área de drenaje.
- Asegurar la adecuada aplicación de los programas de gestión específicos definidos para el embalse Rapel y su área de drenaje.

La elaboración del plan de gestión, se realiza en base a información científica generada a través de las campañas de muestreo del presente proyecto, como también, en el uso de información científico - técnica bibliográfica. Una componente importante a considerar para la elaboración de esta propuesta, fue la participación de la comunidad local involucrada con el embalse Rapel, a través de talleres de participación. De estos talleres, se obtuvo información de los actores relevantes vinculados al embalse, sobre los usos actuales y potenciales, problemáticas ambientales, entre otros.

En relación a toda la información obtenida, se identifican seis programas específicos de gestión, los cuales fueron denominados como:

1.- Alerta temprana y medidas de contingencia; 2.- Rehabilitación; 3.- Turismo y Recreación; 4.- Educación ambiental; 5.- Investigación y 6.- Administración. Cada uno de estos planes cuenta con objetivo general y específico, con un cronograma de actividades y por último, una priorización de las actividades, con sus respectivos costos asociados para un horizonte de 4 años.

1. INTRODUCCION

En el presente informe se entregan los resultados de las actividades realizadas entre los meses de agosto de 2009 y abril de 2011, correspondientes al informe final del presente proyecto. Estas corresponden a las siguientes actividades: estructura de uso de suelo, identificación de actividades productivas, monitoreo hidrológico (medición de caudales) y modelación, calidad de agua y sedimentos, indicadores biológicos y diseño del plan de gestión del embalse Rapel.

2. PROGRAMAS DE MONITOREO

2.1. Estructura de usos del suelo

El área considerada para la caracterización de la estructura del suelo se ubica en la región de O'Higgins, aproximadamente 2 km al Oeste de la ciudad de Rancagua, y forma parte de la sección media y baja de las cuencas hidrográficas del Cachapoal y Tinguiririca, entre los 33° 53' y 35° 01' de latitud sur. Debido a la amplitud y distribución de los principales rubros económicos, en el análisis se ha incluido a las comunas de: Las Cabras, Litueche, Pichidegua, Alhué, Peumo, Navidad, Marchihue y La Estrella (Figura 1), abarcando una superficie de 407.408,57 ha. De esta forma las principales subcuencas abordadas son: Río Rapel, Estero Alhue, Cachapoal Bajo y Tinguiririca.

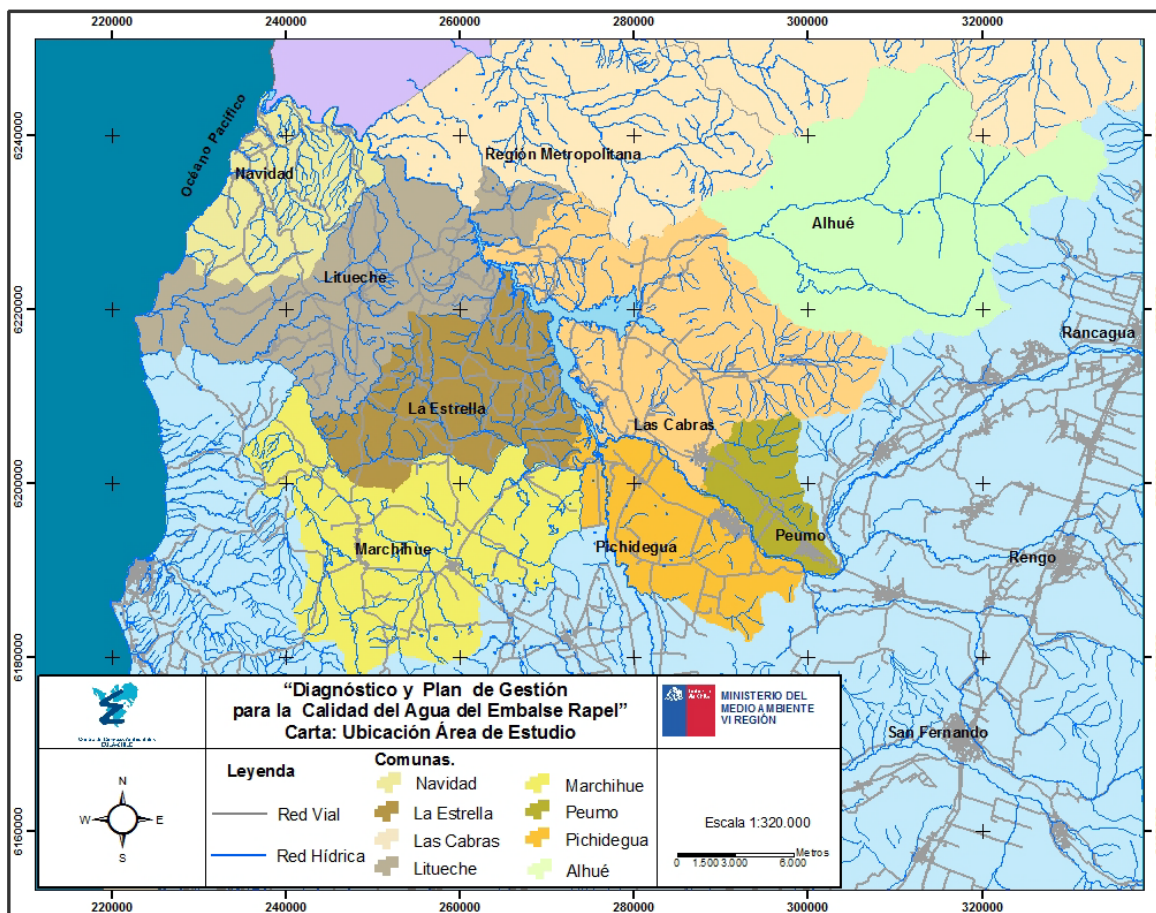


Figura 1: Mapa de Ubicación comunas en estudio.

2.1.1 Materiales y métodos

La metodología consistió, básicamente, en la identificación, delimitación y caracterización de los usos de suelo presentes en el área de influencia. Para el análisis cartográfico se utilizó el “Catastro y Evaluación de los Recursos Vegetacionales Nativos de Chile”. Informe nacional con variables ambientales. Santiago, Chile. 88 pp. (CONAF et al. 1998a). La clasificación del uso de suelo fue realizada siguiendo el "Sistema General de Clasificación de la Vegetación", desarrollado para proyecto "Catastro y Evaluación de los Recursos Vegetacionales Nativos de Chile" (CONAF et al. 1999b).

Para validar y actualizar esta información, se realizó un levantamiento de información de primer orden, a través de la fotointerpretación de imágenes satelitales y una actividad de terreno desarrollada los días 6 al 9 del mes de Mayo. La actividad en terreno comprendió la localización (con GPS) de los emprendimientos de rubros turísticos, como también la validación de los usos de suelo, principalmente el uso agrícola de las comunas en estudio.

El procesamiento digital de las imágenes satelitales se realizó a través de técnicas de fotointerpretación y clasificación supervisadas. En esta etapa, se manejó como fuente imágenes del software Google Earth Pro 2009.

Sistema de Clasificación Uso de Suelo.

Estepa andina central: Vegetación muy abierta, caracterizada por la presencia de gramíneas (Stipa, Poa y Festuca), arbustos bajos, plantas en cojín y pajonales; estas formaciones son las más densas y continuas. La forma de vida predominante en las partes altas son las plantas arbustivas, herbáceas o en forma de cojín, mientras que en las partes más bajas penetran elementos esclerófilos.

Terrenos de uso agrícolas: Zonas que al momento de realizar el levantamiento cartográfico estaban siendo utilizadas en agricultura. Incluye: cereales, horticultura, fruticultura. Corresponde a formaciones vegetales cuyo estrato dominante son herbáceas, aun cuando puede presentar de manera aislada algunas especies arbustivas o arbóreas.

Rotación cultivo pradera: Terrenos donde se practica períodos rotativos de cultivos y producción de empastadas, pueden o no corresponder a terrenos de vocación agrícola.

Praderas: Formación vegetal donde la cobertura en el tipo biológico herbáceas supera el 10% y los tipos biológicos árboles y arbustos tiene una cobertura < 10% para el caso de las estepa altiplánica y la estepa altoandina); para el caso de las praderas anuales, perennes, estepa andina central y estepa patagónica el porcentaje de cobertura del tipo biológico herbáceas supera el 25% y la cobertura de árboles y arbustos es menor al 25%).

Matorrales: Corresponde a formaciones cuyo estrato superior se encuentra dominado por especies arbustivas o arbóreas menores a 2 metros de alturas. Generalmente presentan coberturas vegetales desde semidensas a muy abiertas, siendo estas últimas ocupadas para el pastoreo debido a que bajo el dosel se desarrolla un importante estrado herbáceo. En la zona central se presentan distintos tipos de matorral: esclerófilo (quillay, peumo, litre, boldo), espinoso o xerófilo (crucero, mira, retamilla, huingán, chaguales y cactus) y andino (neneo, hierba blanca).

Plantación: Corresponde a un bosque cuyo estrato arbóreo está dominado por especies exóticas o nativas plantadas. Se distinguen plantaciones y plantaciones jóvenes o recién cosechada: plantación en sus primeros estados de desarrollo o que ha sido recientemente cosechada. En el Catastro solo se determinó la(s) especies que conforma(n) la plantación.

Renoval: Corresponde a un bosque nativo secundario originado ya sea de semillas y/o reproducción vegetativa después de una perturbación antrópica o natural (incendio, tala rasa, derrumbe). En general son homogéneos en su estructura vertical y sus diámetros.

Vegas-Humedales: Superficies cubiertas de aguas sean éstas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas, incluidas las extensiones de agua marina cuya profundidad de marea baja no exceda de 6 m. Incluye las siguientes categorías: Vegetación herbácea permanentemente inundada a orillas de ríos, Marismas herbáceas temporalmente inundadas por el mar; Ñadis herbáceos y arbustivos, Turbales, Bofedales, Vegas, Otros terrenos húmedos.

Zona Urbana: El uso de suelo habitacional se da de forma mixta, mezclándose áreas residenciales y de equipamientos.

2.1.2 Resultados

En términos generales el área del proyecto se ubica dentro del Agroclima Pumanque, de Clima Mediterráneo Marino. El régimen térmico se caracteriza por una temperatura media anual de 14,9°C, con una mínima media del mes más frío (julio) de 5,8°C y una máxima media del mes más cálido (enero) de 27°C. Su pluviometría anual promedio es 439 mm. La evapotranspiración potencial llega a 1.730 mm anuales con un máximo mensual en enero de 292 mm. El período libre de heladas aprovechable es de 10 meses, septiembre a junio inclusive. Las horas de frío, de marzo a noviembre, llegan a 358 horas. La temperatura media mensual se mantiene sobre los 10°C. El régimen hídrico se caracteriza por una precipitación anual de 439 mm, siendo el mes de junio el más lluvioso, con 126 mm. La evaporación de bandeja llega a 1.730 mm anuales, con un máximo mensual en enero de 292 mm. La estación seca es de 6 meses, noviembre a abril inclusive (INIA, 1989).

Las coberturas de suelo dominantes corresponden al matorral (denso, semidenso, abierto y arborescente) que cubre una superficie de 188.266,71 ha, equivalente al 47,05% del área de estudio; y los terrenos agrícolas (incluido las rotación cultivo-pradera) que abarca una superficie de 118.077,52 ha que corresponden al 29,51% de la superficie total. Por su parte, los terrenos cubiertos por renoval (semidenso, denso y abierto) suman 48.409,82 ha, equivalente a un 12,10%, y las plantaciones comprenden 25.147,17 ha, igual al 6,28% de la superficie total de las comunas consideradas. Luego le siguen coberturas de suelo marginales tales como: praderas anuales (1,81%), embalse (1,61%), minerías (0,33%), cajas de ríos (0,32%), estepa andina (0,25%), afloramientos rocosos (0,25%), áreas urbanas (0,18%), vegas (0,16%), y playas y dunas con (0,11%; Figura 2).

Tabla 1: Uso actual del suelo área de influencia. Fuente: CONAF, 1999. Elaboración Propia.

| Uso Actual | Superficie (ha) | Procentaje (%) |
|-------------------------------|-------------------|----------------|
| Matorral | 188266,71 | 47,05 |
| Terrenos Uso Agrícola | 118077,52 | 29,51 |
| Renoval | 48409,82 | 12,10 |
| Plantación | 25147,17 | 6,28 |
| Praderas Anuales | 7251,88 | 1,81 |
| Embalse Rapel | 6443,32 | 1,61 |
| Minería | 1337,95 | 0,33 |
| Cajas de Ríos | 1297,26 | 0,32 |
| Estepa Andina Central | 1009,67 | 0,25 |
| Afloramientos Rocosos | 986,05 | 0,25 |
| Uso Urbano | 733,00 | 0,18 |
| Vegas | 655,00 | 0,16 |
| Playas y Dunas | 445,08 | 0,11 |
| Ríos | 91,85 | 0,02 |
| Otros Terrenos Sin Vegetación | 6,41 | 0,00 |
| Total | 400.158,69 | 100,00 |

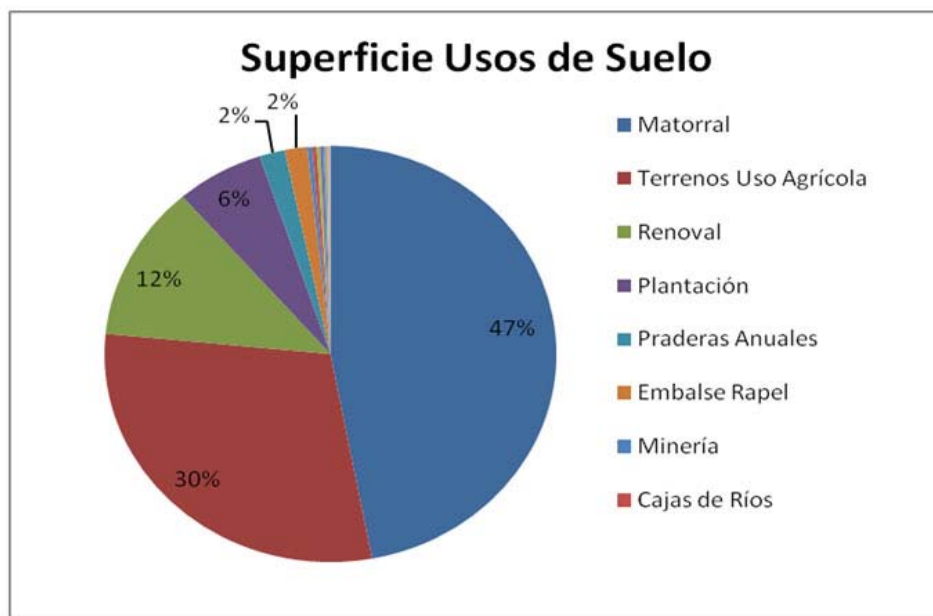


Figura 2: Uso del suelo en porcentaje (%).

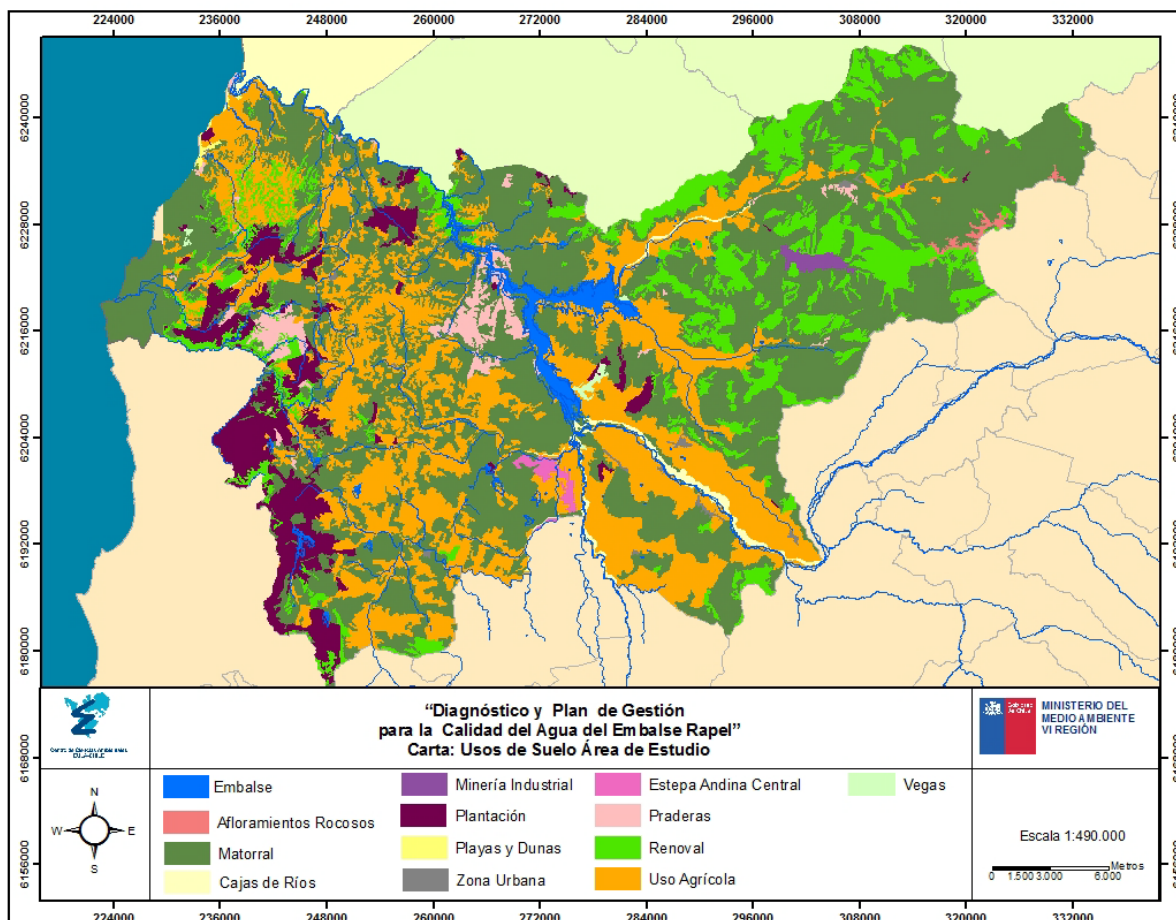


Figura 3: Estructura de uso del suelo en comunas del área de influencia. (CONAF 1999, Actualizado con imágenes Google Earth 2009).

De acuerdo a los resultados obtenidos, en las Figuras 4, 5, 6 y 7, se puede observar que existen usos transversales entre las comunas que colindan con el Embalse Rapel. Por ejemplo, el uso agrícola está presente como uso dominante en dos de las ocho comunas estudiadas: Litueche y Pichidegua, siendo ésta última quien posee éste uso en mayor proporción. En la comuna de Las Cabras, se puede observar como las riberas del río Alhué, que confluye al embalse, presenta un uso de suelo agrícola, no obstante, el uso principal es el de matorral y bosques renovales. Si bien es cierto, que el uso principal de estas comunas es el agrícola, las comunas de La Estrella y Litueche, presentan dos usos también importantes y amplios en sus valles: plantaciones forestales y praderas.

El Censo Agropecuario del INE (2007), define a la provincia del Cachapoal (comunidades de Las Cabras, Pichidegua y Peumo), como una de las principales provincias dedicadas al uso agrícola, cultivando preferentemente Frutales (78.000 ha), Cereales (57.000 ha) y Viñas (36.000 ha). Por su parte, la provincia Cardenal Caro (comunidades de Navidad, Litueche, La Estrella, Marchihue) presenta una menor capacidad de producción agrícola (254.208,50 ha; Tabla 2).

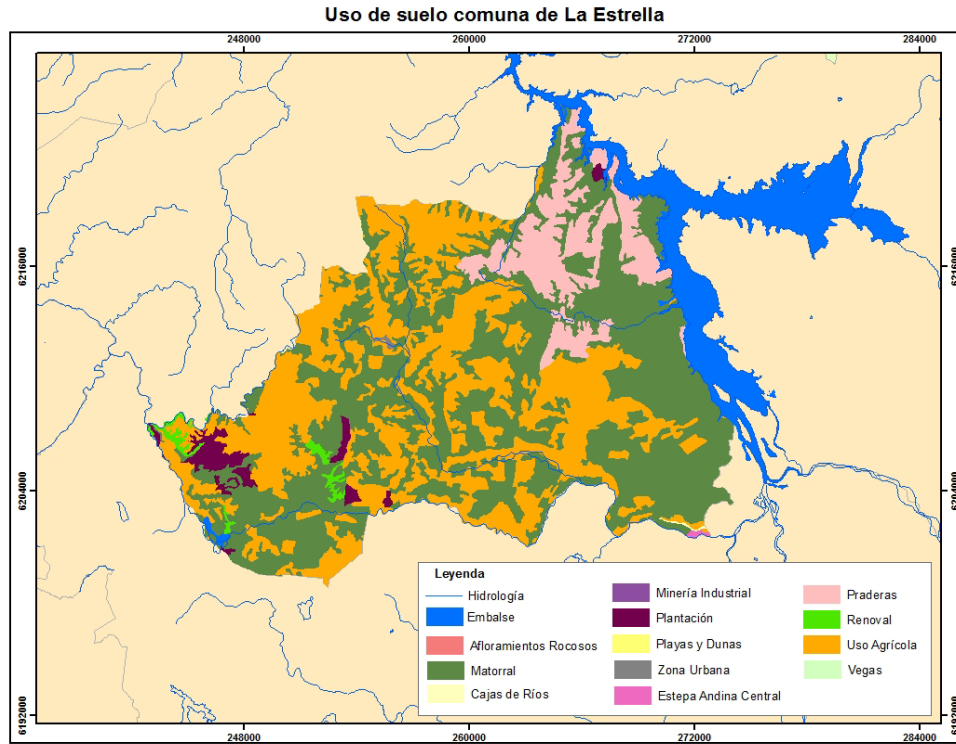


Figura 4: Uso de suelo, La Estrella.

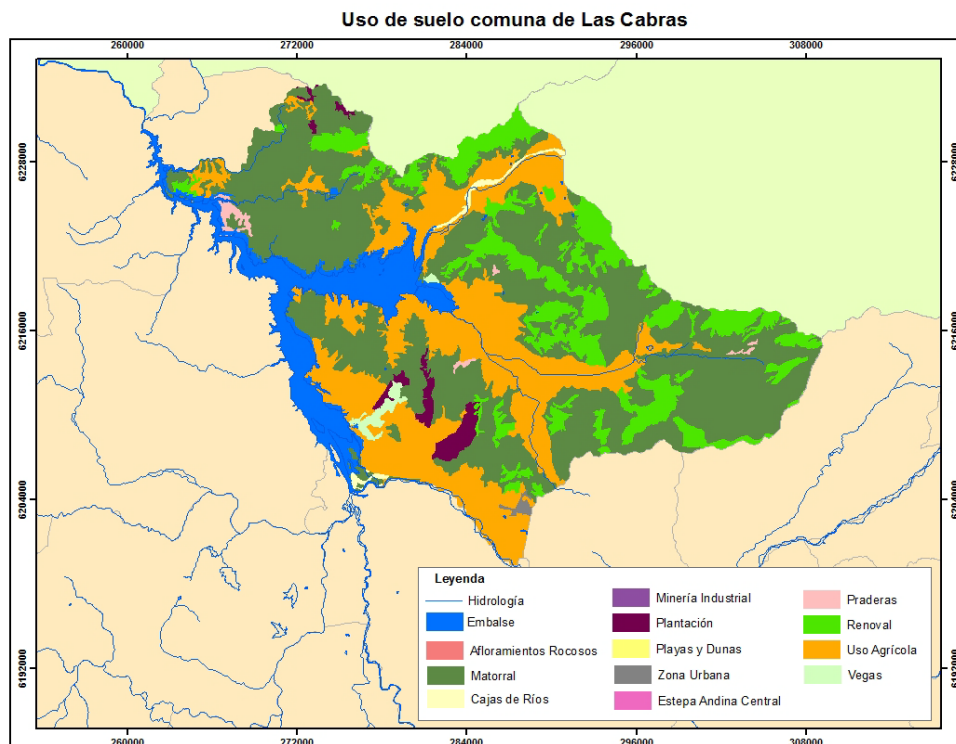


Figura 5: Uso de suelo, Las Cabras.

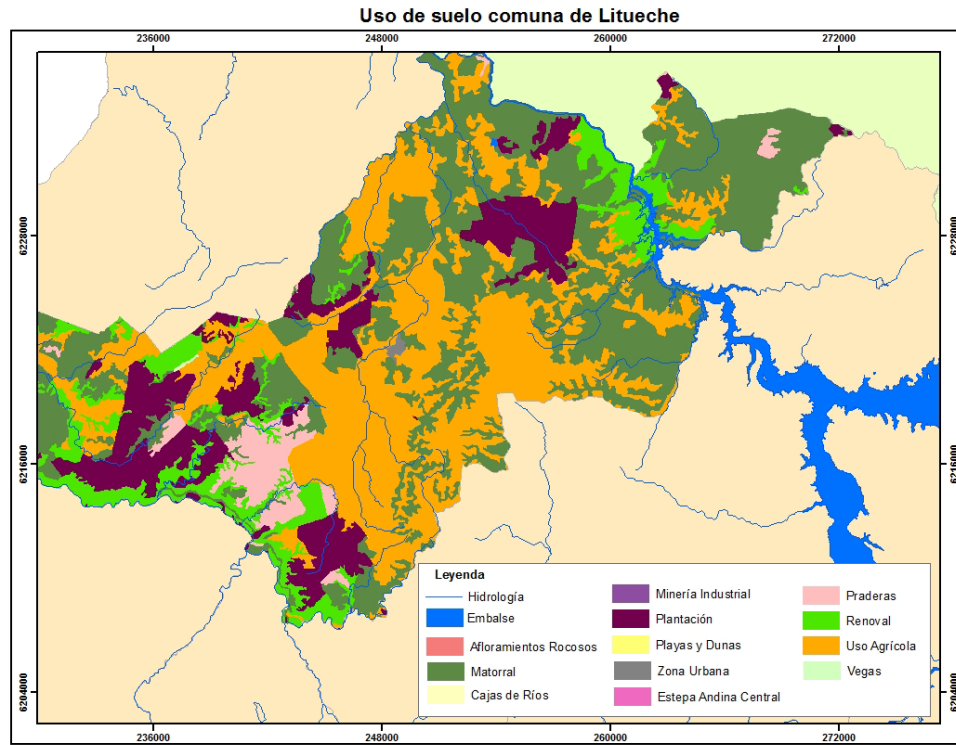


Figura 6: Uso de suelo, Litueche.

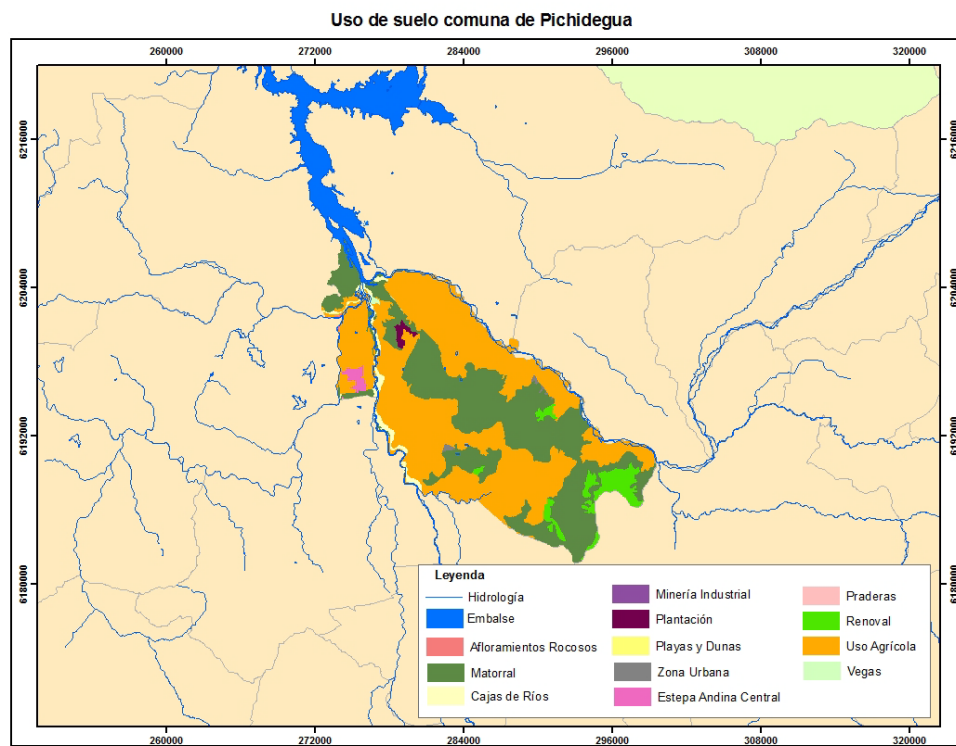


Figura 7: Uso de suelo, Pichidegua.

Tabla 2: Superficie total sembrada o plantada por grupo de cultivos (ha), según provincia y comuna (Censo Agropecuario 2007)

| REGIÓN Y PROVINCIA | Superficie (ha) | Cereales | Leguminosas y tubérculos | Cultivos industriales | Hortalizas | Flores | Plantas forrajeras | Frutales | Viñas y parronales viníferos | Viveros | Semilleros | Plantaciones forestales |
|--------------------|-----------------|-----------|--------------------------|-----------------------|------------|--------|--------------------|-----------|------------------------------|---------|------------|-------------------------|
| VI de O'Higgins | 1.130.724,19 | 56.266,30 | 3.607,70 | 5.283,30 | 13.083,28 | 116,79 | 16.826,45 | 77.967,35 | 35.528,41 | 405,6 | 11.860,80 | 73.290,45 |
| Cachapoal | 409.342,87 | 27.985,90 | 1.726,60 | 1.973,40 | 8.678,67 | 35,55 | 6.567,80 | 55.293,35 | 10.817,16 | 230,2 | 4.957,50 | 4.345,25 |
| Cardenal Caro | 254.208,50 | 3.465,20 | 560,9 | 156,1 | 411,45 | 75,08 | 5.453,70 | 2.272,50 | 3.720,64 | 3,3 | 156,2 | 54.818,30 |
| Colchagua | 467.172,82 | 24.815,20 | 1.320,20 | 3.153,80 | 3.993,16 | 6,16 | 4.804,95 | 20.401,50 | 20.990,61 | 172,1 | 6.747,10 | 14.126,90 |

Respecto a las comunas en estudio, el Censo Agropecuario establece a las comunas de Marchihue, La Estrella y Litueche, como comunas principalmente agrícolas, dedicadas al cultivo de plantas forrajeras, viñas y cereales, aún cuando también desarrollan un fuerte uso forestal. (Ver Tabla 3).

Tabla 3: Superficie total sembrada o plantada por grupo de cultivos (ha), según comuna estudiada (Censo Agropecuario 2007)

| Comunas en Estudio | Superficie (ha) | Cereales | Leguminosas y tubérculos | Cultivos industriales | Hortalizas | Flores | Plantas forrajeras | Frutales | Viñas y parronales viníferos | Viveros | Semilleros | Plantaciones forestales |
|--------------------|-----------------|-----------|--------------------------|-----------------------|------------|--------|--------------------|-----------|------------------------------|---------|------------|-------------------------|
| Las Cabras | 34.527,20 | 2.776,20 | 807,10 | 133,20 | 902,32 | 0,12 | 405,50 | 4.599,85 | 1.338,00 | 0,00 | 21,60 | 304,15 |
| Peumo | 14.666,80 | 380,70 | 30,00 | 53,00 | 95,50 | 0,14 | 43,70 | 3.691,60 | 1.673,70 | 1,70 | 40,00 | 113,90 |
| Pichidegua | 25.183,30 | 5.856,20 | 125,10 | 122,70 | 1.039,50 | 19,00 | 935,20 | 2.557,30 | 1.166,80 | 28,30 | 139,10 | 202,90 |
| La Estrella | 40.725,90 | 883,50 | 71,80 | 1,40 | 9,90 | 0,00 | 367,30 | 783,90 | 107,00 | 0,10 | 0,00 | 2.583,60 |
| Litueche | 55.779,54 | 638,70 | 106,10 | 0,00 | 77,05 | 71,01 | 1.409,90 | 155,80 | 152,84 | 0,00 | 148,40 | 8.751,80 |
| Marchihue | 56.863,66 | 475,90 | 37,30 | 154,50 | 41,92 | 0,62 | 1.280,70 | 825,50 | 3.294,50 | 0,50 | 0,00 | 10.598,50 |
| Navidad | 22.512,00 | 382,40 | 255,70 | 0,20 | 182,17 | 0,16 | 134,10 | 323,10 | 55,40 | 0,10 | 7,70 | 2.485,50 |
| Total | 250.58,40 | 11.393,60 | 1.433,10 | 465,00 | 2.348,36 | 91,05 | 4.576,40 | 12.937,05 | 7.788,28 | 30,70 | 356,80 | 25.040,35 |

Estructura Uso de suelo por Subcuencas.

Las subcuencas presentes en el área de influencia del embalse son: río Rapel, Estero Alhue, río Cachapoal Bajo y Cachapoal Alto, y las subcuencas del río Tinguiririca y Tinguiririca Bajo. El total de ellas conforma la cuenca del río Rapel, por lo cual, éstas subcuencas condicionan el aporte de contaminación difusa proveniente de la actividad agrícola, al embalse.

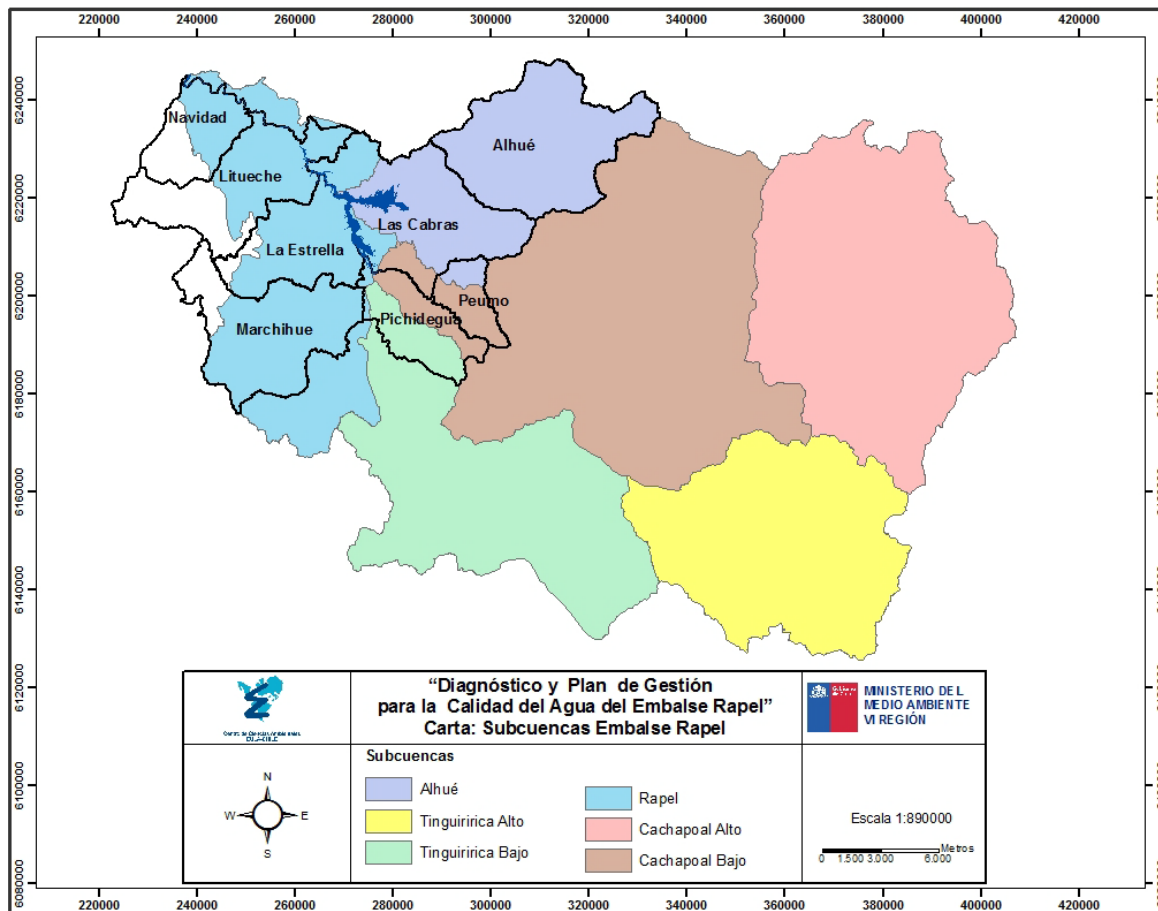


Figura 8: Subcuencas principales Embalse Rapel. Elaboración Propia.

Uso de Suelo Subcuenca Tinguiririca Alto y Tinguiririca Bajo

Para la Subcuenca Tinguiririca Alto, las principales coberturas de suelo corresponden afloramientos rocosos (43% de la superficie total de la subcuenca), matorral (17%) y nieves (19%), debido a que gran parte de su territorio se emplaza la Cordillera de Los Andes. En cambio, en la subcuenca de Tinguiririca Bajo dominan las coberturas agrícola (55% del total de superficie) y matorral (33%), y en menor medida, Bosque Nativo (7,22%; Figura 9 y 10).

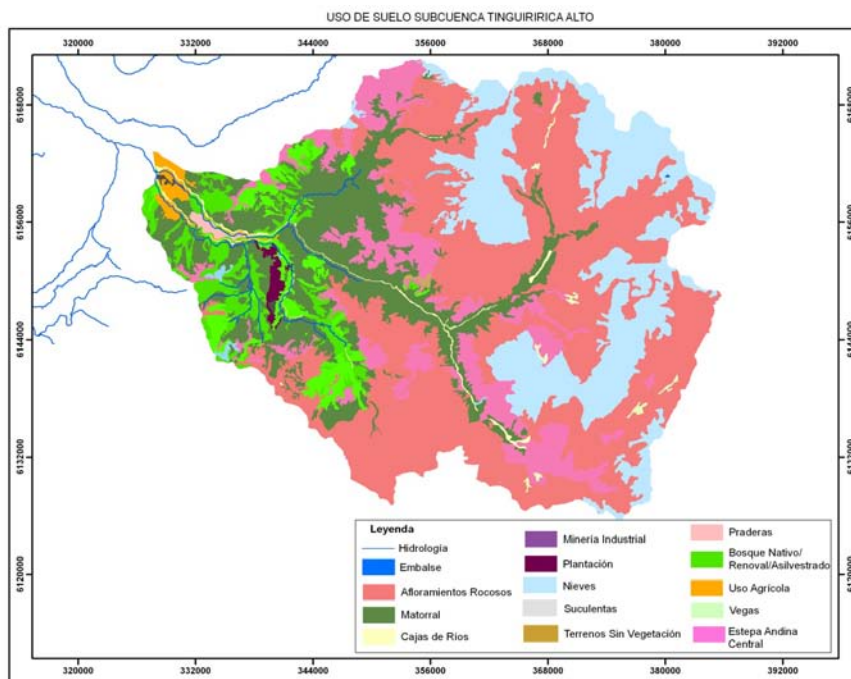


Figura 9: Uso de suelo Subcuenca Tinguiririca Alto. Fuente: CONAF (1999). Elaboración Propia.

Tabla 4: Uso actual de suelo Subcuenca Tinguiririca Alto. Fuente: CONAF (1999). Elaboración Propia.

| Uso Actual | Superficie (ha) | Porcentaje (%) |
|---|-------------------|----------------|
| Afloramientos Rocosos | 78099,60 | 42,46 |
| Otros Terrenos Sin Vegetación | 302,50 | 0,16 |
| Bosque Nativo-Nat. Exóticas Asilvestradas/Renoval | 14791,30 | 8,04 |
| Caja de ríos | 1194,90 | 0,65 |
| Estepa Andina Central | 19888,40 | 10,81 |
| Embalse | 10,40 | 0,01 |
| Matorral | 31627,40 | 17,19 |
| Nieves | 34356,30 | 18,68 |
| Plantaciones | 914,90 | 0,50 |
| Praderas | 509,30 | 0,28 |
| Uso Agrícola | 1491,40 | 0,81 |
| Vegas | 597,40 | 0,32 |
| Uso Urbano | 169,00 | 0,09 |
| Total | 183.952,80 | 100,00 |

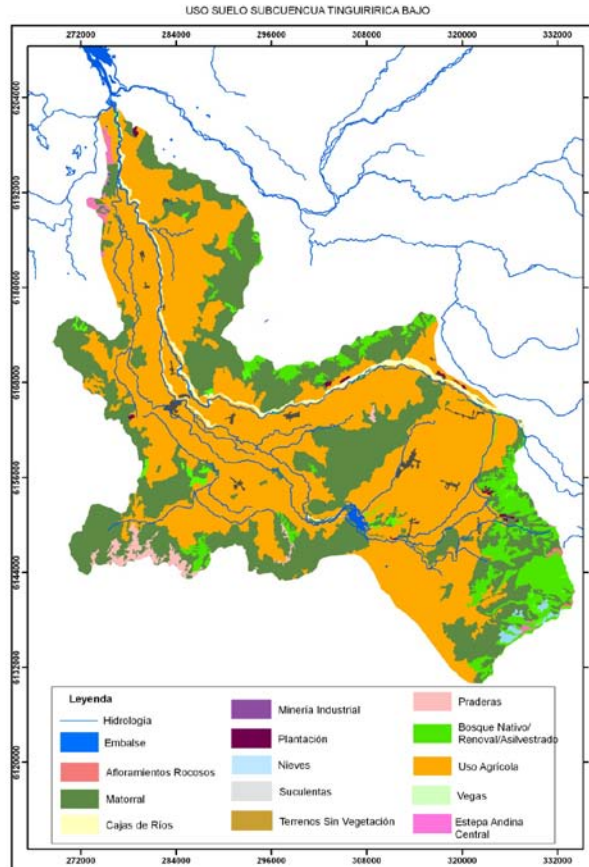


Figura 10: Uso de suelo Subcuenca Tinguiririca Bajo. Fuente: CONAF (1999). Elaboración Propia.

Tabla 5: Uso actual de suelo Subcuenca Tinguiririca Bajo. Fuente: CONAF (1999). Elaboración Propia

| Uso Actual | Superficie (ha) | Porcentaje (%) |
|-----------------------|-------------------|----------------|
| Afloramientos Rocosos | 167,80 | 0,08 |
| Bosque Nativo/Renoval | 15075,40 | 7,22 |
| Plantaciones | 963,10 | 0,46 |
| Cajas de ríos | 3705,50 | 1,77 |
| Uso Urbano | 1472,60 | 0,70 |
| Estepa Andina Central | 956,80 | 0,46 |
| Embalse | 407,70 | 0,20 |
| Matorral | 67886,60 | 32,50 |
| Praderas | 3786,70 | 1,81 |
| Uso Agrícola | 114483,40 | 54,80 |
| Vegas | 3,60 | 0,00 |
| Total | 208.909,20 | 100 |

Uso de Suelo Subcuenca Cachapoal Alto y Cachapoal Bajo

La Subcuenca Cachapoal Alto, al igual que Tinguiririca Alto, presenta como cobertura dominantes los afloramientos rocosos (55% de la superficie total de la subcuenca), renoval (35%), matorral (17%) y nieves (19%) debido a su condición andina. En cambio, en la subcuenca de Cachapoal Bajo las coberturas más importantes, en términos de superficie, corresponden a terrenos agrícolas (42%) y matorral (34%), y en menor medida, Bosque Nativo (13%; Figura 11 y 12).

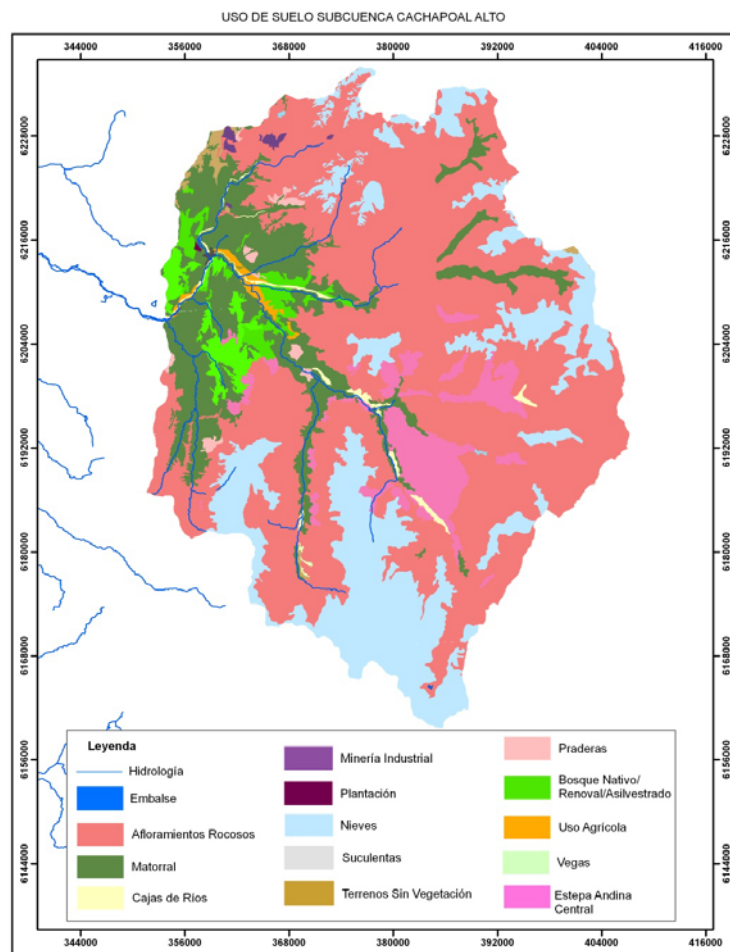


Figura 11: Uso de Suelo Subcuenca Cachapoal Alto. Fuente: CONAF (1999). Elaboración Propia

Tabla 6: Uso actual de suelo Subcuenca Cachapoal Alto. Fuente: CONAF (1999). Elaboración Propia

| Uso Actual | Superficie (ha) | Porcentaje (%) |
|-------------------------------|------------------|----------------|
| Afloramientos Rocosos | 147495,2 | 54,65 |
| Otros Terrenos Sin Vegetación | 1285,6 | 0,48 |
| Caja de ríos | 1839,7 | 0,68 |
| Uso Urbano | 128,1 | 0,05 |
| Estepa Andina Central | 15242,5 | 5,65 |
| Embalse | 17,7 | 0,01 |
| Matorral | 38246,5 | 14,17 |
| Minería | 670,6 | 0,25 |
| Nieves/Glaciares | 52719,6 | 19,53 |
| Praderas | 1419,0 | 0,53 |
| Uso Agrícola | 1266,0 | 0,47 |
| Vegas | 111,0 | 0,04 |
| Renoval | 9372,2 | 3,47 |
| Plantación | 69,3 | 0,03 |
| Total | 269.883,0 | 100,0 |

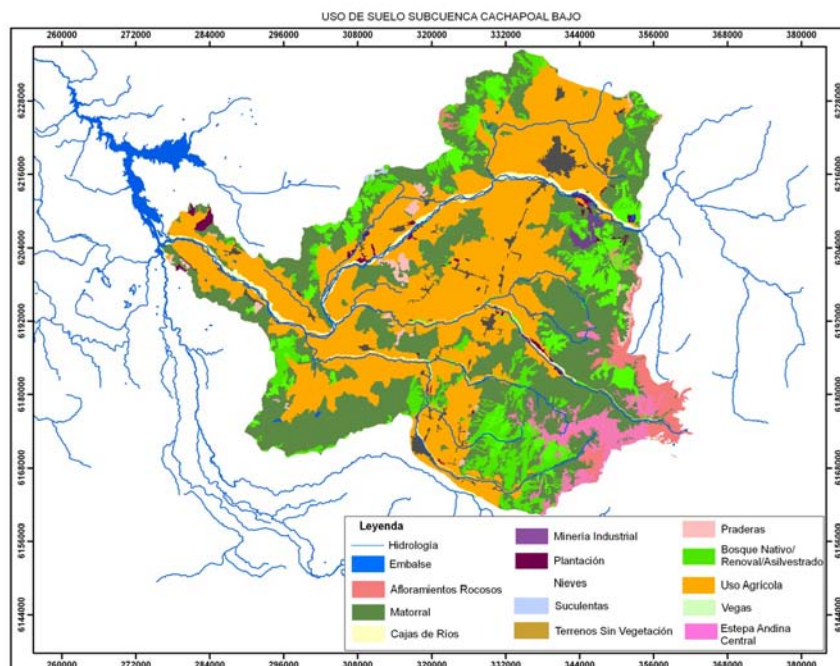


Figura 12: Uso de Suelo Subcuenca Cachapoal Bajo Fuente: CONAF (1999). Elaboración Propia.

Tabla 7: Uso actual de suelo Subcuenca Cachapoal Bajo. Fuente: CONAF (1999). Elaboración Propia.

| Uso Actual | Superficie (ha) | Porcentaje (%) |
|--|------------------------|-----------------------|
| Afloramientos Rocosos | 9389,8 | 2,69 |
| Otros Terrenos Sin Vegetación | 609,7 | 0,17 |
| Bosque Nativo-Nat. Exóticas Asilvestradas/Renoval | 44717,8 | 12,82 |
| Plantaciones | 3065,2 | 0,88 |
| Caja de ríos | 7549,3 | 2,16 |
| Uso Urbano | 7119,3 | 2,04 |
| Nieves/Glaciares | 5334,5 | 1,53 |
| Embalse | 180,1 | 0,05 |
| Matorral | 118501,4 | 33,97 |
| Minería | 1382,6 | 0,40 |
| Praderas | 3673,9 | 1,05 |
| Suculentas | 247,0 | 0,07 |
| Uso Agrícola | 146988,5 | 42,14 |
| Vegas | 31,5 | 0,01 |
| Total | 348.790,6 | 100,0 |

Uso de Suelo Subcuenca Alhué

La Subcuenca Alhué, presenta como cobertura dominante el matorral (58% de la superficie total de la subcuenca), renoval (24%), y uso agrícola (12%).

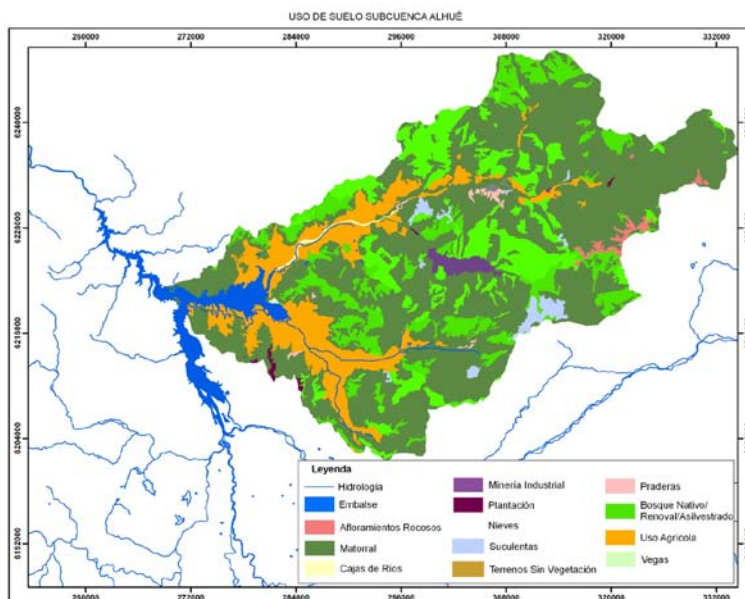


Figura 13: Uso de Suelo Subcuenca Alhué. Fuente: CONAF (1999). Elaboración Propia.

Tabla 8: Uso actual de suelo Subcuenca Alhué. Fuente: CONAF (1999). Elaboración Propia.

| Uso Actual | Superficie (ha) | Porcentaje (%) |
|-----------------------|-----------------|----------------|
| Afloramientos Rocosos | 986,7 | 0,69 |
| Caja de ríos | 364,1 | 0,26 |
| Uso Urbano | 141,2 | 0,10 |
| Embalse | 2874,2 | 2,02 |
| Matorral | 82500,5 | 57,91 |
| Minería industrial | 1338,1 | 0,94 |
| Plantación | 340,0 | 0,24 |
| Praderas | 1094,0 | 0,77 |
| Renoval | 33536,5 | 23,54 |
| Suculentas | 1977,1 | 1,39 |
| Uso Agrícola | 17273,8 | 12,12 |
| Vegas | 46,6 | 0,03 |
| Total | 142472,8 | 100,0 |

Uso de Suelo Subcuenca Rapel

La Subcuenca Rapel, presenta como cobertura dominante el matorral (48% de la superficie total de la subcuenca), rotación cultivo-pradera (28%), uso agrícola (9%), renoval (4%) y plantación (6%).

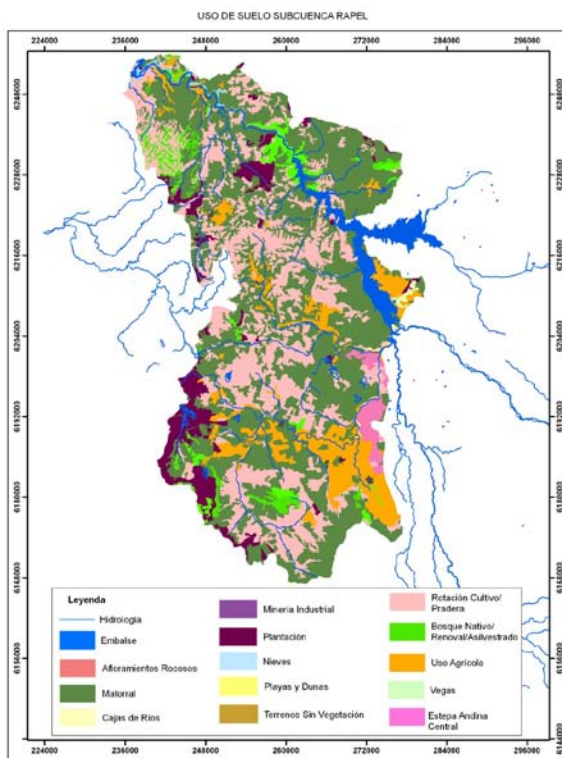


Figura 14: Uso de Suelo Subcuenca Rapel. Fuente: CONAF (1999). Elaboración Propia.

Tabla 9: Uso actual de suelo Subcuenca Rapel. Fuente: CONAF (1999). Elaboración Propia.

| Uso Actual | Superficie (ha) | Porcentaje (%) |
|-------------------------------|------------------|----------------|
| B.Nativo-Renoval | 9219,4 | 4,38 |
| Plantación | 12910,3 | 6,14 |
| Caja de ríos | 299,4 | 0,14 |
| Uso Urbano | 374,9 | 0,18 |
| Estepa Andina Central | 3453,0 | 1,64 |
| Embalse | 3528,8 | 1,68 |
| Matorral | 101054,5 | 48,03 |
| Otros Terrenos Sin Vegetación | 70,5 | 0,03 |
| Playas y Dunas | 387,0 | 0,18 |
| Rotación Cultivo/Pradera | 58240,0 | 27,68 |
| Uso Agrícola | 20425,5 | 9,71 |
| Vegas | 449,9 | 0,21 |
| Total | 210.413,2 | 100,0 |

Conforme a los resultados expuestos, provenientes del Catastro de Uso de Suelo 1999 (no actualizado), se puede inferir que las subcuencas del Tinguirica Bajo y Cachapoal Bajo, ambas principales afluentes del embalse Rapel, presentan usos predominantemente agrícolas. En ese sentido, estas dos cubetas, a través de la actividad agrícola, son las que aportan el mayor número de nutrientes o parámetros contaminantes al embalse derivados de esta actividad, principalmente a través de contaminación difusa. Respecto a las subcuencas de Alhué y Rapel, éstas presentan una mayor cobertura vegetal, siendo los usos dominantes el matorral, renoval, la rotación de cultivo-pradera.

Actividades Mineras

Las concesiones mineras de explotación, en trámite y constituidas, establecidas en las comunas en estudio abarcan una superficie total de 105.842,85 has, que representa un 25,97% del total (Figura 15). De esta superficie 77.374,4 has corresponden a concesiones bajo el Código Minero de 1983 y 28.468,45 has bajo el Código Minero de 1932.

El denominado Distrito Minero de Alhué es conocido históricamente, desde el tiempo de la colonización española, por su importante minería en oro y plata (ANKH S.A., 2010). De acuerdo a los resultados obtenidos, se pudo observar que las explotaciones mineras desarrolladas en la comuna de Alhué, están vinculadas actualmente a la extracción de Oro, Plata, Zinc y Cobre, entre ellas se destacan las empresas Minera

Florida Limitada, Sociedad Minera Agua Fría, Compañía MRA Alhué de Oro S.A., Minera Copiapó S.A. y CODELCO con la División El Teniente (SERNAGEOMIN 2010). Para el resto de las comunas, las actividades mineras extraen principalmente materiales no metálicos, entre ellas se destaca la Minera Quintay (no metálica), Cementos Curicó (materiales calcáreos del alta ley) y Agrícola Forestal Naguilán, entre otros privados (SERNAGEOMIN 2010).

Respecto a las Exploraciones Mineras, actualmente existen 30.026,73 has constituidas y en trámite, dentro de las empresas se destacan Minera Copiapó, Cementos Polpaico y Minera Aurex Chile, Ltda., entre otras.

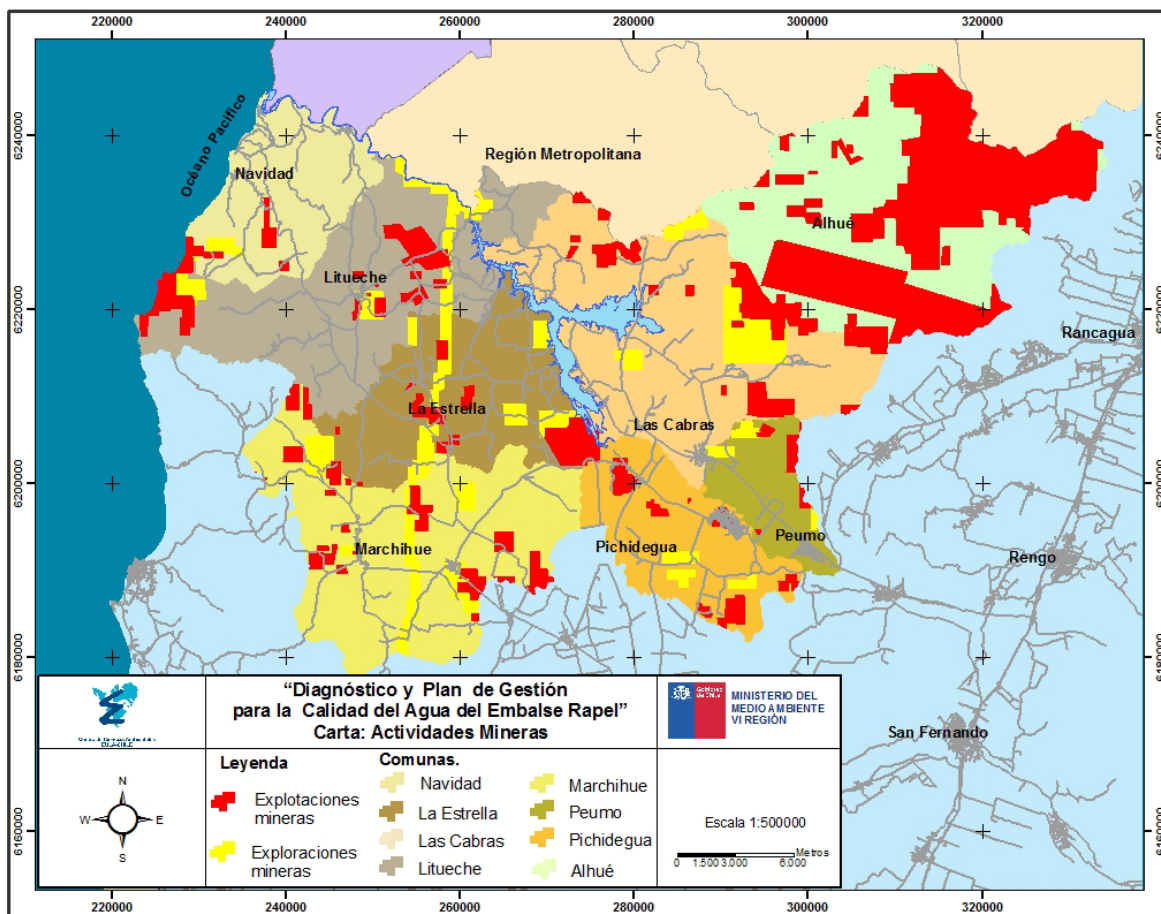


Figura 15: Actividades mineras en área de estudio. Fuente: Catastro de Concesiones Mineras, SERNAGEOMIN (www.sernageomin.cl).

Uso de suelo y calidad del agua.

Según los resultados de calidad de agua de las estaciones ubicadas en los cuerpos de agua que tributan al embalse (Informe Número 4 páginas 53-74), para los meses de

agosto, noviembre 2009 y enero 2010, las estaciones con valores máximos de DBO₅, DQO y temperatura son las R-6 y R-7 (Figura 16), siendo esta última la que mayor valor presenta, ubicadas en el río Tinguirica y estero Las Cadenas respectivamente; lo cual sugiere una relación con el uso de suelo principalmente agrícola presente en las cuencas de estos cuerpos de agua, los que incrementan la concentración de material particulado (materia orgánica, coliformes fecales y nutrientes) y aumentan la carga de agroquímicos (plaguicidas, fertilizantes, etc.) a la columna de agua. A su vez, es necesario destacar la escasez de información respecto a estos agroquímicos, y por ello, sería importante levantar dicha información.

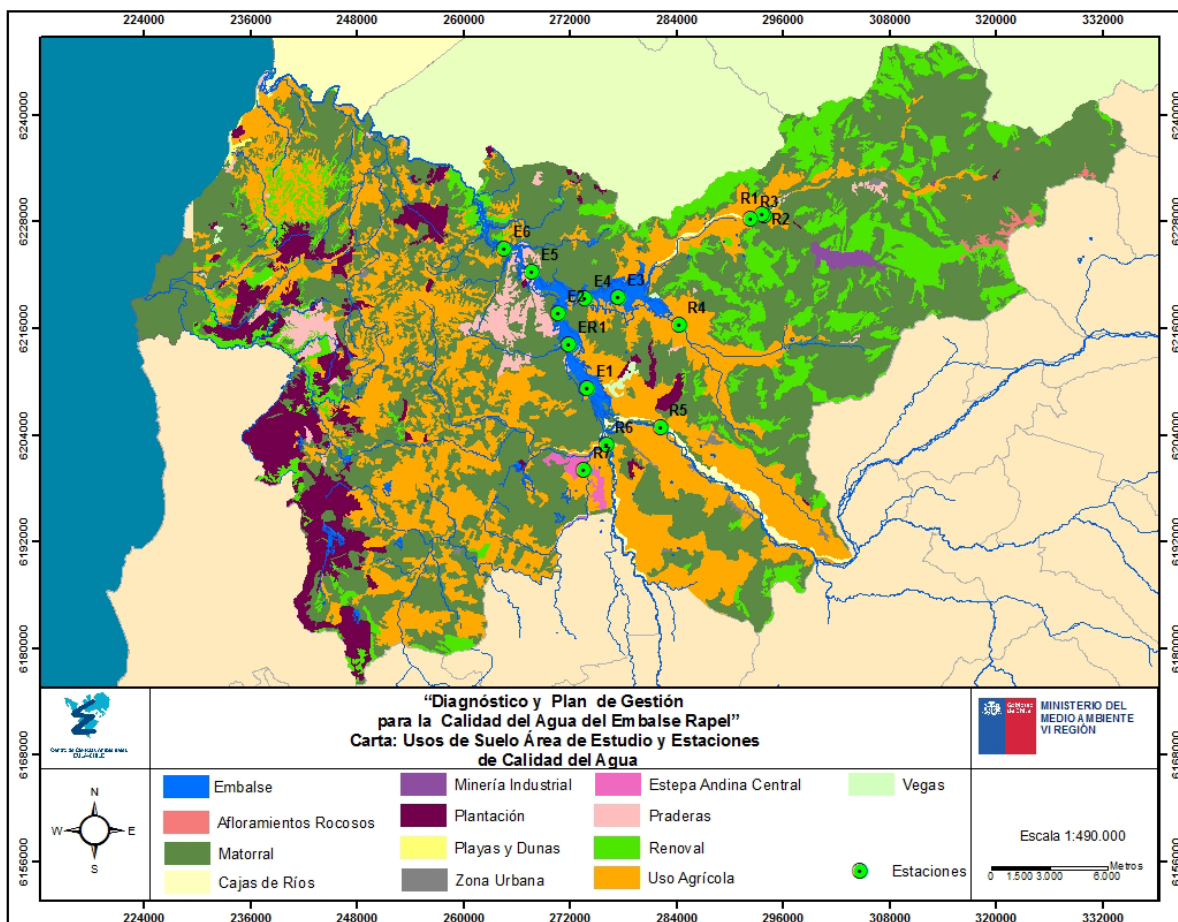


Figura 16: Uso de suelo y estaciones de calidad del agua.

En cuanto a los sólidos suspendidos y compuestos inorgánicos (amonio, fósforo total, nitrógeno total), la estación R-5, ubicada en el río Cachapoal, presenta los valores máximos, particularmente valores altos en enero 2010 para sólidos suspendidos. La subcuenca del río Cachapoal presenta la misma situación que en las estaciones mencionadas anteriormente, donde el uso de suelo principal es el agrícola.

Las estaciones con los valores más altos de coliformes fecales y totales fueron las estaciones R-4 y R-5, ambas con uso de suelo agrícola. Las estaciones con valores máximos de sulfatos, molibdeno y zinc son R-1, R-2 y R-3, ubicadas en el estero Alhué, que recibe las aguas claras relevés del embalse Carén de CODELCO-Chile, División El Teniente.

2.1.3. Conclusiones

A pesar de que, según la superficie, la cobertura de uso de suelo dominante es la de matorral, el uso de suelo más intensivo en las comunas estudiadas corresponde al uso agrícola, llegando, en algunos casos, a dominar casi en su totalidad la superficie de terreno.

Las actividades principales que se desarrollan en los suelos agrícolas, según lo observado en actividades de terreno, son los cultivos agro-industriales tales como la vitivinicultura, fruticultura, y el cultivo de maíz; este último, vinculado a la industria avícola y porcina que se ubica en toda el área de influencia del embalse. Según el catastro de actividades económicas desarrollado en el curso de este estudio (Informe 4 página 12), estas actividades agro-industriales se distribuyen en los valles de los principales afluentes del embalse Rapel, especialmente en las comunas de La Cabras, La Estrella y Pichidegua, por lo que se esperaría una fuerte influencia en la composición y calidad del agua.

También es importante señalar, que las principales subcuencas y afluentes del embalse, Tinguiririca y Cachapoal, desarrollan un extenso y dinámico uso agrícola en su superficie, condicionando el aporte total de nutrientes al embalse, a través de la contaminación difusa.

Referente a las estaciones de muestreo de calidad de agua y el uso de suelo agrícola asociado a sus cuencas, se puede observar una fuerte relación entre los altos valores de DBO₅, DQO, sólidos suspendidos, compuestos inorgánicos y coliformes fecales y el uso predominantemente agrícola del área.

Respecto a la actividad minera, las explotaciones en la cuenca del Estero Alhué, y la presencia del embalse de relevés de aguas claras Carén, sugieren un aumento de las concentraciones de sulfatos, sólidos suspendidos, molibdeno y conductividad en el embalse Rapel. Estos impactos son validados al observar los datos de calidad de agua para las estaciones de muestreo del estero Alhué, donde los valores máximos para estos parámetros están asociados exclusivamente a dichas estaciones. (Véase Informe 4 del estudio página 57, 63, 69 y 76-86).

2.2 Identificación de actividades productivas en las comunas con influencia al embalse Rapel.

2.2.1 Caracterización de las descargas puntuales

Delimitación del área de estudio

Delimitación del área de estudio: Se consideró como zona a catastrar el área de influencia al embalse Rapel y la cuenca del río Alhué. La identificación y espacialización de la actividad productiva se realizó en las siguientes Comunas:

- Comunas colindante al Embalse Rapel: Pichidegüa, Las Cabras, Peumo, La Estrella, Navidad, Marchigüe, Litueche y Alhué.

- Recopilación de Información.

Recopilación de la información tales como la identificación, definición y cuantificación de fuentes emisoras de riles que existen en el área de estudio, se realizó mediante una exhaustiva búsqueda de la información disponible en organismos públicos (Tabla 10). Como una manera de sistematizar la información se estableció la creación de una base de datos con distintos parámetros o criterios pre-definidos, esto con el propósito concreto de entender las variables de interés para el mejor ordenamiento de la información recopilada. La estructura de esta base de datos se muestra en la Tabla 11.

Tabla 10: Fuentes de información para la consultoría.

| Institución | Información recopilada |
|--|--|
| CONAMA VI región | Informe: "Estudio complementario del AGIES: análisis De emisiones con descarga a cuerpos superficiales en la cuenca del río Tinguiririca" (CENMA 2008). |
| SISS | Informe: "Análisis de emisiones con descarga a cuerpos superficiales en la cuenca del río Cachapoal" (CENMA 2008). Industrias ubicadas en el área comprendida por las comunas de Litueche, La Estrella, Marchigüe, Navidad, Pichidegua, Las Cabras y Peumo, que cuentan con un programa de monitoreo aprobado por la SISS. Levantamiento, Estudio y Evaluación de los cursos superficiales ubicados en la VI Región, y que tributan a la cuenca del embalse Rapel. (CUENCA INGENIEROS CONSULTORES LTDA, 2010). |
| SAG | Catastro de los planteles de cerdos existentes en la VI región. |
| Centro EULA-Chile | Informe: "Estudio de los efectos ambientales de los relaves del embalse Carén sobre el embalse Rapel" (EULA, 2004). Catastro de actividades económicas por comuna en la cuenca del Rapel y observaciones en terreno proyecto: Diagnóstico Indicadores Biológicos en la Cuenca Rapel. (EULA, 2009). |
| Municipalidades de las comunas pertenecientes al área de estudio | Los municipios asociados al área de estudio no disponen de información adicional que complemente la entregada por las otras fuentes de información. |

Tabla 11: Criterios de llenado de la base de datos.

| Criterio | Información recopilada |
|------------------------------------|---|
| Giro | Corresponde al Giro de la industria. |
| CIIU | Corresponde a la clasificación Industrial Uniforme de Todas las Actividades Económicas, Informes Estadísticos, Serie M N°4, Rev.2 (Publicación de las Naciones Unidas), Nueva York, 1969. |
| Industria | Es el nombre de la empresa y/o el nombre del proyecto encontrado en el SEIA. |
| Comuna | Comuna donde se encuentra ubicada la industria. |
| Dirección | Corresponde a la Dirección de la Fuente Emisora. Se mantuvo la MAPRO antigua, complementándose con la dirección señalada en DIA e ICE. |
| Fono | Corresponde al número de teléfono de contacto con la Empresa. |
| Nivel de Producción Máxima | Información de acuerdo a lo declarado en la DIA o en la RCA. Fue expresado en función de lo declarado en la DIA o en la RCA. |
| Tipo de Tratamiento | Corresponde al tipo de tratamiento utilizado por la industria para depurar sus Residuos industriales líquidos (Riles). |
| Caracterización de las descargas | Son los contaminantes contenidos en la descarga realizada por la industria. |
| Nombre cauce receptor | Corresponde al cuerpo de agua donde se descargan las aguas residuales generadas por la industria. |
| Coordenadas de la descarga (N y E) | (N) Corresponde a la coordenada UTM Norte. (E) Corresponde a la coordenada UTM Este. |
| Observaciones | Cualquier observación que permita aclarar situaciones excepcionales en el llenado de los campos. |

2.2.2 Resultados

De acuerdo a la información catastrada se pueden identificar varias actividades económicas productivas en las comunas de influencia al embalse Rapel, principalmente relacionadas con la agroindustria y packing. Entre ellos se observa un gran dinamismo en el área de estudio, de la actividad frutícola, así como en cría de aves y ganado porcinos. Específicamente, la industria vitivinícola abarca grandes superficies de plantaciones frutales y viñas e involucra como cadena productiva, los packing e industrias elaboradoras de productos alimenticios.

La Figura 9, muestra el número de industrias y/o empresas por comuna, considerando las zonas adyacentes al embalse Rapel. Es evidente que las comunas que presentan mayor actividad productiva son Pichidegua (42,5%), Las Cabras (26,5%) y La Estrella (11,5%), asociada a la empresa agrícola, actividades pecuarias y/o pesca, madera, minería y manufacturera. Por su parte, las comunas de Peumo (9,7%), Marchigüe (4,4%), Litueche (2,7%), Alhué (1,8%) y Navidad (0,9%), presentan porcentajes inferiores al 10%.

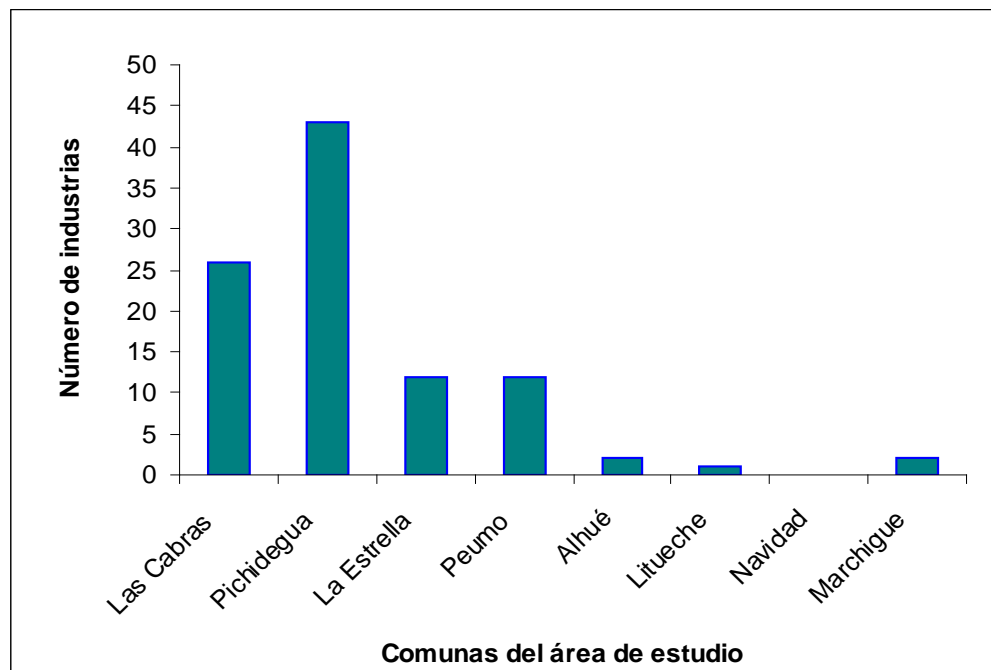


Figura 17: Número de industrias o actividad productiva por Comuna.

Catastro por Comunas

De acuerdo a información recopilada se catastró un total de 114 actividades productivas (Tabla 12) ubicadas en comunas colindantes al embalse Rapel (área de estudio) y a los ríos Cachapoal y Tinguiririca. Como se puede observar en la Figura 18, según lo que se ha indicado anteriormente, la mayor concentración de actividades productivas está en las comunas de Pichidegua y Las Cabras. Sin embargo, se puede observar claramente que las actividades industriales están distribuidas con mayor densidad en torno a las cuencas del río Tinguiririca y Cachapoal. Sin embargo, aunque se observa una distribución de actividades productivas relativamente similar en las cuencas, los impactos que ellas provocan en dichas cuencas dependen del tipo de actividad que se esté desarrollando. Las actividades de packing se encuentran uniformemente distribuidas en toda el área de estudio.

Tabla 12: Actividades productivas identificadas en el área de estudio.

| Nº | COMUNA | RUBRO O SECTOR ECONOMICO | TIPO DE INDUSTRIA | CIU | DESCRIPCION O NOMBRE DE LA INDUSTRIA | TIPO DE TRATAMIENTO | DESCARGA |
|----|------------|---|--------------------|-------|---|---|--------------|
| 1 | Las Cabras | Agricultura, caza, silvicultura y pesca | Criadero de Vacuno | 11121 | Crianza de Ganado Llallauquen | No genera descarga | Sin descarga |
| 2 | Las Cabras | Agricultura, caza, silvicultura y pesca | Criadero de cerdos | 11125 | Agrosuper - Corrales - sector El Estero | Separación de sólidos, Lodos activados, lagunas de almacenamiento | Difusa |
| 3 | Las Cabras | Agricultura, caza, silvicultura y pesca | Piscina | 11125 | Agrosuper - Piscina - sector Rapel-Cerdos | Separación de sólidos, Lodos activados, lagunas de almacenamiento | Difusa |
| 4 | Las Cabras | Agricultura, caza, silvicultura y pesca | Criadero de cerdos | 11125 | Agrosuper - Corrales - sector Alhué | No genera descarga | Sin descarga |
| 5 | Las Cabras | Agricultura, caza, silvicultura y pesca | Criadero de cerdos | 11125 | Agrosuper - Corrales - sector El Litre | Separación de sólidos, Lodos activados, lagunas de almacenamiento | Difusa |
| 6 | Las Cabras | Agricultura, caza, silvicultura y pesca | Criadero de cerdos | 11125 | Agrosuper - Corrales - sector El Alamo | Separación de sólidos, Lodos activados, lagunas de almacenamiento | Difusa |
| 7 | Las Cabras | Agricultura, caza, silvicultura y pesca | Criadero de aves | 11127 | Agrosuper - Corrales - sector Don Forster | No genera descarga | Sin descarga |
| 8 | Las Cabras | Agricultura, caza, silvicultura y pesca | Criadero de aves | 11127 | Agrosuper - Corrales - Sector Don Forster | No genera descarga | Sin descarga |
| 9 | Las Cabras | Agricultura, caza, silvicultura y pesca | Criadero de aves | 11127 | Sectores Agrosuper Sexta Región | No genera descarga | Sin descarga |
| 10 | Las Cabras | Agricultura, caza, silvicultura y pesca | Criadero de aves | 11127 | Sectores Agrosuper Sexta Región | No genera descarga | Sin descarga |
| 11 | Las Cabras | Agricultura, caza, silvicultura y pesca | Criadero de aves | 11127 | Sectores Agrosuper Sexta Región | No genera descarga | Sin descarga |
| 12 | Las Cabras | Agricultura, caza, silvicultura y pesca | Criadero de aves | 11127 | Choike Carnes File Limitada | No genera descarga | Sin descarga |
| 13 | Las Cabras | Agricultura, caza, silvicultura y pesca | Criadero de aves | 11127 | Fundo San Luis (Angel Salas L. Y Emilio Salas L.) | No genera descarga | Sin descarga |
| 14 | Las Cabras | Agricultura, caza, silvicultura y pesca | Criadero de aves | 11127 | Agrícola Rancho Ave Prima Ltda. | No genera descarga | Sin descarga |
| 15 | Las Cabras | Manufactureras | Vitivinicola | 31321 | Viña Ortiz y Ortiz Ltda. | No genera descarga | Sin descarga |
| 16 | Las Cabras | Agricultura, caza, silvicultura y pesca | Packing | 31112 | Packing Ortiz | No genera descarga | Sin descarga |
| 17 | Las Cabras | Agricultura, caza, silvicultura y pesca | Packing | 31112 | Packing (El Durazno) | No genera descarga | Sin descarga |
| 18 | Las Cabras | Agricultura, caza, silvicultura y pesca | Packing | 31112 | Packing (La Cabana) | No genera descarga | Sin descarga |
| 19 | Las Cabras | Agricultura, caza, silvicultura y pesca | Packing | 31112 | Packing Agrícola Pencahue | No genera descarga | Sin descarga |
| 20 | Las Cabras | Agricultura, caza, silvicultura y pesca | Packing | 31112 | Packing Ortiz | No genera descarga | Sin descarga |
| 21 | Las Cabras | Agricultura, caza, silvicultura y pesca | Packing | 31112 | Packing Kilamuta | No genera descarga | Sin descarga |
| 22 | Las Cabras | Agricultura, caza, silvicultura y pesca | Packing | 31112 | Packing Patricio Fresno | No genera descarga | Sin descarga |
| 23 | Las Cabras | Agricultura, caza, silvicultura y pesca | Packing | 31112 | Packing raul guajardo parcela 20 | No genera descarga | Sin descarga |
| 24 | Las Cabras | Agricultura, caza, silvicultura y pesca | Packing | 31112 | Packing san antonio (frigorífico) | No genera descarga | Sin descarga |
| 25 | Las Cabras | Agricultura, caza, silvicultura y pesca | Packing | 31112 | Packing San José | No genera descarga | Sin descarga |
| 26 | Las Cabras | Agricultura, caza, | Packing | 31112 | Soc. Agric. Fdo. El | No genera descarga | Sin descarga |

| | | | | | | | |
|----|------------|---|--|--------|---|--------------------|--------------------------------|
| | | silvicultura y pesca | | | Porvenir (Verfrut) | | |
| 27 | Las Cabras | Manufactureras | Fabricas de madera | 33121 | Fábrica de cajón (Pérez Campos) | No genera descarga | Sin descarga |
| 28 | Las Cabras | Manufactureras | Productos de la Madera | 33121 | Fábrica cajones (Pérez Campos) | No genera descarga | Sin descarga |
| 29 | Las Cabras | Gobierno Central y Administración Pública | Planta de Tratamiento de Aguas | 900050 | Planta de Tratamiento de AS María Eliana | Lodos Activados | Brazo río Cachapoal |
| 30 | Las Cabras | Gobierno Central y Administración Pública | Planta de Tratamiento de Aguas | 900050 | Planta de Tratamiento de AS Villa O'Higgins | Lodos Activados | Canal de riego y luego embalse |
| 31 | Pichidegua | Agricultura, caza, silvicultura y pesca | Sociedad Agrícola | 11121 | Soc. Agric. y Ganadera Sta. Angela | No genera descarga | Sin descarga |
| 32 | Pichidegua | Agricultura, caza, silvicultura y pesca | Criadero de cerdos | 11125 | Chancheras El Sauce (Juan Solis) | No genera descarga | Sin descarga |
| 33 | Pichidegua | Agricultura, caza, silvicultura y pesca | Criadero de cerdos | 11125 | Agricola Lyon (El Boldo) | No genera descarga | Sin descarga |
| 34 | Pichidegua | Agricultura, caza, silvicultura y pesca | Criadero de cerdos | 11125 | Agricola Lyon (Las Pampas) | No genera descarga | Sin descarga |
| 35 | Pichidegua | Agricultura, caza, silvicultura y pesca | Criadero de cerdos | 11125 | Agricola Lyon (El Espino) | Biodigestores | Difusa |
| 36 | Pichidegua | Agricultura, caza, silvicultura y pesca | Criadero de cerdos | 11125 | Agricola Lyon (El Peumo) | Biodigestores | Difusa |
| 37 | Pichidegua | Agricultura, caza, silvicultura y pesca | Criadero de cerdos | 11125 | Agricola Lyon (San Guillermo) | Biodigestores | Difusa |
| 38 | Pichidegua | Agricultura, caza, silvicultura y pesca | Criadero de cerdos | 11125 | Orlando Cabello | No genera descarga | Sin descarga |
| 39 | Pichidegua | Agricultura, caza, silvicultura y pesca | Criadero de aves | 11127 | Huevos Cinta Azul | No genera descarga | Sin descarga |
| 40 | Pichidegua | Agricultura, caza, silvicultura y pesca | Criadero de cerdos | 11125 | Juan Soto | No genera descarga | Sin descarga |
| 41 | Pichidegua | Agricultura, caza, silvicultura y pesca | Criadero de aves | 11127 | Huevos Cinta Azul | No genera descarga | Sin descarga |
| 42 | Pichidegua | Agricultura, caza, silvicultura y pesca | Criadero de aves | 11127 | Huevos Cinta Azul | No genera descarga | Sin descarga |
| 43 | Pichidegua | Agricultura, caza, silvicultura y pesca | Criadero de aves | 11127 | Huevos Cinta Azul | No genera descarga | Sin descarga |
| 44 | Pichidegua | Agricultura, caza, silvicultura y pesca | Criadero de aves | 11127 | Huevos Cinta Azul | No genera descarga | Sin descarga |
| 45 | Pichidegua | Agricultura, caza, silvicultura y pesca | Criadero de aves | 11127 | Huevos Cinta Azul | No genera descarga | Sin descarga |
| 46 | Pichidegua | Agricultura, caza, silvicultura y pesca | Criadero de aves | 11127 | Marcelo Cornejo Barriere | No genera descarga | Sin descarga |
| 47 | Pichidegua | Agricultura, caza, silvicultura y pesca | Criadero de aves | 11127 | Sociedad Avícola y Comercial El Toco Limitada | No genera descarga | Sin descarga |
| 48 | Pichidegua | Agricultura, caza, silvicultura y pesca | Productor de frutas, verduras y/u hortalizas | 11132 | Agríc. San Ismael Ltda. | No genera descarga | Sin descarga |
| 49 | Pichidegua | Agricultura, caza, silvicultura y pesca | Productor de frutas, verduras y/u hortalizas | 11132 | Enrique Serrano (tomates para Malloa) | No genera descarga | Sin descarga |
| 50 | Pichidegua | Agricultura, caza, silvicultura y pesca | Sociedad Agrícola | 11132 | Soc. Agric. Los álamos | No genera descarga | Sin descarga |
| 51 | Pichidegua | Agricultura, caza, silvicultura y pesca | Productor de frutas, verduras y/u hortalizas | 11132 | Lyon Amand Juan José | No genera descarga | Sin descarga |
| 52 | Pichidegua | Agricultura, caza, silvicultura y pesca | Productor de frutas, verduras y/u hortalizas | 11132 | Lyon Besa Pedro | No genera descarga | Sin descarga |
| 53 | Pichidegua | Agricultura, caza, silvicultura y pesca | Viveros | 11171 | Vivero de Flores Manuel Bustamante Contreras | No genera descarga | Sin descarga |

| | | | | | | | |
|----|-------------|---|---|--------|--|--|----------------------|
| 54 | Pichidegua | Agricultura, caza, silvicultura y pesca | No Especificado | 11191 | Parin Hernán Leiva | No genera descarga | Sin descarga |
| 55 | Pichidegua | Agricultura, caza, silvicultura y pesca | No Especificado | 11191 | Quiroz ranabales orlando | No genera descarga | Sin descarga |
| 56 | Pichidegua | Agricultura, caza, silvicultura y pesca | No Especificado | 11191 | Sánchez Rivas Gonzalo | No genera descarga | Sin descarga |
| 57 | Pichidegua | Minas y Canteras | Minería metálica | 23041 | Minería Oro | No genera descarga | Sin descarga |
| 58 | Pichidegua | Agricultura, caza, silvicultura y pesca | Packing | 31112 | Orlando Fredez Packing | No genera descarga | Sin descarga |
| 59 | Pichidegua | Agricultura, caza, silvicultura y pesca | Packing | 31112 | Packing (Quiroz) | No genera descarga | Sin descarga |
| 60 | Pichidegua | Agricultura, caza, silvicultura y pesca | Packing | 31112 | Packing Ismael Pereira Lyon | No genera descarga | Sin descarga |
| 61 | Pichidegua | Agricultura, caza, silvicultura y pesca | Packing | 31112 | Packing Juan Pancho | No genera descarga | Sin descarga |
| 62 | Pichidegua | Agricultura, caza, silvicultura y pesca | Packing | 31112 | Packing Quiwis, Perales | No genera descarga | Sin descarga |
| 63 | Pichidegua | Agricultura, caza, silvicultura y pesca | Packing | 31112 | Packing Serrano Guerra | No genera descarga | Sin descarga |
| 64 | Pichidegua | Manufactureras | Lácteos | 31121 | Fabrica de queso (Coop. El Toco) | No genera descarga | Sin descarga |
| 65 | Pichidegua | Manufactureras | Maderas, Aserraderos y Barracas | 33111 | Barraca y Aserradero Oscar Nuñez | No genera descarga | Sin descarga |
| 66 | Pichidegua | Manufactureras | Procesamiento mineral no metálico | 36911 | Fábrica de Ladrillo | No genera descarga | Sin descarga |
| 67 | Pichidegua | Agricultura, caza, silvicultura y pesca | Criadero de cerdos | 11125 | Agrícola Santa Lucía Ltda. (punto 1) | No genera descarga | Sin descarga |
| 68 | Pichidegua | Agricultura, caza, silvicultura y pesca | Criadero de cerdos | 11125 | Agrícola Santa Lucía Ltda. (punto 2) | No genera descarga | Sin descarga |
| 69 | Pichidegua | Agricultura, caza, silvicultura y pesca | Criadero de cerdos | 11125 | Agrícola Santa Lucía Ltda. (punto 3) | No genera descarga | Sin descarga |
| 70 | Pichidegua | Agricultura, caza, silvicultura y pesca | Criadero de cerdos | 11125 | Agrícola Santa Lucía Ltda. (punto 4) | No genera descarga | Sin descarga |
| 71 | Pichidegua | Agricultura, caza, silvicultura y pesca | Criadero de cerdos | 11125 | Agrícola Santa Lucía Ltda. (punto 5) | No genera descarga | Sin descarga |
| 72 | Pichidegua | Agricultura, caza, silvicultura y pesca | Criadero de cerdos | 11125 | Agrícola Santa Amelia | No genera descarga | Sin descarga |
| 73 | Pichidegua | Agricultura, caza, silvicultura y pesca | Criaderos sin funcionamiento | 11125 | Agrosuper - Corrales | No genera descarga | Sin descarga |
| 74 | Pichidegua | Agricultura, caza, silvicultura y pesca | Criadero de cerdos | 11125 | Luz Ximena Ford Toro (Criadero Los Sauces) | No genera descarga | Sin descarga |
| 75 | Pichidegua | Manufactureras | Vitivinicola | 31321 | Viña Lyon Ltda. | Remoción de sólidos suspendidos, tanque de acumulación y neutralización. | Difusa |
| 76 | Pichidegua | Gobierno Central y Administración Pública | Planta de Tratamiento de Aguas Servidas | 900050 | Planta de Tratamiento de AS Patagua Cerro | Lodos activados | Río Cachapoal |
| 77 | Pichidegua | Gobierno Central y Administración Pública | Planta de Tratamiento de Aguas Servidas | 900050 | Planta de Tratamiento de AS Mal Paso Larmahue | Lodos activados | Canal de regadío |
| 78 | Pichidegua | Agricultura, caza, silvicultura y pesca | Criadero de cerdos | 11125 | Faenadora de cerdos Las Pataguas – Comercial MAXAGRO Ltda. | Laguna de equalización, laguna de funcionamiento SBR y laguna digestora de lodos. Lodos: deshidratación mediante filtro de banda | Utilizado para riego |
| 79 | La Estrella | Agricultura, caza, silvicultura y pesca | Criadero de cerdos | 11125 | San Manuel(Los Llanos) | Sistema Pit y Flush, separación de | Difusa |

| | | | | | | | |
|----|-------------|---|--------------------|-------|--|--|--------|
| | | | | | | sólidos, floculación, estanque de equalización, lodos activados | |
| 80 | La Estrella | Agricultura, caza, silvicultura y pesca | Criadero de cerdos | 11125 | San Manuel (Los Clonquis) | Sistema Pit y Flush, separación de sólidos, floculación, estanque de equalización, lodos activados | Difusa |
| 81 | La Estrella | Agricultura, caza, silvicultura y pesca | Criadero de cerdos | 11125 | San Manuel (barrancas) | Sistema Pit y Flush, separación de sólidos, floculación, estanque de equalización, lodos activados | Difusa |
| 82 | La Estrella | Agricultura, caza, silvicultura y pesca | Criadero de cerdos | 11125 | San Manuel (Los Cururos) | Sistema Pit y Flush, separación de sólidos, floculación, estanque de equalización, lodos activados | Difusa |
| 83 | La Estrella | Agricultura, caza, silvicultura y pesca | Criadero de cerdos | 11125 | San Manuel (Las Murallas) | Sistema Pit y Flush, separación de sólidos, floculación, estanque de equalización, lodos activados | Difusa |
| 84 | La Estrella | Agricultura, caza, silvicultura y pesca | Criadero de cerdos | 11125 | San Manuel (El Capricho) | Sistema Pit y Flush, separación de sólidos, floculación, estanque de equalización, lodos activados | Difusa |
| 85 | La Estrella | Agricultura, caza, silvicultura y pesca | Criadero de cerdos | 11125 | San Manuel (Las Varillas) | Sistema Pit y Flush, separación de sólidos, floculación, estanque de equalización, lodos activados | Difusa |
| 86 | La Estrella | Agricultura, caza, silvicultura y pesca | Criadero de cerdos | 11125 | San Manuel (San Manuel) | Sistema Pit y Flush, separación de sólidos, floculación, estanque de equalización, lodos activados | Difusa |
| 87 | La Estrella | Agricultura, caza, silvicultura y pesca | Criadero de cerdos | 11125 | Plantel de cerdos Quebrada Honda | Sistema Pit y Flush, separación de sólidos, floculación, estanque de equalización, lodos activados | Difusa |
| 88 | La Estrella | Agricultura, caza, silvicultura y pesca | Criadero de cerdos | 11125 | Plantel de Cerdos Santa Clotilde | Sistema Pit y Flush, separación de sólidos, floculación, estanque de equalización, lodos activados | Difusa |
| 89 | La Estrella | Agricultura, caza, silvicultura y pesca | Criadero de aves | 11127 | Crianza de Aves Broiler, Los Huilles (plantel 1) | Sistema Pit y Flush, separación de sólidos, floculación, estanque de equalización, lodos activados | Difusa |
| 90 | La Estrella | Agricultura, caza, silvicultura y pesca | Criadero de aves | 11127 | Crianza de Aves Broiler, Los Huilles (plantel 2) | Sistema Pit y Flush, separación de sólidos, floculación, estanque de equalización, lodos | Difusa |

| | | | | | | activados | |
|-----|-------------|---|--|--------|---|---|-----------------------|
| 91 | La Estrella | Gobierno Central y Administración Pública | Planta de tratamiento de aguas servidas | 900050 | Ilustre Municipalidad La Estrella | Laguna de estabilización | Estero Alonso Morales |
| 92 | Peumo | Agricultura, caza, silvicultura y pesca | Productor de frutas, verduras y/u hortalizas | 11132 | Frutas Escobar | No genera descarga | Sin descarga |
| 93 | Peumo | Agricultura, caza, silvicultura y pesca | Productor de frutas, verduras y/u hortalizas | 11132 | Fruto Fredes | No genera descarga | Sin descarga |
| 94 | Peumo | Agricultura, caza, silvicultura y pesca | Productor de frutas, verduras y/u hortalizas | 11132 | Huertos Cachapoal | No genera descarga | Sin descarga |
| 95 | Peumo | Agricultura, caza, silvicultura y pesca | Productor de frutas, verduras y/u hortalizas | 11132 | Soc. Huertos los molinos Ltda. | No genera descarga | Sin descarga |
| 96 | Peumo | Agricultura, caza, silvicultura y pesca | Viveros | 11171 | Invernadero de tomates (Codaio) | No genera descarga | Sin descarga |
| 97 | Peumo | Agricultura, caza, silvicultura y pesca | No Especificado | 11191 | Valdés Valdés Ismael | No genera descarga | Sin descarga |
| 98 | Peumo | Agricultura, caza, silvicultura y pesca | Packing | 31112 | Soc. Agric. La Rosa Sofruco S.A. | Sistemas de separación de sólidos, Estanque neutralizador y tanque acumulador. | Difusa |
| 99 | Peumo | Manufactureras | Productos de la Madera | 33121 | Fábrica Cajones Cachapoal | No genera descarga | Sin descarga |
| 100 | Peumo | Manufactureras | Procesamiento mineral no metálico | 36911 | Fábrica Ladrillos Cuota Vieja | No genera descarga | Sin descarga |
| 101 | Peumo | Manufactureras | Vitivinícola | 31321 | Viña Concha y Toro | Sistema de separación de sólidos, estanque acumulador, pretratamiento, tratamiento biológico (reactor), clarificadores biológicos y manejo de lodos | Canal Cabrino |
| 102 | Peumo | Explotación de minas | Minería no metálica | 29011 | Cantera (cementerio) | No genera descarga | Sin descarga |
| 103 | Litueche | Explotación de minas | Minería no metálica | 29011 | Minera Pacífico Ltda. | No genera descarga | Sin descarga |
| 104 | Litueche | Agricultura, caza, silvicultura y pesca | Criadero de aves | 11127 | Avefino Ursula Burket F. | No genera descarga | Sin descarga |
| 105 | Litueche | Agricultura, caza, silvicultura y pesca | Criadero de aves | 11127 | Plantel de Aves Reproductoras San Miguel | No genera descarga | Sin descarga |
| 106 | Alhué | Agricultura, caza, silvicultura y pesca | Viñas | 11131 | Viña Concha y Toro | No genera descarga | Sin descarga |
| 107 | Alhué | Minas y Canteras | Minería Metálica | 132010 | Minería La Florida – Plata | No genera descarga | Sin descarga |
| 108 | Alhué | Minas y Canteras | Extracción de cobre | 133000 | Embalse de Relaves de Codelco- División El Teniente | Embalse de relaves y planta de abatimiento de molibdeno. | Canal de relaves |
| 109 | Marchihue | Agricultura, caza, silvicultura y pesca | Criadero de cerdos | 11125 | Plantel de cerdos La Esperanza | Separación de sólidos y dilución en un tranque de riego. | Difusa |
| 110 | Marchihue | Agricultura, caza, silvicultura y pesca | Criadero de cerdos | 11125 | Fundo El Carrizal Alcones – Roberto Izquierdo | No genera descarga | Sin descarga |
| 111 | Marchihue | Agricultura, caza, silvicultura y pesca | Criadero de aves | 11127 | Viveros Compostela - Genoveva de | No genera descarga | Sin descarga |

| | | | | | | | |
|-----|-----------|---|------------------|-------|--|--------------------|--------------|
| | | | | | Craene | | |
| 112 | Marchihue | Agricultura, caza, silvicultura y pesca | Criadero de aves | 11127 | Avícola San José - María Becerra Vásquez | No genera descarga | Sin descarga |
| 113 | Marchihue | Agricultura, caza, silvicultura y pesca | Criadero de aves | 11127 | Margarita Vidal - Vidigo | No genera descarga | Sin descarga |
| 114 | Navidad | Agricultura, caza, silvicultura y pesca | Criadero de aves | 11127 | Luis Rosales | No genera descarga | Sin descarga |

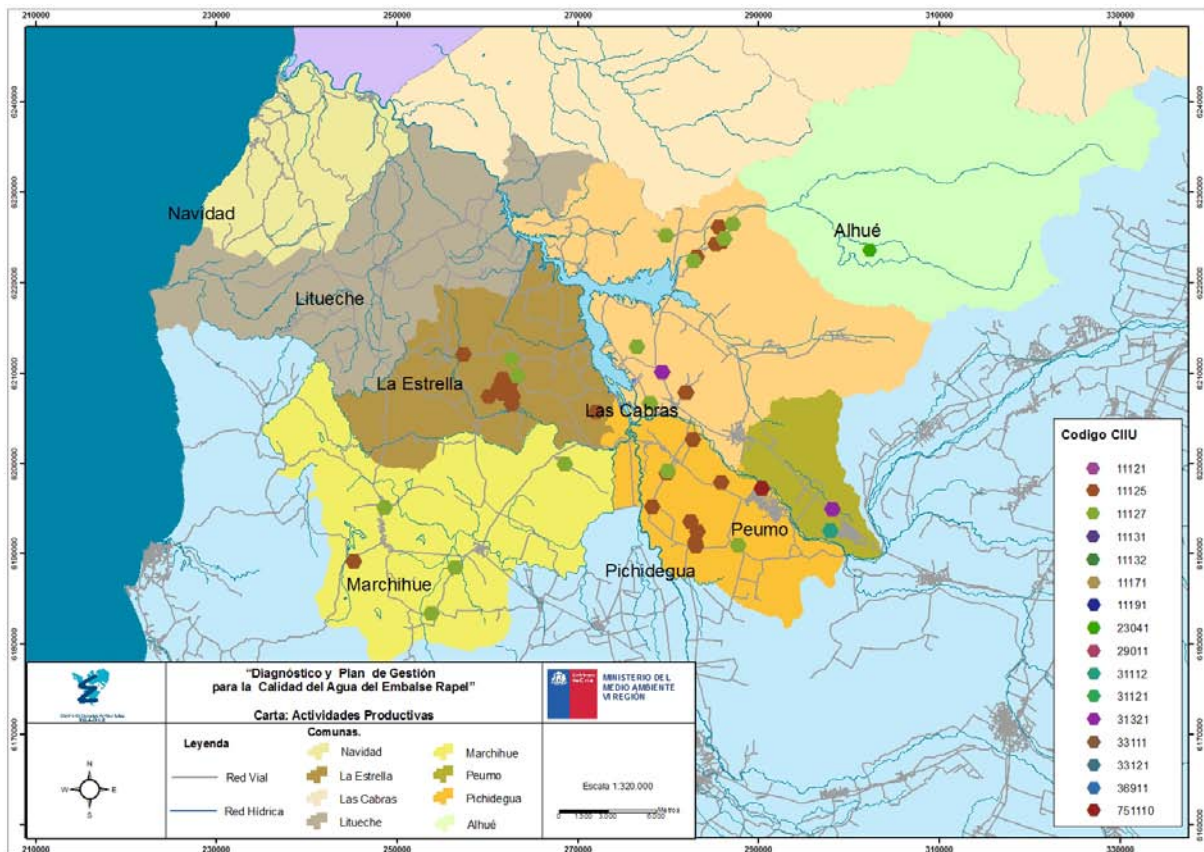


Figura 18: Ubicación espacial de las actividades industriales catastradas en el área de estudio.

Identificación y caracterización de las descargas

Según la información proporcionada en el estudio Cuenca Ingenieros Consultores Ltda. (2010) de las 114 actividades productivas presentes en el área de estudio, solamente seis generan emisiones que descargan en forma directa al embalse o bien en alguno de sus tributarios (Tabla 12; Figura 19). De las seis descargas identificadas, cinco corresponden a plantas de tratamiento de aguas servidas de las comunas de Pichidegua, La Estrella, Peumo y Las Cabras. La sexta actividad corresponde a la descarga de aguas claras de relaves del embalse Carén, perteneciente a Codelco-Chile, División El Teniente.

Tabla 13: Actividades productivas que descargan al embalse Rapel o bien en sus tributarios.

| Comuna | Rubro o sector economico | Tipo de industria | CIU | Descripción o nombre de la industria | Tipo de tratamiento | Efluente |
|-------------|---|--|--------|---|--|--------------------------------|
| Las Cabras | Gobierno Central y Administración Pública | Planta de Tratamiento de Aguas | 900050 | Planta de Tratamiento de AS María Eliana | Lodos Activados | Brazo Cubeta Alhué |
| Las Cabras | Gobierno Central y Administración Pública | Planta de Tratamiento de Aguas | 900050 | Planta de tratamiento de AS Villa O'Higgins | Lodos Activados | Canal de riego y luego embalse |
| Pichidegua | Gobierno Central y Administración Pública | Planta de Tratamiento de Aguas Servidas | 900050 | Planta de Tratamiento de AS Patagua Cerro | Lodos activados | Río Cachapoal |
| Pichidegua | Gobierno Central y Administración Pública | Planta de Tratamiento de Aguas Servidas | 900050 | Planta de Tratamiento de AS Mal Paso Larmahue | Lodos activados | Canal de regadío |
| La Estrella | Gobierno Central y Administración Pública | Planta de tratamiento de aguas servidas | 900050 | Planta de Tratamiento de AS Ilustre Municipalidad La Estrella | Laguna de estabilización | Estero Alonso Morales |
| Alhué | Gobierno de Chile | Embalse de Relaves de Codelco-División El Teniente | 133000 | Codelco-Chile División El Teniente | Embalse de relaves y planta de abatimiento de molibdeno. | Estero Carén |

Durante el mes de mayo y julio de 2010 se realizó una caracterización físico-químico y microbiológica de cinco de las seis descargas identificadas, correspondientes a las comunas de Las Cabras (Villa O'Higgins y María Eliana), Pichidegua (Malpaso y Patagua) y Alhué (Tabla 14). De acuerdo con los resultados obtenidos, se determinó que solamente la descarga de la Planta de Tratamiento Malpaso Larmahue cumple con los valores máximos de coliformes fecales establecidos en el D.S. N°90 (Tabla N°1), mientras que las descargas de las PTAS de Villa O'higgins, Pichidegua (Patagua Cerro) y María Eliana sobrepasan los 1000 NMP/100 ml de coliformes fecales, permitidos por el D.S. N°90. En el caso de la descarga del embalse de relaves Carén, esta tiene una normativa especial (D.S. N°80) que le autoriza descargar con una concentración mayor de sulfatos (2000 mg/L) y molibdeno (1,6 mg/L), por lo tanto cumple con la normativa vigente. No se efectuó la caracterización de la PTAS de La Estrella, debido a que su llegada al embalse no es directa, descargando en tributario del estero Las Cadenas, el cual es monitoreado en la estación R-7.

Tabla 14: Caracterización física, química y microbiológica de las descargas en el embalse Rapel.

| PARAMETROS | DESCARGAS | | | | | |
|--|-----------------------|--------|-------------------------|------------------------------|--|----------------------|
| | DS 90 Tabla Nº1 | Carén | PTAS Villa O'Higgins | PTAS Mal Paso Larmahue | PTAS Pichidegua Patagua Cerro | PTAS María Eliana |
| Amonio (mg/L) | - | 0,02 | 0,65 | 0,10 | 0,10 | 39,25 |
| Color Verdadero (Pt/Co) | - | <5 | 8,0 | 10,0 | 11,0 | 42 |
| Temperatura (°C) | 35 | 17,0 | 16,1 | 13,4 | 12,2 | 13,9 |
| Conductividad (uS/cm) | - | 3220,0 | 737,0 | 598,0 | 625,0 | 1069,0 |
| DBO (mgO/mL) | 35 | 9,8 | 3,2 | 1,3 | 2,3 | 72,2 |
| DQO (mgO/ mL) | - | 13,2 | 14,6 | 7,0 | 6,8 | 94,0 |
| Fósforo total (mg/L) | - | 0,04 | 1,38 | 2,51 | 0,94 | 7,00 |
| Fósforo soluble (mg/L) | 10 | 0,01 | 1,28 | 0,84 | 0,59 | 6,00 |
| Nitrato (mg/L) | - | 0,16 | 9,2 | 7,85 | 8,30 | 22,49 |
| Nitrito (mg/L) | - | <0,005 | 2,199 | 0,1 | 0,097 | 4,020 |
| Nitrógeno total (mg/L) | - | 0,58 | 10,36 | 8,88 | 3,85 | 51,07 |
| Orto fosfato (mg/L) | - | <0,012 | 3,031 | 0,898 | 0,397 | 16,853 |
| pH | 6,0-8,5 | 7,65 | 7,21 | 7,68 | 7,58 | 7,49 |
| Sólidos Suspendidos totales (mg/L) | 80 | 9,8 | 13,2 | 7,68 | 12,9 | 66,0 |
| Sulfato (mg/L) | 1000 2000* | 1740 | 127 | 98 | 100 | 99,0 |
| Coliformes Fecales NMP/100 ml | 1000 | 10 | 9200 | 79 | >16000 | 7000 |
| Coliformes Totales NMP/100 ml | - | 220 | 16000 | 790 | >16000 | 92000 |

*: DS N°80.

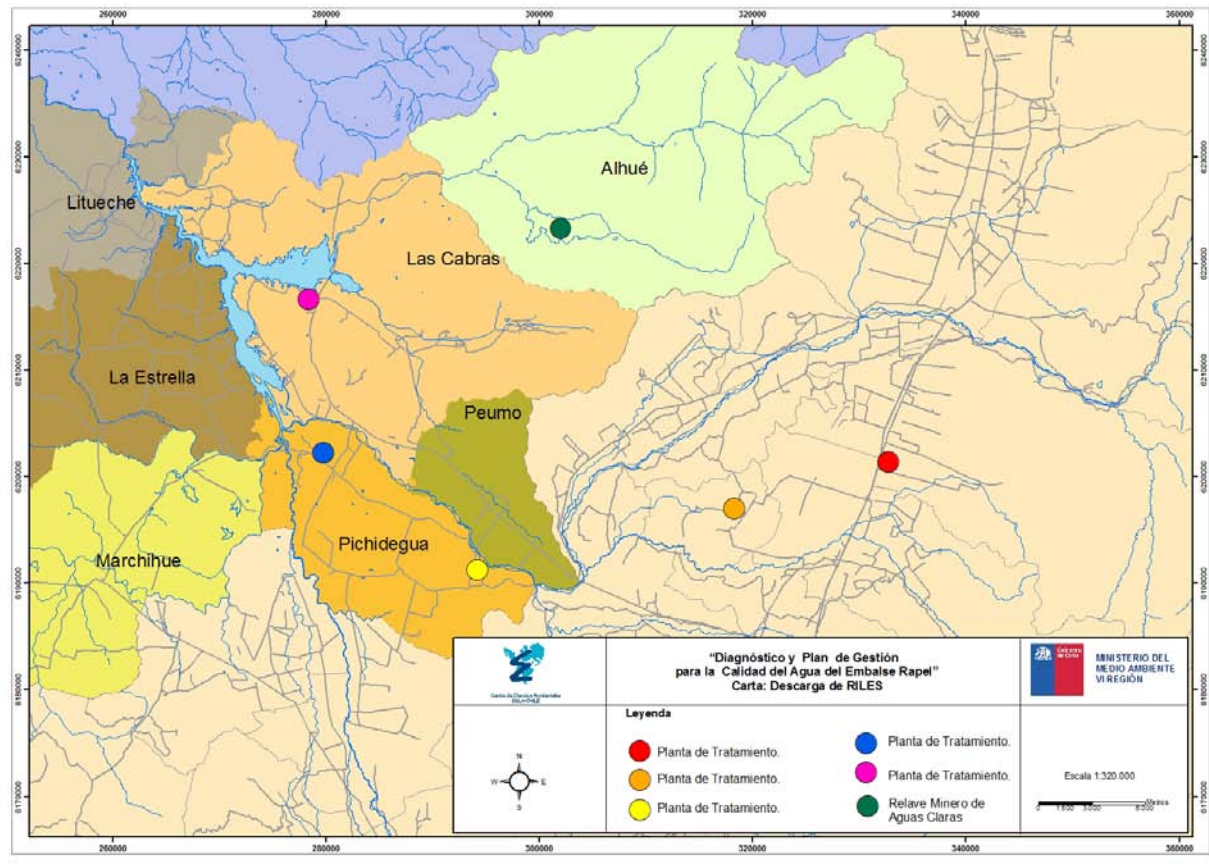


Figura 19: Ubicación de la actividades productivas con descargas de RILES en el área de estudio.

Relación entre las actividades económicas identificadas mediante el código CIIU y los residuos generados.

La clasificación de actividades de acuerdo al Código CIIU (Código Internacional Industrial Uniforme), permite visualizar claramente cuáles son las actividades predominantes en la zona de estudio. Así la Tabla 15, muestra una individualización de las siguientes actividades: cría de ganado porcino (11125), cría de aves (11127), matanza de ganado (31111), industrias manufactureras, plantaciones de vid (11131) y frutales (11132) y fabricación de vinos (31321), frigoríficos relacionados con la conservación o packing (31112), plantas de tratamiento de aguas servidas (900050) y la actividad mineras (132010 y 133000), existentes en el área de estudio. Es posible observar que las actividades de cría de ganado porcino y aves corresponden al rubro con mayor actividad en la región estudiada. En tercer lugar se encuentran los packing y frutales. De todas las actividades mencionadas, la cría de ganado porcino y aves, así como su faenamiento, son generadores de importantes cantidades de residuos sólidos y líquidos, que de no ser tratados adecuadamente podrían resultar ser altamente contaminantes para el ambiente. El tipo de contaminación, no sólo se debería a la carga orgánica, sino a compuestos específicos que están contenidos por ejemplo en las proteínas, en caso del nitrógeno.

A continuación se hace una somera descripción de las distintas actividades productivas, de acuerdo al rubro que pertenecen, su localización y posibles impactos que generan debido a las prácticas que se emplean, en el rubro en cuestión.

Tabla 15: Actividades económicas de acuerdo a los códigos CIU.

| Actividades Económicas | Códigos CIU | CIU | Total |
|--|---|--------|-------|
| Agricultura, servicios agrícolas, caza, silvicultura y pesca | Cría de ganado bovino | 11121 | 2 |
| | Producción de leche | 11123 | 0 |
| | Cría de ganado porcino | 11125 | 34 |
| | Cría de aves, para producción de carnes y huevos | 11127 | 24 |
| | Apicultura | 11128 | 0 |
| | Cría y explotación de animales no clasificados en otra parte | 11129 | 0 |
| | Vid | 11131 | 1 |
| | Frutales | 11132 | 9 |
| | Flores, plantas de interior y viveros | 11171 | 2 |
| | Otros cultivos no clasificados | 11191 | 4 |
| | Explotación de Bosques | 12201 | 0 |
| Minas y canteras | Extracción de piedra, arcilla y arena | 29011 | 2 |
| | Minería Metálica | 23041 | 2 |
| | Extracción de cobre | 133000 | 1 |
| Industrias Manufactureras | Matanza de ganado | 31111 | 0 |
| | Frigoríficos relacionados con la conservación | 31112 | 18 |
| | Fabricación de mantequilla, queso, quesillo, yoghurt y cremas | 31121 | 1 |
| | Fabricación de helados, sorbetes y otros postres | 31123 | 0 |
| | Elaboración y envasado de frutas y legumbres (incluidos jugos) | 31131 | 0 |
| | Elaboración de pasas, frutas secas y legumbres secas | 31132 | 0 |
| | Molinos harineros y otros | 31161 | 0 |
| | Elaboración de alimentos de cereales | 31163 | 0 |
| | Elaboración de alimentos para animales | 31221 | 0 |
| | Fabricación de vinos | 31321 | 3 |
| | Elaboración de bebidas no alcohólicas y aguas minerales gasificadas | 31341 | 0 |
| | Fabricación de cigarrillos y cigarros | 31401 | 0 |
| | Curtiduría y talleres de acabado | 32311 | 0 |
| | Aserraderos y otros talleres para preparar madera | 33111 | 1 |
| | Casas prefabricadas de madera | 33115 | 0 |
| | Envases de madera y de caña | 33121 | 3 |
| | Fabricación de artículos de pulpa, papel y cartón | 34191 | 0 |
| | Fabricación de ladrillos | 36911 | 2 |
| | Fabricación de productos minerales no metálicos no especificados | 36991 | 0 |
| | Fabricación de cuchillería | 38111 | 0 |
| Montaje e instalación de elementos prefabricados | 38135 | 0 | |
| Fabricación y reparación de motores, turbinas y maquinas a vapor gas | 38211 | 0 | |
| Plantas de Tratamiento Aguas Servidas | Tratamiento y eliminación de los desperdicios evacuados a través de alcantarillas y cloacas, así como también de RILEs. | 900050 | 5 |

- *Criaderos de Cerdos y Aves (CIU 11123 y 11125)*. La crianza de animales genera riles con alto contenido orgánico debido al estiércol producido por los corrales, el que resulta mezclado con pelos o plumas, según sea el caso, resto de comida, residuos de la cama del ganado, etc. La generación de riles se produce fundamentalmente con el lavado de los pisos, y corrales, el que se realiza siguiendo diversos sistemas.
- La Figura 20, muestra el total de los planteles porcinos existentes en el área de estudio. El 38,77% de la actividad productiva del área de estudio se debe a este tipo de actividad industrial, encontrándose principalmente, en las comunas de Pichidegua, Las Cabras, La Estrella y Marchigüe. Navidad, Peumo, Alhué, y Litueche no presentan registros de industrias con dicha actividad.

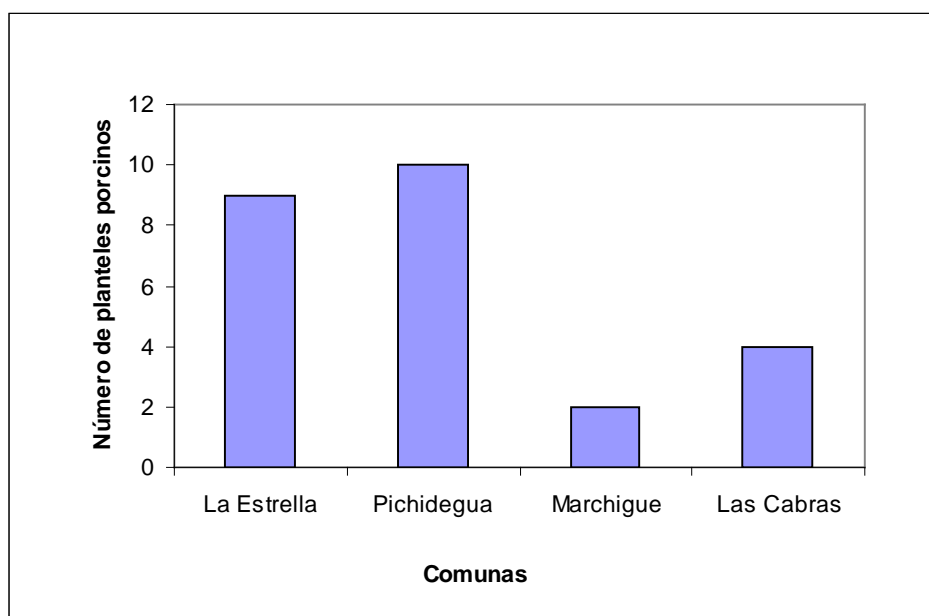


Figura 20: Planteles porcinos existentes en el área de estudio.

En la región existen varias empresas representativas de este rubro, encontrándose una cadena productiva donde su primer eslabón son las incubadoras y criaderos de aves y cerdos, localizados en las comunas de Las Cabras y La Estrella.

- *Faenadoras de Animales (CIU 31111 y 31113)*. La industria procesadora de carne comprende a los mataderos y manufacturas de gran variedad de productos cárnicos. En el proceso de recuperación de descartes (grasa, huevos, cabezas, sangre y vísceras) se incluye su conversión en subproductos útiles (manteca, sebo, aceites y productos proteicos)

Los residuos líquidos producidos por las industrias procesadoras de carnes de vacuno y cerdos son efluentes que contienen sangre, estiércol, pelos, grasas, huesos, proteínas y otros elementos. El residuo generado contiene elevadas

concentraciones de materia orgánicas, sólidos suspendidos y aceites y grasas. Estos residuos líquidos son producidos en los corrales, área de sangría, remoción de cueros, pelos y otras partes no comestibles, procesamientos de carne, lo incluye vísceras, intestinos y operaciones de limpieza.

En el caso de faenadoras de aves, el proceso productivo comienza con los pollos en la mesa de sacrificio, donde se les abre el cuello. La sangre es vertida en bidones y almacenada. Al pasar la cadena sin fin, las aves desplumadas, se lavan, se limpian, se vuelven a lavar. Las aves ya preparadas se congelan para luego ser envasadas. Los riles contienen principalmente sangre, plumas, restos de carnes, grasas, lavado de vísceras, alimentos digeridos, estiércol y restos varios.

- *Industria alimenticia (C11131 y 31134)*. Esta industria es de tipo estacional puesto que los periodos de cosecha y elaboración de verduras, frutas y conservas, son cortos. Muchas fabricas están preparadas para la elaboración de más de un producto, por lo que generación de riles, así como su características, depende del vegetal o fruta procesada y del tipo de fabricación. Por lo general, los procesos productivos en estos rubros consisten en el lavado de la materia prima, la eliminación de las partes no comestibles, la preparación de productos alimenticios y el envasado.

Los riles generados por la industria de preparación de alimentos son, principalmente, orgánicos y proceden de las operaciones de limpieza, extracción de jugos, calentamiento preliminar y pasteurización de las materias primas, limpieza de la maquinaria para la elaboración y congelación de productos.

Por tratarse de una industria de productos alimenticios, se efectúan al igual que en el caso de los residuos lácteos, lavados de líneas y equipos que arrojan riles con peaks de ácidos y básicos. Sin embargo, ello pudo presentar una baja proporción del ril total en el caso de aquellas industrias que efectúan transporte hidráulico de los vegetales (tomates).

- *Industria Vitivinícola (CIIU 31321)*. Los Productos ofrecidos por el sector vitivinícola corresponden a vino embotellado y a granel, tanto para el mercado nacional como para el de exportación. Los procesos asociados a la producción vitivinícola (molienda, fermentación, trasiegos, estabilizaciones embotellado) generan tantos residuos líquidos como sólidos, los cuales por lo general no son tratados, pudiendo así generar serio problemas ambientales. En lo que respecta a los residuos líquidos, estos son generados en las bodegas de vinificación y tienen un alto contenido de materia orgánica disuelta. Dentro de las principales actividades generadoras de materia orgánica disuelta, se encuentran: la limpieza de pisos, toneles y otros elementos del proceso también pueden generar riles.

- *Servicios de Tratamiento de RILes y aguas servidas (CIIU 900050)*. Las actividades de este código abarcan el tratamiento y eliminación de los desperdicios evacuados a través de alcantarillas y cloacas, así como también de RILEs. De esta forma, las actividades comprenden el enterramiento y cubrimiento de desperdicios

y fangos cloacales, así como las actividades de dilución, cribado, filtración, sedimentación, precipitación química, tratamiento de fangos activados y otros procesos de eliminación de aguas residuales.

- *Extracción de oro y plata (CIIU 132010)*. En esta clase se incluye la extracción de minerales estimados principalmente por su contenido de metales no ferrosos, incluso minerales de aluminio (bauxita), plomo, cromo, manganeso, níquel, cinc-plomo, estaño, ferroaleaciones (cobalto, molibdeno, tántalo y vanadio), metales preciosos (oro, plata y metales del grupo del platino), tierras raras y otros minerales metalíferos no ferrosos.

- *Extracción de cobre (CIIU 133000)*. Este código incluye los establecimientos que realizan el procesamiento de los productos de la minería del cobre de manera integrada de las faenas de extracción del mineral, tales como la fundición, refinación y todos los procesos involucrados.

2.2.3 Conclusiones

Los resultados obtenidos, indican que las principales actividades industriales adyacentes al embalse Rapel, son la agroindustria y los frigoríficos relacionados con la conservación (packing). A su vez la agroindustria presenta gran diversidad en el área de estudio, como actividad frutícola y cría de aves y porcinos. La industria vitivinícola por su parte, abarca grandes superficies de plantaciones frutales y viñas e involucra como cadena productiva, los packing e industrias elaboradoras de productos alimenticios.

Las comunas que presentan mayor actividad productiva son Pichidegua (42,1%), Las Cabras (26,3%) y La Estrella (11,4%), asociada a la empresa agrícola, actividades pecuarias y/o pesca, madera, minería y manufacturera. Por su parte, las comunas de Peumo (9,6%), Marchigüe (4,4%), Litueche (2,6%), Alhué (2,6%) y Navidad (0,9%), presentan porcentajes inferiores al 10%.

El rubro productivo que presenta un mayor porcentaje de actividad en el área de estudio corresponde a la crianza de cerdos, que concentra el 30,0 %, localizándose principalmente en las comunas de Pichidegua, Las Cabras, La Estrella y Marchigüe.

De las 114 actividades productivas sólo seis presentan descargas de emisiones líquidas que llegan directamente al embalse o alguno de sus tributarios en el área de estudio. Además, las descargas identificadas corresponden a plantas de tratamiento de aguas servidas de las comunas de Pichidegua, La Estrella, Peumo y Las Cabras.

2.3. Instrumentos de planificación vigentes en el área de estudio

2.3.1 Metodología

La metodología para el análisis de esta parte del estudio comprendió las siguientes actividades:

- Revisión bibliográfica

Corresponde al análisis de los instrumentos de planificación vigentes, de acuerdo a información proporcionada por los municipios del área de estudio

- Zonificación

Con el objetivo de identificar los usos del suelo planificados se procedió al análisis de los instrumentos vigentes.

- Cartografía temática

Corresponde a la elaboración de cartografía para señalar la distribución espacial de las zonas descritas en los instrumentos de planificación urbana vigentes en el área de estudio.

2.3.2 Resultados

El análisis de los antecedentes permitió obtener los siguientes resultados.

- a) Identificación de los instrumentos de planificación vigentes.

Los Instrumentos de Planificación Territorial están definidos en la Ley General de Urbanismo y Construcciones (L.G.U.C.), específicamente en el Título II: de la Planificación Urbana.

- Plan Regulador Intercomunal del embalse Rapel

Según las definiciones expresadas en el Artículo 34° de la L.G.U.C. el área de estudio se rige por lo señalado en el Plan Regulador Intercomunal del embalse Rapel que regula el desarrollo físico de las áreas urbanas y rurales de las comunas de San Pedro, Alhué, Las Cabras, Pichidegua, Peralillo, La Estrella y Litueche que, por sus relaciones, se integran en una unidad urbana.

El Plan Regulador Intercomunal del embalse Rapel es un instrumento de planificación urbana que contiene un conjunto de normas y acciones para orientar y regular el desarrollo físico del área correspondiente. Estas normas son relativas a los límites urbanos, zonificación, usos del suelo, condiciones de subdivisión predial y de edificación, urbanización y vialidad que regulan parte de los territorios de las comunas comprendidas en el área comprendidas dentro del Plan Regulador Intercomunal del embalse Rapel.

Cabe señalar que también existe un Plan Seccional embalse Rapel, vinculado al anterior instrumento que regula específicamente el sector El Manzano-Llallauquén. El Plan Seccional, según el Artículo 46º de L.G.U.C. comprende estudios más detallados para fijar con exactitud los trazados y anchos de calles, zonificación detallada, las áreas de construcción obligatoria, de remodelación, conjuntos armónicos, terrenos afectados por expropiaciones, etc.

El Plan Regulador Intercomunal, según el Artículo 35º de la L.G.U.C. está compuesto de:

- a) Una memoria explicativa, que contendrá los objetivos, metas y programas de acción;
- b) Una Ordenanza, que contendrá las disposiciones reglamentarias pertinentes, y
- c) Los planos, que expresen gráficamente las disposiciones sobre zonificación general, equipamiento, relaciones viales, áreas de desarrollo prioritario, límites de extensión urbana, densidades, etc.

Para los efectos de su aprobación, modificación y aplicación, estos documentos constituyen un solo cuerpo legal.

Es importante señalar que el Plan Regulador Intercomunal tiene carácter normativo en las áreas urbanas (que son los terrenos contenidos dentro del área definida por el Límite Urbano). En las áreas localizadas fuera del límite urbano o áreas rurales el instrumento es sólo de carácter indicativo.

Los usos del suelo y condiciones de edificación deberán ajustarse a lo señalado en el Plan Regulador Intercomunal.

En el área de estudio regida por las normas del Plan Regulador Intercomunal del embalse Rapel no existen proyectos industriales que no cumplan con lo señalado en el instrumento de planificación.

En el caso que un proyecto nuevo no se ajustare a las disposiciones del Plan Regulador Intercomunal, la Secretaría Regional Ministerial de Vivienda y Urbanismo deberá emitir un informe negativo y lo remitirá, conjuntamente con el proyecto y sus antecedentes, al municipio respectivo, el cual podrá modificar el proyecto para concordarlo con el Plan Regulador Intercomunal o insistir en su proyecto. En este último caso remitirá el proyecto, con todos los antecedentes, incluido el informe negativo de la Secretaría Regional Ministerial de Vivienda y

Urbanismo, al Gobierno Regional para que éste se pronuncie sobre los aspectos objetados.

El área normada por el instrumento, que corresponde a las áreas urbanas, están delimitadas por el Límite Urbano que según el Artículo 52° de la L.G.U.C. es la línea imaginaria que delimita las áreas urbanas y de extensión urbana que conforman los centros poblados, diferenciándolos del resto del área comunal.

Los proyectos nuevos que estén diseñados para ser localizados fuera de los límites urbanos establecidos en el Plan Regulador Intercomunal, deberán ser conocidos por la Secretaría Regional de la Vivienda y Urbanismo respectiva, entidad a quien le corresponde cautelar que las subdivisiones y construcciones en terrenos rurales, con fines ajenos a la agricultura, no originen nuevos núcleos urbanos al margen de la planificación urbana-regional. Con dicho objeto, cuando sea necesario subdividir y urbanizar terrenos rurales para complementar alguna actividad industrial con viviendas, dotar de equipamiento a algún sector rural, o habilitar un balneario o campamento turístico, o para la construcción de conjuntos habitacionales de viviendas sociales o de viviendas de hasta un valor de 1.000 unidades de fomento, que cuenten con los requisitos para obtener el subsidio del Estado, la autorización que otorgue la Secretaría Regional del Ministerio de Agricultura requerirá del informe previo favorable de la Secretaría Regional del Ministerio de la Vivienda y Urbanismo. Este informe señalará el grado de urbanización que deberá tener esa división predial, conforme a lo que establezca la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones.

Igualmente, las construcciones industriales, de equipamiento, turismo y poblaciones, fuera de los límites urbanos, requerirán, previamente a la aprobación correspondiente de la Dirección de Obras Municipales, del informe favorable de la Secretaría Regional del Ministerio de la Vivienda y Urbanismo y del Servicio Agrícola que correspondan.

Por otra parte, el Artículo 56° señala que en las áreas rurales, se prohíbe a los dueños de predios colindantes con los caminos públicos nacionales, definidos por la Ley de Caminos, ocupar las franjas de 35 metros, medidas a cada lado de los cierros actuales o los que se ejecuten en variantes o caminos nuevos nacionales, con construcciones que en el futuro perjudiquen su ensanche. La apertura de nuevos caminos o calles que desemboquen en los caminos de carácter nacional o regional, requerirán autorización de la Dirección de Vialidad del Ministerio de Obras Públicas, previo informe de la Dirección de Planificación del Desarrollo Urbano del Ministerio de la Vivienda y Urbanismo, cuando ellos incidan en las áreas de los Planos Reguladores Intercomunales.

Dada la naturaleza del estudio, de los antecedentes contenidos en el instrumento de planificación, se han destacado aquellos que presentan mayor relación con los objetivos del proyecto; en particular lo relacionado con la zonificación y usos del suelo.

Análisis de la información

- Zonificación del Plan Regulador Intercomunal del embalse Rapel

El Plan Regulador Intercomunal del embalse Rapel describe nueve zonas que se distribuyen en cinco zonas habitacionales individualizadas como Z1, Z2, Z3, Z4 y Z5 y cuatro zonas de restricción que corresponde a las indicadas como ZR1, ZR2, ZR3 y ZR4. Sus principales características se describen a continuación:

Zona Z1: Son áreas homogéneas destinadas preferentemente a viviendas de temporada de carácter recreacional o turístico, debiendo el uso del suelo corresponder al mantenimiento y reforzamiento de las condiciones naturales y artificiales imperantes.

Zona Z2: Son áreas homogéneas destinadas preferentemente a vivienda permanente de la población y al desarrollo de las actividades y necesidades de la misma.

Zona Z3: Terrenos de atractivo turístico y adecuado acceso destinados preferentemente a: acampamiento, equipamiento recreativo y deportes náuticos.

Zona Z4: Son zonas donde predominan edificaciones e instalaciones de equipamiento comunitario

Zona Z5: Son zonas de desarrollo urbano incipiente, reservadas para futuro crecimiento urbano.

Zona ZR1: Son zonas de preservación de playas y riberas de cauces naturales y del embalse Rapel. Corresponden a una faja de 20 m de ancho a partir de la cota 105 m.s.n.m. de la ribera del lago y de 20 m a ambos costados de las riberas de los ríos, esteros y quebradas.

Zona ZR2: Son zonas que deberán mantener su uso rural, agrícola y forestal para preservar y mejorar el paisaje y evitar la erosión

Zona ZR3: Zonas inundables o pantanosas, de riesgo para el asentamiento humano

Zona ZR4: Son zonas en que predomina el uso agrícola, sujetas a un proceso de desarrollo urbano incipiente, reservadas para futuros usos urbanos. Cualquier proyecto de subdivisión y/o urbanización con fines de desarrollo urbano de esta zona estará sujeto a las mismas disposiciones que las zonas Z5. En tanto que no se modifique su uso agrícola por los establecidos para la zona Z5, los predios de esta zona se registrarán por lo dispuesto en el D.L. 3516 de Agricultura de 1980.

Usos asociados a la zonificación del Plan Regulador Intercomunal del embalse Rapel (Figura 21).

Zona Z1

Usos permitidos: Vivienda, comercio, equipamiento turístico, recreacional y deportivo, áreas verdes y vialidad.

Usos prohibidos: Todos los no mencionados como permitidos

Zona Z2

Usos permitidos: Vivienda, equipamiento, comercio, bodegas inofensivas, talleres artesanales inofensivos, oficinas, áreas verdes y vialidad.

Usos prohibidos: Todos los no mencionados como permitidos

Zona Z3

Usos permitidos: Comercio, equipamiento turístico, recreacional y deportivo, áreas verdes y vialidad.

Usos prohibidos: Todos los no mencionados como permitidos, salvo la existencia de viviendas del propietario o cuidador, anexa a los usos permitidos.

Zona Z4

Usos permitidos: Equipamiento, comercio, áreas verdes y vialidad.

Usos prohibidos: Todos los no mencionados como permitidos, salvo la existencia de viviendas del propietario o cuidador, anexa a los usos permitidos.

Zona Z5

Usos permitidos: Vivienda, comercio, equipamiento turístico, recreacional y deportivo, áreas verdes y vialidad.

Usos prohibidos: Todos los no mencionados como permitidos.

Zona ZR1

Usos permitidos: Equipamiento recreacional y deportivo abierto sin edificaciones, salvo aquellas necesarias para muelles y desembarcaderos destinadas a los deportes náuticos; vialidad peatonal y áreas verdes.

Usos prohibidos: Todos los no mencionados como permitidos.

Zona ZR2

Usos permitidos y prohibidos: De acuerdo a disposiciones del artículo 55 de la Ley General de Urbanismo y Construcciones.

Zona ZR3

Usos permitidos: áreas verdes y vialidad.

Usos prohibidos: Todos los no mencionados como permitidos.

Zona ZR4

Usos permitidos y prohibidos: De acuerdo a disposiciones del artículo 30 y 55 de la Ley General de Urbanismo y Construcciones. Los predios donde no se modifique

su uso agrícola de esta zona se regirán por lo dispuesto en el D.L. 3516 de Agricultura de 1980.

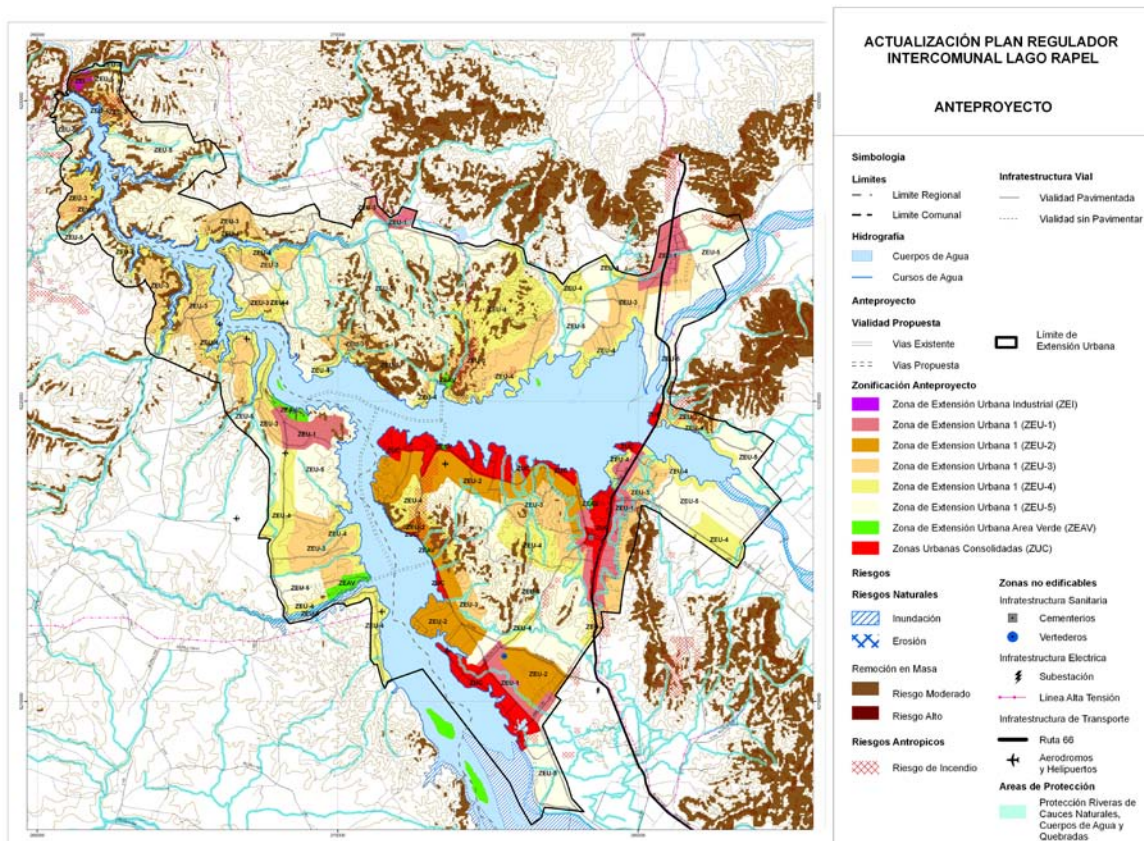


Figura 21: Zonificación según Plan Regulador de la comuna de Las Cabras.

2.3.3. Conclusiones

La información anterior permite deducir que en el Plan Regulador Intercomunal del embalse Rapel se privilegia la zonificación con usos de vivienda y de equipamiento (comunitario) para la comunidad residente en forma permanente que también puede servir de apoyo a la población temporal. Esto se aprecia en las zonas Z2, Z3 y Z4.

Otra característica es el reconocimiento a la importancia del turismo como se desprende de la descripción de la zona Z1 destinada preferentemente a viviendas de temporadas vinculadas a las actividades recreacionales o turísticas. Asimismo, la zona Z3 es destinada preferentemente al desarrollo de actividades asociadas al turismo (acampamiento, equipamiento recreativo y deportes náuticos).

Respecto de las zonas con restricciones de uso es importante considerar la existencia de una zona (ZR1) destinada a la preservación de playas y riberas de cauces naturales entre los que se destaca el embalse Rapel.

El Plan Regulador Intercomunal del embalse Rapel incorpora la protección del ambiente en la definición de la zona ZI donde el uso del suelo debe propender al mantenimiento y reforzamiento de las condiciones naturales y artificiales imperantes. De igual modo se plantean condiciones de zonificación y usos del suelo que reconocen la presencia de terrenos con atractivos turísticos, usos rurales y suelos agrícolas y forestales, indicando expresamente la necesidad de preservar y mejorar el paisaje y evitar la erosión de los terrenos (ZR2 y ZR4).

En relación a los usos se observa una especial preocupación por la vivienda para residentes permanentes y temporales (Z1 y Z2). Además se destaca la importancia del comercio y del equipamiento turístico, recreacional y deportivo que se permite en las zonas Z1, Z3, Z4, ZR1. En este último caso se destaca el apoyo que el instrumento ofrece al desarrollo del equipamiento recreacional y deportivo como muelles y desembarcaderos para deportes náuticos.

Lo anterior permite deducir que el área es considerada como un territorio apropiado para el desarrollo del turismo, en especial del turismo deportivo relacionado con la existencia del embalse Rapel. Otra conclusión importante se refiere a la necesidad de preservar las condiciones naturales, en particular de los cuerpos de agua.

Actualmente, se encuentra en proceso de diagnóstico el estudio del nuevo Plan Regulador Intercomunal denominado "Cachapoal Poniente", que comprende las comunas de: San Vicente de Tagua Tagua, Peumo, Pichidegua y Las Cabras.

Éste tiene como objetivo principal normar el territorio intercomunal del área norponiente, de la región, complementando con ello, los territorios normados en el área norte, por el Plan Regulador Intercomunal de Rancagua, (publicado en Diario Oficial de 25 de Octubre del 2001); en el área del Valle Central, por el Plan Regulador Intercomunal de Río Claro; en el área del Secano Interior, por el *Plan*

Regulador Intercomunal del embalse Rapel (anteriormente descrito); en el área Costera, por el Plan Regulador Intercomunal del Borde Costero, (aprobado por el Consejo Regional y en trámite de publicación en el Diario Oficial); y en el área sur de la Región , por el Plan Regulador Intercomunal de Tinguiririca (actualmente en elaboración).

A raíz de esto, con la elaboración del Plan Regulador Intercomunal de Cachapoal Poniente, la comuna de Las Cabras estará dividida en dos Planes Reguladores Intercomunales, una parte dentro del PRI de Cachapoal Poniente, y otra parte (Localidad El Carmen) en el PRI del embalse Rapel.

2.4. Monitoreo hidrológico

2.4.1 Cuenca embalse Rapel

El embalse Rapel está conformado principalmente por las aguas confluyentes de los ríos Cachapoal y Tinguiririca, y los esteros Alhué y las Palmas. Se encuentra localizado entre las coordenadas 836776,511 - 6228005,979 y 813255,548 - 6206629,878 (Figura 22) y abarca una superficie aproximada de 53 km² alcanzando un volumen cercano a los 600 millones m³.

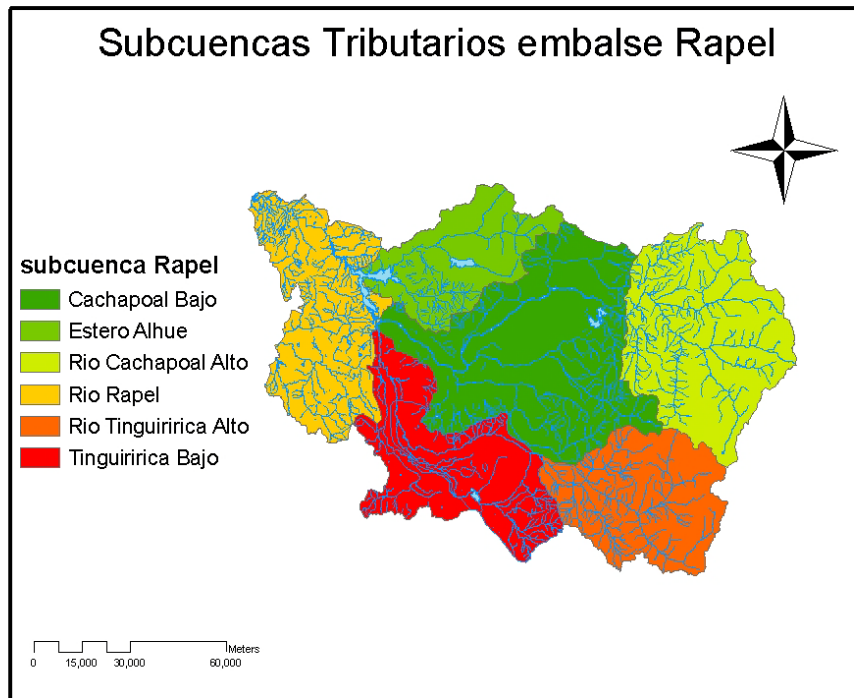


Figura 22: Subcuencas de los tributarios del embalse Rapel. Elaboración propia.

Principales Subcuencas

Río Cachapoal

La cuenca del río Cachapoal, comprende una superficie aproximada de 6370 km², nace de las cumbres de Pico del Barroco y Nevado de Los Piuquenes. En la cordillera se le unen varios tributarios de importancia como son los ríos Las Leñas, Cortaderal, Los Cipreses y el río Pangal. Más abajo, al oriente de la cordillera de la Costa, recibe el aporte del estero La Cadena y cerca de la localidad de Peumo se le une el río Claro. También, desde Peumo al embalse, en un recorrido de 34 km, recibe los esteros Antivero y Zamorano.

Río Tinguiririca

El río Tinguiririca se forma en la Cordillera de Los Andes en la confluencia de los ríos Las Damas y el Azufre, ambos provenientes del norte. Siguiendo su curso desde el origen, más abajo se le une el Río Claro de Rengo y a pocos km de la ciudad de Santa Cruz también lo hace el estero Chimbarongo. Finalmente se junta con el Cachapoal en el embalse Rapel, indicando una superficie de drenaje de aproximadamente 4730 km².

Caracterización Hidrológica

Contreras y Villagrán (1994) realizaron una descripción de la hidrología de la cuenca del embalse Rapel. Se desprende de ésta que; la red de drenaje de la cuenca del embalse Rapel está constituida principalmente por los ríos Cachapoal, Tinguiririca y el estero Alhué y el estero Las Palmas. Los dos primeros, drenan gran parte de la cuenca, incluyendo los sectores cordilleranos y precordilleranos, proviniendo los esteros desde la zona baja de la cuenca (Figura 23).

Los ríos Cachapoal y Tinguiririca presentan un régimen hidrológico pluvio-nival, observándose este comportamiento más marcado en el río Cachapoal, con caudales medios mensuales que alcanzan máximos cercanos a 180 m³/s en julio y 120 m³/s en diciembre. La componente nival del río Tinguiririca es menos marcada, con valores mensuales máximos de 40 m³/s en diciembre y 100 m³/s en julio. La cuenca del estero Alhué, por su conformación, presenta un régimen hidrológico principalmente fluvial con caudales mensuales máximos de 19 m³/s en julio.

La precipitación, registrada en el embalse, presenta una amplia variación tanto estacional como interanual, a nivel medio mensual fluctúa entre un mínimo de 2 mm en febrero y 160 mm en julio.

El promedio anual es cercano a 640 mm, estimándose valores de 830 mm, 610 mm, 440 mm y 380 mm para probabilidades de excedencia anual de 20, 50, 80 y 90% respectivamente. Los antecedentes de evaporación registrados en la Central Rapel muestran valores medios mensuales que varían entre 25 y 200 mm, para junio y enero, con un total anual medio de 1200 mm. En relación al régimen sedimentológico, el gasto sólido total anual que ingresa al embalse alcanza a 6,1 millones de toneladas, un 54% proviene del río Cachapoal y un 31 % al río Tinguiririca. Se estima que el gasto sólido afluente al embalse se ha incrementado en 600% en el período comprendido entre 1962 - 1984 y que el 96% del total corresponde a gasto sólido en suspensión.

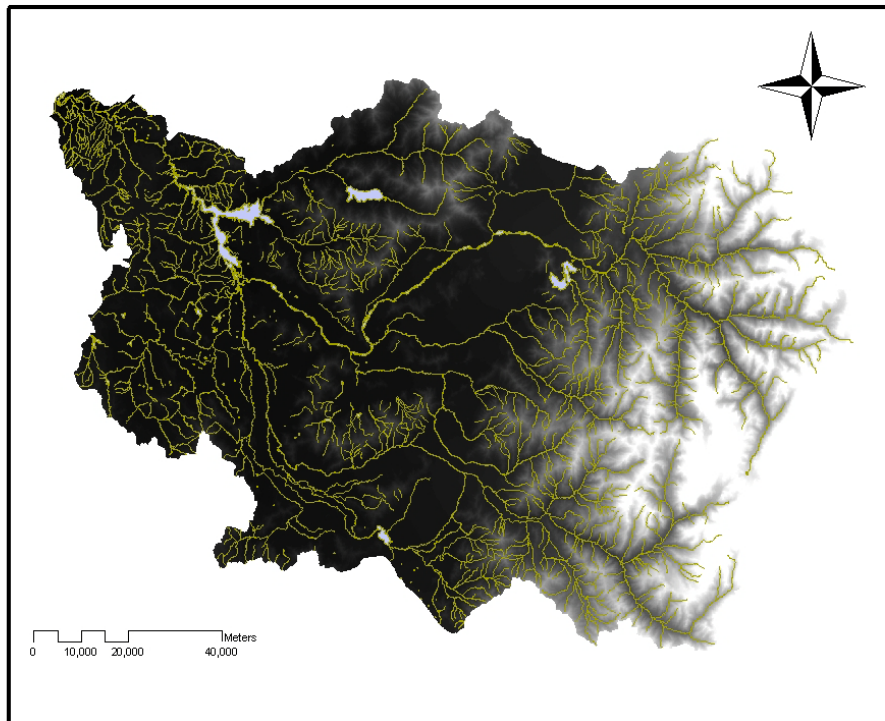


Figura 23: Red hídrica embalse Rapel.

Hidrología

Diversos estudios se han llevado a cabo en relación a las características hidrológicas de la cuenca del embalse Rapel. Entre ellos destacan el de la DGA (2004) "Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad, Cuenca del río Rapel". En este estudio se entrega una descripción general del sistema, la cual se resume en sus puntos principales a continuación.

Caudales medios mensuales

En el mencionado estudio se muestra el comportamiento del caudal en cada uno de los afluentes del Rapel previo al punto de embalse.

Subcuenca del Cachapoal

- a) Río Cachapoal bajo junta con río Cortaderal: Se ubica en el río Cachapoal, 5 km aguas abajo de la junta con el río Cortaderal, a 1100 m s.n.m.

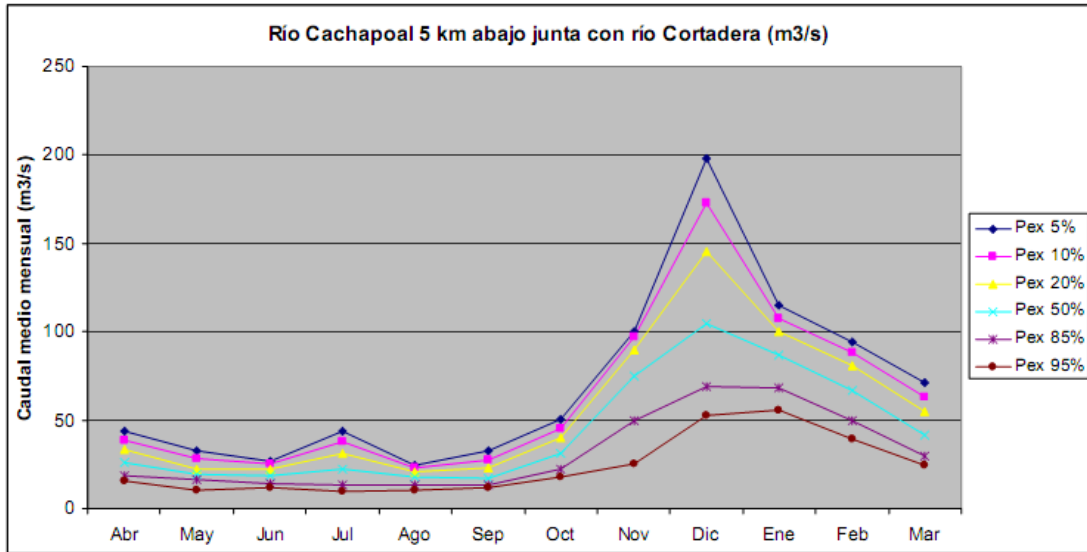


Figura 24: Curva de variación estacional del caudal, Río Cachapoal (Parte Alta).

De la Figura 24 se desprende que los mayores caudales se observan entre los meses de noviembre y febrero, producto de los deshielos, mientras que los menores ocurren en invierno dado que no hay influencia pluvial.

- b) Río Pangal en Pangal: Se midió en el río Pangal aguas abajo de la confluencia del río Blanco, a 1.175 m s.n.m. A esta altura el régimen es nival, por tanto los mayores caudales ocurren en meses de deshielo y los menores en los meses de invierno.

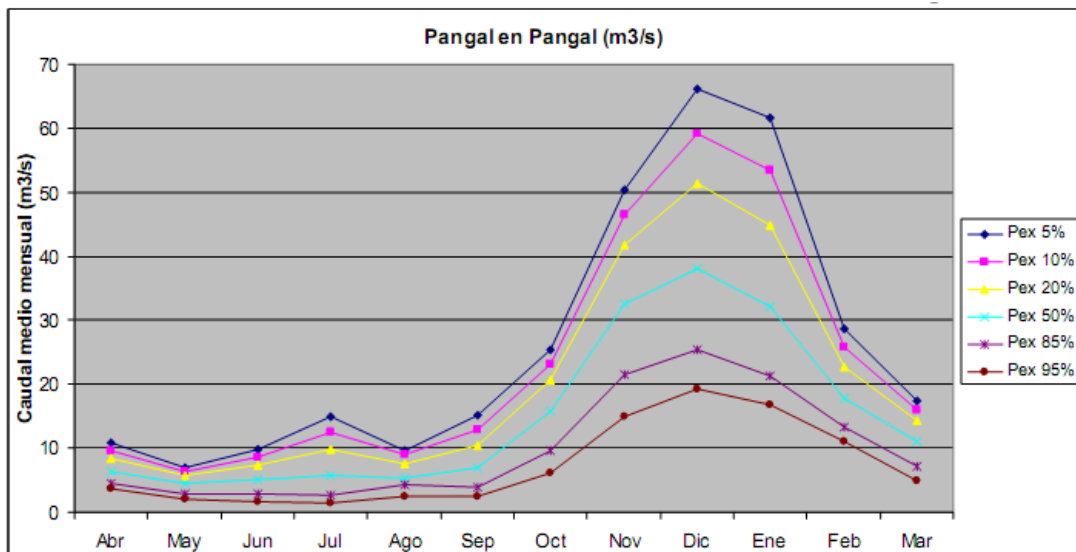


Figura 25: Curva de variación estacional del caudal, Río Pangal.

c) Estero Cadenas antes de junta con río Cachapoal: Se midió a 440 msnm.

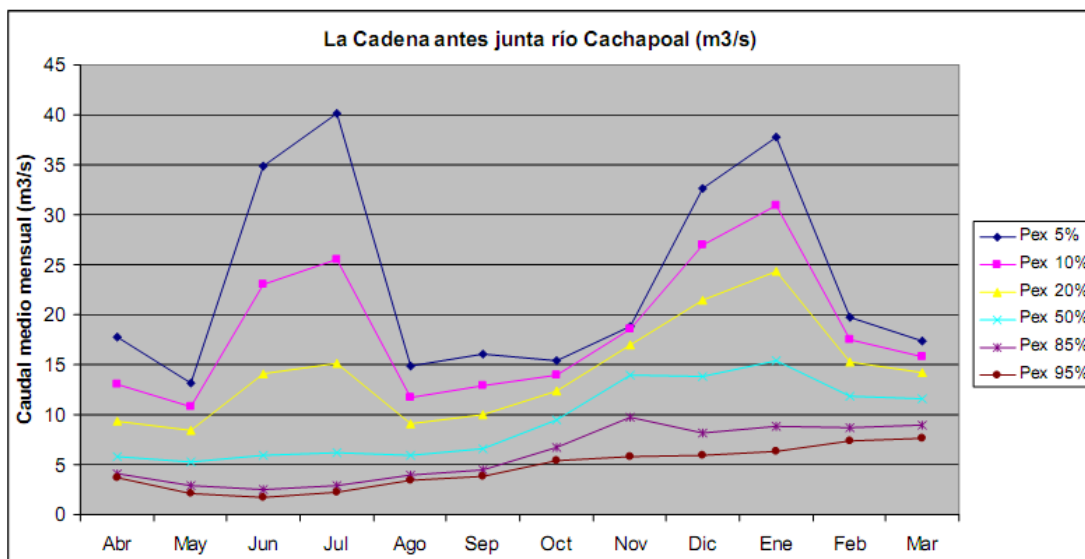


Figura 26: Curva de variación estacional del caudal, Estero Cadenas.

Se observa que en este punto el régimen es mixto, por lo que los mayores caudales se presentan en junio y julio y en diciembre y enero. Contrariamente los menores caudales se alcanzan en abril-mayo y agosto-septiembre.

d) Río Cachapoal en puente Arqueado: Se midió a 5 km aguas arriba de la desembocadura del río Cachapoal en el embalse Rapel, en una estación perteneciente a ENDESA. Su medición que involucra casi la totalidad de los caudales de los cursos que efectivamente llegan al embalse.

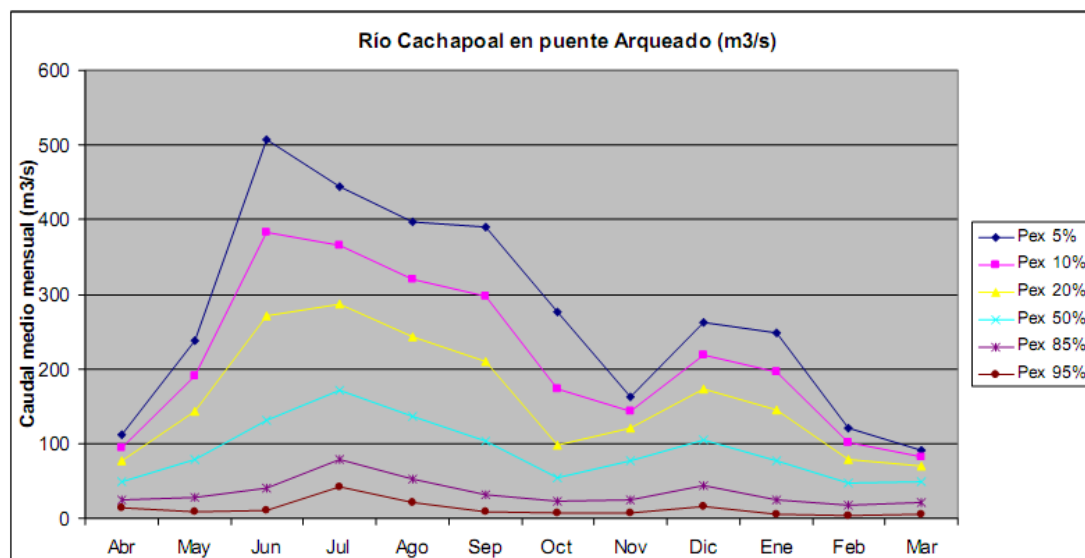


Figura 27: Curva de variación estacional del caudal, Río Cachapoal (Parte Baja).

El régimen de esta estación es mixto. Durante años húmedos, los mayores caudales se presentan entre mayo y octubre y desde diciembre a enero se presentan crecidas de consideración debido a deshielos cordilleros. Los menores caudales ocurren entre febrero y abril.

Subcuenca del Tinguiririca

- a) Río Tinguiririca bajo Briones: Se midió aguas arriba de la confluencia del río Claro a 518 m s.n.m.

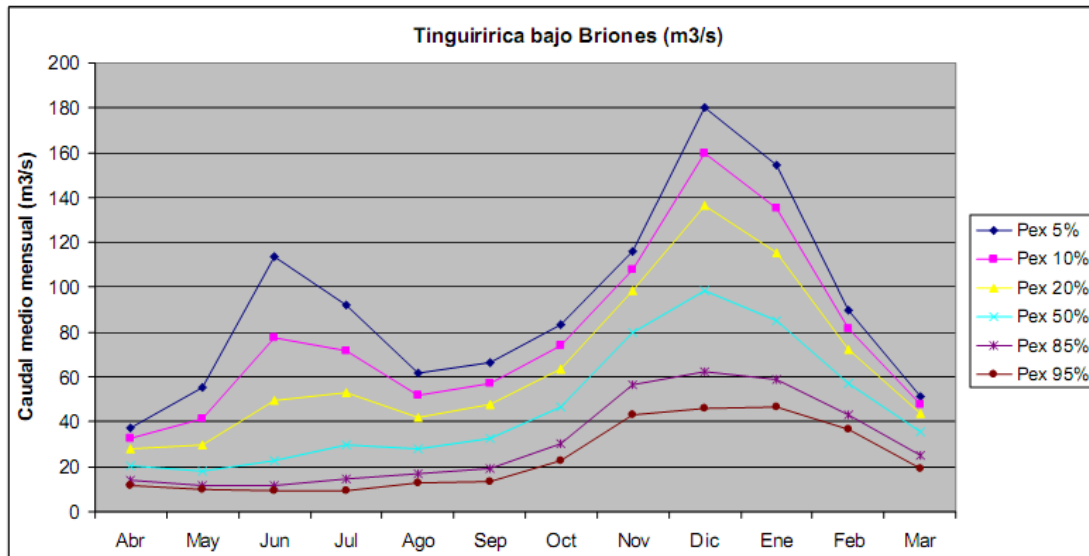


Figura 28: Curva de variación estacional del caudal, Río Cachapoal (Parte Alta)

En este punto el régimen es mixto con mayor influencia nival que pluvial. En años húmedos, los mayores caudales se producen entre noviembre y enero y en junio y julio se observa un aumento menor a causa de las lluvias invernales.

b) Río Claro en el Valle: La estación se encuentra a 476 m s.n.m.

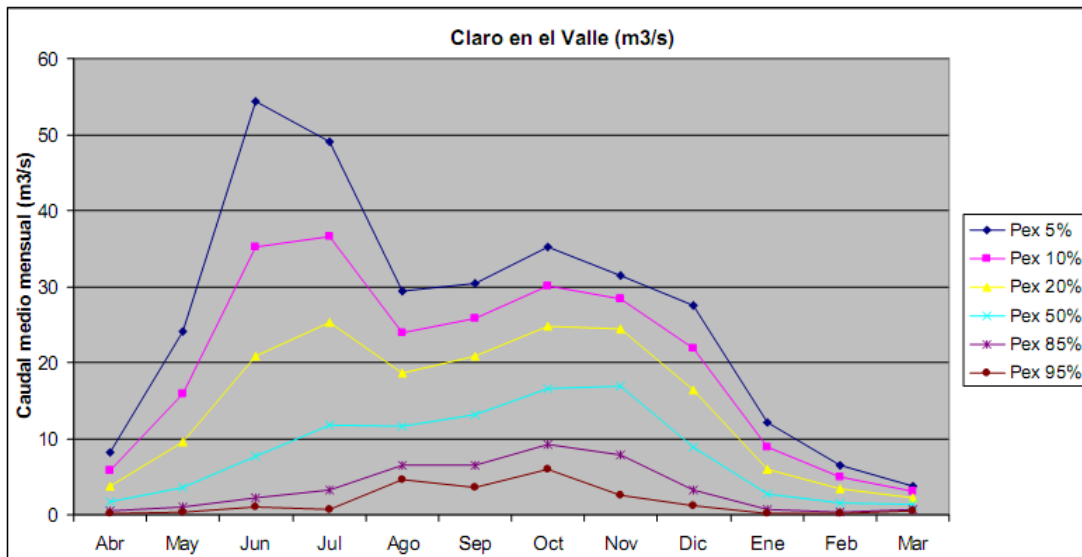


Figura 29: Curva de variación estacional del caudal, Río Claro.

En este punto el régimen del río Claro es mixto, con los mayores caudales entre junio y julio, y considerables caudales en octubre y noviembre. Los mayores caudales se deben a aportes pluviales, entre junio y julio, siendo el aporte nival también significativo.

En años normales y secos, son los caudales nivales los más importantes, siendo mayores entre septiembre y noviembre y menores entre enero y abril.

c) Estero Chimbarongo en Santa Cruz: Estación ubicada en el estero Chimbarongo, cerca de la ciudad de Santa Cruz y poco antes de la junta con el río Tinguiririca a 225 m s.n.m.

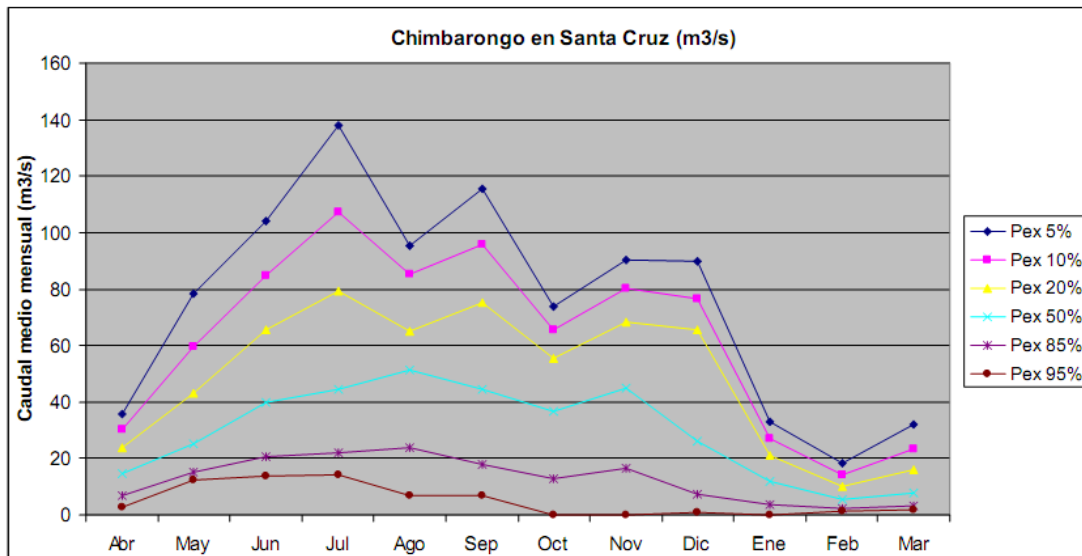


Figura 30: Curva de variación estacional del caudal, Estero Chimbarongo.

El régimen de esta estación es mixto, ya que muestra sus mayores caudales en julio y en diciembre producto de lluvias invernales y deshielos primaverales, respectivamente.

En años húmedos los mayores caudales se presentan entre junio y septiembre, producto de las lluvias invernales y, entre noviembre y diciembre se producen aumentos de caudales debido a deshielos. La menor disponibilidad de agua se presenta en enero y abril, y en años secos la influencia nival pierde importancia con respecto a la pluvial.

- d) Tinguiririca en los Olmos: Se midió aguas abajo de la junta con estero Chimbarongo, 20 km antes de la desembocadura del Tinguiririca en el embalse Rapel. En esta estación se recoge casi la totalidad de los caudales de los cursos que efectivamente llegan al embalse.

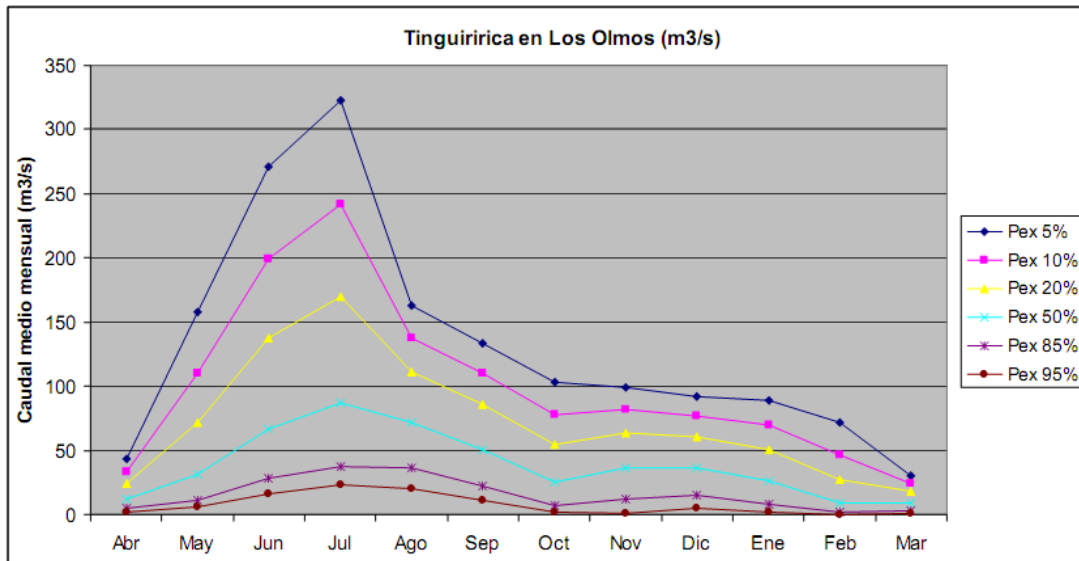


Figura 31: Curva de variación estacional del caudal, Tinguiririca en los Olmos.

Se observa la gran influencia del régimen pluvial, con leve influencia nival en años secos. En años húmedos los mayores caudales ocurren entre mayo y agosto, mientras que los menores se presentan entre febrero y abril.

De los antecedentes expuesto, considerando las últimas estaciones de cada subcuenca principal (Cachapoal en Puente Arqueado y Tinguiririca en los Olmos) Se tiene que por parte del río Tinguiririca, el embalse recibirá sus principales aportes entre mayo y agosto; mientras que el río Cachapoal si bien presentará un incremento de las mismas características temporales para la época invernal, también presentará incrementos de consideración entre diciembre y enero.

Para caracterizar los caudales correspondientes a los esteros aportantes se realizaron campañas de aforo en distintas épocas del año, particularmente en los meses de agosto y noviembre del 2009 y enero, mayo, julio y octubre de 2010, los puntos de aforo corresponden a los esteros Las Cadenas, Las Palmas, Carén (1 y 2) y estero Alhué. Los resultados muestran que estos cursos presentan marcados regímenes estacionales de los caudales, altamente dependiente de las precipitaciones. No obstante lo anterior, el estero Las Palmas tiene un caudal más bien similar en el tiempo debido puesto que es alimentado por un sistema de riego que es utilizado a mayor capacidad en los meses de primavera y verano.

Tabla 16: Caudales registrados en las campañas de aforo.

| Fecha | Caudales m ³ /s | | | | |
|---------|----------------------------|----------------|----------------|-------------------|--------------------|
| | E. Carén R-1 | E. Alhué 1 R-2 | E. Alhué 2 R-3 | E. Las Palmas R-4 | E. Las Cadenas R-7 |
| Ago. 09 | 1,91 | 3,71 | 4,81 | 1,00 | 1,30 |
| Nov. 09 | 0,86 | 0,08 | 0,98 | 1,50 | 1,49 |
| Ene. 10 | 0,57 | 0,002 | 0,33 | 1,03 | s/c |
| May. 10 | 1,16 | s/c | 1,18 | 1,48 | 0,58 |
| Jul. 10 | 2,19 | 4,00 | 6,10 | 1,72 | 3,39 |
| Oct.10 | 1,25 | 0,49 | 1,28 | 1,04 | 0,50 |

A continuación se describen los resultados de las campañas en terreno correspondiente a los aforos de los esteros Alhué, Las Palmas y Las Cadenas.

Estero Alhué después de junta con Estero Carén (R-3)

La medición de caudal se efectuó el aproximadamente 1500 m aguas abajo de la junta del Estero Alhué con el Estero Carén, en el punto H18 6224341 N - 846549 E. El caudal registrado fue de 1,28 m³/s.

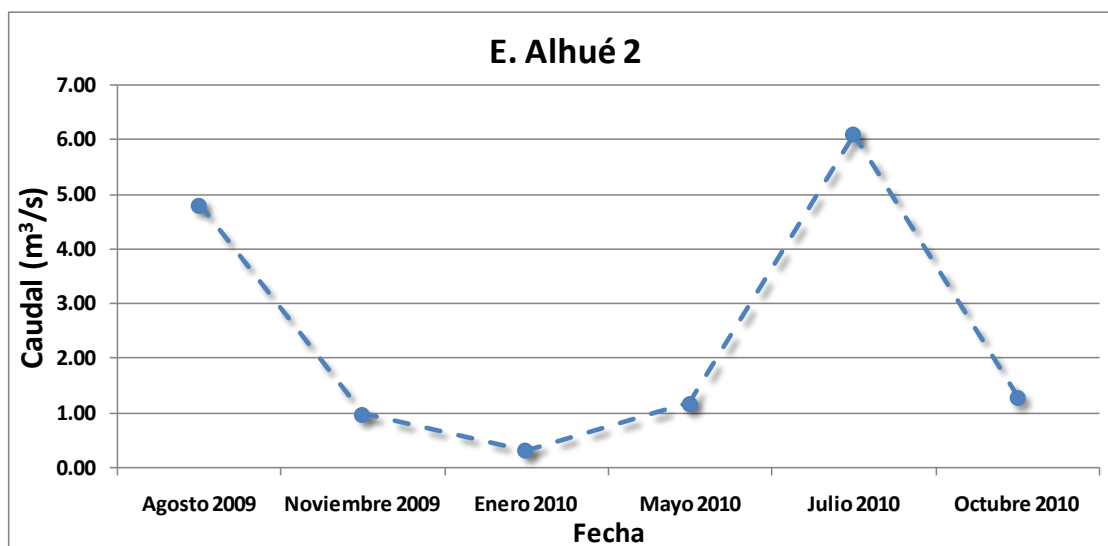


Figura 32: Caudales medidos en la estación R-3 durante las distintas campañas.



Agosto 2009



Noviembre 2009



Enero 2010



Julio 2010

Figura 33: Estero Alhué después de junta con estero Carén (Estación R-3).

Estero Las Palmas en el Durazno (R-4)

La medición de caudal se efectuó en el puente Llavería en el punto H18 846548,66 - 6224341,04. El caudal registrado fue de 1,72 m³/s.

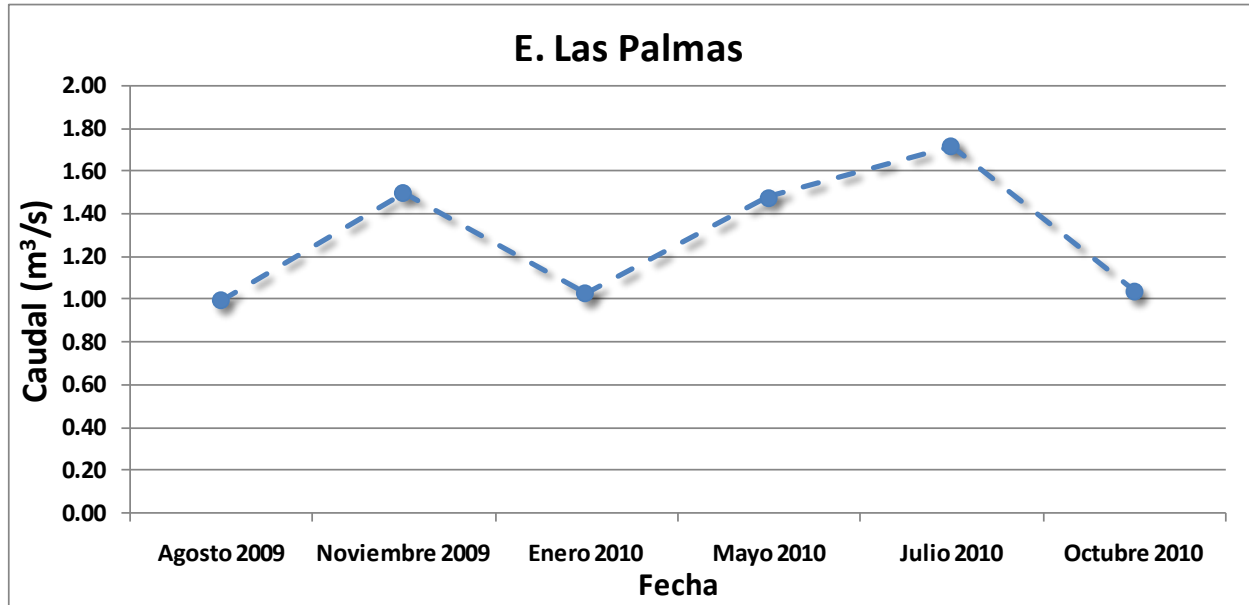


Figura 34: Caudales medidos en la estación R-4 durante las distintas campañas.



Agosto 2009



Noviembre 2009



Enero 2010



Julio 2010

Figura 35: Estero Las Palmas en el Durazno (Estación R-4).

Estero Las Cadenas (R-7)

El caudal registrado fue de 0,50 m³/s. La medición fue hecha en el punto H18 827625,25 - 6199540,14.

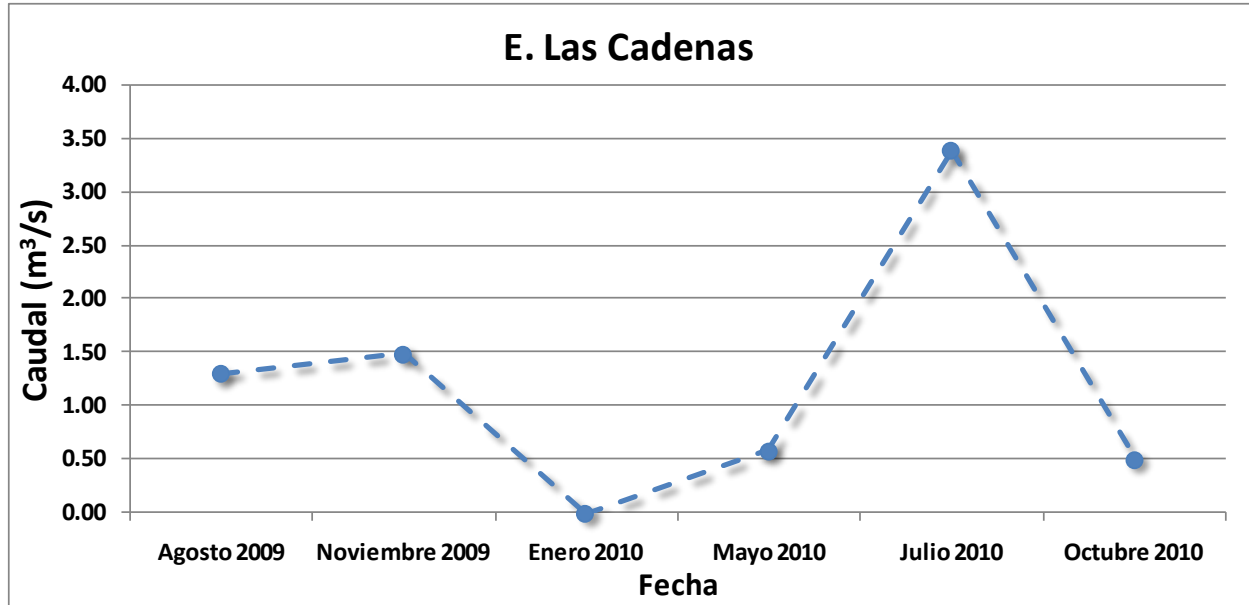


Figura 36: Caudales medidos en la estación R-7 durante las distintas campañas.



Agosto 2009



Noviembre 2009



Enero 2010



Julio 2010

Figura 37: Estero Las Cadenas (Estación R-7).

Información fluviométrica ríos Cachapoal y Tinguiririca

Se recopiló información fluviométrica correspondiente a estaciones de la Dirección General de Aguas (DGA), particularmente Tinguiririca en los Olmos y Cachapoal en Puente Arqueado. Los caudales registrados en estas estaciones se condicen con los caudales históricos observados en estos ríos e indicados previamente.

Tabla 17: Caudales medios mensuales ríos Cachapoal y Tinguiririca.

| Caudal m ³ /s | | | |
|--------------------------|-----|--------------|-----------|
| Año | Mes | Tinguiririca | Cachapoal |
| 2009 | ago | 80,13 | 264,26 |
| 2009 | sep | 130,30 | 141,20 |
| 2009 | oct | 57,50 | 32,85* |
| 2009 | nov | 71,08 | 32,85* |
| 2009 | dic | 30,209 | 32,85* |
| 2010 | ene | 8,142 | 59,65 |
| 2010 | feb | 21,79 | 33,33 |
| 2010 | mar | 130,51 | 48,82 |
| 2010 | abr | 49,683 | 32,85* |
| 2010 | may | 78,176 | 32.85* |

*Caudales estimados

Balance Hídrico

El balance hídrico del embalse Rapel puede ser caracterizado mediante un sistema de almacenamiento con entradas y salidas. Sus principales afluentes, Estero alhué, río Tinguiririca y Río Cachapoal, mientras que la evaporación y generación hidroeléctrica corresponden a las pérdidas de agua desde el embalse.

La situación de almacenamiento de agua en el embalse Rapel resulta ser muy dinámica a lo largo de los últimos años, sin embargo se mantiene cierto régimen exceptuando el año 1998 donde se produce una clara disminución de la disponibilidad de agua. La Figura 38 muestra los cambios en el almacenamiento durante los últimos años.

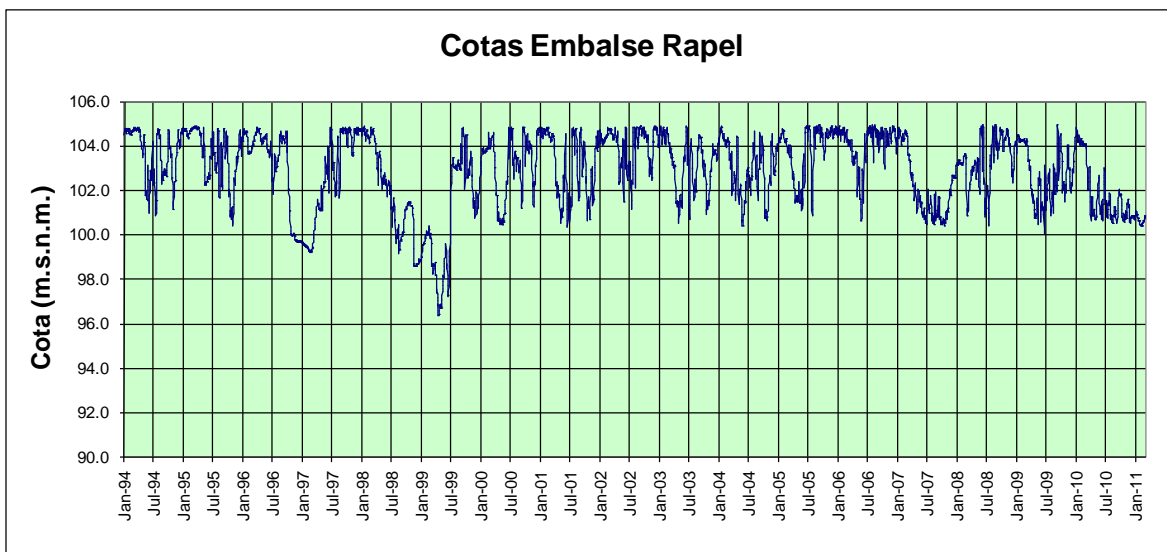


Figura 38: Evolución de la cota del embalse durante el periodo 1994-2010.

De forma aproximada se puede estimar el volumen de agua almacenada por medio de la siguiente ecuación:

$$\text{Volumen} = 62.893 * \text{Cota} - 5956.5 \text{ (m}^3\text{)}$$

Donde **Volumen** representa el volumen de agua contenida dentro del embalse (m^3) y **Cota** establece el nivel de la superficie del agua con referencia al nivel medio del mar (m).

Según el informe de CNE respecto a la situación hidroeléctrica de nuestro país, para el año 2011 se encuentra que el estado del embalse se encuentra con un déficit de 3.2% relativo del periodo 2009 y 2010. Respecto al año más seco, considerado en este caso como el periodo 1998-1999, se tiene que el embalse se encuentra tan sólo 1.2% sobre este nivel, situación que indica que a la fecha el embalse se encuentra en uno de los puntos más bajos de las últimas décadas.

Los aportes y salidas del embalse son proporcionados por el río Tinguiririca, Cachapoal y el estero Alhué. De acuerdo al análisis de los caudales medio mensuales el principal aporte al embalse está dado por el Río Cachapoal con un porcentaje cercano al 60%, mientras que el Tinguiririca aporta cerca del 36% y el Estero Alhué 3%. Los aportes por precipitación que caen directamente al embalse representan aproximadamente un 1% del total.

Respecto a las salidas o pérdidas de agua del embalse, se tiene que cerca del 98.5% son producto de la generación hidroeléctrica, a través de río Rapel (aproximadamente $6840 \text{ m}^3/\text{año}$), mientras que el 1.5% restante se atribuye a evaporación del espejo de agua y usos de bombas domésticas.

Estimación de las cargas de nutrientes a través de los tributarios al embalse Rapel

Se estimaron las cargas de los ríos Cachapoal y Tinguiririca, además de los esteros Alhué, Las Palmas, Las cadenas. Para esto se utilizaron las concentraciones de nitrógeno y fósforo total medidos en las campañas de terreno realizadas entre agosto de 2009 y octubre de 2010. Adicionalmente se usaron los aforos realizados en los distintos esteros y datos provenientes de estaciones de la Dirección General de Aguas (DGA).

Para lograr una estimación de la carga (kg/mes) de fósforo y de nitrógeno que ingresa al embalse a través de los tributarios, se asume que los caudales aforados en las campañas de terreno son representativos del caudal medio mensual, así como también se asumen representativas a nivel mensual las concentraciones de fósforo y nitrógeno.

Tabla 18: Concentraciones de fósforo y nitrógeno total medidos en las campañas de terreno.

| Parámetro | Fecha | E. Carén R-1 | Alhué 1 R-2 | Alhué 2 R-3 | Las Palmas R-4 | Cachapoal R-5 | Tinguiririca R-6 | Las Cadenas R-7 |
|--------------|-----------------|--------------|--------------|--------------|----------------|---------------|------------------|-----------------|
| P Total mg/l | Aug-09 | 0,02 | 0,08 | 0,05 | 0,11 | 0,25 | 0,13 | 0,23 |
| | Nov-09 | 0,01 | 0,02 | 0,02 | 0,2 | 0,21 | 0,16 | 0,13 |
| | Jan-10 | 0,03 | 0,02 | 0,05 | 0,17 | 0,69 | 0,16 | 0,1 |
| | May-10 | 0,04 | | 0,05 | 0,16 | 0,15 | 0,16 | 0,02 |
| | Jul-10 | 0,08 | 0,02 | 0,05 | 0,78 | 0,15 | 0,17 | 0,32 |
| | Oct-10 | 0,05 | 0,03 | 0,04 | 0,16 | 0,1 | 0,21 | 0,23 |
| | PROMEDIO | 0,038 | 0,034 | 0,043 | 0,263 | 0,258 | 0,165 | 0,172 |
| N Total mg/l | Aug-09 | 1,47 | 0,38 | 0,34 | 3,17 | 2,78 | 1,42 | 3,82 |
| | Nov-09 | 0,21 | 0,49 | 0,37 | 2,41 | 3,48 | 1,49 | 0,66 |
| | Jan-10 | 0,63 | 0,52 | 0,62 | 2,28 | 3,46 | 1,26 | 0,74 |
| | May-10 | 0,58 | | 0,51 | 2,08 | 4,71 | 2,48 | 0,4 |
| | Jul-10 | 0,5 | 0,88 | 0,71 | 3,15 | 3,86 | 2,99 | 5,78 |
| | Oct-10 | 0,76 | 0,31 | 0,42 | 2,91 | 2,83 | 2,77 | 0,62 |
| | PROMEDIO | 0,692 | 0,516 | 0,495 | 2,667 | 3,520 | 2,068 | 2,003 |

Tabla 19: Caudales en los tributarios (m³/s).

| Fecha | Caudales m ³ /s | | | | | | |
|---------|----------------------------|-------------|-------------|----------------|---------------|------------------|-----------------|
| | E. Carén R-1 | Alhué 1 R-2 | Alhué 2 R-3 | Las Palmas R-4 | Cachapoal R-5 | Tinguiririca R-6 | Las Cadenas R-7 |
| Ago. 09 | 1,91 | 3,71 | 4,81 | 1,00 | 163,11 | 113,94 | 1,30 |
| Nov. 09 | 0,86 | 0,08 | 0,98 | 1,50 | 101,92 | 81,01 | 1,49 |
| Ene. 10 | 0,57 | 0,00 | 0,33 | 1,03 | 85,74 | 47,22 | 0,00 |
| May. 10 | 1,16 | s/c | 1,18 | 1,48 | 95,82 | 53,67 | 0,58 |
| Jul. 10 | 2,19 | 4,00 | 6,10 | 1,72 | 148,51 | 111,19 | 3,39 |
| Oct.10 | 1,25 | 0,49 | 1,28 | 1,04 | 83,87 | 53,17 | 0,50 |

Tabla 20: Estimación carga de fósforo total al embalse Rapel.

| Fecha | Fósforo Total kg/mes | | | | | Total |
|---------|----------------------|----------------|---------------|------------------|-----------------|---------|
| | Alhué 2 R-3 | Las Palmas R-4 | Cachapoal R-5 | Tinguiririca R-6 | Las Cadenas R-7 | |
| Ago. 09 | 62,3 | 28,5 | 10569,4 | 3839,2 | 77,5 | 14499,5 |
| Nov. 09 | 5,1 | 77,8 | 5547,4 | 3359,8 | 50,2 | 8990,1 |
| Ene. 10 | 4,3 | 45,4 | 15333,9 | 1958,1 | 0,0 | 17341,6 |
| May. 10 | 15,3 | 61,4 | 3725,5 | 2225,7 | 3,0 | 6027,8 |
| Jul. 10 | 79,1 | 347,7 | 5773,9 | 4899,4 | 281,2 | 11100,1 |
| Oct.10 | 13,3 | 43,1 | 2173,8 | 2894,1 | 29,8 | 5124,3 |

Tabla 21: Carga de nitrógeno total al embalse Rapel estimadas

| Fecha | Nitrógeno Total kg/mes | | | | | Total |
|---------|------------------------|----------------|---------------|------------------|-----------------|--------|
| | Alhué 2 R-3 | Las Palmas R-4 | Cachapoal R-5 | Tinguiririca R-6 | Las Cadenas R-7 | |
| Ago. 09 | 424 | 822 | 117532 | 41936 | 1287 | 160713 |
| Nov. 09 | 94 | 937 | 91929 | 31288 | 255 | 124248 |
| Ene. 10 | 53 | 609 | 76892 | 15420 | 0 | 92973 |
| May. 10 | 156 | 798 | 116980 | 34498 | 60 | 152432 |
| Jul. 10 | 1123 | 1404 | 148582 | 86172 | 5079 | 237281 |
| Oct.10 | 139 | 784 | 61519 | 38175 | 80 | 100618 |

A partir de las cargas de fósforo y nitrógeno obtenidas, se desprende que el aporte de estos nutrientes está dado principalmente por los ríos Cachapoal y Tinguiririca. Esto se explica por los altos caudales y concentraciones que ingresan al embalse a través de estos cuerpos de agua en comparación con los bajos y variables caudales provenientes desde los esteros. Cabe destacar que en términos de concentraciones, los esteros Las Palmas y Las Cadenas, poseen concentraciones elevadas, sin embargo, poseen caudales muy bajos, lo que se ve reflejado en la baja carga que aportan al embalse.

Se puede observar además que el río Cachapoal es el principal aporte de estos nutrientes, lo que es aun más evidente en los meses de verano. El río Tinguiririca en cambio reduce su caudal debido a su origen pluvial dominante.

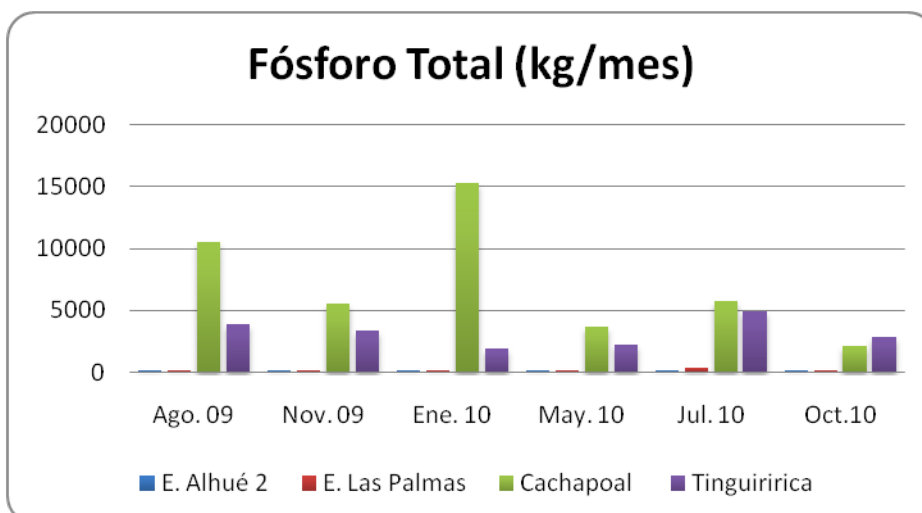


Figura 39: Fósforo total aportado por los tributarios.

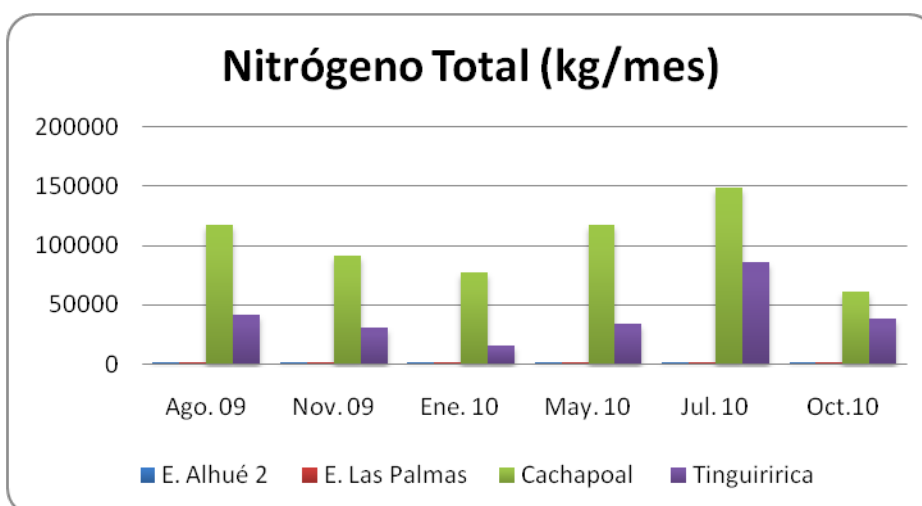


Figura 40: Nitrógeno total aportado por los tributarios.

En términos comparativos; en promedio, el río Cachapoal aporta aproximadamente un 68% del fósforo total que llega al embalse proveniente de los tributarios directos, seguido del río Tinguiririca, con cerca de un 30 %, siendo marginal el aporte del resto de los esteros (Figura 41).

El río Cachapoal es también el principal aporte de nitrógeno total con aproximadamente un 70%, seguido del río Tinguiririca con cerca de un 28 %, siendo también marginal el aporte de los esteros (Figura 42).

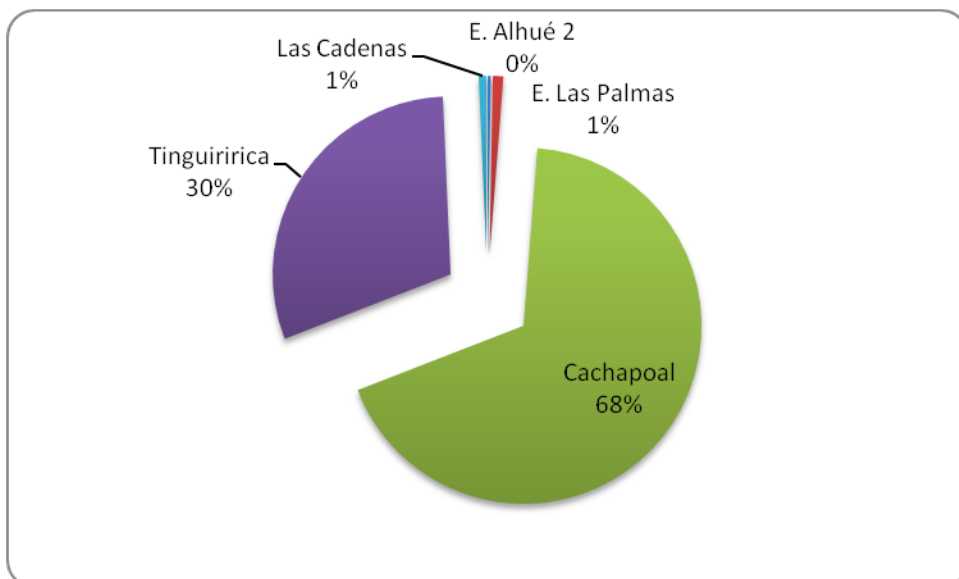


Figura 41: Distribución porcentual aporte de fósforo por tributario al embalse Rapel.

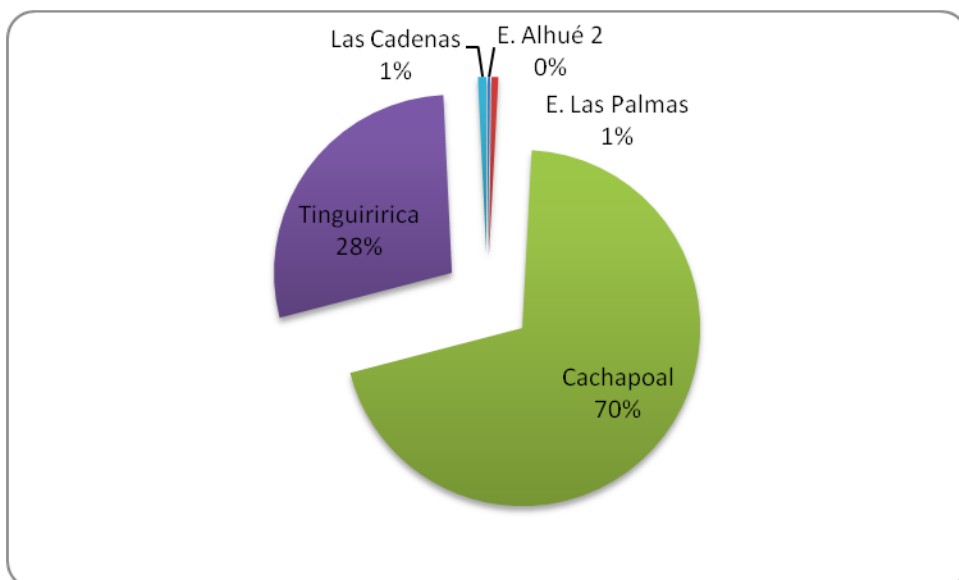


Figura 42: Distribución porcentual aporte de nitrógeno por tributario al embalse Rapel.

Según información de referencia utilizada en la elaboración del DS 90, se estima que se producen 160 g/día por cada 100 habitantes en Chile, de esta manera, estimando las cargas de nutrientes que son aportados por los ríos al embalse, podemos decir que estas equivalen al aporte de una población de aproximadamente 550.000 habitantes en el caso del fósforo.

Cabe destacar que si bien los principales aportes de fósforo y nitrógeno provienen de la entrada Cachapoal (principalmente ríos Cachapoal, Tinguiririca y Las Cadenas), las características hidrodinámicas de ésta cubeta hacen que probablemente una gran cantidad de nutrientes no sea acumulado en ella, sin embargo, aunque el aporte sea menor en la cubeta Alhué (estero Alhué y Las Palmas), las características hidrodinámicas de ésta provocan una acumulación de nutrientes (altos tiempos de retención).

Modelación Hidrodinámica

Se utilizó el modelo ELCOM para modelar la hidrodinámica del lago Rapel para un periodo de 3 meses correspondiente a los meses de Diciembre del 2009, Enero del 2010 y Febrero del 2010. Se utilizaron los registros de datos de caudales de entrada y salida del embalse a nivel diario y se consideraron las estaciones de monitoreo EULA como puntos de información para definir los perfiles iniciales de temperatura y contenidos de nutrientes. El modelo se ejecutó sobre una malla numérica ortogonal de 50m x 50m sobre la cual se aplicó un forzante meteorológico definido por las variables de temperatura del aire, humedad relativa, radiación solar, presión atmosférica, precipitación, cobertura nubosa, y velocidad y dirección del viento.

Las cotas del embalse en el muro fueron proporcionadas por ENDESA por intermedio del Ministerio del Medio Ambiente, Región O'Higgins.

Las condiciones de borde fueron aplicadas en los tributarios más importantes identificados; los ríos Cachapoal y Tinguiririca (cubeta Cachapoal) y los esteros Alhué y Las palmas (Cubeta Alhué), además de la salida del embalse en el muro (cubeta Muro) (Figura 43).

Adicionalmente se ingresaron al modelo condiciones iniciales en perfiles verticales validos para el comienzo del periodo de modelación. Los puntos considerados como condiciones iniciales corresponden a los puntos de las estaciones de muestreo E-1, E-2, E-3, E-4, E-5 y E-6 descritos en la Figura 54 (capitulo de calidad de agua).

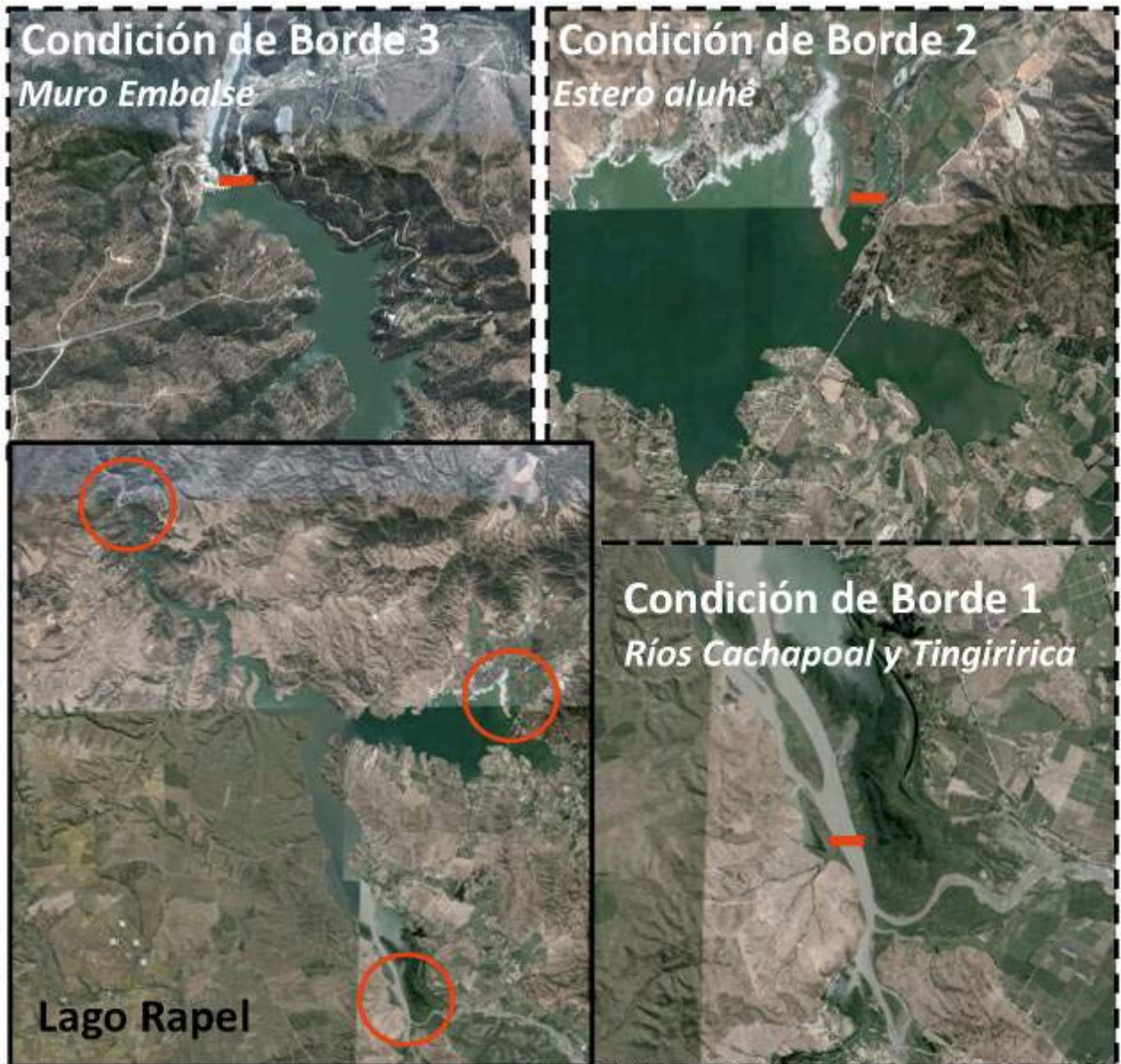


Figura 43: Ubicación aproximada de las condiciones de borde utilizadas en el modelo.

Batimetría

Como se indicó en informes anteriores la información necesaria para la batimetría se obtuvo de las cartas Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile (SHOA) que corresponden al levantamiento hidrográfico al año 2004. Las cartas se denominan a) Central Rapel a Punta lo Loros (escala 1:15000), y b) Punta los Loros a Río Tingiririca (escala 1:30000). Las cotas de la batimetría se indican en la Figura 44. El Post procesamiento de dichos puntos con el software ArcGIS permite la creación de una malla numérica ortogonal con elementos de

50m x 50m para el área del embalse, la cual es la base para la modelación hidrodinámica y de calidad del agua (Figura 44).

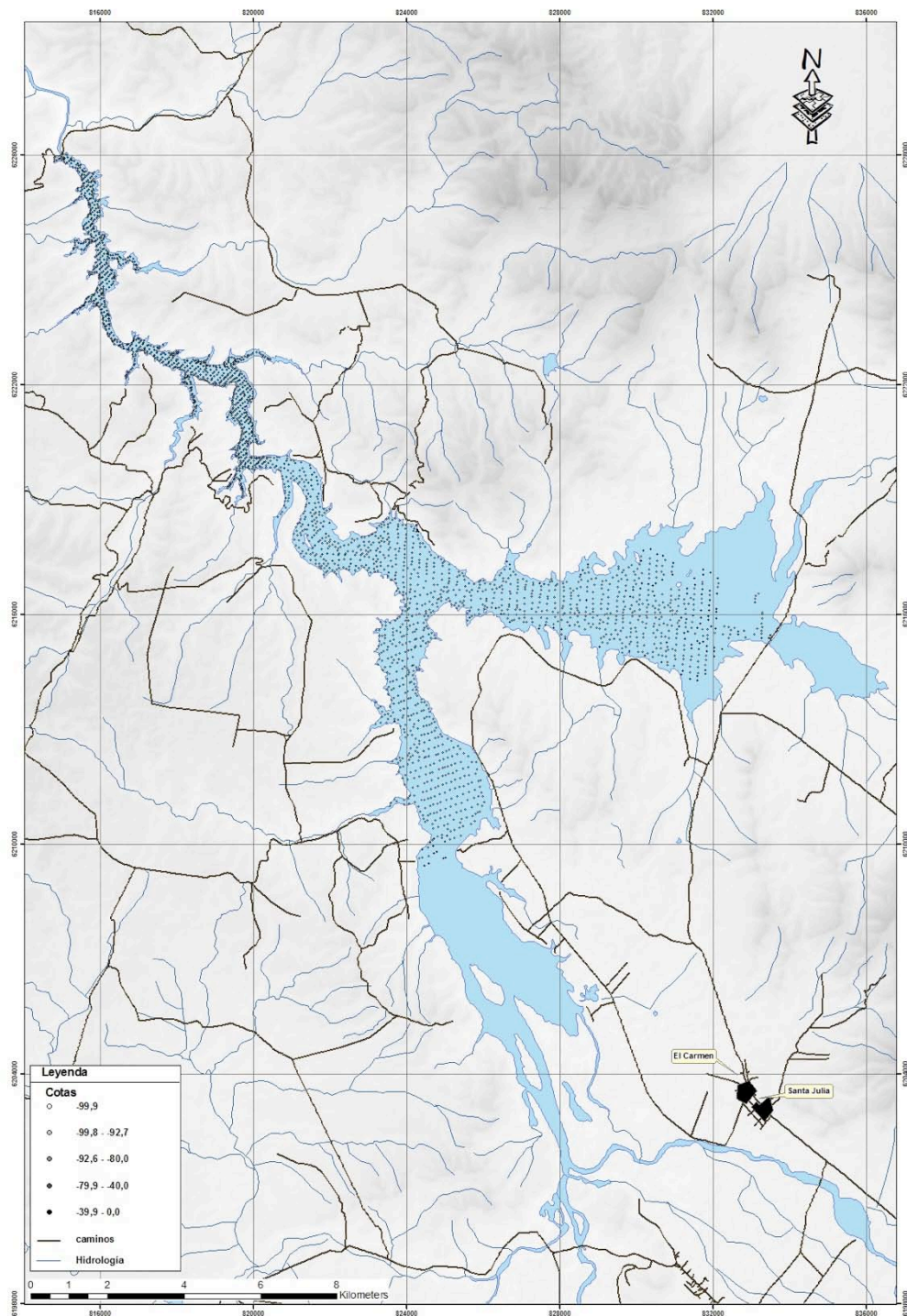


Figura 44: Localización de puntos digitalizados para el desarrollo de la batimetría digital del Embalse Rapel.

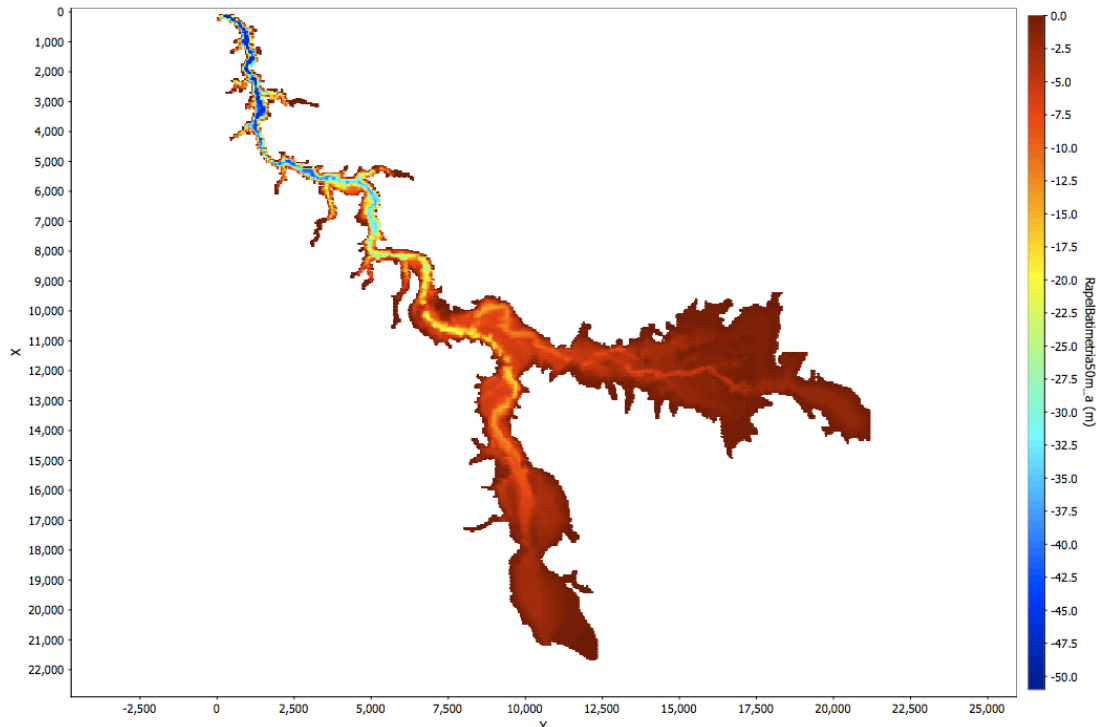


Figura 45: Grilla numérica ortogonal en formato de batimetría del Embalse con resolución de elementos de 50m x 50m.

Meteorología y Viento

La modelación y caracterización de los campos de viento predominantes en la zona del Embalse Rapel para los meses de diciembre de 2009, enero de 2010 y febrero de 2010, se realizó a través del modelo meteorológico CALMET, el cual integra datos de meteorología superficial, meteorología de altura, cobertura de uso de suelo y topografía, específicos para la zona en estudio.

En cuanto a la meteorología superficial de la zona, esta incluye registros a nivel horario de parámetros como temperatura, dirección y velocidad del viento, cobertura de nubes, presión, humedad relativa, temperatura del punto de rocío y altura de la base nubosa. Estos datos fueron extraídos de la capitania de puerto del Embalse Rapel ubicada en H18 6215384 N - 826867 E, a una altura aproximada de 10 m sobre el nivel del suelo.

La meteorología de altura considera niveles de datos desde los 80 a los 16 mil metros de altura, en parámetros como presión, temperatura, dirección y velocidad del viento y temperatura del punto de rocío, para observaciones diarias registradas a las 0 y 12 horas (UTC). Estos datos fueron extraídos desde la base de datos de Air Reserch Laboratory (www.arl.noaa.gov) para las coordenadas específicas de la zona de modelación.

Finalmente, los datos geofísicos utilizados para la modelación correspondientes a uso de suelo y elevación del terreno, se obtuvieron a través de información topográfica digital, desde la base de datos de USGS, para una carta topográfica SRTM de resolución 90 m.

A continuación se presentan las rosas de viento, que indican la dirección y velocidad del viento predominante en la zona del Embalse Rapel.

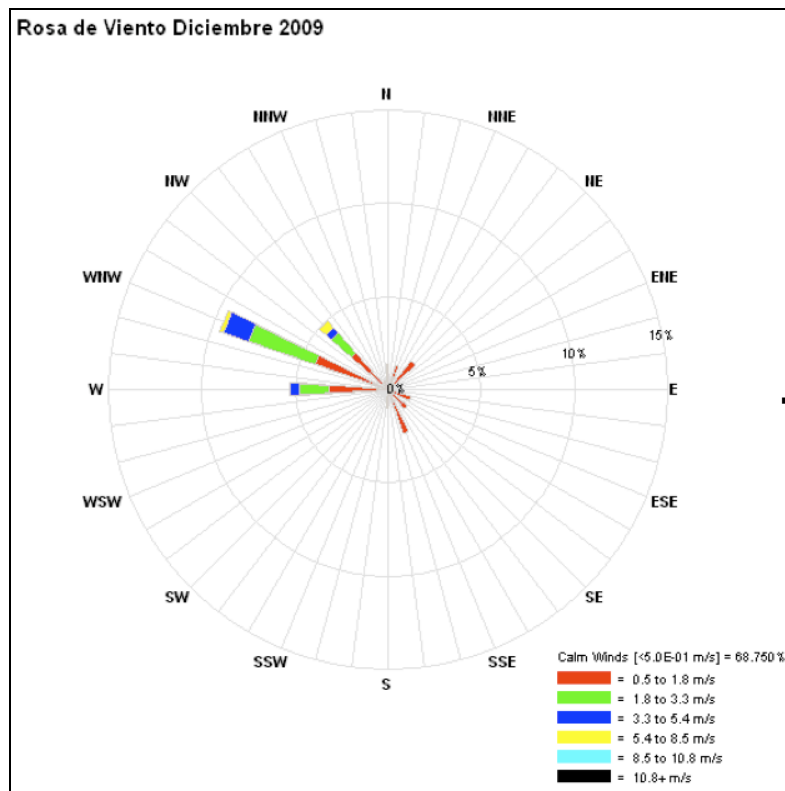


Figura 46: Rosa de viento diciembre 2009.

La dirección de viento predominante para el mes de diciembre de 2009 corresponde a la Oeste-noroeste (WNW), con una frecuencia aproximada del 10% y con velocidades de viento que alcanzan los 8,5 m/s aproximadamente. Los vientos calmos o de baja velocidad (menor a 0,5 m/s) representan una frecuencia aproximada de 68%.

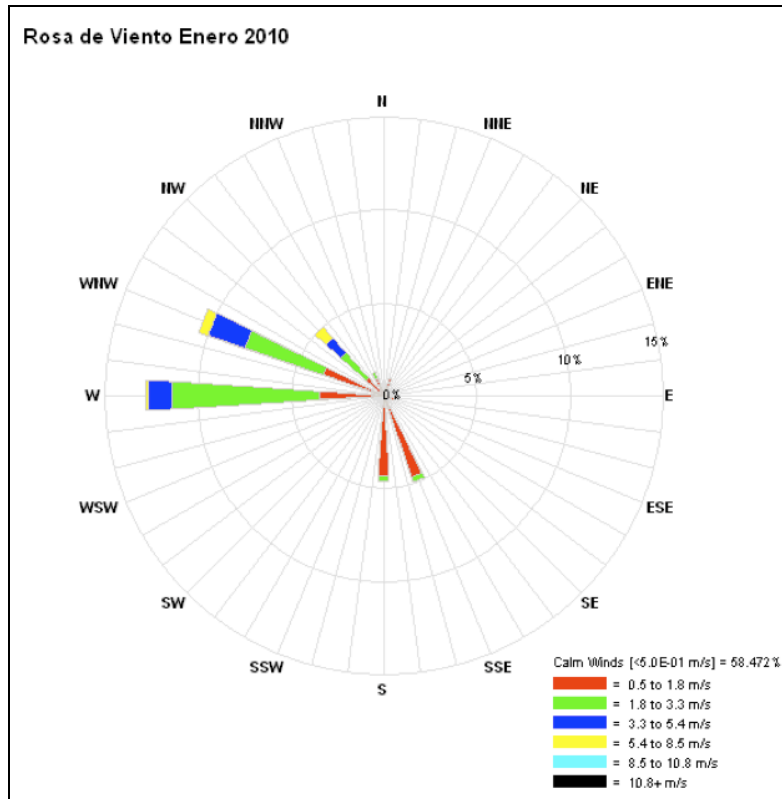


Figura 47: Rosa de viento enero 2010.

La dirección de viento predominante para el mes de enero de 2010 corresponde a la Oeste (W) y en menor medida la dirección Oeste-noroeste (WNW), con una frecuencia aproximada del 13% y 11%, aproximadamente. La mayor frecuencia de velocidades de viento presentes en la dirección predominante, corresponden a los comprendidos entre 1,8 y 3,3 m/s. Los vientos calmos o de baja velocidad (menor a 0,5 m/s) representan una frecuencia aproximada de 58%.

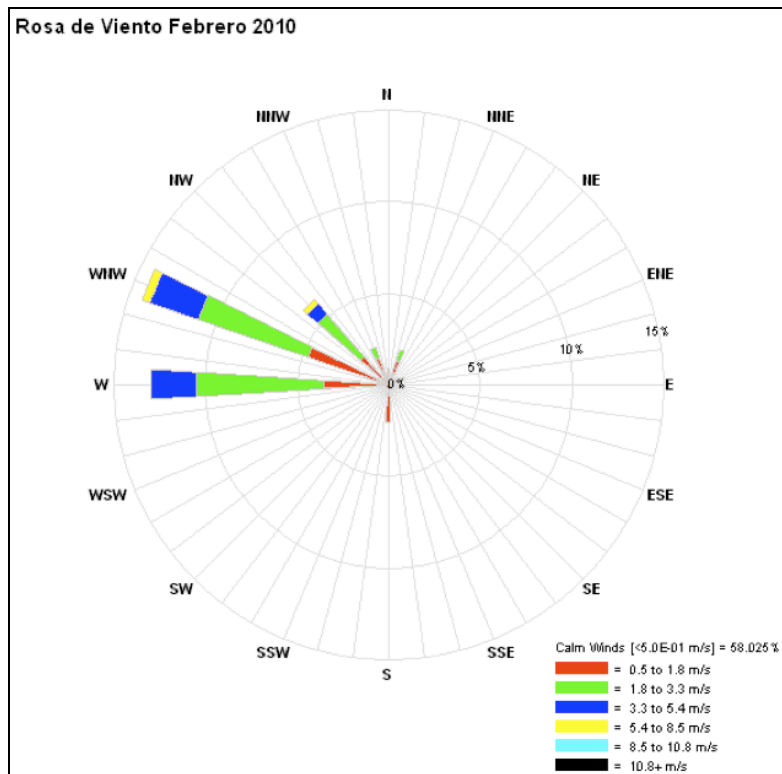


Figura 48: Rosa de viento febrero 2010.

Las direcciones de viento predominante para el mes de febrero de 2010 corresponden a Oeste-noroeste (WNW) y Oeste (W), con una frecuencia aproximada del 13% y 14%, aproximadamente. La mayor frecuencia de velocidades de viento presentes en ambas direcciones predominantes, corresponden a los comprendidos entre 1,8 y 3,3 m/s. Los vientos calmos o de baja velocidad (menor a 0,5 m/s) representan una frecuencia aproximada de 58%.

En resumen la Figura 49 muestra referencialmente la dirección de la velocidad promedio en el embalse Rapel durante los meses de Diciembre 2009, Enero 2010 y Febrero 2010. Las velocidades promedio fluctúan entre 1,8 y 3,3 m/s y poseen una dirección predominante WNW (Oeste-Noroeste).

UTM Zone: 19
Hemisphere: S
Datum: WGS-84

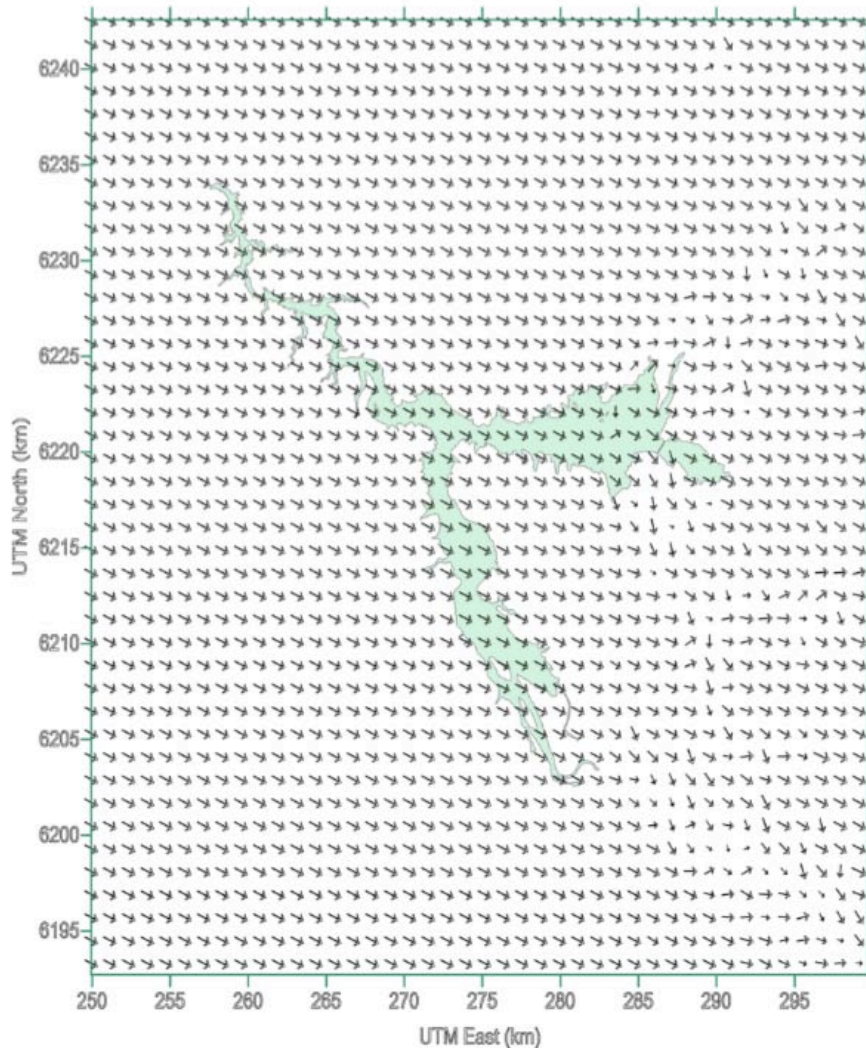


Figura 49: Vientos promedios y direcciones predominantes sobre el embalse Rapel durante el periodo de Diciembre 2009 a Febrero 2010.

Cabe notar los resultados del modelo hidrodinámico mejoraron significativamente al incorporar en la distribución espacial del viento con su dirección predominante. La dirección indicada favorece el retorno del agua superficial a la cubeta Alhué, sugiriendo un factor de transporte de Bloom de microalgas formado en la parte central del embalse hacia la parte Este del cuerpo de agua.

Campo de velocidades

La descripción hidrodinámica del embalse Rapel obtenida de la modelación indica comportamientos del agua del embalse similares a aquellos descritos en estudios anteriores. Por ejemplo, que el comportamiento dinámico de las cubetas Cachapoal y Alhué es similar al de un río con sentido de escurrimiento hacia la cubeta Rapel afectados por los esfuerzos de corte en la superficie debido al viento. Las velocidades de la cubeta del Cachapoal son mayores que las registradas en la cubeta del Alhué, además la primera presenta un flujo estable con dirección hacia el norte, a diferencia de la cubeta del Alhué que indica inversiones en su dirección (Figura 50). En ésta última predomina el flujo hacia la cubeta del Rapel (Noroeste), sin embargo puede esporádicamente cambiar su dirección alejándose de la cubeta del Rapel en dirección Suroeste especialmente después de una tormenta por diferencia de presiones que son complementadas por los vientos dominantes.

En cuanto a los tiempos de retención se estima que estos fluctúan entre 3 a 4 semanas para la cubeta del Cachapoal, 8 a 9 semanas para la cubeta del Alhue, y 5 a 6 semanas para la cubeta del Muro. Cabe notar que la distribución de velocidades en el modelo indica claramente los patrones de recirculación existentes en la cubeta Alhue y que son los causales del alto tiempo de retención en esta parte del embalse.

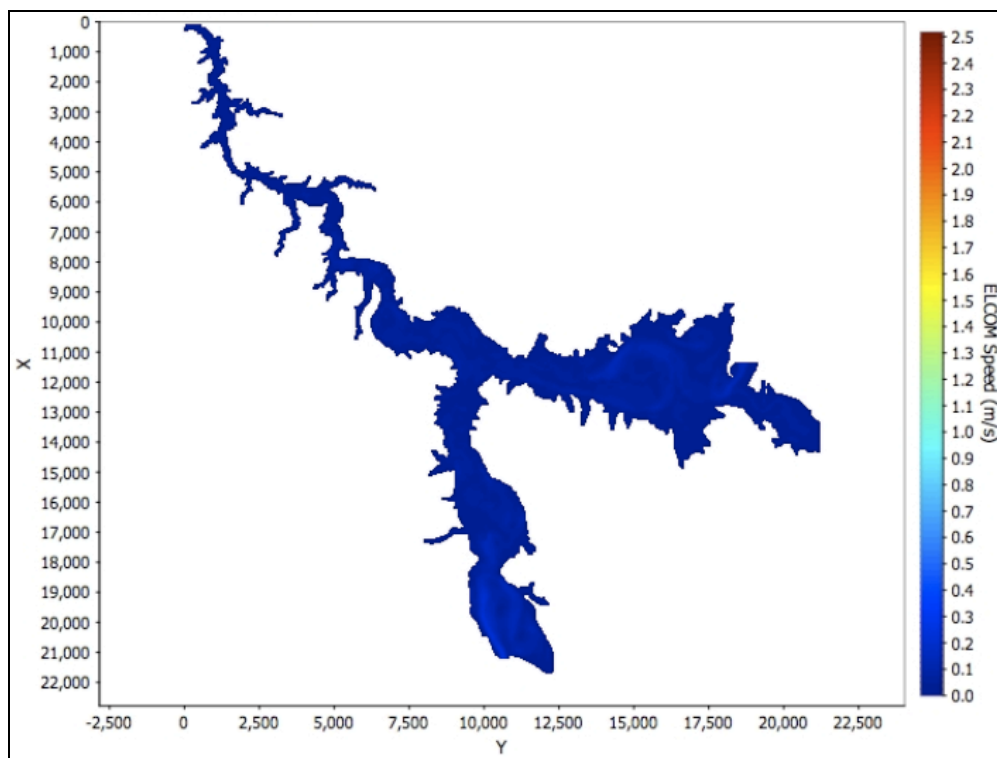


Figura 50: Magnitud de velocidades en el embalse Rapel indicando los flujos característicos en la cubeta Cachapoal y Alhué.

Campo de temperaturas

La distribución espacial de la temperatura sugiere que los mayores valores se encuentran en la zona de la confluencia de las cubetas, así como también en las partes más bajas de la cubeta Alhue. Las menores temperaturas se registraron en la cubeta más cercana al muro tal como lo indica la Figura 51.

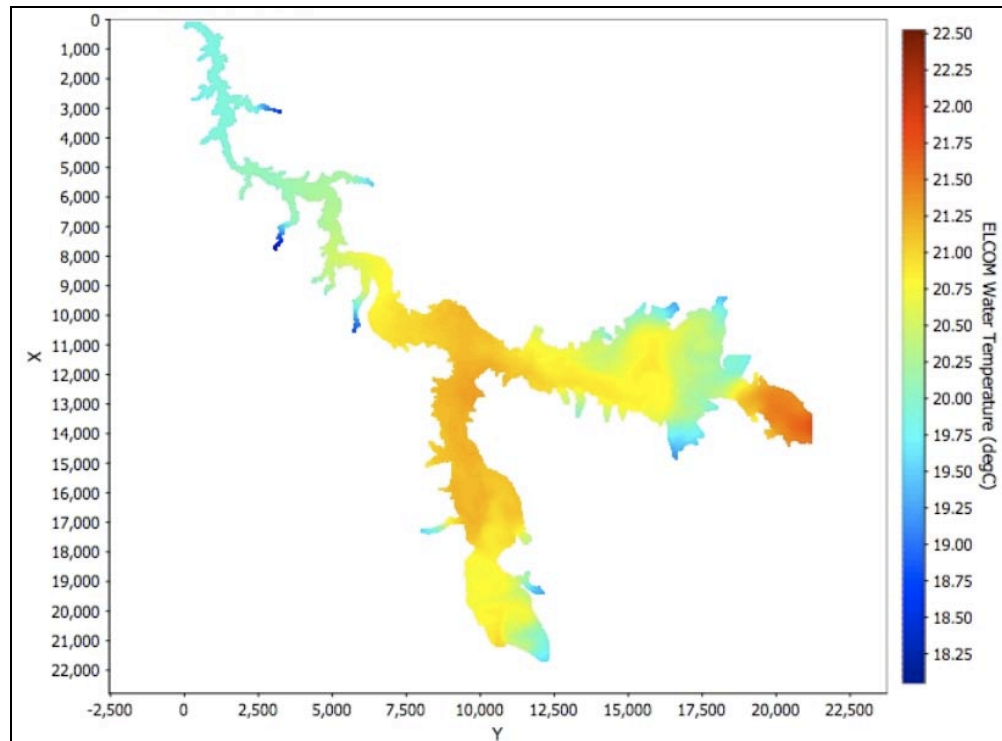


Figura 51: Magnitud de temperaturas en el embalse Rapel forzadas por los flujos característicos en la cubeta Cachapoal y Alhué.

Modelación de Nutrientes: Fósforo Total y Nitratos

Conocidos los resultados de la hidrodinámica del embalse se establece el modelo de nutrientes. El modelo CAEDYM simula la concentración de nitrógeno y fósforo total sobre la base de los forzantes hidrodinámicos y las condiciones de borde en los principales tributarios que definen la entrada de nutrientes más significativa al embalse. Los forzantes utilizados corresponden a valores de caudal, temperatura del agua, oxígeno disuelto (OD), pH, ortofosfato (PO_4), Amonio (NH_4), nitrato (NO_3) y fósforo orgánico disuelto (DOPL).

Las concentraciones de nutrientes (fósforo y nitrato), obtenidas por el modelo bien representan los datos medidos en terreno y entregan la distribución espacio-

temporal de los nutrientes en el embalse para el periodo de modelación considerado.

Campo concentraciones de Fósforo

Los resultados de la modelación muestran que como se esperaba, el principal aporte de fósforo total al embalse se produce gracias a los tributarios que ingresan a la cubeta Cachapoal, es decir, a través de los ríos Cachapoal y Tinguiririca. El aporte de fósforo total es luego distribuido en el embalse hacia las cubetas Alhué y Muro, produciéndose las mayores concentraciones en la zona intermedia del embalse donde se produce la unión de las cubetas.

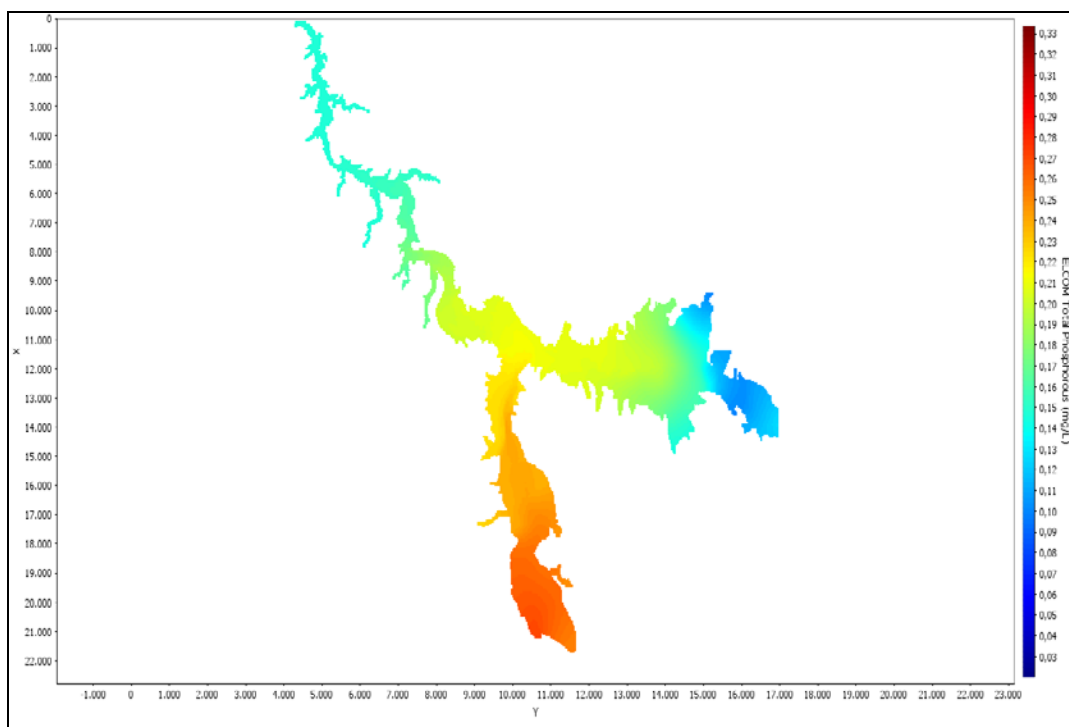


Figura 52: Campo de concentraciones de Fósforo simuladas.

Campo de concentraciones de Nitrato

Al igual que en el caso del fósforo total, las concentraciones de nitrato en el embalse se encuentran fuertemente influenciadas por los aportes de los ríos Cachapoal y Tinguiririca. La dinámica de las concentraciones de nitratos en el embalse indica que las concentraciones en la cubeta Alhué se encuentran determinadas por un ingreso de carga de nitratos desde la cubeta Cachapoal, siendo magnificadas debido al mayor tiempo de residencia de esta cubeta.

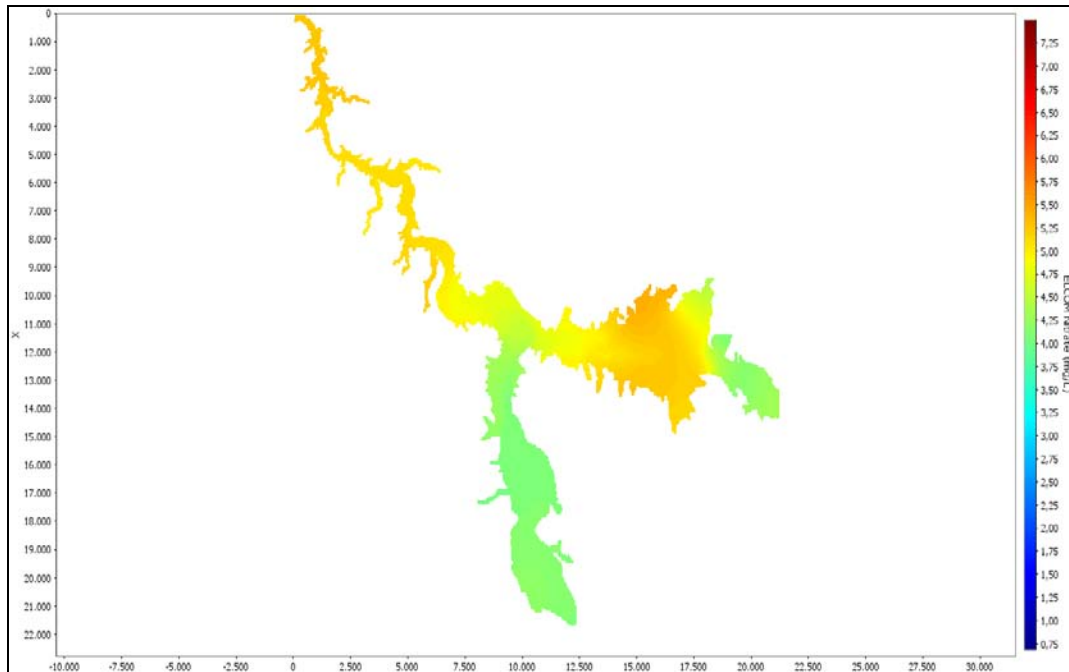


Figura 53: Campo de concentraciones de Nitratos simulado.

2.4.2 Conclusiones

Los principales aportes de nutrientes al embalse Rapel se encuentran determinados por los ríos Cachapoal y Tinguiririca. Las cargas provenientes de estos aportes son luego distribuidos en el embalse, manteniendo la dirección de escurrimiento de dichos ríos. Cabe destacar que una parte importante de los aportes de nutrientes generados en la cubeta Cachapoal son conducidos hacia la cubeta Alhué donde son retenidos debido a los mayores tiempos de residencia de ésta cubeta. Lo anterior determina además que las mayores concentraciones de nutrientes se localicen en la zona central del embalse, es decir, cerca de la unión de las cubetas, donde además se producen las temperaturas más elevadas, generándose condiciones que puedan ser favorables para la proliferación de microalgas.

Es importante indicar que una modelación acabada a nivel diario, necesariamente requiere de datos al mismo nivel temporal, es decir, se deben caracterizar los forzantes y condiciones de borde para el modelo hidrodinámico y de nutrientes diariamente. Para este estudio se tuvo que recurrir a valores medios mensuales que fueron artificialmente distribuidos al nivel diario, si bien esta metodología representa la mejor aproximación posible es relevante notar que hay espacio de mejora para el proceso de simulación matemática.

2.5 Monitoreo de calidad de agua y sedimentos

2.5.1 Aguas superficiales

El monitoreo de la calidad del agua superficial consideró seis muestreos realizados en los meses de agosto y noviembre de 2009 y en enero, mayo, julio y octubre de 2010. El programa originalmente contempló el monitoreo de seis estaciones en el embalse y siete estaciones en los tributarios. A partir del mes de mayo de 2010 se incorporó una estación en la desembocadura del estero Alhué (R-8). Las coordenadas geográficas y ubicación espacial de las estaciones de muestreo tanto en el embalse Rapel como en los tributarios, se presentan en la Tabla 22 y Figura 54 respectivamente.

Tabla 22: Nombre y ubicación de las estaciones de muestreo.

| Código | Coordenadas UTM Datum WGS84 huso 18 | | Descripción |
|--------|--|-----------|--|
| | | | |
| R – 1 | 847683,5 | 6224278,3 | Estero Carén después del muro del embalse Carén. |
| R – 2 | 847762,1 | 6224153,2 | Estero Alhué antes de la confluencia con estero Carén. |
| R – 3 | 846338,9 | 6223927,8 | Estero Alhué en Quilamuta, después confluencia Carén. |
| R – 4 | 837240,2 | 6212347,3 | Estero las Palmas camino al Durazno. |
| R – 5 | 834489,2 | 6200746,5 | Río Cachapoal en puente Arqueado |
| R – 6 | 828205,6 | 6199091,7 | Río Tinguirica en Los Olmos |
| R – 7 | 825447,4 | 6196410,8 | Estero Las Cadenas-San Miguel |
| R – 8 | 809945,0 | 6209351,0 | Estero Alhué desembocadura embalse Rapel |
| E – 1 | 808789,1 | 6198243,0 | Embalse Rapel brazo Cachapoal |
| E – 2 | 808772,5 | 6198299,1 | Embalse Rapel brazo Cachapoal |
| E – 3 | 808792,0 | 6198331,8 | Embalse Rapel brazo Alhué |
| E – 4 | 808819,6 | 6198330,9 | Embalse Rapel brazo Alhué |
| E – 5 | 808747,1 | 6198366,6 | Embalse Rapel brazo Cortina |
| E – 6 | 808691,8 | 6198368,4 | Embalse Rapel brazo Cortina |

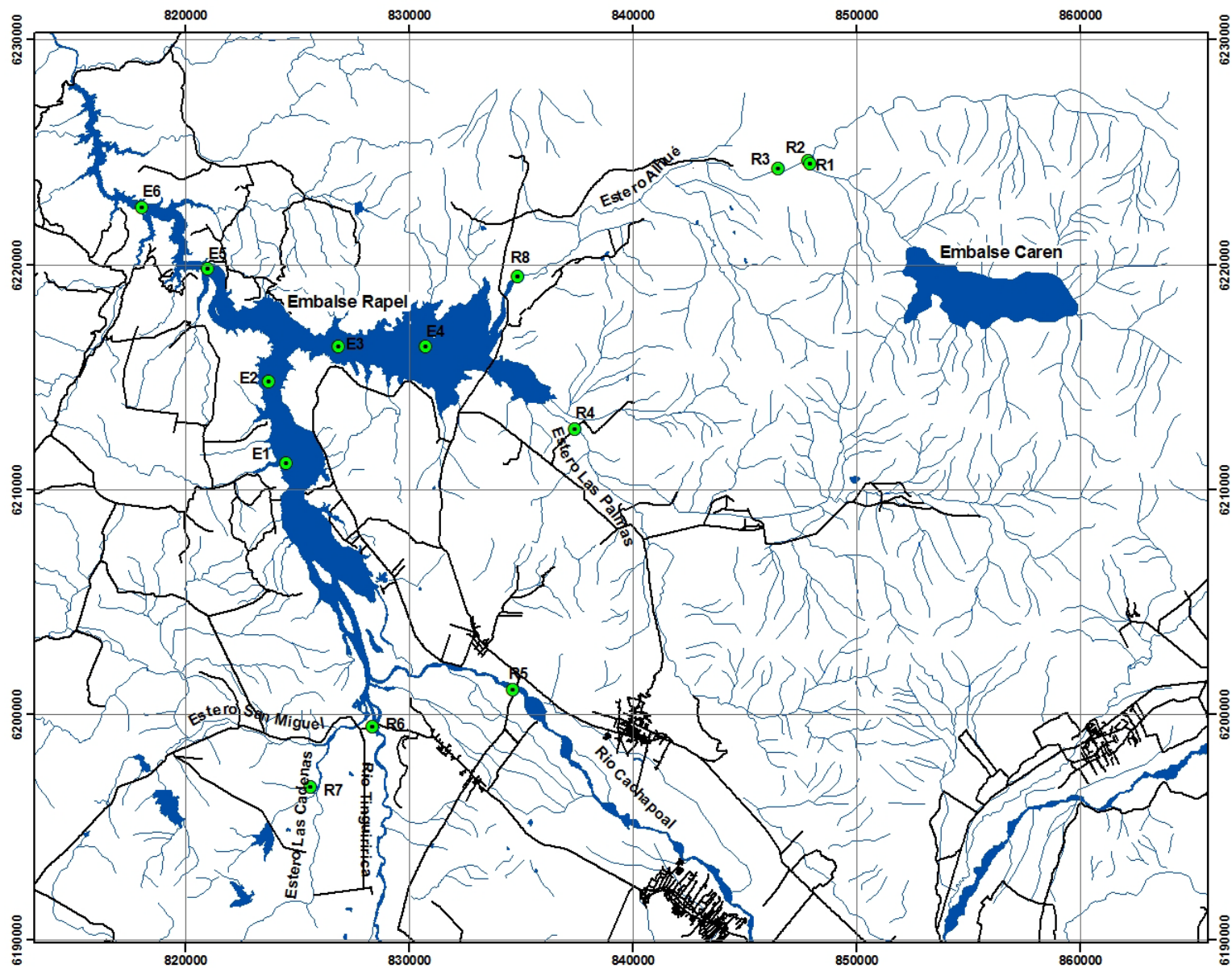


Figura 54: Ubicación de las estaciones de muestreo de agua superficial.

2.5.2 Metodología

Se colectaron 3 submuestras a tres profundidades (sub superficial, media y fondo) para obtener una muestra integrada para cada una de la estaciones, desde la cual se procedió a tomar las porciones de volumen correspondiente para los análisis específicos según lo indicado en NCh411 parte 5. En terreno se realizó la medición **in situ** de los parámetros: pH, temperatura, oxígeno disuelto y conductividad eléctrica. Posteriormente las muestras fueron preservadas y transportadas al laboratorio de Química Ambiental del Centro EULA para efectuar el resto de los análisis según NCH 411 parte 3 (Tabla 23).

Tabla 23: Parámetros y métodos analíticos considerados en el presente estudio.

| PARÁMETRO | MÉTODO ANALÍTICO |
|-----------------------------|---|
| Amonio | 4500 – NH ₃ F Standard Methods 21th Edition. Espectrofotometría Absorción Molecular. |
| Cadmio | 3111 B Standard Methods 21th Edition. Espectrofotometría Absorción Atómica – Llama. |
| Cobre | 3111 B Standard Methods 21th Edition. Espectrofotometría Absorción Atómica – Llama. |
| Color Verdadero | 2120 C Standard Methods 21th Edition. Espectrofotometría Absorción Molecular. |
| Conductividad | 2510 B Standard Methods 21th Edition. Electrometría. |
| Clorofila a | 10200 H Standard Methods 21th Edition. Fluorometría. |
| DBO ₅ | 5210 – B Standard Methods 21th Edition. Método del Electrodo de Membrana. |
| DQO | 5220 D Standard Methods 21th Edition. Método colorimétrico con reflujo cerrado |
| Fósforo Soluble | 4500 P- B Standard Methods 21th Edition. Espectrofotometría Absorción Molecular. |
| Fósforo Total | 4500 P Standard Methods 21th Edition. Espectrofotometría Absorción Molecular. |
| Hierro | 3111 B Standard Methods 21th Edition. Espectrofotometría Absorción Atómica – Llama. |
| Molibdeno | 3111 D Standard Methods 21th Edition. Espectrofotometría Absorción Atómica – Llama. |
| Nitrato | 4500 – NO ₃ E Standard Methods 21th Edition. Espectrofotometría Absorción Molecular. |
| Nitrito | 4500 –NO ₂ -B-Standard Methods 20th Edition. Espectrofotometría Absorción Molecular. |
| Nitrógeno Total | 4500 N C Standard Methods 21th Edition. Espectrofotometría Absorción Molecular. |
| Orto - Fosfato | 4500–P-E Standard Methods 20th Edition. Espectrofotometría Absorción Molecular. |
| Oxígeno Disuelto | 4500 O Standard Methods 21th Edition. Volumetría Winkler. |
| pH | 4500-H B Standard Methods 21th Edition. Electrometría |
| Plomo | 3111 B Standard Methods 21th Edition. Espectrofotometría Absorción Atómica – Llama. |
| Sólidos Suspendidos Totales | 2540 D Standard Methods 21th Edition. Gravimetría |
| Sulfato | Merck code 14548 Espectrofotometría de Absorción Molecular.. |
| Temperatura | 2250 B Standard Methods 21th Edition. Termometría |

| PARÁMETRO | MÉTODO ANALÍTICO |
|--------------------|--|
| Transparencia | Disco Secchi. |
| Zinc | 3111 B Standard Methods 21th Edition. Espectrofotometría Absorción Atómica – Llama. |
| Arsenico | 3114 B Standard Methods 21th Edition. Espectrofotometría Absorción Atómica – Generación de hidruros. |
| Cadmio | 3111 B Standard Methods 21th Edition. Espectrofotometría Absorción Atómica – Llama. |
| Cobre | 3111 B Standard Methods 21th Edition. Espectrofotometría Absorción Atómica – Llama. |
| Fósforo Total | Espectroscopia de absorción molecular ML Jackson, "análisis Químico de suelos". Ediciones Omega España (1976) Pp, 190-253. |
| Hierro | 3111 B Standard Methods 21th Edition. Espectrofotometría Absorción Atómica – Llama. |
| Molibdeno | 3111 D Standard Methods 21th Edition. Espectrofotometría Absorción Atómica – Llama. |
| Nitrógeno Orgánico | Espectroscopia de absorción molecular Cobertera E. "Edafología Aplicada". Ediciones Catedral, España (1993) Pp, 237-239 |
| Zinc | 3111 B Standard Methods 21th Edition. Espectrofotometría Absorción Atómica – Llama. |

2.5.3 Resultados

Embalse

El análisis de los resultados de los parámetros pH, temperatura, conductividad, nutrientes (diferentes formas del nitrógeno y fósforo), oxígeno disuelto y sulfatos, se efectuó tomando como referencia el rango de valores (máximos y mínimos) obtenidos del programa de monitoreo de la calidad del agua del embalse Rapel realizado por la DGA correspondiente al periodo 2000-2008 (Anexo 1: Tablas 1, 2 y 3). Para el resto de las variables consideradas en el estudio se tomó como referencia la Norma Chilena Oficial N° 1.333/78. El detalle con los resultados de los monitoreos de calidad del agua del embalse Rapel, realizados por el Centro EULA-Chile, se presentan en el Anexo 1 Tabla 4.

pH

El pH indica la concentración de iones hidrógeno en el agua y es usado como una medida de la naturaleza ácida o básica de un medio acuoso. El pH en el agua natural depende principalmente de la concentración de CO₂ en el agua. Los valores de pH entre 6,5 - 7,5 son ideales para la biota acuática. Un fenómeno que afecta la estabilización de los valores de pH es la eutrofización de un cuerpo de agua el cual genera variaciones de pH con un efecto negativo sobre muchas especies acuáticas.

El pH registrado durante el período comprendido entre los meses de agosto de 2009 y octubre de 2010 fluctuó entre un mínimo de 6,79 en enero de 2010 en la

estación E-1 y un máximo de 8,93 en octubre de 2010 en la estación E-5 (Anexo 1 Tabla 4), valores que superan en rango histórico de las mediciones realizadas por la DGA durante el periodo 2000-2008 (Figura 55). En general las tres cubetas presentan pH alcalinos y bastante similares entre sí.

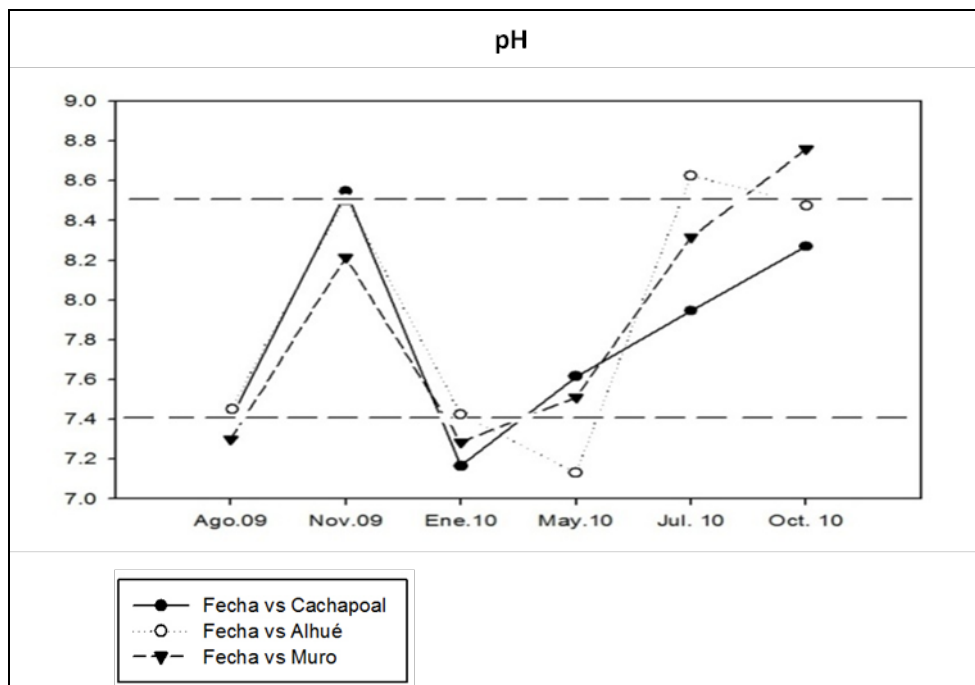


Figura 55: Promedio del pH por cubeta en el embalse Rapel durante el periodo agosto 2009 – octubre 2010.

Temperatura

La temperatura del agua determina sus propiedades físicas, químicas y biológicas. Este parámetro es importante en la solubilidad de las sales y de los gases, por lo tanto influye en la conductividad y en el pH.

La temperatura presentó un comportamiento típicamente estacional, con valores muy semejantes en las tres cubetas, con promedios de 17°C, 18°C y 17 °C en los sectores Cachapoal, Alhué y Muro, respectivamente (Anexo 1 Tabla 4). Lo anterior es concordante con los valores históricos presentados registrados por la DGA para el embalse (Figura 56), aunque se observa un tendencia a presentar valores extremos más altos que los históricos (máximos y mínimos), y evidencian un aumento de esta variable en las estaciones ubicadas en la cubeta Alhué, lo que puede ser atribuido a la poca profundidad de sus aguas, así como a su mayor tiempo de residencia hidráulico.

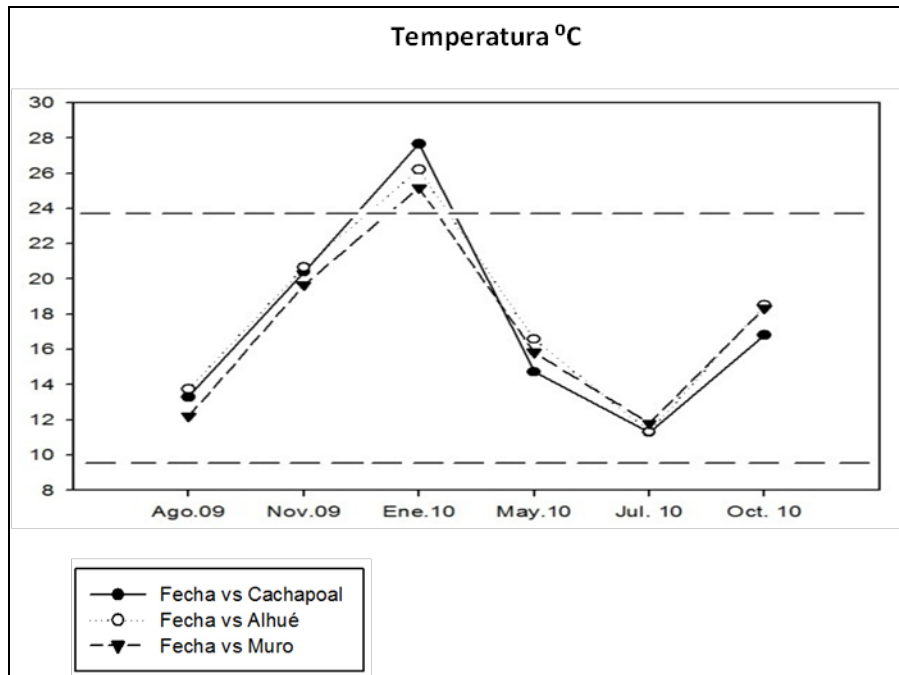


Figura 56: Variabilidad de la temperatura en el embalse Rapel durante el periodo agosto 2009 – octubre 2010.

Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica indica la cantidad de materia ionizable total y depende de la temperatura del agua. En promedio, los valores de conductividad encontrados en los sectores Cachapoal, Alhué y el Muro se encuentran dentro del rango de los valores históricos registrados en el embalse (Figura 57). Los mayores valores se registraron en las estaciones ubicadas en la cubeta Alhué, probablemente debido a la influencia de las descargas del estero Alhué y los menores en los sectores Cachapoal y el Muro (Anexo 1 Tabla 4). Al igual que la temperatura, se observa una tendencia a presentar valores de conductividad más altos en el tiempo.

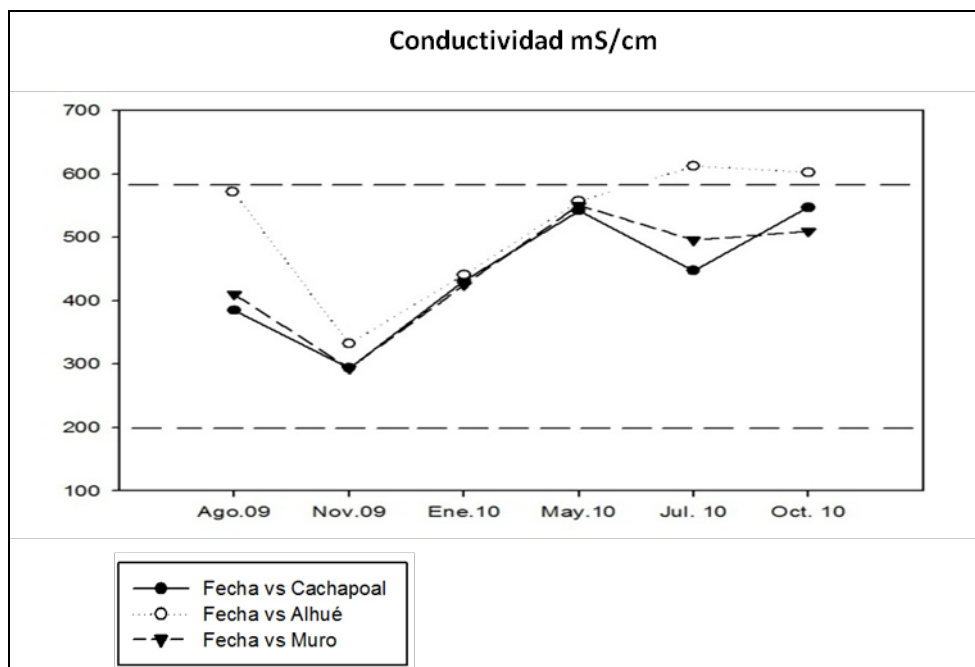


Figura 57: Variabilidad de la conductividad en el embalse Rapel durante el periodo agosto 2009 – octubre 2010.

Nitrógeno y Fósforo

Nitrógeno y fósforo son macronutrientes que se asocian a procesos de eutrofización. Estos elementos se analizan en forma conjunta a la forma de amonio, nitrito, nitrato, nitrógeno total, ortofosfato y fósforo total.

Amonio

Corresponde a una forma de nitrógeno (NH_4) fácilmente asimilable por las plantas, es generado a partir de nitrógeno molecular por algunas bacterias fijadoras de nitrógeno pero también los residuos agropecuarios contribuyen a la entrada del amonio en el suelo y cuerpos de agua, bajo la acción de las bacterias amonificantes. Las aguas superficiales bien oxigenadas no deben contener amonio. En general, la presencia de amonio indica contaminación reciente.

La concentración media de amonio en el embalse se mantuvo dentro de los niveles históricos, con valores promedios de 0,14; 0,11 y 0,13 mg/L para las cubetas Cachapoal, Alhué y Muro, respectivamente (Figura 58; Anexo 1 Tabla 4).

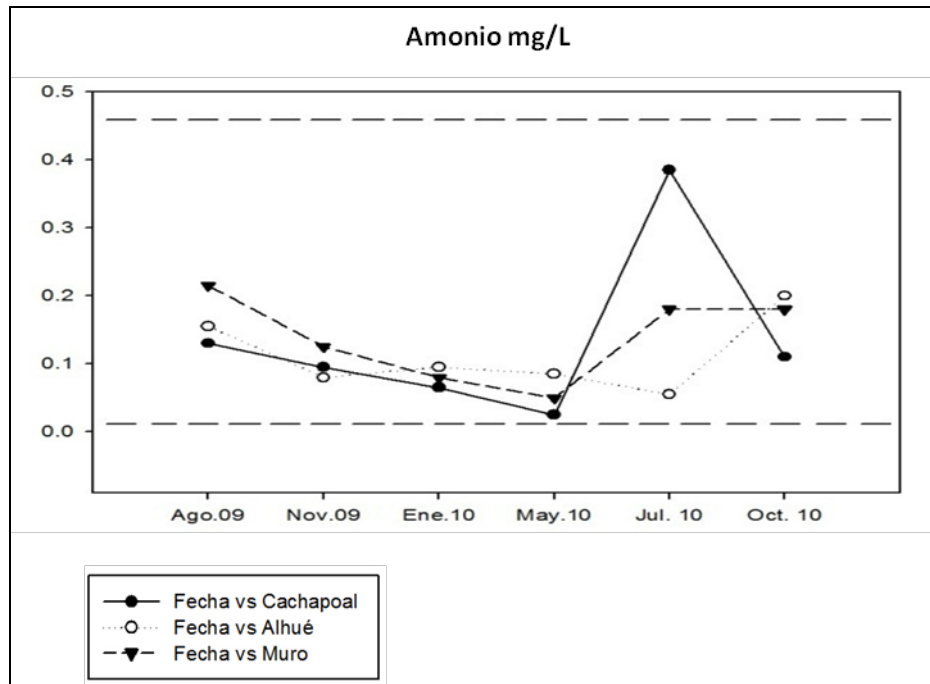


Figura 58: Variabilidad del amonio en el embalse Rapel durante el periodo agosto 2009 – octubre 2010.

Fósforo total

El fósforo es un factor limitante para el crecimiento de las microalgas del fitoplancton, el aumento de su concentración favorece la eutrofización y trae como consecuencia el aumento de materia orgánica, bacterias heterótrofas y finalmente disminución del oxígeno disuelto.

Los valores de fósforo total en el embalse estuvieron del rango histórico de variación registrados por la DGA (2000-2008), con promedio por cubeta de 0,15; 0,09 y 0,09 mg/L en los sectores Cachapoal, Alhué y Muro, respectivamente (Figura 59). Sin embargo, en julio de 2010 las estaciones E-1 y E-2, sobrepasaron el rango histórico, probablemente debido al aumento de contaminación difusa provocada por las precipitaciones registradas al momento de efectuado el monitoreo. Todos los valores de fósforo total corresponden a nivel de eutrófico, según la OCDE (1982).

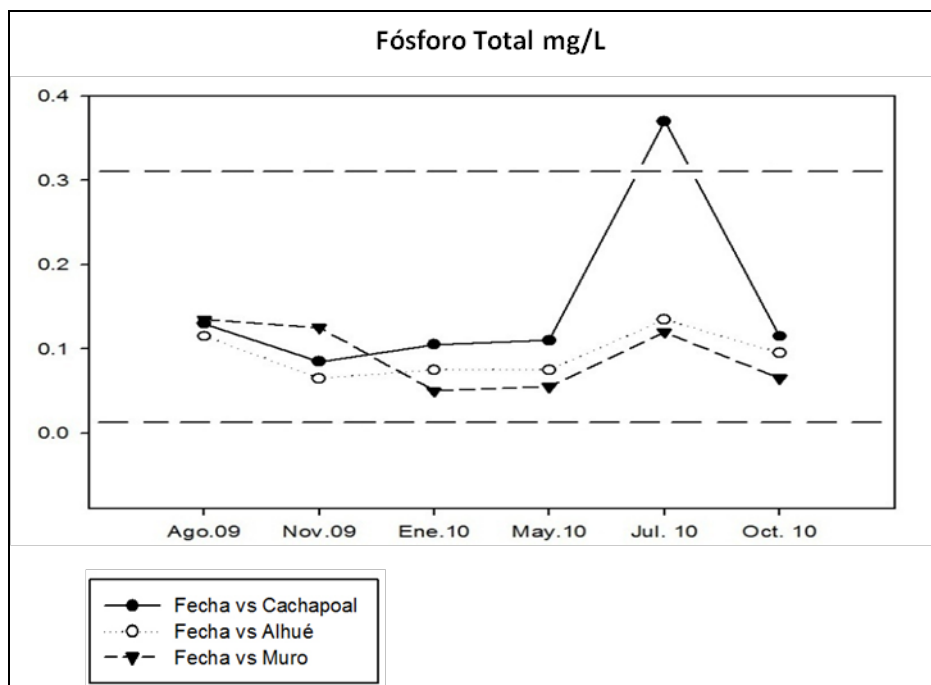


Figura 59: Variabilidad del fósforo total en el embalse Rapel durante el periodo agosto 2009 – octubre 2010.

Nitrito

Los nitritos pueden encontrarse en las aguas naturales, aunque generalmente en dosis pequeñas provenientes de la nitrificación (oxidación incompleta del amoníaco) o de una reducción de los nitratos bajo la influencia de una acción desnitrificante. En general son indicadores de actividad bacteriológica.

Las concentraciones medias de nitritos en los sectores de Cachapoal, Alhué y Muro medidos en las campañas de terreno fueron de 0,1; 0,1 y 0,13 mg/l, respectivamente (Anexo 1 Tabla 4). Estas concentraciones se encuentran dentro de los valores históricos encontrados en el embalse (Figura 60).

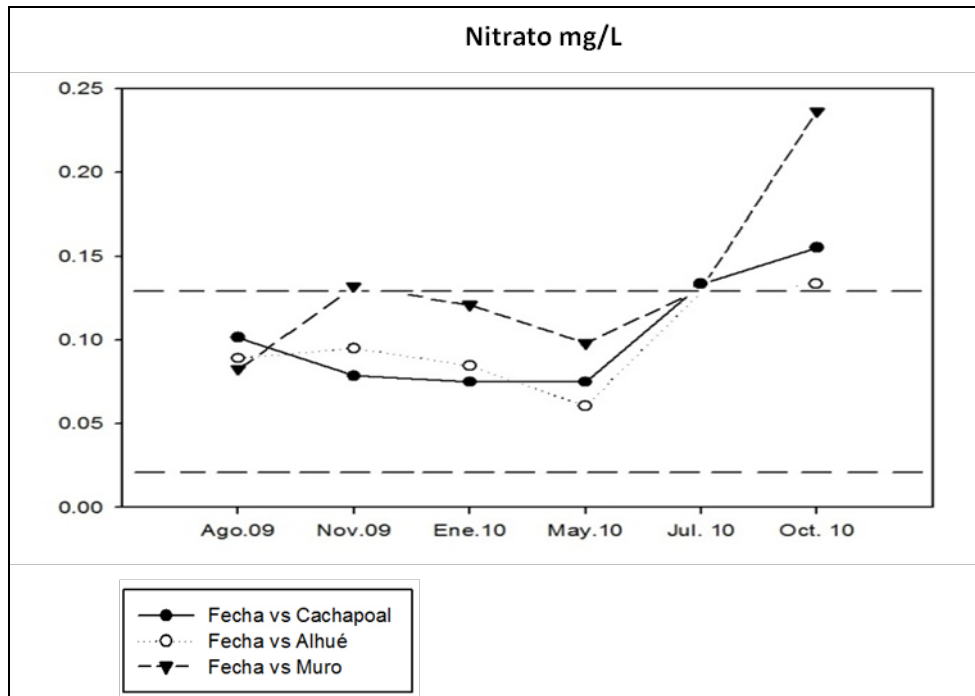


Figura 60: Variabilidad del nitrato en el embalse Rapel durante el periodo agosto 2009 – octubre 2010.

Nitrógeno total

En general, los compuestos del nitrógeno son macronutrientes esenciales para los organismos y su presencia de manera excesiva en los cuerpos de agua es asociada a la eutrofización. Las concentraciones de este parámetro en el embalse en los sectores Cachapoal, Alhué y Muro fueron de 2,6; 1,6 y 2,5 mg/L, respectivamente (Anexo 1 Tabla 4). Estos valores se encuentran por sobre los valores registrados históricamente en el embalse. Las concentraciones más altas se produjeron en las estaciones localizadas en las cubetas Cachapoal y el Muro (Figura 61).

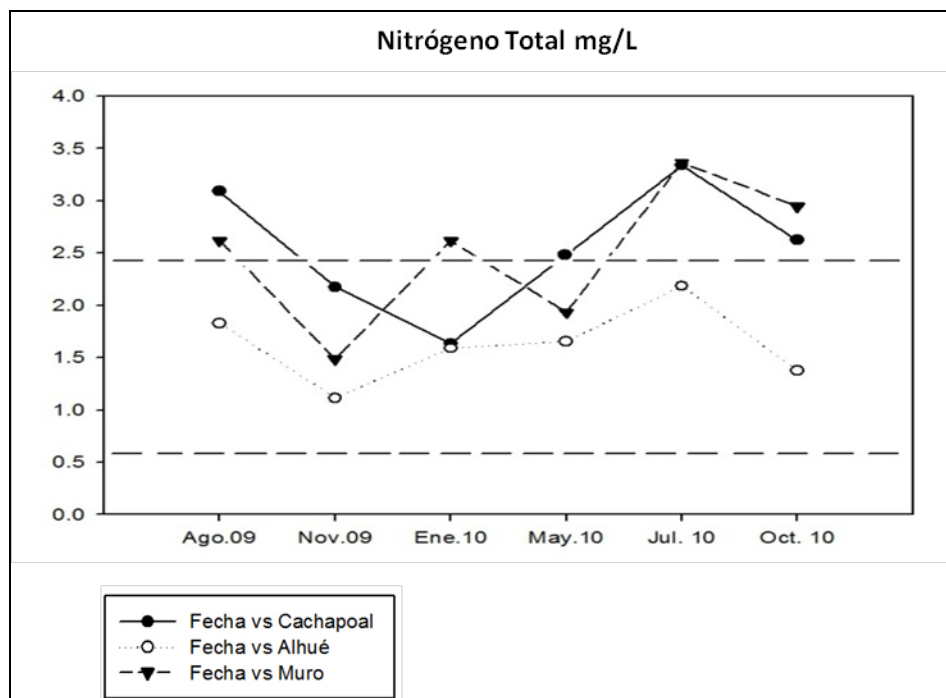


Figura 61: Variabilidad de la nitógeno total en el embalse Rapel durante el periodo agosto 2009 – octubre 2010.

Oxígeno disuelto

La presencia del oxígeno disuelto en el agua es una condicionante fundamental para el desarrollo de la vida acuática, vegetal y animal, evitando la descomposición anaerobia de la materia orgánica. Las fuentes de oxígeno en el agua son la aireación y la fotosíntesis vegetal.

En este sentido, las concentraciones medias de oxígeno disuelto registradas durante el periodo de monitoreo fueron de 10,2; 9,6 y 9,2 mg/l (Anexo 1 Tabla 4), niveles que están dentro del rango histórico de las mediciones realizadas para el embalse (Figura 62).

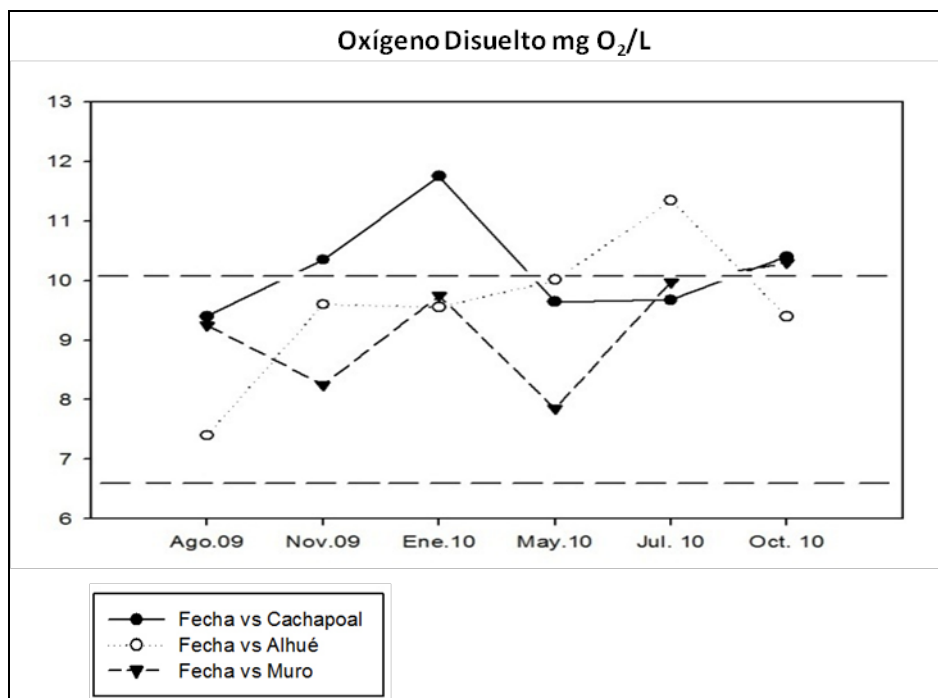


Figura 62: Variabilidad del oxígeno disuelto en el embalse Rapel durante el periodo agosto 2009 – octubre 2010.

Sulfatos

El sulfato (SO₄) se encuentra normalmente en casi todas las aguas naturales. La mayor parte de los compuestos sulfatados se originan a partir de la oxidación de minerales que contienen sulfato y por residuos industriales.

En el caso de este parámetro, las concentraciones presentan importantes diferencias entre los niveles determinados en la cubeta Alhué y en las cubetas Cachapoal y el Muro, con valores de medios de 142; 86,7 y 97,8 mg/L, respectivamente (Figura 63; Anexo 1 Tabla 4). Es importante destacar que esto concuerda con el comportamiento observado en los datos históricos disponibles para el embalse (2000-2008), y refleja la influencia de las aguas claras de releve provenientes del embalse Carén.

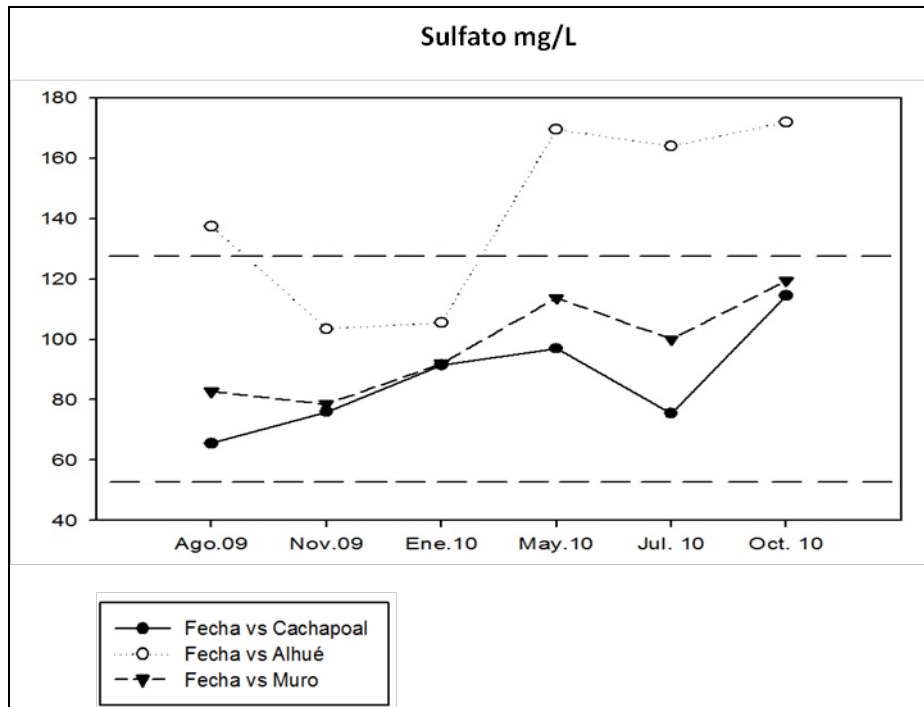


Figura 63: Variabilidad del sulfato en el embalse Rapel durante el periodo agosto 2009 – octubre 2010.

Alcalinidad

La alcalinidad del agua es la medida de su capacidad para neutralizar ácidos. En agua naturales su presencia se debe principalmente a sales de ácidos débiles y bases fuertes y, estas sustancias actúan como amortiguadoras para resistir la caída de pH en los cuerpos acuáticos.

La alcalinidad en el embalse presenta valores que no varían significativamente entre las distintas cubetas. Los valores más altos se observaron en la cubeta Alhué en octubre de 2010 (Figura 64).

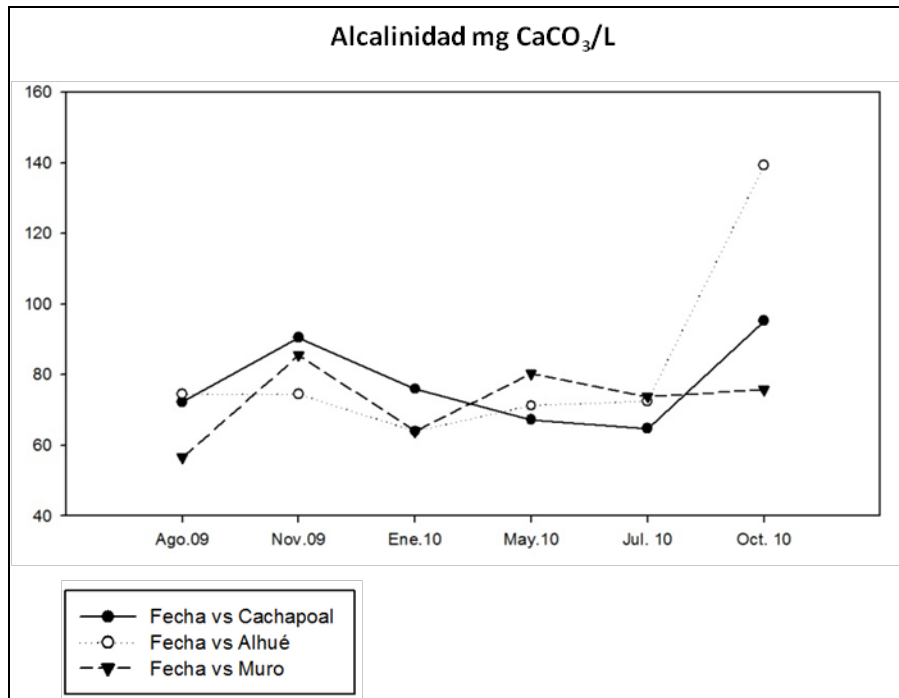


Figura 64: Variabilidad de la alcalinidad en el embalse Rapel durante el periodo agosto 2009 – octubre 2010.

DBO₅

La DBO₅ es una medida de la cantidad de oxígeno disuelto que se requiere por parte de los microorganismos para la degradación aerobia de la materia orgánica biodegradable presente en el medio acuático. Es un indicador de la calidad del punto de vista de la cantidad de materia orgánica presente en el agua.

En general los valores e DBO₅ son bajos y homogéneos para los 3 sectores del embalse e indican buenas condiciones biológicas de la calidad del agua (Anexo 1 Tabla 4; Figura 65).

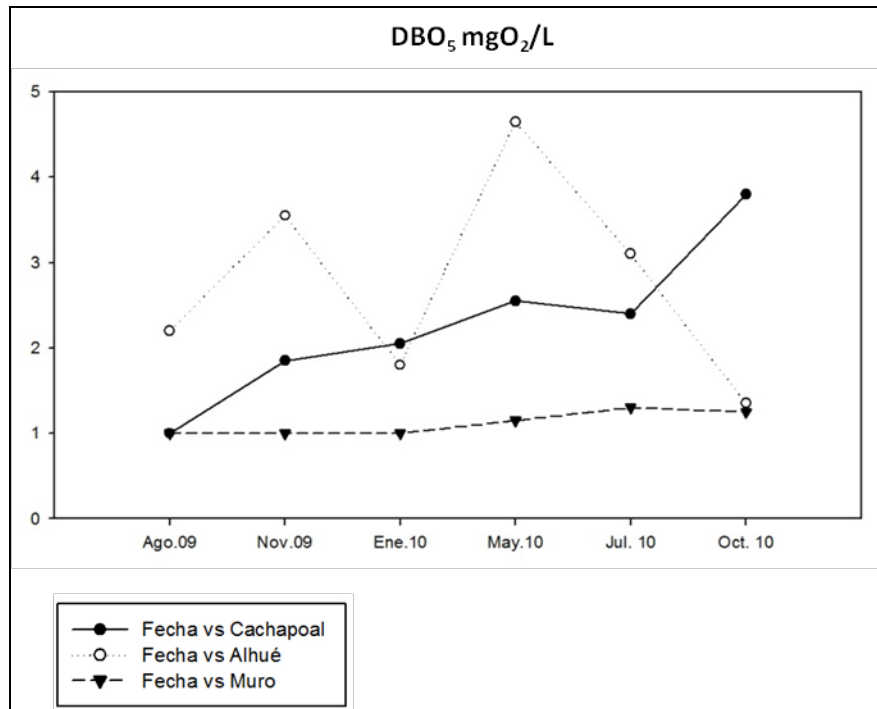


Figura 65: Variabilidad de la DBO₅ en el embalse Rapel durante el periodo agosto 2009 – octubre 2010.

Sólidos suspendidos totales

En general sólidos en cuerpos de agua se refiere a materia suspendida o disuelta en las aguas. Los sólidos disueltos pueden afectar adversamente la calidad de un cuerpo de agua por su relación con la turbiedad. Por otro lado, representa a vectores de movilización de los compuestos orgánicos e inorgánicos de los cuerpos de agua.

En general, el embalse muestra valores homogéneos de sólidos suspendidos para las tres cubetas del embalse (Figura 66), pero sin embargo se observa un valor máximo para la cubeta Cachapoal en julio de 2010 (Anexo 1 Tabla 4), probablemente asociado a un evento de precipitación registrado durante el periodo de muestreo.

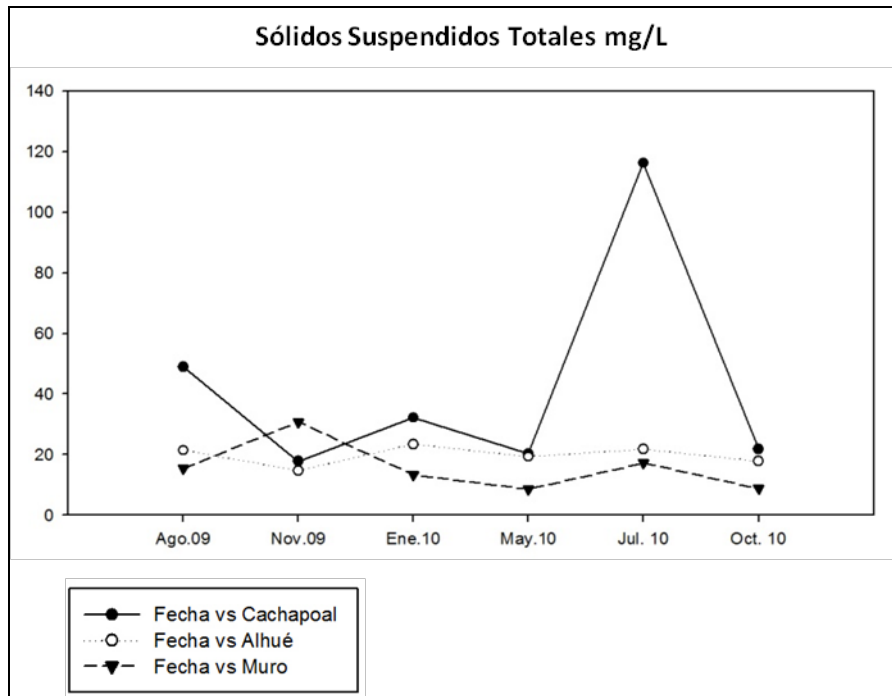


Figura 66: Variabilidad de los sólidos suspendidos en el embalse Rapel durante el periodo agosto 2009 – octubre 2010.

Color verdadero

El color del agua está asociado a sustancias en suspensión o solución cuyo origen generalmente corresponde a material vegetal en descomposición como la lignina, taninos, ácidos húmicos, ácidos fúlvicos, etc. y a minerales disueltos como manganeso o hierro.

El color de las aguas del embalse está asociado a los sólidos en la columna de agua y tal como lo que se observa para los sólidos suspendidos totales, la cubeta Cachapoal presenta un valor máximo en julio de 2010, también asociado a precipitaciones (Figura 67).

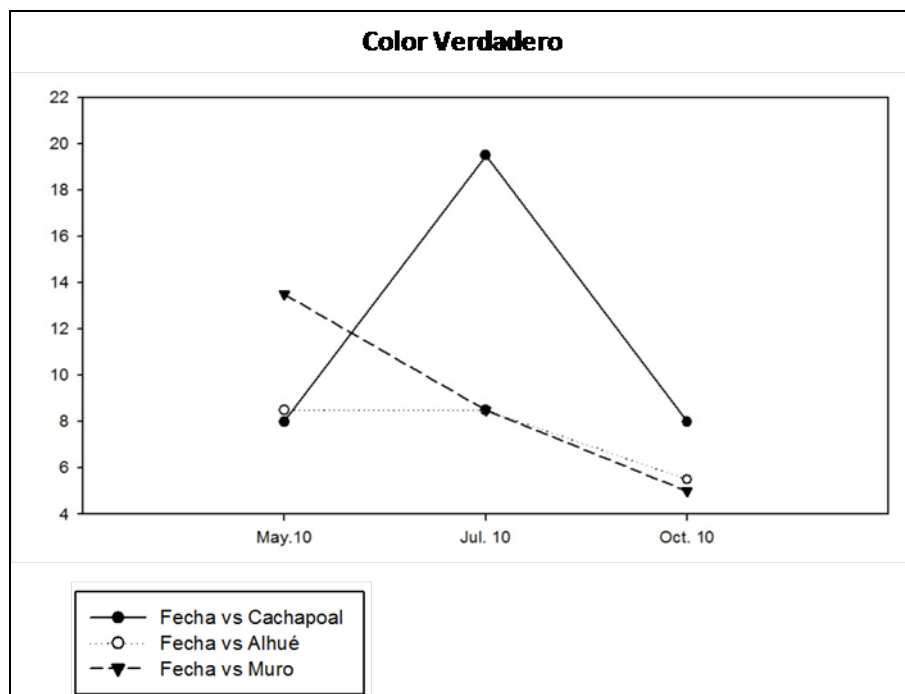


Figura 67: Variabilidad del color verdadero en el embalse Rapel durante el periodo agosto 2009 – octubre 2010.

Metales Pesados (Cu, Fe, Mo y Zn)

Los metales pesados son componentes naturales de la corteza de tierra. Como característica no pueden ser degradados o destruidos. Se incorporan en pequeñas cantidades a nuestra dieta y en trazas son esenciales para mantener el metabolismo del cuerpo humano. Sin embargo, en concentraciones más altas tienen efectos tóxicos para la vida acuática, debido a que como no son degradados, tienden a acumularse en los organismos. Por otro lado, los metales pesados son un indicio de actividad antrópica.

Los metales analizados corresponden a la fracción disuelta, que es la más biodisponible en aguas naturales. La fracción total se analizó en los tres últimos monitoreos. Se observa que el perfil de cobre y hierro presentan valores similares en las tres cubetas del embalse, posiblemente asociado a las características de los tributarios que descargan en el embalse. El molibdeno presentó concentraciones homogéneas en las cubetas Cachapoal y el Muro, mientras que la cubeta Alhué mostró la influencia que tienen las descargas de aguas claras del relave del embalse Carén, con un alto contenido de este metal. El zinc registró dos peak de máxima de concentración, uno en noviembre de 2009 y otro en julio 2010, ambos en las estaciones ubicadas en la cubeta Cachapoal (Anexo 1 Tabla 4).

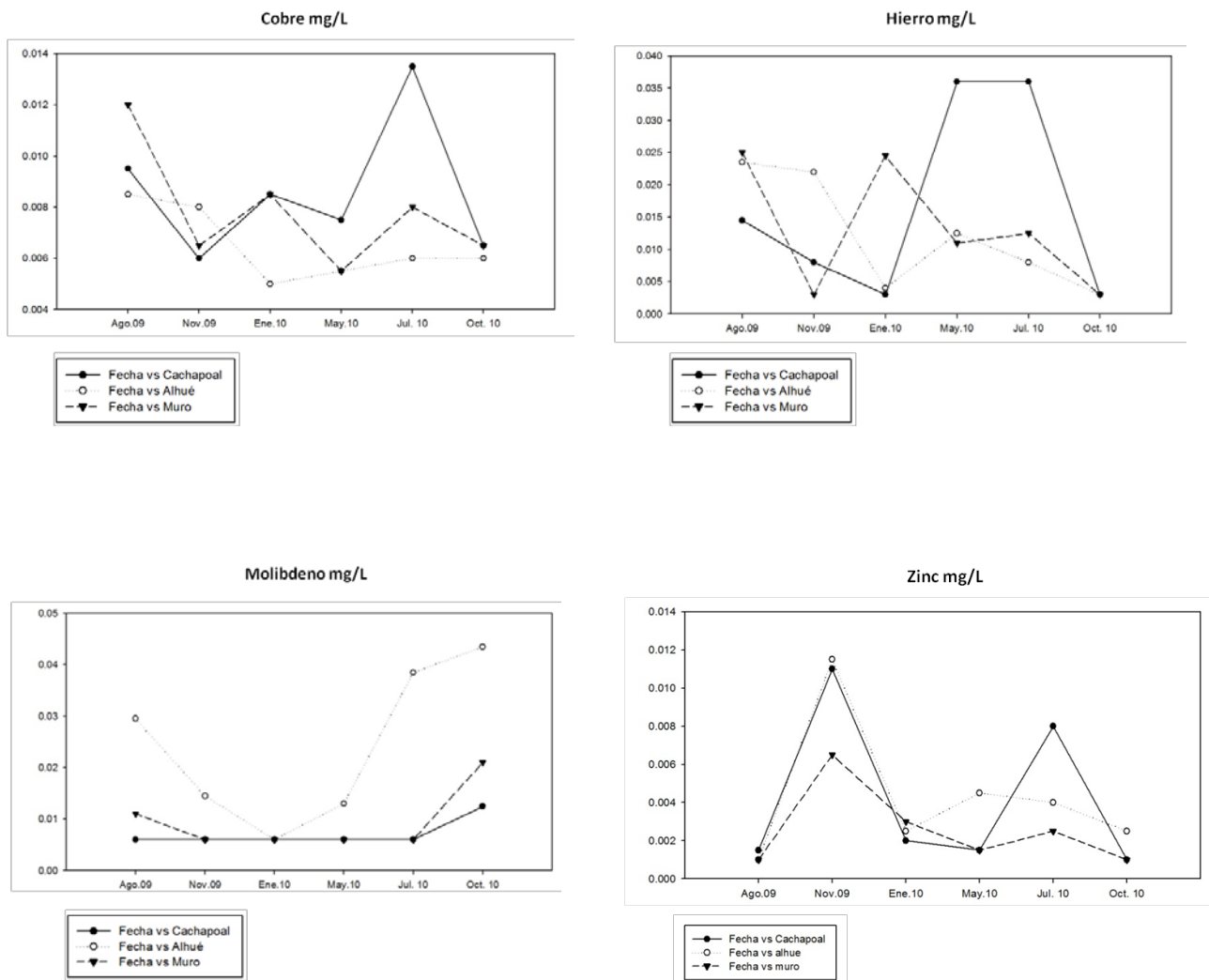


Figura 68: Variabilidad de metales en el embalse Rapel durante el periodo agosto 2009 – octubre 2010.

Análisis Microbiológicos (Coliformes Totales y Fecales)

El grupo de microorganismos correspondientes a los coliformes es adecuado como indicador de contaminación bacteriana, debido a que estos microorganismos normalmente están presentes en grandes cantidades en el tracto gastrointestinal tanto del hombre como de los animales de sangre caliente, permanecen por más tiempo en el agua que las bacterias patógenas.

Los coliformes fecales y *Escherichia coli* en particular, se han seleccionado como indicadores de contaminación fecal debido a su relación con el grupo tifoide-paratifoide y a su alta concentración en diferentes tipos de muestras.

En general, en el presente estudio tanto los coliformes fecales como totales estuvieron en dentro de los requisitos establecidos por la Norma Chilena Oficial N°1333/78, para agua destinada a Uso Recreativo con Contacto Directo (1.000 NMP/100ml). Solamente en el mes de julio de 2010 se registraron valores por sobre esta norma en las estaciones de la cubeta Cachapoal (Figuras 69 y 70).

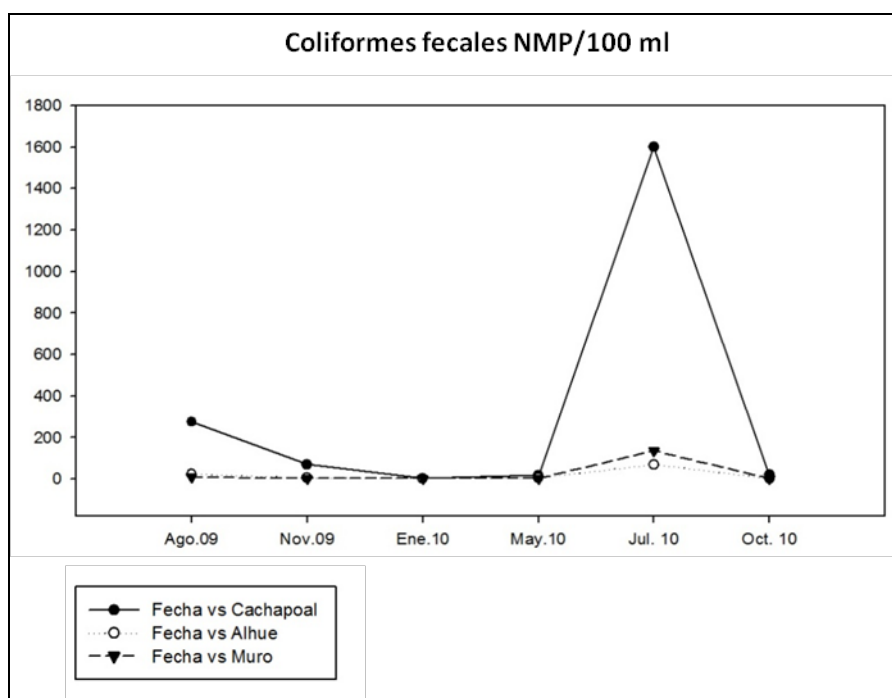


Figura 69: Variabilidad de coliformes fecales (NMP/100ml) en el embalse Rapel durante el periodo agosto 2009 – octubre 2010

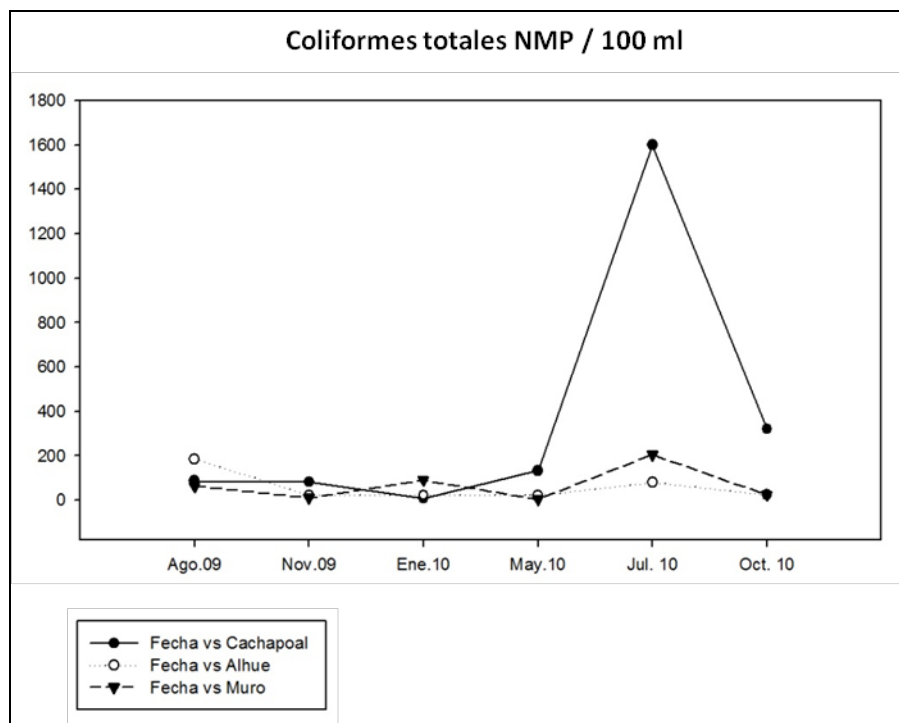


Figura 70: Variabilidad de coliformes totales (NMP/100ml) en el embalse Rapel durante el periodo agosto 2009 – octubre 2010.

Contaminación Fecal

Uno de los problemas más serios en términos de la calidad del agua en muchas cuencas agrícolas en Chile, se refiere a la contaminación de los cursos de agua con materia fecal. En general, debido a que los agentes patógenos individuales son muy difíciles de cuantificar, el enfoque clásico de los monitoreos de calidad del agua se ha orientado hacia el uso de organismos indicadores (Singh & McFeeters, 1992). Estos organismos indicadores, como los coliformes, son convenientes de medir y abundantes tanto en desechos humanos como animales. Si ellos están presentes en cursos de agua superficial, se asume que algunos microorganismos patógenos también pueden estar presentes.

Aunque la medida de coliformes totales ha sido usada tradicionalmente como indicador de contaminación fecal, su uso es algo problemático debido a la presencia de bacterias coliformes de origen no fecal. Consecuentemente, el énfasis se está poniendo más hacia la evaluación de los coliformes fecales y los enterococos.

El empleo de la relación CF/EF (Coliformes Fecales/Estreptococos Fecales) puede ser de gran utilidad para la determinación del origen humano o animal de la contaminación. Cuando el cociente CF/EF es mayor de 4 se trataría de una

contaminación fecal de origen humano; cuando CF/EF es menor de 0,7 la contaminación es de origen animal; y en el intervalo entre 4 y 0,7 no se puede interpretar el origen de la contaminación, e incluso puede tratarse de una contaminación mixta humana-animal (Chapra, 1996). Sin embargo esta razón debe usarse con cuidado debido a la mortalidad diferencial tanto de los coliformes fecales como de los estreptococos en el sistema acuático.

La presencia de coliformes fecales y totales en el agua del embalse Rapel es un reflejo de los aportes tanto puntuales como difusos y podría tener una implicación directa en la salud humana, si el agua es utilizada con fines de riego, recreación o alimentarios.

El embalse presenta en forma predominante valores del índice de contaminación fecal de origen animal, especialmente en los meses de julio y octubre de 2010. En el mes de mayo de 2010 la estación R-4 presentó un valor de 19, lo que probablemente se debió a la influencia de la Planta de Tratamiento de Aguas servida de la población María Eliana, que tiene vertimientos hacia la cubeta Alhué en el sector de El Durazno (Tabla 24).

Tabla 24: Resultados de los parámetros microbiológicos de las estaciones monitoreadas en el embalse Rapel en mayo, julio y octubre de 2010.

| Fecha | Índice (Razón CF/EF) | | | | | |
|---------|----------------------|-----|-----|------|-----|-----|
| | E-1 | E-2 | E-3 | E-4 | E-5 | E-6 |
| May. 10 | 1,1 | 0,9 | 1,5 | 19,0 | 0,4 | 3,0 |
| Jul. 10 | 0,8 | 0,9 | 0,6 | 0,1 | 0,3 | 0,3 |
| Oct. 10 | 0,5 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 0,5 | 1,0 |

Estado trófico del embalse

Los lagos y embalses pueden clasificarse en términos generales como oligotróficos (del griego "poco alimento") o eutróficos (del griego "bien alimentado"), además de un término que indica una transición entre ambos estados, mesotrófico. A pesar de que estas descripciones tróficas no tienen significado absoluto alguno, son utilizadas de forma general para denotar la situación de la cantidad de nutrientes en una masa de agua (Ryding & Rast, 1992). En este sentido se utilizó la clasificación propuesta por la OCDE en el 1982 para la clasificación trófica del embalse Rapel (Tabla 25).

Tabla 25: Determinación de clasificación trófica: Cubeta Alhué; Cubeta Cachapoal; Cubeta: Muro.

| | Cubeta -Cachapoal | | | |
|----------------------------|--------------------------|-----------------------|---------------------------|-------------------------|
| | Nitrógeno (mg/L) | Fósforo (mg/L) | Clorofila a (µg/L) | Disco Secchi (m) |
| Promedio | 2,56 | 0,15 | 12,63 | 0,42 |
| Desviación estándar | 0,78 | 0,11 | 10,22 | 0,17 |
| Rango | 1,64 – 3,74 | 0,09 – 0,37 | 1,13 – 23,24 | 0,15 – 0,60 |
| Clasificación | Eutrófico | Eutrófico | Eutrófico | Hipertrófico |
| | Cubeta - Alhué | | | |
| | Nitrógeno (mg/L) | Fósforo (mg/L) | Clorofila a (µg/L) | Disco Secchi (m) |
| Promedio | 1,63 | 0,09 | 20,59 | 0,60 |
| Desviación estándar | 0,38 | 0,03 | 16,23 | 0,13 |
| Rango | 1,12 – 2,19 | 0,07 - 0,15 | 4,53 – 43,0 | 0,43 - 0,70 |
| Clasificación | Eutrófico | Eutrófico | Eutrófico | Hipertrófico |
| | Cubeta - Muro | | | |
| | Nitrógeno (mg/L) | Fósforo (mg/L) | Clorofila a (µg/L) | Disco Secchi (m) |
| Promedio | 2,49 | 0,09 | 3,21 | 1,13 |
| Desviación estándar | 0,83 | 0,04 | 3,26 | 0,67 |
| Rango | 1,49 – 3,49 | 0,05 – 0,14 | 1,14 – 8,86 | 0,48 - 2,15 |
| Clasificación | Eutrófico | Eutrófico | Mesotrófico | Eutrófico |

De acuerdo a los resultados entregados en la Tabla 25 es posible señalar que todas las cubetas del embalse se encuentran en un estado Eutrófico, condición que indicaría la existencia de una gran cantidad de nutrientes disueltos en la columna de agua y que pueden ser utilizados por las microalgas.

Cabe mencionar que al igual que en el análisis de sedimentos, la cubeta Alhué resultó ser la que contiene la mayor concentración de nitrógeno y de concentración de clorofila a, y por lo tanto la mayor productividad primaria. De esta manera se puede concluir que esta cubeta presentaría las peores condiciones desde el punto de vista de la calidad del agua.

Además se estimó el estado trófico del embalse mediante la utilización del Índice de Estado Trófico (TSI) propuesto por Carlson en 1977 (Tabla 26 o 27). Este se calculó a través de las siguientes ecuaciones (Moore & Thornton, 1988):

$$\text{TSI (DSD)} = 60 - 14.41 \ln (\text{DS})$$

$$\text{TSI (CHL)} = 9.81 \ln (\text{CHL}) + 30.6$$

$$\text{TSI (FT)} = 14.42 \ln (\text{FT}) + 4.15$$

DS: Disco Secchi (m)

CHL: Clorofila "a" (µg/L)

FT: Fósforo Total (µg/L)

Tabla 26: Clasificación del estado trófico TSI según Carlson (1977).

| Estado Trófico | Índice (TSI) |
|-----------------------|---------------------|
| Ultraoligotrófico | <20 |
| Oligotrófico | 30 – 40 |
| Mesotrófico | 40 – 50 |
| Eutrófico | 50 – 60 |
| Hipertrófico | >70 |

Tabla 27: Resultados del Índice del Estado Trófico (TSI) de embalse Rapel.

| ÍNDICE | E - 1 | E - 2 | E - 3 | E - 4 | E - 5 | E - 6 |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| TSI (FT) | 77,9 | 75,2 | 69,3 | 69,8 | 70,8 | 67,6 |
| TSI (T) | 73,2 | 71,5 | 66,2 | 69,5 | 61,7 | 55,9 |
| TSI (CHL) | 68,2 | 66,1 | 71,7 | 76,3 | 50,5 | 43,5 |

Según los resultados obtenidos para este índice TSI todas las cubetas del embalse se encuentran en estado eutrófico e hipertrófico, lo que es concordante con los resultados de la clasificación trófica lograda utilizando la metodología propuesta por la OCDE (1982).

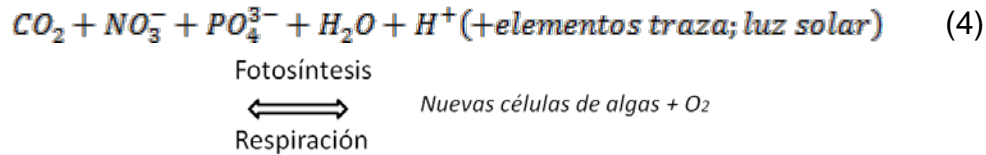
Determinación del Nutriente limitante

El concepto de nutriente limitante se basa en la premisa que dada una determinada estequiometría celular, el nutriente que controlará la máxima cantidad de biomasa es aquél que primero se consume o que alcanza un mínimo antes que los otros nutrientes relativos a tal estequiometría.

Los nutrientes de las plantas acuáticas son esenciales para el crecimiento de las algas en una masa de agua. Por lo tanto, una de las estrategias más efectivas a largo plazo para controlar la eutrofización es reducir la cantidad de nutrientes que entran en dicha masa de agua. Numerosos experimentos han demostrado el importante papel del nitrógeno y fósforo en la dinámica de las poblaciones de algas, en lo que respecta a las concentraciones de estas y a la composición de las especies.

Diversos estudios apoyan que los macronutrientes son la variable principal que controla la biomasa de algas en los lagos y embalses. Sin embargo, muchas otras variables son determinantes en el crecimiento algal, como los elementos traza, factores inorgánicos (como iones sodio, potasio, etc) y orgánicos (ácidos húmicos, ácidos fúlvicos, vitaminas, entre otros), temperatura del agua y radiación solar, intensidad luminosa, etc.

El concepto de nutriente limitante se basa en las reacciones de fotosíntesis. Los requerimientos químicos de la fotosíntesis se pueden esquematizar de la siguiente manera (Stumm y Morgan, 1970):



Estudios en algas de aguas marinas han determinado la proporción media de nutrientes en plancton C106:N16:P1 (en términos atómicos), esta proporción es valor de referencia ampliamente citado para evaluar el nutriente limitante, este concepto implica que el crecimiento de las algas en una masa de agua es proporcional a la cantidad de nutrientes en dicha masa de agua, suponiendo que existen las condiciones apropiadas de luz y temperatura, además se supone que el contenido de nutrientes en la masa de agua es una función de la carga de nutrientes en aquella masa de agua, y finalmente se supone que las algas (fitoplancton) utilizan y absorben la relación atómica antes mencionada. (Ryding & Rast 1989).

Si suponemos que el crecimiento de las algas o plantas acuáticas no es controlado por un factor que no sea un nutriente (i.e. luz, temperatura), la reducción o "limitación" de la entrada de nutrientes debería también limitar la producción de biomasa vegetal resultante en la masa de agua. Numerosos experimentos de laboratorio y de campo han demostrado el importante rol del fósforo y nitrógeno, y en algunos casos, la sílice en la dinámica de las poblaciones de algas, tanto en lo que respecta a las concentraciones de algas como a la composición de las distintas especies. Durante la década de 1970 se demostró en forma experimental en un lago de Canadá, la importancia de los nutrientes en el control de la eutroficación, siendo la limitación de sus entradas una de las primeras medidas para controlarla.

El concepto de nutriente limitante fue utilizado por primera vez por Liebig en 1840 (Ryding & Rast, 1989), quien encontró que el rendimiento de los cultivos terrestres estaba limitado frecuentemente por elementos necesarios en cantidades mínimas. Todos los organismos necesitan nutrientes esenciales y otros elementos para su crecimiento, y estas necesidades pueden ser muy específicas para cada especie.

La relación N/P se utiliza para determinar el nutriente limitante en el crecimiento de las algas y plantas acuáticas, es decir, cual es el que desaparece primero de la columna de agua. La utilización del concepto de nutriente limitante implica que el crecimiento de las algas en una masa de agua es proporcional a la cantidad de nutrientes de dicha masa de agua (suponiendo que existen las condiciones de luz y temperatura apropiadas). También se supone que el contenido de nutrientes de una masa de agua es una función de la carga de nutrientes en dicha masa. Finalmente, se supone que el fitoplancton absorbe y utiliza nutrientes de la columna

de agua en la relación atómica de 106C:16N:1P. De ahí que la biomasa máxima de algas en el lago o cuerpo de agua puede ser limitada controlando la cantidad o proporción de los nutrientes que llegan al lago.

A nivel práctico, es más fácil utilizar las proporciones másicas de las formas biológicamente disponibles de nitrógeno y fósforo que las atómicas para calcular el nutriente limitante. Si se miden las concentraciones de nutrientes (por ejemplo en mg/L), el valor de la proporción 16N:1P corresponde a una proporción másica de 7,2N:1P. Por lo tanto, si la proporción de las concentraciones medidas es menor que 7N:1P, el nitrógeno es el nutriente limitante potencial y si la proporción es mayor de 7, el fósforo es el limitante potencial. Si la proporción es aproximadamente 7, entonces ambos nutrientes o algún otro factor (luz, temperatura) pueden ser limitantes.

Sin embargo, es necesario dejar en claro que es conveniente tomar ciertas precauciones al utilizar las proporciones N/P para evaluar el nutriente limitante. Desde un punto de vista práctico, no hay que ser demasiado estrictos al aplicar el valor N/P como una proporción limitante exacta. El contenido celular de nitrógeno y fósforo de microalgas puede variar, al menos en condiciones de laboratorio. Por lo tanto, la proporción con la que un alga utiliza estos nutrientes podría también variar en alguna medida. En ocasiones un cociente de N/P de 20 o mayor corresponde a lagos limitados por fósforo y un cociente de 5 o menor refleja sistemas limitados por nitrógeno.

Este cociente es útil para entender la relación entre N, P y biomasa de plantas a un primer nivel. Sin embargo, se debe tener precaución en su interpretación y uso. Por ejemplo, en el control del fitoplancton, la remoción de nitrógeno de sistemas acuáticos limitados por dicho elemento, puede dar lugar a valores muy bajos de N/P. Se ha observado que valores de esta relación menores de 4 en algunos lagos puede estimular el crecimiento de algas verde-azules tóxicas, que tienen la capacidad de fijar el nitrógeno de la atmósfera. Además, estas especies producen vacuolas de gas que las mantiene en superficie reduciendo la velocidad de sedimentación incluso a valores negativos (Thoman & Mueller, 1987).

La estimación del nutriente limitante se debe realizar en el período en el que las cantidades excesivas de biomasa de algas pueden afectar significativamente a los recursos acuáticos. Normalmente, este período es la estación de crecimiento, cuando las algas alcanzan su máxima biomasa. Puede resultar engañoso usar una proporción N/P obtenida en otros momentos del año para determinar el nutriente limitante, ya que las concentraciones de nutrientes en el lago pueden cambiar significativamente a lo largo de su ciclo anual. La proporción N/P nunca debería ser utilizada en forma aislada para determinar el nutriente limitante, debido a que siempre se puede calcular en el lago una proporción de estos nutrientes, aun cuando ambos estén en cantidades excesivas. Obviamente, una relación de N/P calculada para un cuerpo de agua con cantidades excesivas (es decir no limitantes) de fósforo o nitrógeno tendrá muy poca significación para determinar objetivos apropiados para el control de nutrientes.

Tabla 28: Estimación del nutriente limitante en el embalse Rapel.

| | Estaciones | | | | | |
|-------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | E - 1 | E - 2 | E - 3 | E - 4 | E - 5 | E - 6 |
| Nitrógeno total mg/L | 2,65 | 2,47 | 1,70 | 1,56 | 2,64 | 2,35 |
| Fósforo Total mg/L | 0,17 | 0,14 | 0,09 | 0,10 | 0,10 | 0,08 |
| Relación N/P | 15,9 | 17,8 | 18,5 | 16,4 | 25,9 | 28,8 |
| Nutriente Limitante | Fósforo | Fósforo | Fósforo | Fósforo | Fósforo | Fósforo |

Un análisis de la tabla anterior permite concluir que en todas las cubetas del embalse Rapel, el nutriente limitante es el fósforo, debido que la relación másica en las tres cubetas resultó ser muy superior a 7. Es por ello que las medidas para el control de la eutroficación del embalse Rapel deberían estar orientadas a reducir las cargas de fósforo que llegan al embalse, especialmente a través de los ríos Cachapoal y Tinguiririca.

Tributarios

El detalle con los resultados de los monitoreos de calidad del agua de los tributarios, realizados por el Centro EULA-Chile, se presentan en el Anexo 1 Tabla 5.

Alcalinidad

Los valores de alcalinidad en los tributarios se presentan en general mayores en el río Cachapoal y el estero Las palmas con concentraciones promedio de 106,9 y 96,42 mg CaCO₃/l respectivamente, mientras que los menores valores se presentan en el estero Alhué con un valor medio de 34 mg CaCO₃/l (Figura 71).

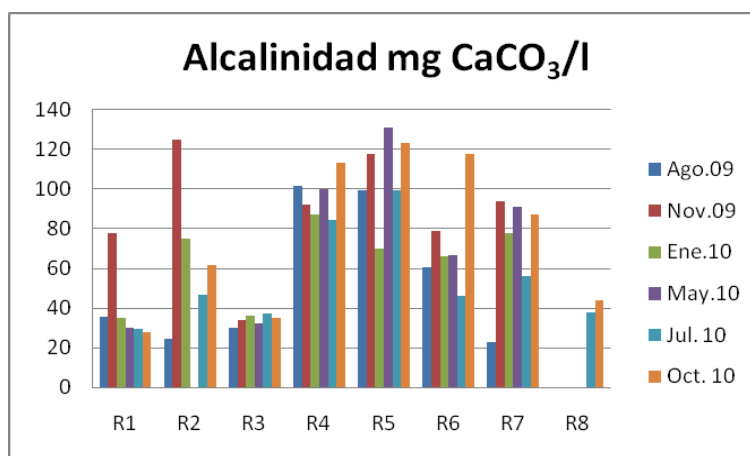


Figura 71: Alcalinidad en los tributarios embalse Rapel.

Amonio

En promedio, las concentraciones de amonio en los tributarios son mayores en el río Cachapoal y el estero Las cadenas con concentraciones de 0,13 y 0,1 mg/l (Figura 72). Por otro lado, las menores concentraciones son aportadas por el estero Alhué. Cabe destacar que no obstante lo anterior, en el mes de Julio de 2010 se registro un valor muy elevado en la estación ubicada en el puente Alhué (R-8).

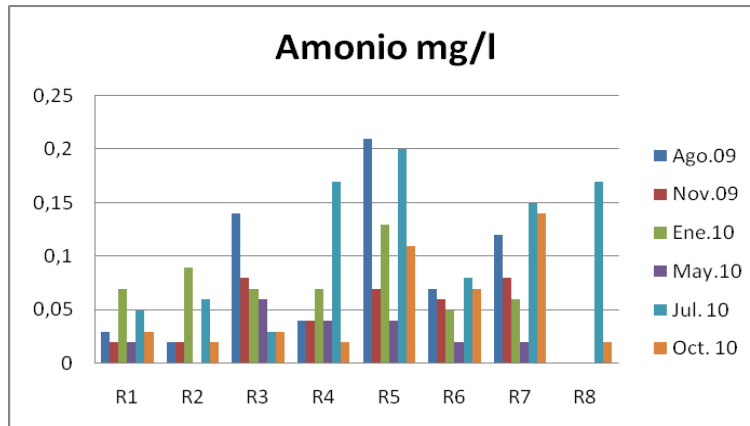


Figura 72: Concentración de amonio en los tributarios embalse Rapel.

Conductividad eléctrica

En promedio los valores de conductividad muestran valores similares para la mayoría de los tributarios con excepción de las estaciones R1 y R3 (aproximadamente 5 veces mayores que el resto de las estaciones), asociadas al estero Alhué pero fuertemente influenciadas por el aporte de los valores de conductividad del estero Carén, el cual proviene del Embalse del mismo nombre (Figura 73).

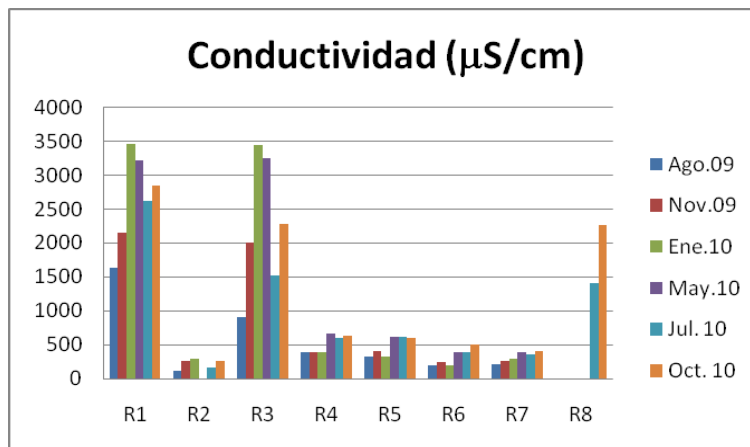


Figura 73: Conductividad en los tributarios embalse Rapel.

DBO₅

La DBO₅ en términos generales, es muy similar en todas las estaciones de muestreo presentando valores elevados mayoritariamente en los meses de invierno y primavera, lo que puede deberse a los eventos de precipitaciones más recurrentes (Figura 74).

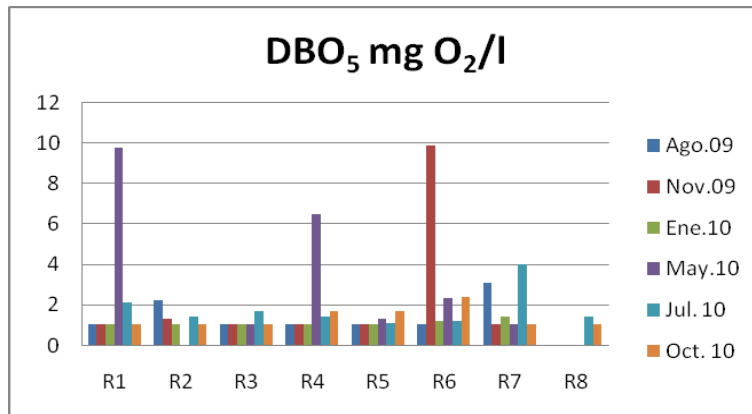


Figura 74: DBO₅ en los tributarios embalse Rapel.

DQO

La DQO se presenta con valores más elevados en el estero Las cadenas, con un valor medio de 16,7 mg/l, donde además se registró un valor extremo de 28,5 mg/l en el mes de Julio de 2010 (Figura 75).

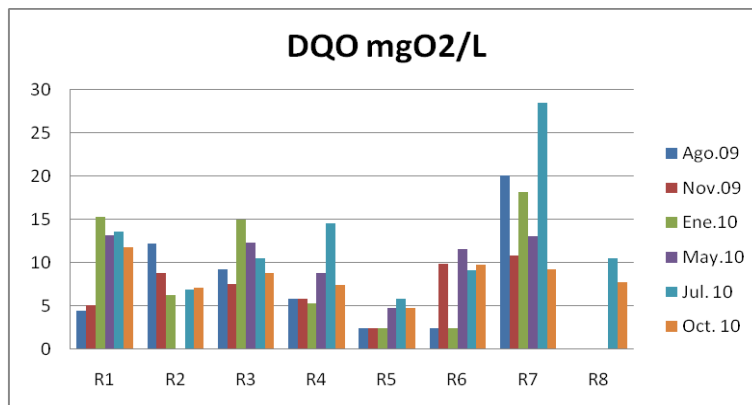


Figura 75: DQO en los tributarios embalse Rapel.

Nitrato

Los registros indican que los valores de concentraciones más elevadas de nitratos provienen del río Cachapoal y el estero Las palmas con concentraciones de 8,76; 8,70 mg/l respectivamente. Se puede apreciar además que las menores concentraciones de nitratos son aportadas desde el estero Alhué, mientras que el estero Las cadenas presenta valores muy diferentes dependiendo de la estacionalidad (Figura 76). Cabe destacar que las concentraciones de nitratos son indicadores de contaminación agrícola, lo cual concuerda con las cuencas aportantes de los ríos y esteros con concentraciones más elevadas de este parámetro.

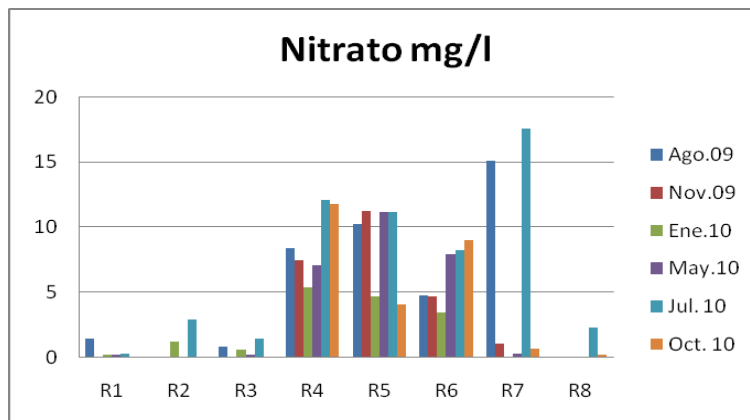


Figura 76: Concentración de nitrato en los tributarios embalse Rapel.

Nitrito

Las concentraciones de nitritos siguen el mismo comportamiento que los nitratos, siendo en promedio, mayores en el río Cachapoal y estero las Palmas, registrando concentraciones de 0,1 y 0,07 mg/l respectivamente y presentando valores extremos en el estero Las cadenas en los meses lluviosos (Figura 77).

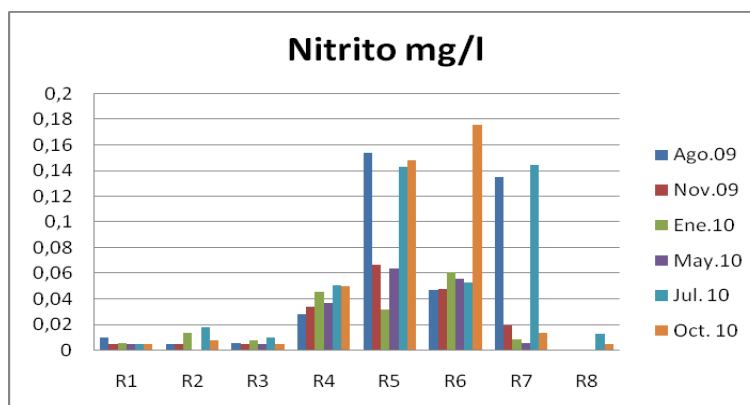


Figura 77: Concentración de nitrito en los tributarios embalse Rapel.

Nitrógeno total

En promedio, las concentraciones más elevadas son aportadas por el río Cachapoal y el estero Las palmas con concentraciones de 3,5 y 2,7 mg/l (Figura 78). Por otro lado, las concentraciones más bajas se registran en el estero Alhué. En tanto que en el estero Las cadenas se registra el valor máximo en el mes de Julio de 2010.

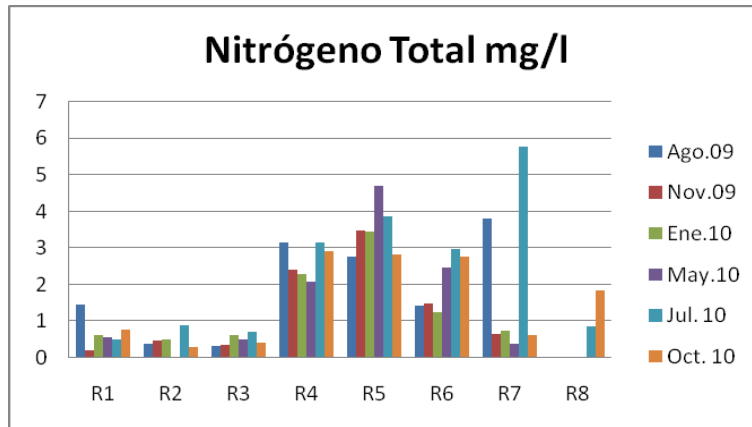


Figura 78: Concentración de nitrógeno en los tributarios embalse Rapel.

Ortofosfato

Las concentraciones de ortofosfato que llegan al embalse en promedio son principalmente aportadas por el estero Las palmas, el río Cachapoal y por el estero Las cadenas con concentraciones promedio de 0.27, 0.23 y 0.21 mg/l. No obstante los aportes promedio, la máxima concentración se registra en el estero Las cadenas en Julio de 2010 (Figura 79).

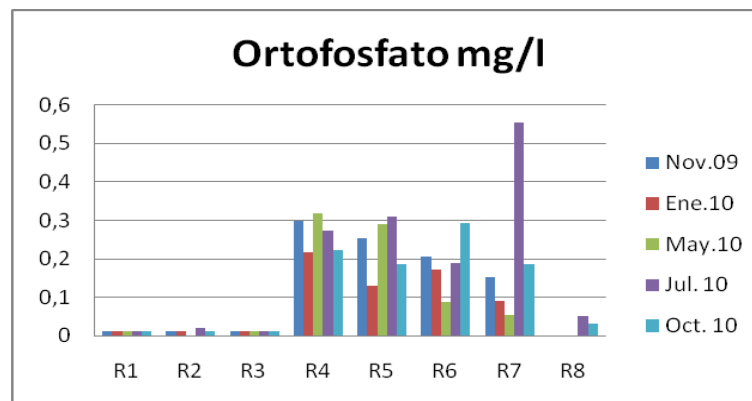


Figura 79: Concentración de ortofosfato en los tributarios embalse Rapel.

Fósforo soluble

Los niveles de fósforo soluble aportados al embalse en promedio están concentrados en el estero Las palmas, el estero Las cadenas y los ríos Cachapoal y Tinguiririca, con concentraciones de 0,9; 0,8; 0,8 y 0,7 mg/l respectivamente. Cabe destacar que el estero Las cadenas presenta el máximo valor de fósforo soluble registrado en el mes de Julio de 2010 (Figura 80).

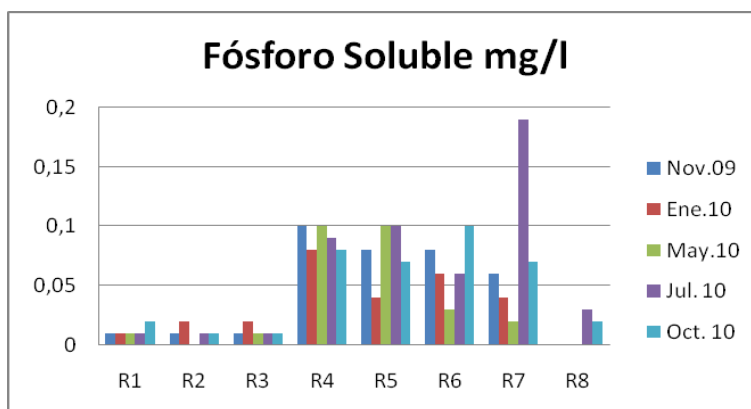


Figura 80: Concentración de fósforo soluble en los tributarios embalse Rapel.

Fósforo total

Los aportes de fósforo total que llegan al embalse están en promedio siendo transportado por el río Cachapoal, el río Tinguiririca y los esteros Las cadenas y Las palmas; con concentraciones de 0,26; 0,17; 0,17 y 0,16 mg/l respectivamente, siendo despreciables las concentraciones presentes en el estero Alhué de 0,04 mg/l (Figura 81). Cabe señalar que el promedio del río Cachapoal se encuentre sobrestimado debido a un valor extremo registrado en el mes de enero de 2010.

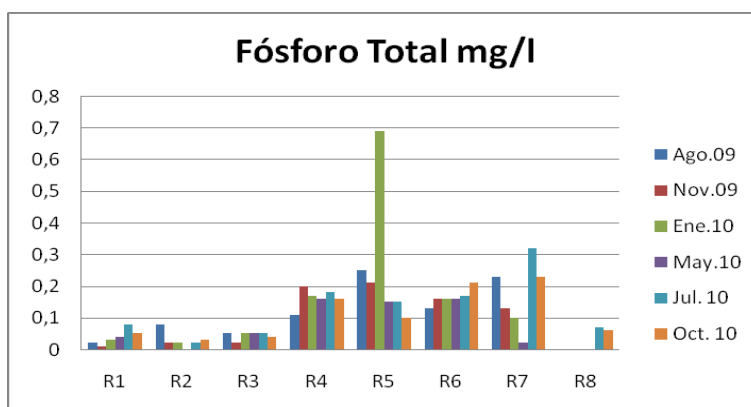


Figura 81: Concentración de fósforo total en los tributarios embalse Rapel.

Oxígeno disuelto

En términos generales el oxígeno disuelto presenta un comportamiento similar en todos los tributarios (entre 8 a 10 mg O₂/l), a excepción del estero las cadenas que presenta una menor concentración de oxígeno. Cabe destacar que en el río Tinguiririca (R6) se observa un valor out-lier (menor a 4 mg O₂/L) en el mes de mayo de 2010 (Figura 82).

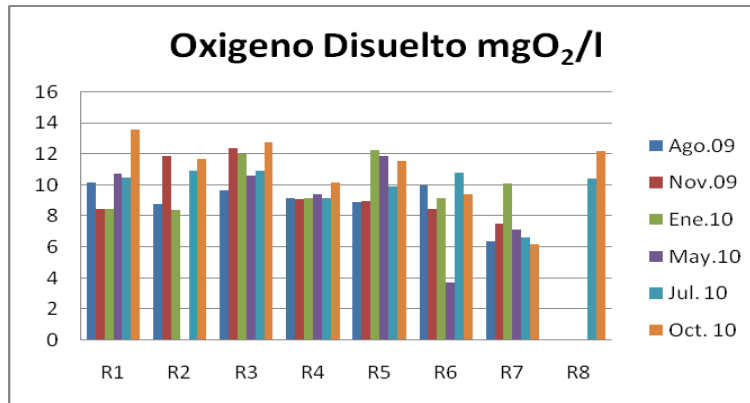


Figura 82: Concentración de oxígeno disuelto en los tributarios embalse Rapel.

pH

En términos generales, los promedios de pH en los tributarios se presentan similares, siendo ligeramente básicos y encontrándose en torno a 7,6 con excepción del río Cachapoal, el cual presenta un valor promedio de pH de 8,01 (Figura 83).

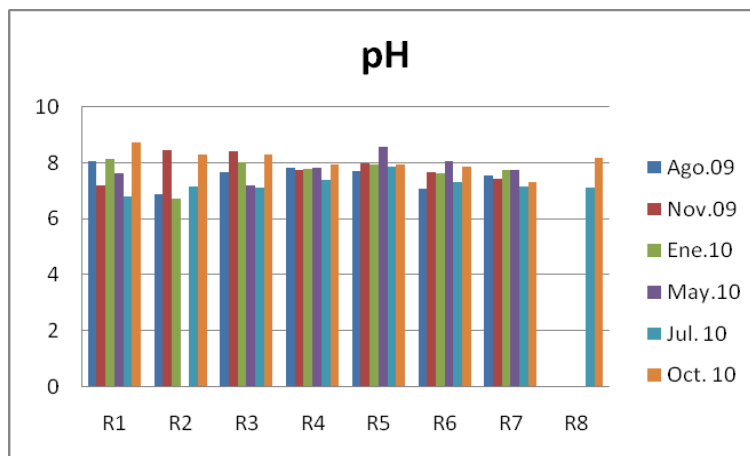


Figura 83: pH en los tributarios embalse Rapel.

Sólidos Suspendidos Totales

En general los valores de sólidos en suspensión son mayores en los ríos Cachapoal y Tinguiririca con 124,7 y 45,3 mg/l respectivamente. Lo anterior puede ser explicado como consecuencia de sus mayores caudales en comparación con los esteros y su capacidad para transportar estas partículas. Cabe notar que R5 (río Cachapoal en la medición de enero de 2010) registra un valor máximo para este parámetro que debería considerarse como un valor out-lier para evitar se sobrestime este parámetro. Los sólidos suspendidos totales y su evolución en el tiempo se observan en la Figura 84.

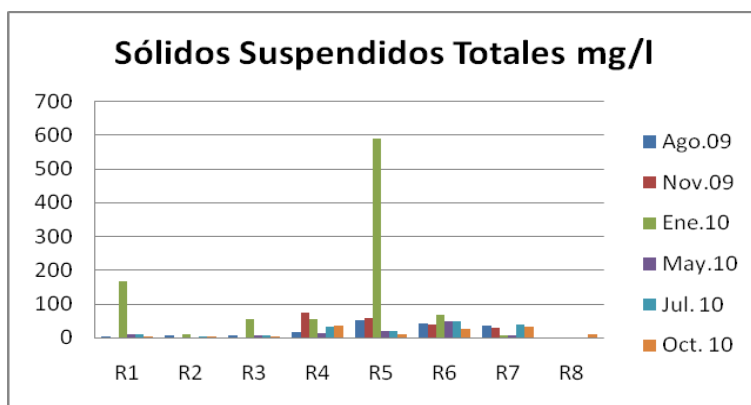


Figura 84: Concentración de sólidos suspendidos totales en los tributarios embalse Rapel.

Sulfato

En cuanto a los sulfatos, es importante destacar que las concentraciones de sulfatos son muy elevadas en el estero Alhué, (principalmente influenciadas por el estero Carén como se observa en la Figura 85). En este sentido, el estero Alhué presentó una concentración promedio de 1133 mg/l mientras que el resto de los tributarios solo aporta en promedio entre 50 y 100 mg/l. Estos valores evidentemente se asocian a influencia de la actividad minera que afecta al estero Alhué. Es importante destacar que los relaves de aguas claras de la actividad minera del embalse Carén cuentan con una normativa especial que les permite descargar con una concentración de sulfatos de 2.000 mg/L, superior a lo establecido en el DS 90.

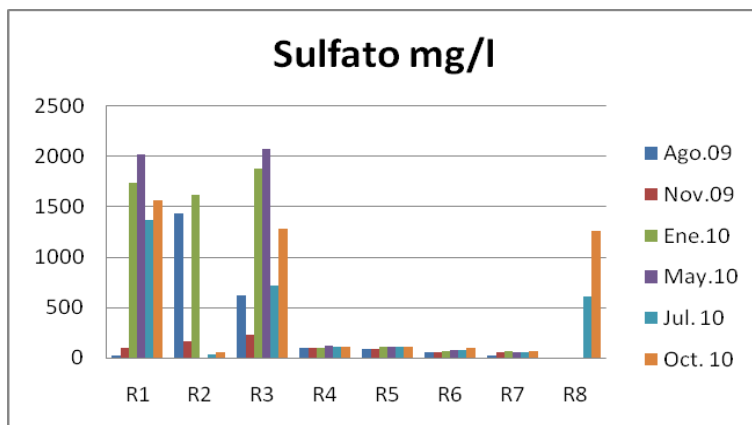


Figura 85: Concentración de sulfato en los tributarios embalse Rapel.

Temperatura

La temperatura en general presenta un comportamiento similar en todos los tributarios con una marcada tendencia estacional, esto corresponde a mayores temperaturas en la época estival que las registradas en la época de verano. Los valores promedio de temperaturas para las mínimas y máximas promedio corresponden a 10 y 27°C respectivamente, tal como se observa en la Figura 86. Los valores de temperaturas medias se encuentran en torno a los 17°C.

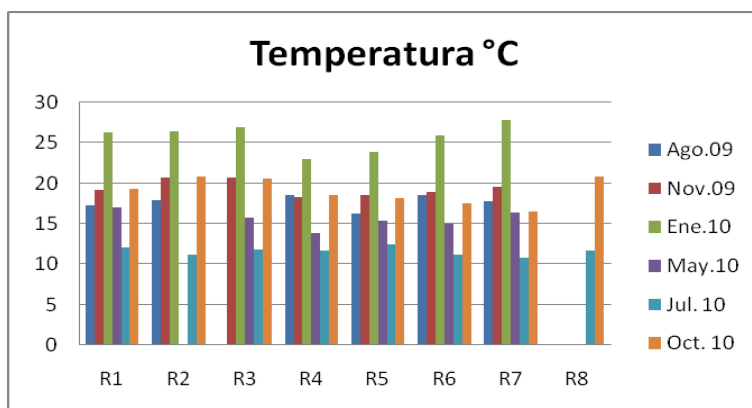


Figura 86: Temperatura en los tributarios embalse Rapel.

Color verdadero

El color verdadero muestra en general valores promedio menores a 10 unidades Pt/Co con la excepción de los valores analizados para R6 y R7 en mayo y julio de 2010, respectivamente (Figura 87). Estos valores podrían estar asociados a condiciones específicas y puntuales de las estaciones muestreadas, pues esos valores no se correlacionan con la variable de sólidos suspendidos de esas fechas.

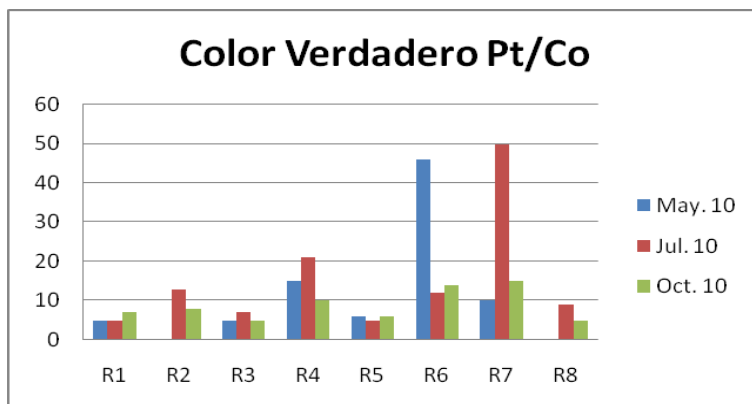


Figura 87: Color verdadero en los tributarios embalse Rapel.

Cobre

Los perfiles de cobre observados muestran una homogeneidad de este parámetro en todas las estaciones indicando que los inputs de cobre medidos son el reflejo de una condición ambiental general en la cuenca (Figura 88).

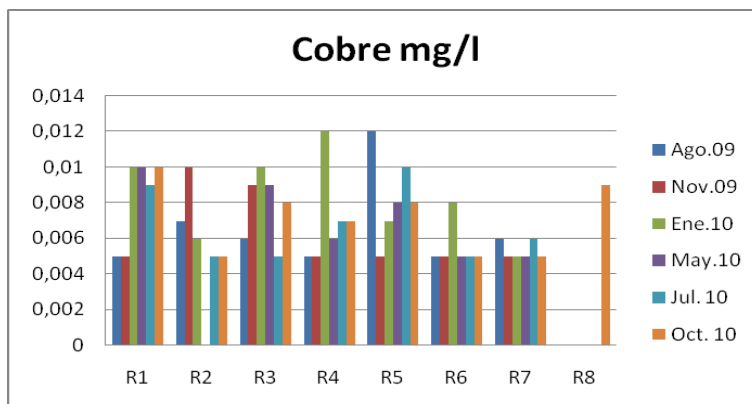


Figura 88: Concentración de cobre en los tributarios embalse Rapel.

Hierro

Los valores de hierro se asocian a los tributarios R4 a R7 claramente diferenciados de los tributarios R1, R2 y R3 mostrando que este parámetro tiene una distribución homogénea asociada a las condiciones de actividad minera en estos últimos tributarios (Figura 89). El valor de R5 no es un valor anómalo o out-lier porque se confirma con la medición de sólidos suspendidos, de esta manera este valor se asocia a un evento de precipitación o de remoción de sólidos o similar en esa estación.

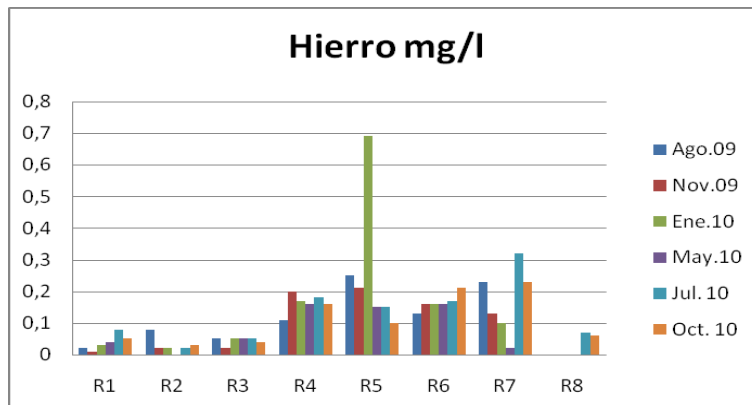


Figura 89: Concentración de hierro en los tributarios embalse Rapel.

Molibdeno

Este parámetro está fuertemente asociado a actividad minera del estero Alhué, confirmándose este supuesto debido a que presenta el mismo perfil observado para el parámetro sulfato (Figura 90). Es importante destacar que los relaves de aguas claras de la actividad minera del embalse Carén cuentan con una normativa especial que les permite descargar con una concentración de molibdeno de 1,6 mg/L, superior a lo establecido en el DS 90.

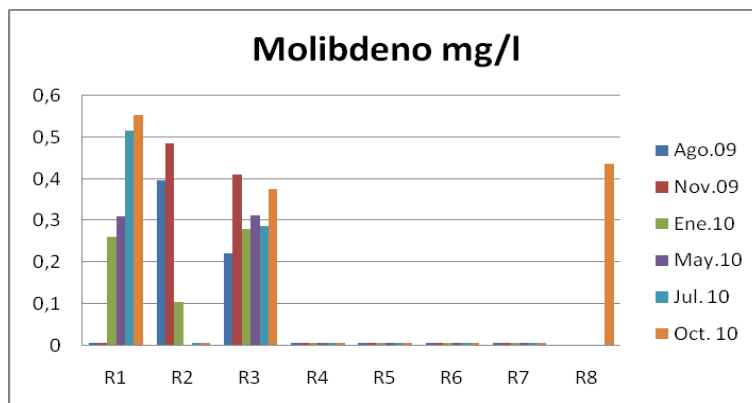


Figura 90: Concentración de molibdeno en los tributarios embalse Rapel.

Zinc

El parámetro zinc presentó una amplia dispersión de valores no observándose un comportamiento o patrón atribuible a alguna característica natural o actividad productiva específica de la cuenca.

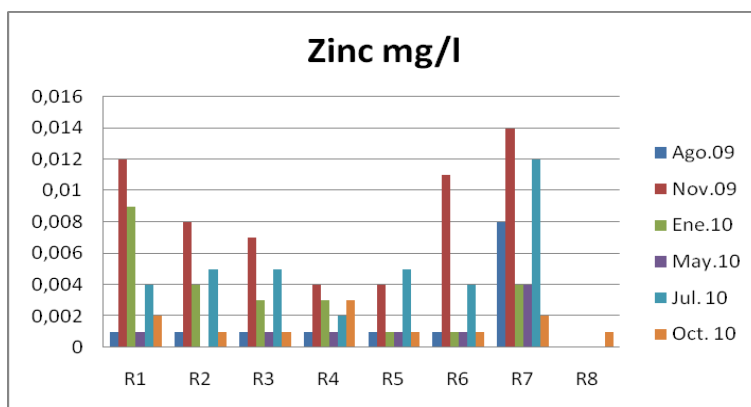


Figura 91: Concentración de zinc en los tributarios embalse Rapel.

Coliformes fecales

Al contrario de lo observado en las estaciones del embalse, en los tributarios regularmente se midieron niveles por sobre los 1.000 coliformes fecales (NMP/100ml) señalados por la Norma Chilena (N°1333/78), especialmente en las estaciones ubicadas en el estero las Palmas (R-4) y el río Tinguiririca (R-6) (Figura 92). Esta contaminación tendría origen difuso y estaría asociada a las actividades productivas que se desarrollan en estas cuencas. Estos resultados se ven reflejados por los valores obtenidos en el índice de contaminación fecal (Razón CF/EF), que señala que la contaminación fecal en los tributarios del embalse Rapel, es mayoritariamente de origen animal. Solamente en el mes de julio 2010 la estación R-3 presentó contaminación fecal de origen presumiblemente humano pero menores a 1000 NMP/100 ml (Tabla 29).

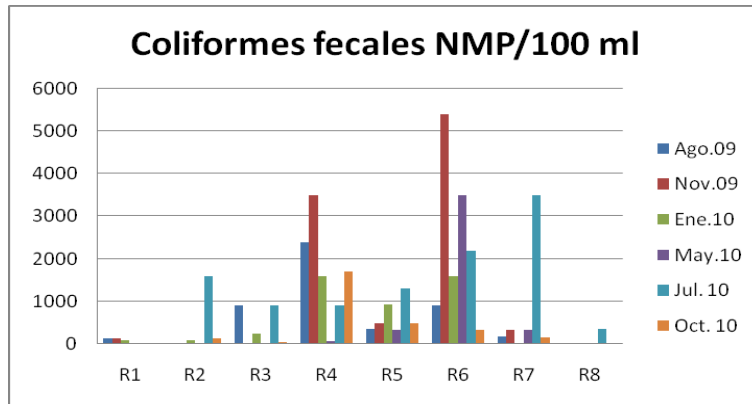


Figura 92: Coliformes fecales en los tributarios embalse Rapel

Tabla 29: Resultados de los parámetros microbiológicos de las estaciones monitoreadas en los tributarios del embalse Rapel en mayo, julio y octubre de 2010.

| Fecha | Índice (Razón CF/EF) | | | | | | | |
|---------|----------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| | R-1 | R-2 | R-3 | R-4 | R-5 | R-6 | R-7 | R-8 |
| May. 10 | 0,23 | S/C | 0,91 | 0,67 | 0,40 | 0,73 | 0,21 | --- |
| Jul. 10 | 0,2 | 3,0 | 4,8 | 0,3 | 0,2 | 0,4 | 0,6 | 1,3 |
| Oct. 10 | 0,18 | 0,19 | 0,31 | 0,86 | 0,36 | 0,3 | 2,5 | 0,12 |

S/C: Sin caudal.

Coliformes totales

Los coliformes fecales presentan el mismo perfil de valores que los coliformes fecales asociado a las actividades de la cuenca para las estaciones R4 a R7.

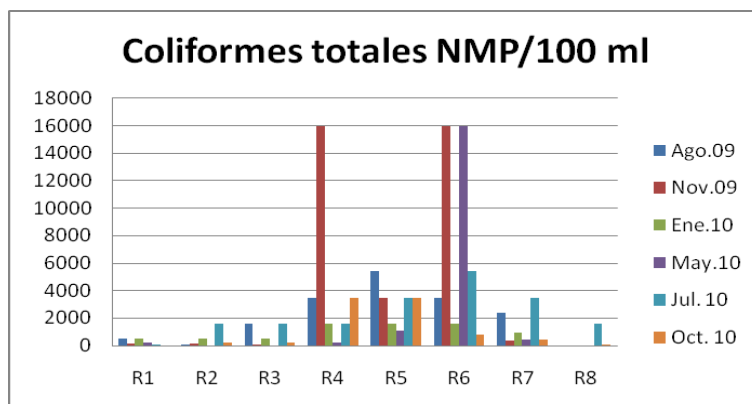


Figura 93: Coliformes totales en los tributarios embalse Rapel.

2.5.4 Conclusiones

De acuerdo a los resultados obtenidos del análisis del estado trófico, es posible señalar que todas las cubetas del embalse presentan una condición eutrófica e hipertrófica, siendo la cubeta Alhué la que presenta los mayores niveles de productividad.

En general, en el presente estudio tanto los coliformes fecales como totales estuvieron dentro de los requisitos establecidos por la Norma Chilena Oficial N°1333/78, para agua destinada a Uso Recreativo con Contacto Directo (1.000 NMP/100ml).

Desde un punto de vista microbiológico se puede indicar que la contaminación fecal en el embalse Rapel principalmente es de origen animal al igual que sus tributarios. Sin embargo fue posible observar contaminación puntual de origen presumiblemente humano en la cubeta Alhué, asociado a la descarga de la Planta de Tratamiento de Aguas servida de la población María Eliana (sector de El Durazno) pero con valores menores a 1000 NMP/100 ml.

La relación N/P utilizada para determinar el nutriente limitante del crecimiento de las algas y plantas acuáticas, estableció que el fósforo es el elemento limitante para el desarrollo de las floraciones algales, por lo tanto sería necesario implementar medidas para controlar las cargas que ingresan al embalse, especialmente a través de los ríos Cachapoal y Tinguiririca.

Al contrario de lo observado en las estaciones del embalse, en los tributarios regularmente se midieron niveles por sobre lo señalado por la Norma Chilena (N°1333/78), especialmente en las estaciones ubicadas en el estero las Palmas y el río Tinguiririca. Esta contaminación tendría origen difuso y estaría asociada a las actividades productivas que se desarrollan en estas cuencas.

Los resultados del índice de contaminación fecal (Razón CF/EF), indican señala que la contaminación fecal en los tributarios del embalse Rapel, es mayoritariamente de origen animal.

En relación a las cargas que llegan al embalse a través de los tributarios, es posible concluir que los mayores aporte de sulfatos y molibdeno provienen del estero Alhué, que recibe las descargas de aguas claras de relaves del embalse Carén. Por otra parte, el estero Las Palmas y los ríos Cachapoal y Tinguiririca son los que contienen las mayores aportes de nutrientes (nitrógeno y fósforo total) y coliformes fecales al embalse Rapel.

2.6. Calidad de los Sedimentos

2.6.1 Metodología

Granulometría

Fracción arenosa

Para estimar el tamaño de esta fracción, se colectó una submuestra de sedimento desde la muestra original. Posteriormente, este material fue llevado a un tubo de decantación digital (tipo Emery), donde se estimó la composición de tamaños de la muestra.

Una vez obtenidos los pesos de cada muestra, los valores fueron expresados en porcentaje diferencial respecto del peso total. Posteriormente, se estimó el diámetro medio (tamaño medio) y los parámetros de dispersión (selección y asimetría) utilizando el método de momento (McManus, 1988). Los datos fueron representados en la escala logarítmica phi (ϕ) con el propósito de realizar la descripción de los datos mediante numeración entera, de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\phi = - \log_2 D$$

donde, D es el diámetro de la partícula en mm.

Fracción fina

Para este análisis se procedió a colectar una submuestra, desde la muestra original. Esta submuestra se llevó a ultrasonido por 5 minutos y luego a un analizador de micropartículas ELZONE® 282 PC. Este instrumento estima el diámetro de las partículas y entrega un histograma de distribución de frecuencia junto con todos los parámetros granulométricos.

Parámetros químicos

El contenido de metales en sedimento se realizó en el laboratorio de Química Ambiental del Centro EULA – Chile, siguiendo la Norma Chilena Oficial (INN). El análisis comprende la digestión química de la muestra de sedimento para pasarla a fase disuelta, determinándose la concentración del metal mediante Espectrofotometría de Absorción Atómica, empleando técnicas de llama u horno de grafito, según los niveles existentes, siguiendo la metodología propuesta por la Norma Chilena Oficial y el Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 20th edition (APHA, AWWA, WEF, 1999).

Respecto del contenido de materia orgánica de los sedimentos, éste se determinó mediante la técnica de pérdida de peso por ignición (LOI; Loss On Ignition), que consiste en determinar el peso de la muestra después de su calcinación durante cuatro horas a 550 °C (Boyle, 2002).

2.6.2 Resultados

Granulometría

Los resultados obtenidos durante el último monitoreo, indican que todos los sedimentos del embalse, están compuestos en un 100% por fracciones finas (fango), siendo clasificados texturalmente como limo grueso (Tablas 30 y 31).

En la Figura 94, se presentan los histogramas de frecuencias de tamaños, para las cinco estaciones analizadas. En los gráficos se observa nuevamente que la mayor parte de la distribución de tamaños de los sedimentos, se ubican alrededor de los 10 µm, correspondiendo a fracciones fangosas. El gráfico de clasificación textural de los sedimentos, categoriza a todos los sedimentos como fango (Figura 95).

Parámetros químicos en sedimento

Metales pesados

En la Tabla 32 se presentan las concentraciones de metales pesados, contenido de materia orgánica y N-orgánico en los sedimentos del embalse. En las Figuras 96 y 97, la representación gráfica de estos valores, su comparación con un nivel de referencia y el valor promedio del parámetro obtenido para el año 2004.

Como en nuestro país todavía no existe una norma para la calidad de los sedimentos de los ambientes acuáticos, a fin de realizar una primera aproximación a la calidad de los sedimentos del embalse Rapel, se utilizaron valores de referencia de la "Canadian Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life". En esta guía es posible encontrar "Niveles de Probables Efectos", para los parámetros Arsénico, Cadmio, Cobre y Zinc. En cuanto al contenido de materia orgánica, su alta variabilidad en los ambientes acuáticos, no permite establecer algún valor de referencia.

Comparativamente con el monitoreo anterior (agosto 2009), los valores de arsénico presentaron un leve aumento en las estaciones de la cubeta Cachapoal y Alhué, registrando una leve disminución en la cubeta Rapel. El cadmio por su parte muestra un comportamiento más estable, salvo por el aumento registrado en la estación 1 de la cubeta Cachapoal y otro pequeño aumento en la estación Rapel-1. El hierro por su parte mostró valores inferiores al registrado en el monitoreo anterior, en todas las estaciones medidas. El cobre también presentó valores inferiores al monitoreo anterior en casi todas las estaciones, a excepción de la estación

Cachapoal 1. El contenido de materia orgánica registro un aumento en las estaciones Cachapoal-1 y Alhué-2, mientras que en el resto de las estaciones la concentración fue menor. El zinc por su parte sólo muestra un incremento en la estación Cachapoal-1, con valores muy similares en el resto de las estaciones. En cuanto al contenido de nitrógeno orgánico, si bien los valores entre monitoreos son muy cercanos, estos experimentaron un leve incremento en casi todas las estaciones, a excepción de Alhué-1, donde se registró una leve disminución.

Tabla 30: Parámetros granulométricos de las muestras analizadas.

| N° Estación | Media (ϕ) | | Selección (ϕ) | | Asimetría | | Curtosis | | Clasificación textural (Wentworth, 1922) | |
|-----------------|------------------|--------|----------------------|--------|-----------|--------|----------|--------|--|-------------|
| | Ago/09 | May/10 | Ago/09 | May/10 | Ago/09 | May/10 | Ago/09 | May/10 | Ago/09 | May/10 |
| Est 1 Cachapoal | 1,65 | 5,78 | 0,38 | 0,50 | 1,48 | 0,55 | 6,60 | 4,60 | Arena media | Limo grueso |
| Est 2 Cachapoal | 5,75 | 5,72 | 0,48 | 0,50 | 0,94 | 0,63 | 4,49 | 4,58 | Limo medio | Limo grueso |
| Est 3 Alhué | 5,94 | 5,89 | 0,50 | 0,46 | 0,66 | 0,87 | 4,53 | 4,74 | Limo medio | Limo grueso |
| Est 4 Alhué | 1,50 | 6,30 | 1,33 | 0,55 | 2,17 | -0,18 | 8,31 | 4,04 | Arena media | Limo medio |
| Est 5 Rapel | 4,58 | 5,81 | 1,45 | 0,66 | 1,32 | -0,05 | 1,89 | 3,20 | Limo grueso | Limo grueso |
| Est 6 Rapel | 5,95 | 5,97 | 0,52 | 0,51 | 0,52 | 0,58 | 3,89 | 3,83 | Limo medio | Limo grueso |

Tabla 31. Facies texturales de las muestras analizadas.

| N° Estación | % Fango | % Arenas | % Grava |
|-----------------|---------|----------|---------|
| Est 1 Cachapoal | 100 | 0,0 | 0,0 |
| Est 2 Cachapoal | 100 | 0,0 | 0,0 |
| Est 3 Alhué | 100 | 0,0 | 0,0 |
| Est 4 Alhué | 100 | 96 | 0,0 |
| Est 5 Rapel | 100 | 26 | 0,0 |
| Est 6 Rapel | 100 | 0,0 | 0,0 |

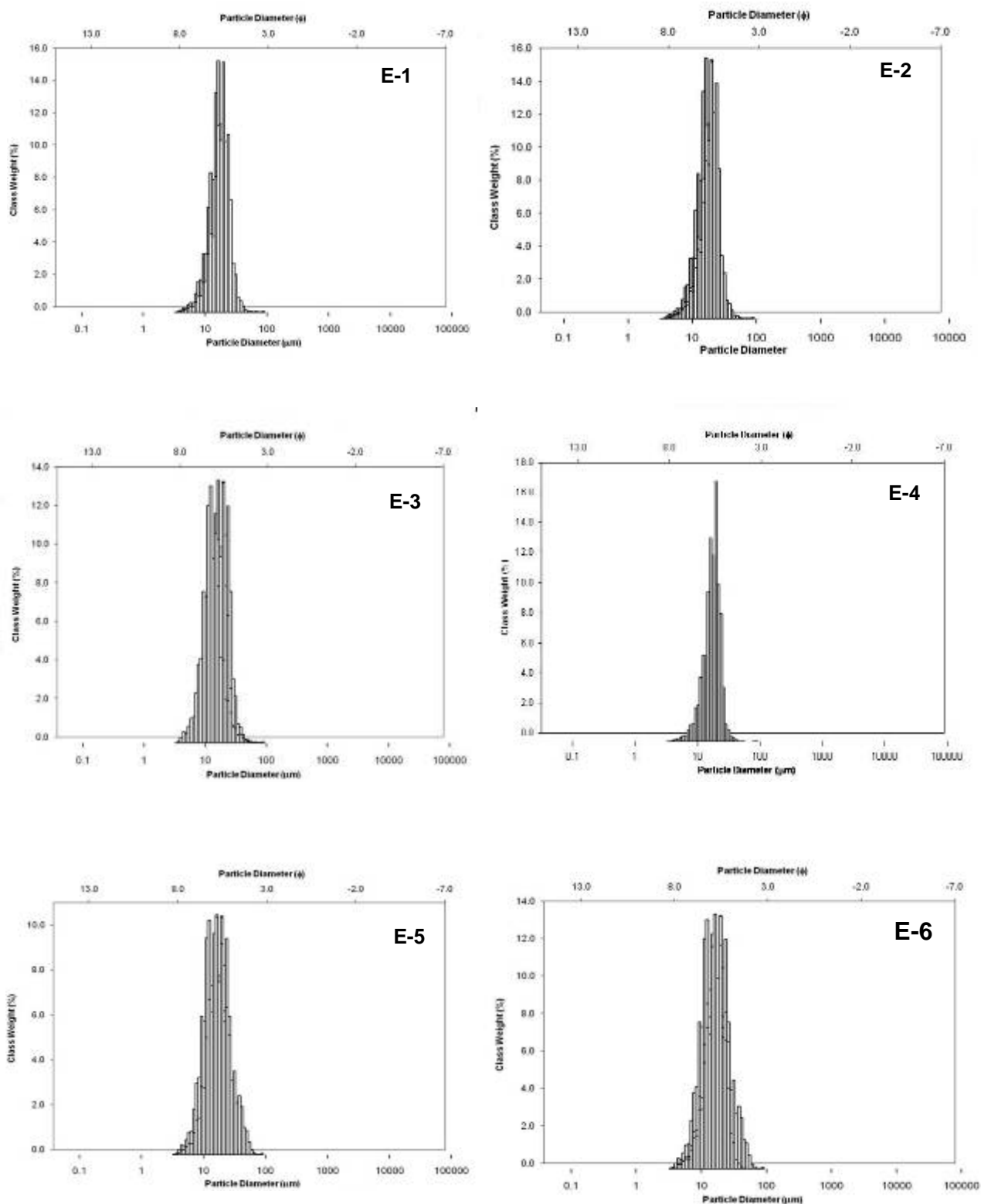


Figura 94: Histogramas de distribución de tamaños de las muestras analizadas.

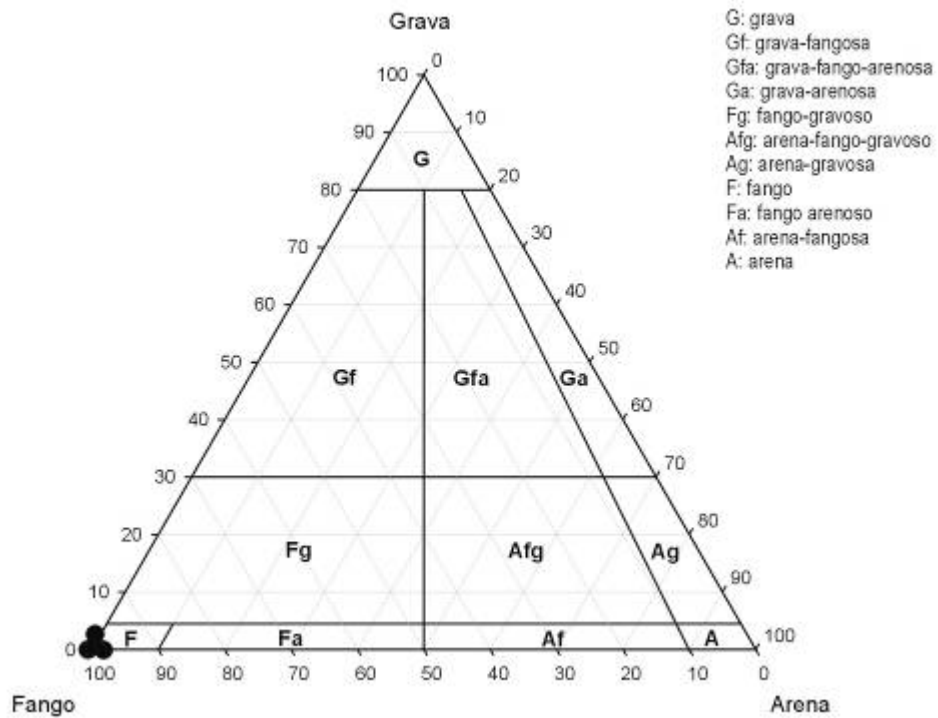


Figura 95: Clasificación textural de los sedimentos del embalse (Folk, 1980).

Tabla 32: Concentraciones de los parámetros químicos en los sedimentos del embalse Rapel.

| Parámetros | Unidad | Est 1 | | Est 2 | | Est 3 | | Est 4 | | Est 5 | | Est 6 | |
|--------------------|--------|-----------|---------|-----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | | Cachapoal | | Cachapoal | | Alhué | | Alhué | | Rapel | | Rapel | |
| | | Ago/09 | May/10 | Ago/09 | May/10 | Ago/09 | May/10 | Ago/09 | May/10 | Ago/09 | May/10 | Ago/09 | May/10 |
| Arsénico | mg/Kg | 9,4 | 27,0 | 25,0 | 29,3 | 27,5 | 29,1 | 11,6 | 12,5 | 30,4 | 28,2 | 26,9 | 21,1 |
| Cadmio | mg/Kg | <0,05 | 0,15 | <0,05 | <0,05 | <0,05 | <0,05 | <0,05 | <0,05 | <0,05 | 0,075 | <0,05 | <0,05 |
| Cobre | mg/Kg | 137,1 | 443,4 | 443,9 | 449,1 | 388,7 | 348,3 | 53,2 | 37,7 | 534,7 | 350,9 | 478,6 | 223,5 |
| Hierro | mg/Kg | 57558,6 | 46956,6 | 47285,2 | 40586,7 | 35650,3 | 32427,0 | 27796,7 | 16752,4 | 43782,3 | 38557,6 | 44468,3 | 35712,6 |
| Materia Orgánica | % | 1,7 | 5,74 | 6,9 | 5,91 | 11,9 | 9,69 | 3,1 | 6,94 | 7,2 | 2,93 | 8,2 | 8,06 |
| Molibdeno | mg/Kg | <1,5 | 15,1 | <1,5 | 12,2 | <1,5 | 4,6 | <1,5 | <1,5 | <1,5 | 6,6 | <1,5 | 2,6 |
| Nitrógeno Orgánico | mg/Kg | 77,80 | 1256,9 | 768,48 | 713,1 | 3617,71 | 3364,8 | 738,67 | 1006,8 | 1144,77 | 1535,2 | 1387,80 | 1477,2 |
| Zinc | mg/Kg | 89,6 | 122,3 | 117,2 | 95,3 | 107,4 | 86,3 | 55,0 | 41,6 | 108,4 | 86,1 | 104,9 | 85,0 |

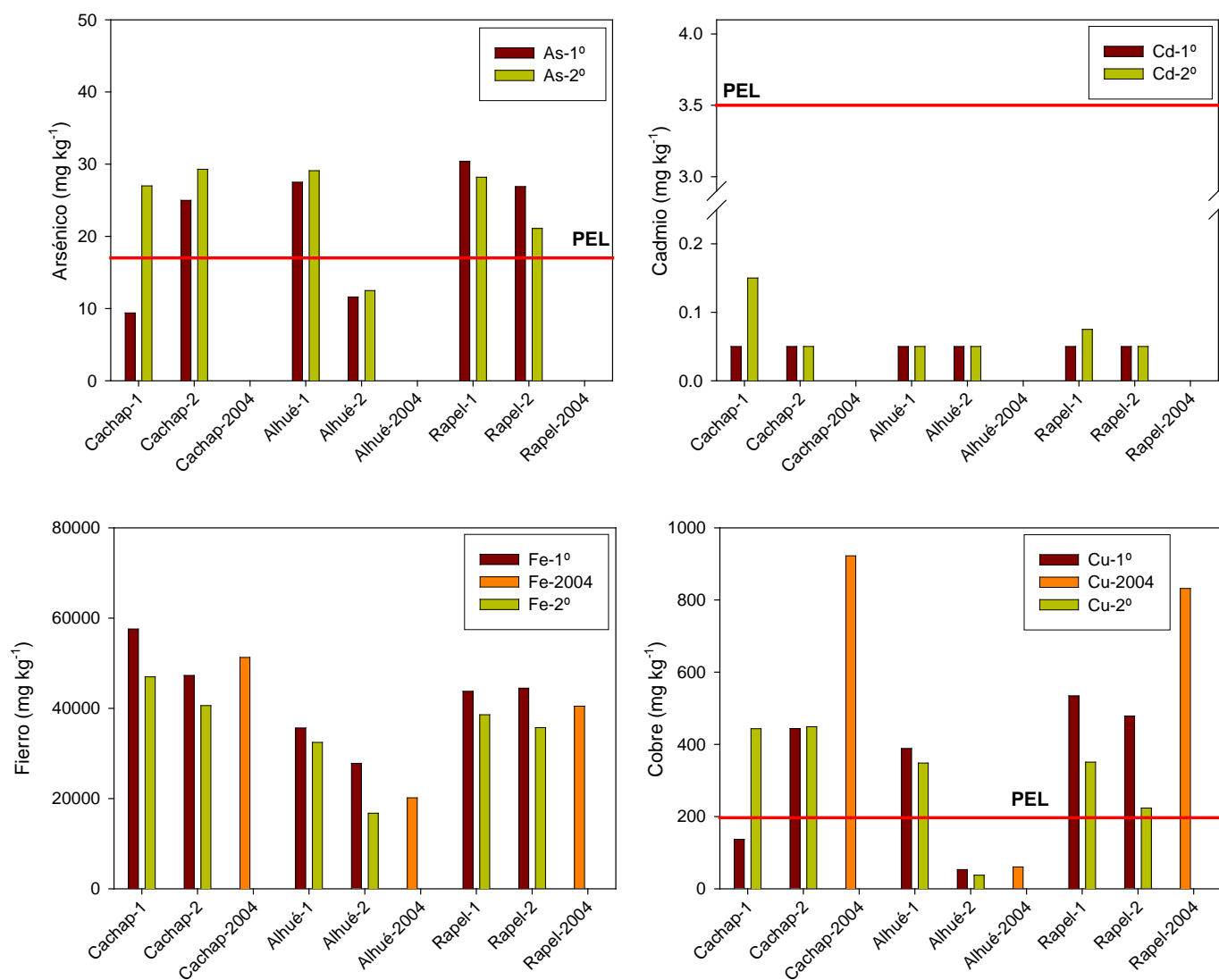


Figura 96: Concentraciones de metales pesados en los sedimentos del embalse, durante los dos muestreos realizados en este proyecto (agosto 2009 y mayo 2010). La línea en rojo indica un nivel de referencia PEL (Probable Effect Level); nivel de efecto probable, de acuerdo al *Canadian Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life*. En algunos parámetros se presenta la concentración promedio encontrada para cada cubeta del embalse, en el año 2004.

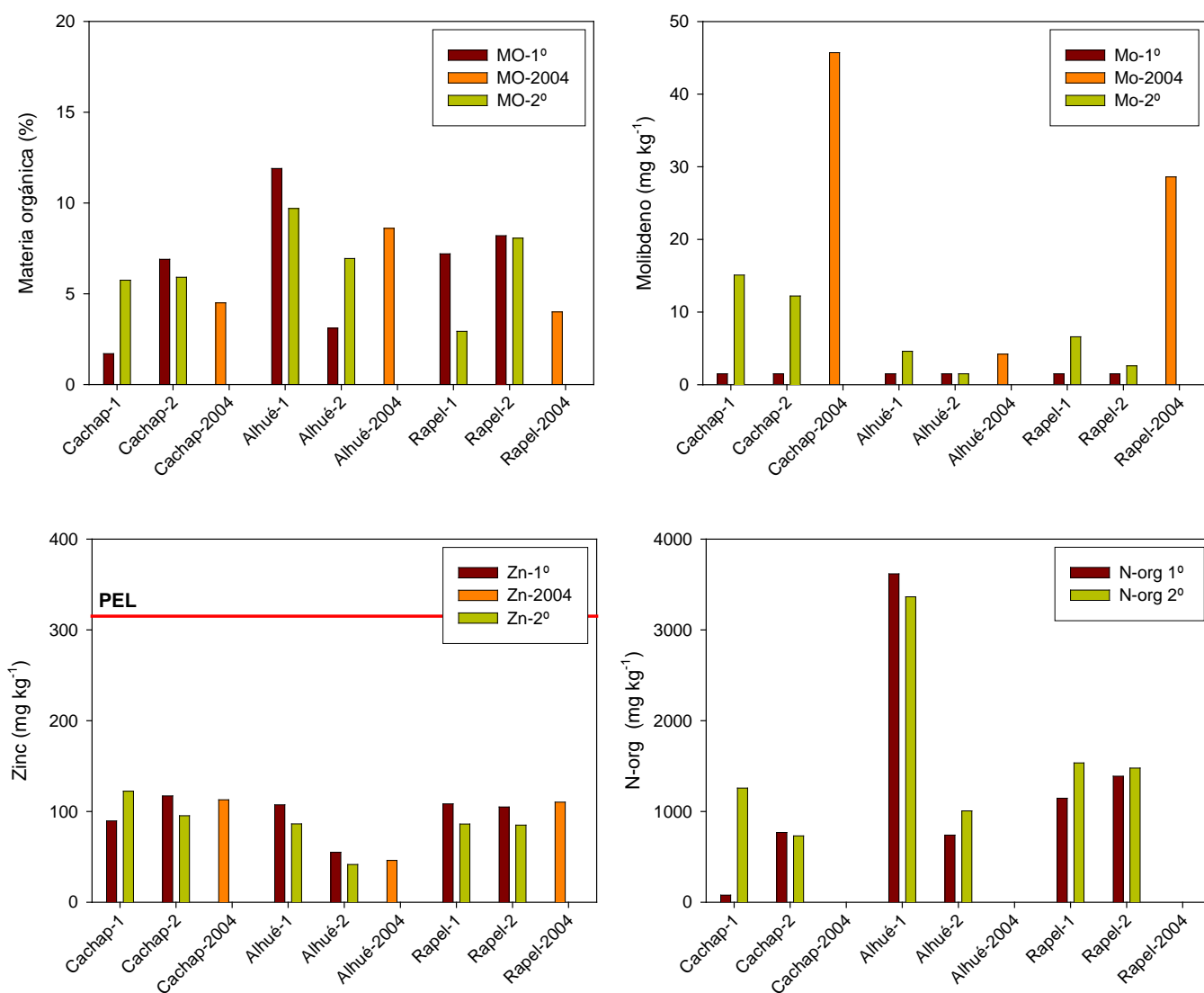


Figura 97: Concentraciones de metales pesados, contenido de materia orgánica y nitrógeno en los sedimentos del embalse, durante los dos muestreos realizados en este proyecto (agosto 2009 y mayo 2010). La línea en rojo indica un nivel de referencia PEL (Probable Effect Level); nivel de efecto probable, de acuerdo al *Canadian Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life*. En algunos parámetros se presenta la concentración promedio encontrada para cada cubeta del embalse, en el año 2004.

2.6.3 Conclusiones

- Los sedimentos del embalse están compuestos principalmente por fracciones finas (fango), observándose escasa variación entre monitoreos.
- Respecto de las concentraciones de metales pesados en sedimento y al igual que en el monitoreo anterior, no es posible indicar una tendencia general para todos los metales. El comportamiento de las concentraciones fue particular para cada cubeta. No obstante se replicaron muchas de las tendencias registradas en el monitoreo anterior.
- En cuanto al nivel de referencia canadiense para las concentraciones de metales, nuevamente, tanto el arsénico como el cobre, presentaron niveles por sobre este valor, mientras que el cadmio y el zinc tuvieron concentraciones bastantes inferiores a la referencia.
- El contenido de materia orgánica y de nitrógeno orgánico, siguieron siendo más altos en la cubeta Alhué, seguido por las concentraciones registradas en la cubeta Rapel. Los niveles más bajos fueron reportados en la cubeta Cachapoal.

2.7 Biondicadores de calidad del agua.

2.7.1 Fitoplancton

2.7.1.1 Introducción

La estrecha relación que existe entre las actividades de la cuenca hidrográfica y la biota de los cuerpos de agua contenidos en ella, requieren de un conocimiento exhaustivo de los últimos para tener una idea clara de cómo estas actividades en la cuenca están afectando (perturbando o favoreciendo) a las poblaciones que conforman las comunidades acuáticas. Esto se traduce en definitiva como alteraciones de las relaciones trófica y de producción en el ecosistema acuático (Hutchinson, 1967; Parra *et al.*, 1999). Los sistemas acuáticos naturales y artificiales, poseen un conjunto de poblaciones planctónicas cuya diversidad, abundancia y distribución tienen características únicas, en donde los factores abióticos y bióticos de los ecosistemas, seleccionan aquellas especies del fitoplancton mejor adaptadas (Urrutia 2005). Estas aumentan su abundancia, dominando el medio y provocando fenómenos de floramientos, es decir acumulaciones de biomasa, que se presentan cuando las tasas de crecimiento, controladas por la oferta de recursos, son superiores a las tasas de mortalidad, controladas por agentes patógenos y depredadores (Assmy & Smetacek, 2009). Las especies con mayor crecimiento y menor tasa de mortalidad, acumularán una mayor biomasa, formando una capa de células en la superficie de ecosistemas lacustres (Assmy & Smetacek, 2009, Reynolds,

2006). Uno de los mayores factores que contribuyen a este fenómeno es la eutroficación (Martino, 1989).

La eutroficación es un problema grave que deteriora la calidad del agua de lagos, ríos, costas y embalses en muchas partes del mundo (Jan-Tai Kuo *et al.*, 2006; Karadžić *et al.*, 2010; Parra *et al.*, 1999; Reynolds, 2006). Corresponde a un evento natural, que se ve acelerado por la contaminación de los ecosistemas, en un proceso denominado eutroficación cultural o antropogénica (Margalef, 1983; Vila *et al.*, 1986). Debido a esto, las aguas superficiales y subterráneas de la mayor parte del mundo, presentan altas concentraciones de nutrientes (nitrógeno y fósforo) (Cloren J.E., 2001), lo que provoca un incremento de materia orgánica particulada como fitoplancton, zooplancton, bacterias y detritos (Martino, 1989). Como consecuencia de esto, ocurren cambios en la composición de las comunidades acuáticas y una alteración en la sucesión clásica del fitoplancton descrita para embalses o sistemas templados (Diatomeas-Clorófitas- Cianófitas) (Vila *et al.*, 1987), en los cuales las algas diatomeas y crisofíceas, son sustituidas por clorófitas y cianófitas, algas con fuerte dominancia en ambientes eutroficados (Reynolds, 2006; Martino, 1989).

El concepto más importante para explicar la respuesta alga-nutriente es el principio conocido como "nutriente limitante". Este se basa en que la tasa de crecimiento algal será restringida por el elemento que se encuentre presente en el medio acuático en menor concentración, respecto a la proporción requerida por el alga. Solamente la adición de este elemento limitante estimularía el crecimiento del fitoplancton. (Margalef, 1983; Martino, 1989). Numerosos estudios han demostrado que uno de los factores por los cuales puede variar la composición taxonómica y la abundancia de las especies fitoplanctónicas es el incremento en los niveles de nutrientes, estando íntimamente ligado a los problemas de eutroficación (Watson *et al.*, 1997; Ryding & Rast, 1992) y/o a problemas de contaminación orgánica e inorgánica, cuyos efectos se pueden expresar por inhibición o estimulación de algunas poblaciones.

El fósforo es un factor limitante para el crecimiento de algas y del fitoplancton. Su presencia favorece la eutrofización y trae como consecuencia el aumento de materia orgánica, lo que a su vez permite la aparición de bacterias heterótrofas y finalmente la disminución del oxígeno disuelto (Cole, 1988; Reynolds, 2006; Jin Lv *et al.*, 2010). Mientras que el nitrógeno se puede encontrar en varias formas o estados de oxidación en las aguas naturales. Las formas más comunes son amonio (NH₄), nitrito (NO₂), nitrato (NO₃) y en gran cantidad de compuestos de nitrógeno orgánico. La mayoría de las algas requiere una fuente de nitrógeno en forma combinada. Sin embargo, algunas algas verde-azules son capaces de fijar el nitrógeno gaseoso y de esta forma no dependen del suministro de nitrógeno combinado (Urrutia, 2005).

De esta manera, una de las consecuencias principales de la eutroficación es el cambio en la composición y crecimiento acelerado del fitoplancton (floraciones algales), lo que indica que el equilibrio del ecosistema se ha perdido y que los nutrientes pueden haber llegado a niveles inaceptablemente altos (Huppert *et al.*, 2005). Sin embargo, las floraciones de fitoplancton pueden corresponder

también a eventos naturales de los ecosistemas, más que a una causa de preocupación o peligro para la calidad del agua (Huppert *et al.*, 2005). En tales circunstancias, estos eventos son vistos como un desarrollo evolutivo de la sucesión de especies de fitoplancton que caracteriza su ciclo de vida, y de respuesta a las condiciones del entorno ecológico y ambiental (Huppert *et al.*, 2005).

La dinámica de estos acontecimientos, no solo está determinada por el estado trófico de un ecosistema, sino que también por las características biológicas de las algas (Wei Zhu *et al.* 2010; Vila, 1987; Vila *et al.* 2003) y por factores físicos (temperatura, pH, conductividad, transparencia) y químicos (oxígeno disuelto, nutrientes) (Orive *et al.*, 1997), en donde las comunidades fitoplanctónicas responden a las fluctuaciones ambientales, las que actúan distinguiendo entre las distintas especies del fitoplancton, y seleccionando a las más adaptados (Figueredo & Giani, 2009). Todo esto fuertemente modificado por cambios estacionales en el clima, que modifican las características físicas y químicas del agua, lo que influye en la dinámica del fitoplancton (Zeng, *et al.* 2006; Figueredo & Giani, 2001).

Se observa que en estaciones húmedas, las lluvias promueven cambios físicos en la columna de agua, y muchas veces se consideran más importante que la temperatura y radiación solar en la regulación estacional de la dinámica y abundancia fitoplanctónica de sistemas acuáticos (Figueredo & Giani, 2009). Además los nutrientes del medio se pueden ver afectados por las lluvias en estaciones húmedas, debido a un factor de dilución de estos (Figueredo & Giani, 2009).

Así como las estaciones húmedas tiene influencias en los factores físico-químico, las estaciones secas también. Las concentraciones de fitoplancton aumentan durante verano, principalmente porque también aumenta la radiación solar y la temperatura del agua (De la Fuente & Niño, 2008). Este incremento no es causado por cambios en la disponibilidad de nutrientes, ya que en algunos ambientes, las concentraciones son mayores que los valores limitantes (De la Fuente & Niño, 2008). De esta manera, patrones cíclicos temporales de la composición fitoplanctónica son bien conocidos en regiones templadas, donde la temperatura, luz, y disponibilidad de nutrientes presenta dinámicas estacionales recurrentes (Sommer *et al.*, 1986; Figueredo & Giani, 2009; Orive *et al.*, 1997).

El interés por el estudio y comprensión de los fenómenos de florecimientos algales se debe al daño que estos eventos provocan en los ecosistemas. Algunas especies producen toxinas que causan la muerte de organismos superiores, como el zooplancton, crustáceos y peces, disminuyendo el flujo de energía del ecosistema (Gönülol, 1998; Anderson *et al.* 2000; Peñaloza *et al.* 1990). Además provocan alteraciones en la calidad del agua, tales como: variación de niveles de oxígeno, mal olor y sabor en el agua (Jan-Tai Kuo *et al.*, 2006) cambios que afectan las actividades deportivas, pesca y turismo en sistemas lacustres (Jan-Tai Kuo *et al.*, 2006; Anderson *et al.*, 2000).

En el contexto anterior se ha incluido en este estudio un análisis de la comunidad fitoplanctónica como bioindicadores de la calidad de agua y ambiental o ecológico de este ecosistema. El presente análisis fitoplanctónico se focalizará esencialmente a analizar comparativamente algunos parámetros comunitarios (riqueza específica y abundancias totales y relativas), con resultados de estudios anteriores realizados por Lavanderos et al. (1994); Montecinos & Cabrera (1982); Reynolds et al. (1986); Vila et al. (1987); Vila et al. (1997); Vila et al. (2000); Martínez et al. (2003), Vila & Pardo (2003).

Antecedentes históricos

Estudios anteriores realizados por Vila *et al.* (1987), analizaron la composición y abundancia del fitoplancton del Embalse Rapel, a lo largo del ciclo anual 1976 – 1977, reconociendo un total de 66 taxa. Estudios posteriores realizados por el EULA (2003), reconocen la presencia de 78 taxa, de los cuales 44 corresponden a los reportados por Vila et al. (1987). Al respecto, cabe destacar que más relevante que la diferencia en el número de taxa observada entre ambos estudios, destaca el hecho que en el estudio de Vila *op. cit.*, las Chlorophyceae mostraban una mayor riqueza específica, en cambio en el estudio del EULA son las diatomeas las que aparecen con un mayor número de taxa. A pesar de observarse ciertas diferencias de diversidad, ambos estudios en general coinciden en los taxa más abundantes. Por ejemplo, Vila *op. cit.* señala que (así como en los estudios de Reynolds, 1986 y Martínez *et al.*, 2003) las especies dominantes son en primer lugar *Aulacoseira granulata* (citada como *Melosira granulata*) y en segundo lugar *Pediastrum simplex*. Este patrón observado prácticamente en las tres cubetas del embalse, especialmente durante el florecimiento de primavera y otoño. Lo anterior estaría indicando que desde el año 1976 a la fecha la comunidad fitoplanctónica no ha cambiado significativamente en su estructura básica. Además, en los estudios previos ya mencionados, se establece un claro gradiente de abundancias numéricas: cubeta Cachapoal - cubeta Alhué – cubeta Rapel, a pesar de la similitud que existe en la riqueza de especies y comportamiento general de la comunidad. El florecimiento del fitoplancton se inicia en septiembre y la biomasa algal permanece alta durante la primavera y el verano, en las áreas someras. Contrariamente, en las áreas más profundas, la abundancia disminuye significativamente durante el verano.

En un estudio efectuado por Lavanderos *et al.* (1994), sugieren que los géneros tales como *Pediastrum*, *Melosira*, *Asterionella*, *Navícula*, *Closterium* y *Coelastrum* serían resistente al cobre, lo que explicaría la dominancia de estos grupos en algunos sitios del embalse. Respecto a la composición de especies ellos indican que durante su periodo de muestreo, las especies *Asterionella formosa*, *Melosira granulata* y *Pediastrum simplex*, dominaban la comunidad fitoplanctónica en zonas cerca de la boca del río Alhué (desde septiembre hacia delante). Sin embargo, en las zonas próximas a la bahía Skorprios, las mismas especies eran dominantes en la estructura comunitaria, pero con intensos "blooms" de *Melosira granulata* y *Pediastrum simplex*. También señalan un crecimiento notable de la especie *Asterionella formosa* con pulsos cada 30 días. Al respecto, las abundancias de estas tres especies las asocian a

su resistencia al Cu. Por último, estos autores señalan que estos resultados difieren a los obtenidos por Vila *et al.*, (1987), en el sentido que estos autores describen en primavera como dominante a *Melosira granulata*, especialmente en las zona bajas del embalse.

En el estudio de Reynolds *et al.* (1986), en el cual se intenta comparar la tasa potencial de crecimiento, pérdida de flotabilidad y resuspensión de *Melosita sp.*, en relación a fluctuaciones de corta extensión en el ambiente físico, los autores sugieren que estas relaciones deberían estar más balanceadas hacia el término de la fase de crecimiento. En este contexto, las descripciones previas de la distribución estacional y espacial del fitoplancton (*i.e.*, Cabrera *et al.*, 1977; Vila & Zuñiga, 1980, Vila *et al.*, 1987), y sobre su productividad (Montecino y Cabrera, 1982), establecieron que aún cuando la productividad primaria es generalmente alta en invierno (Junio a Septiembre), la biomasa del fitoplancton, es elevada solamente en primavera y otoño, coincidiendo con los máximos de abundancia de *Melosira granulata*. Según estos autores, ello se asociaría a cambios en la estabilidad de la columna de agua, condición que es fuertemente afectada por el viento. Específicamente, Montecino y Cabrera (1982), establecieron que la composición y la biomasa del fitoplancton en el embalse Rapel es controlado por la temperatura y el volumen de agua, y que este cuerpo de agua es eutrófico durante todo el año. Además señalan que los incrementos de la actividad fotosintética en los inicios de la primavera, es causado tanto por el aumento de la radiación total incidente y por el decrecimiento de la materia orgánica suspendida. Los mismos autores indican que la temperatura del agua debería influenciar la composición del fitoplancton más que la intensidad de la producción primaria.

En un estudio de Reynolds *et al.* (1986), realizado en marzo del 1984 en el "sector de las Balsas", en el cual la profundidad máxima es aproximadamente de 20 m, los episodios de estratificación extensos son esporádicos, por lo que la columna de agua está bien mezclada a través del invierno. Sin embargo, existe una marcada tendencia hacia el verano a estratificarse durante la mañana, pero en la tarde se mezcla totalmente. Estos autores (siguiendo a Lewis, 1983), clasifican al embalse dentro de la categoría de "templado discontinuamente polimíctico".

En un estudio posterior, Vila *et al.* (1997), intentan de demostrar que la dinámica temporal del fitoplancton y la composición de especies está marcada en el embalse Rapel por los cambios de calidad del agua. Según estos autores, este embalse es "monomíctico mesotrófico temperado", que muestra una clásica asociación algal con la dominancia de *Melosira granulata*.

Según Martínez *et al.* (2003), la heterogénea morfología del embalse Rapel genera los patrones de abundancia, gatillando la respuesta diferencial de los ensambles planctónicos en las diferentes cubetas. Estos autores describen un gradiente morfoedáfico longitudinal, con condiciones planctónicas y concentración de biomasa local, hidrodinámica, muy localizada, que producen una complejidad espacial que sería el factor causal de las diferencias de abundancias fitoplanctónicas entre los distintos sectores del embalse. En este estudio, se identifican tres sectores: Las Balsas, Alhué y el Muro. En el sector

las Las Balsas, las variables asociadas a la abundancia de fitoplancton fueron la temperatura, concentración de fósforo soluble y conductividad. En cambio, en las estaciones Alhué y El Muro, la mayor variabilidad fue explicada por la concentración de compuestos nitrogenados, siendo el nitrato particularmente importante en el sector Alhué y el amonio en el Muro. Según Martínez et al. (2003), lo anterior estaría indicando la existencia de un control diferencial de la abundancia fitoplanctónica asociada a los diferentes sectores del embalse. Mientras que en el sector Las Balsas estaría predominando un control externo, el cual sería generado por las descargas de los tributarios (ríos Cachapoal y Tinguiririca) y en el sector del Muro se postula un control interno.

2.7.1.2 Metodología

Análisis cualitativo del fitoplancton

Las muestras para análisis cualitativo se obtuvieron por arrastres en la superficie del embalse, con una red de 55 µm de abertura de malla. Ellas se fijaron con solución lugol y analizadas bajo un microscopio fotónico marca Zeiss modelo Axioplan. Una parte de la muestra se oxidaron para una mejor observación y determinación taxonómica de las Bacillariophyceae. El reconocimiento taxonómico de la comunidad fitoplanctónica se realizó sobre la base de bibliografía especializada (Baker et al., 1999; Gell et al., 1999, Parra et al., 1982, 1983, Parra y Bicudo 1996, Rivera et al., 1983; Parra et al., 1982a; Parra et al., 1982b; Parra et al., 1982c; Parra et al., 1983a; Parra et al., 1983b; Parra et al., 1995; Rivera P., 1970; Rivera et al., 1973; Rivera P., 1974 y Rivera et al., 1982, 1983).

Análisis cuantitativo del fitoplancton

El análisis cuantitativo se efectuó a partir de muestras subsuperficiales (1 m) tomadas en cada una de las estaciones de muestreo, siguiendo la metodología descrita por Utermohl (1958). Las células fueron preservadas utilizando solución lugol y antes de realizar la sedimentación las muestras fueron agitadas vigorosamente, para lograr la homogeneización y disgregación de las masas celulares. El recuento se realizó utilizando microscopio invertido Zeiss en cámara de sedimentación de 25 ml, con un aumento de 400X, contando alrededor de 800 a 1000 células. Para luego aplicar la siguiente fórmula:

$$N^{\circ} (\text{cels} \cdot \text{ml}^{-1}) = (\text{área total cámara} / \text{área total contada}) * (N^{\circ} \text{ cels. Contadas} / \text{Vol. cámara})$$

Análisis estadísticos

Los datos de abundancia del fitoplancton (cél/L) se transformaron ($\log_{10} x+1$) y se obtuvo la matriz de similitud utilizando el índice de Bray Curtis (Clarke et al. 2006). Sobre esta matriz, se realizó un análisis de ordenamiento por escalamiento multidimensional no paramétrico (nMDS, Kruskal 1964) y un análisis de similitud (ANOSIM, Clarke & Green 1988, Clarke 1993) utilizando

como factores la estacionalidad de los datos de abundancia (primavera 2009, verano 2010, otoño 2010, invierno 2010 y primavera 2010) y las cubetas del embalse (Cachapoal, Alhué y Rapel), de esta manera se evaluó si existen diferencias significativas dadas por la estacionalidad y por las cubetas en términos de abundancia. Finalmente, para identificar el porcentaje de contribución de las especies dominantes se realizó un análisis de porcentaje de similitud (SIMPER, Clarke 1993).

Los datos ambientales (físico-químicos) se normalizaron debido a que no presentan las mismas unidades de medida, para luego obtener la matriz de similitud utilizando el índice de distancia euclidiana (Legendre & Legendre 1983). Bajo esta matriz se realizó un análisis de ordenamiento por escalamiento multidimensional no paramétrico (nMDS, Kruskal 1964), y análisis de similitud ANOSIM (Clarke & Green 1988, Clarke 1993) utilizando como factor las estaciones del año (primavera 2009, verano 2010, otoño 2010, invierno 2011, primavera 2010) y cubetas del embalse (Cachapoal, Alhué y Cortina). Ambos factores se evaluaron por separado, para determinar diferencias significativas entre los datos ambientales de cada mes, y entre las cubetas. Para determinar las variables físico-químicas que mejor explicaran la estructura comunitaria, se realizó una correlación entre las matrices de rangos de los datos biológicos y ambientales (BioEnv, Clarke & Ainsworth 1993). Luego, para estimar el valor de significancia del mejor subset de datos, se aplicó un global BioEnv (Clarke et al. 2008). Todos los análisis estadísticos se realizaron utilizando el programa PRIMER-E v_6 (Clarke & Gorley 2006).

2.7.1.3. Resultados

Durante el periodo de estudio, que comprendió entre los meses de agosto de 2009 a Octubre de 2010, se identificó un total de 113 taxa: 10 Cyanophyceae, 53 Bacillariophyceae, 44 Chlorophyceae, 2 Dinophyceae, 3 Cryptophyceae y 1 Chrysophyceae (Tabla 33).

Los datos de abundancia relativa, muestran que durante los florecimientos de primavera (octubre) el grupo de microalgas que se destaca son las diatomeas (Figura 98). Algas que además se presentan abundantes durante todo el año. Luego vienen las algas verdes, las que presentan valores de abundancia altos durante primavera y verano, decayendo paulatinamente en otoño e invierno. Las cianófitas solo alcanzan una contribución considerable durante verano, pero siempre por debajo de las algas verdes y diatomeas (Figura 98).

En la Tabla 34 se muestran los diferentes parámetros comunitarios del fitoplancton del embalse Rapel. En ella se puede apreciar que las mayores abundancias de microalgas se registraron en enero de 2010 en la estación E-4, ubicada en la parte más extrema de la cubeta Alhué, mientras que la mayor riqueza de especies se produjo en mayo de 2010, en la estación E-2 de la cubeta Cachapoal. La diversidad de Shannon fluctuó entre un máximo de 4,2, en la estación E-1 en agosto de 2009 y un mínimo de 0,9, en la estación E-2 en octubre de 2010.

Tabla 33: Lista de taxa presentes en el embalse Rapel.

| Bacillariophyceae | |
|--|--|
| <i>Aulacoseira granulata</i> | <i>Navicula cryptocephala</i> |
| <i>Aulacoseira granulata v. angustissima</i> | <i>Navicula cuspidata</i> |
| <i>Aulacoseira granulata v angustissima f. curvata</i> | <i>Navicula viridula</i> |
| <i>Asterionella formosa</i> | <i>Navicula dicephala</i> |
| <i>Achnanthes affinis</i> | <i>Navicula rhyncocephala</i> |
| <i>Achnanthes hungarica</i> | <i>Navicula aff mutica</i> |
| <i>Achnanthes aff hungarica</i> | <i>Navicula aff radiosa</i> |
| <i>Achnanthes exigua</i> | <i>Nitzschia aff acicularis</i> |
| <i>Achnanthes sp.</i> | <i>Navicula aff cryptocephala</i> |
| <i>Cyclotella meneghiniana</i> | <i>Navicula sp.</i> |
| <i>Cymatopleura solea</i> | <i>Nitzschia sigmoidea</i> |
| <i>Cymbella sp.</i> | <i>Nitzschia acicularis</i> |
| <i>Cymbella cuspidata</i> | <i>Nitzschia kuetzingiana</i> |
| <i>Cymbella affinis</i> | <i>Nitzschia sp.</i> |
| <i>Cymbella tumida</i> | <i>Rhoicosphenia curvata</i> |
| <i>Cymbella minuta</i> | <i>Surirella ovata</i> |
| <i>Cymbella naviculiformis</i> | <i>Stephanodiscus sp.</i> |
| <i>Cocconeis placentula</i> | <i>Stephanodiscus kuetzingii</i> |
| <i>Diatoma vulgare</i> | <i>Stauroneis anceps</i> |
| <i>Diatoma sp.</i> | <i>Synedra acus</i> |
| <i>Gyrosigma sp.</i> | <i>Synedra ulna v oxyrhynchus</i> |
| <i>Gomphonema aff truncatum</i> | <i>Synedra rumpens</i> |
| <i>Gomphonema parvulum</i> | <i>Synedra ulna</i> |
| <i>Gomphonema sp.</i> | <i>Pinnularia sp.</i> |
| <i>Hantzschia amphioxys</i> | <i>Otras diatomeas penadas</i> |
| <i>Melosira distans</i> | <i>Otras diatomeas céntricas</i> |
| <i>Melosira varians</i> | |
| Cyanophyceae | |
| <i>Microcystis aeruginosa</i> | <i>Anabaena sp.</i> |
| <i>Microcystis elachista</i> | <i>Gomphosphaeria lacustris</i> |
| <i>Microcystis incerta</i> | <i>Oscillatoria sp.</i> |
| <i>Anabaena aff constricta</i> | <i>Oscillatoria aff tenuis</i> |
| <i>Anabaena aff circinalis</i> | <i>Anabaena sp1.</i> |
| Chlorophyceae | |
| <i>Ankyra judai</i> | <i>Pediastrum boryanum</i> |
| <i>Ankistrodesmus mirabilis</i> | <i>Pediastrum duplex</i> |
| <i>Actinastrum hantzschii</i> | <i>Pediastrum tetras</i> |
| <i>Botryococcus braunii</i> | <i>Quadrigula closterioides</i> |
| <i>Coelastrum microporum</i> | <i>Quadrigula aff closterioides</i> |
| <i>Closterium aciculare</i> | <i>Sphaerocystis schroeteri</i> |
| <i>Closterium acutum</i> | <i>Scenedesmus sp.</i> |
| <i>Cosmarium sp.</i> | <i>Scenedesmus acutus</i> |
| <i>Crucigeniella apiculata</i> | <i>Scenedesmus acuminatus</i> |
| <i>Crucigenia quadrata</i> | <i>Scenedesmus ecornis</i> |
| <i>Dictyosphaerium pulchellum</i> | <i>Scenedesmus quadricauda</i> |
| | <i>Scenedesmus quadricauda v biornatus</i> |
| <i>Eudorina elegans</i> | <i>Tetraedron minimum</i> |
| <i>Elakatothrix gelatinosa</i> | <i>Tetraedron sp.</i> |
| <i>Kirchneriella sp.</i> | <i>Sphaerocystis schroeteri</i> |
| <i>Kirchneriella contortum</i> | |

| | |
|-------------------------------------|-----------------------------------|
| <i>Oocystis</i> sp. | <i>Staurastrum chaetoceras</i> |
| <i>Oocystis lacustris</i> | <i>Staurastrum gracile</i> |
| <i>Monoraphidium saxatile</i> | <i>Staurastrum aff tetracerum</i> |
| <i>Monoraphidium contortum</i> | <i>Staurastrum tetracerum</i> |
| <i>Monoraphidium aff pusillum</i> | <i>Staurastrum sebaldtii</i> |
| <i>Nephrocytium aff agardhianum</i> | <i>Staurastrum</i> sp. |
| <i>Pediastrum simplex</i> | <i>Willea irregularis</i> |
| Dinophyceae | |
| <i>Peridinium aff cinctum</i> | <i>Ceratium hirundinella</i> |
| Cryptophyceae | |
| <i>Cryptomonas</i> sp. | <i>Rhodomonas</i> sp. |
| <i>Rhodomonas lacustris</i> | |
| Chrysophyceae | |
| <i>Mallomonas</i> sp. | |

Tabla 34: Parámetros comunitarios estimados para el fitoplancton del embalse Rapel.

| Fecha | Parámetros | E-1 | E-2 | E-3 | E-4 | E-5 | E-6 |
|--------|--------------------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|
| ago-09 | Abundancia cel/L | 98294 | 70263 | 27306 | 116620 | 60273 | 39960 |
| | Diversidad Shannon | 4,2 | 1,0 | 3,2 | 3,6 | 2,4 | 2,5 |
| | Riqueza (s) | 23 | 13 | 18 | 19 | 20 | 17 |
| nov-09 | Abundancia cel/L | 20313 | 22977 | 43956 | 21645 | 15318 | 6993 |
| | Diversidad Shannon | 3,4 | 1,6 | 2,8 | 3,0 | 2,3 | 3,2 |
| | Riqueza (s) | 16 | 5 | 19 | 16 | 10 | 7 |
| ene-10 | Abundancia cel/L | 122547 | 441823 | 207126 | 906424 | 98901 | 54612 |
| | Diversidad Shannon | 2,7 | 2,5 | 3,2 | 3,2 | 3,8 | 4,0 |
| | Riqueza (s) | 21 | 17 | 21 | 22 | 23 | 22 |
| may-10 | Abundancia cel/L | 187812 | 184161 | 137529 | 195471 | 105561 | 81252 |
| | Diversidad Shannon | 2,9 | 3,3 | 3,6 | 2,0 | 3,6 | 3,8 |
| | Riqueza (s) | 33 | 39 | 29 | 24 | 33 | 27 |
| jul-10 | Abundancia cel/L | 41650 | 48314 | 84966 | 174097 | 28638 | 33300 |
| | Diversidad Shannon | 3,5 | 3,7 | 3,2 | 3,2 | 3,1 | 3,0 |
| | Riqueza (s) | 14 | 15 | 15 | 19 | 18 | 19 |
| oct-10 | Abundancia cel/L | 162837 | 298035 | 233766 | 177156 | 239094 | 43956 |
| | Diversidad Shannon | 2,3 | 0,9 | 2,9 | 2,8 | 1,1 | 2,0 |
| | Riqueza (s) | 36 | 25 | 22 | 20 | 15 | 12 |

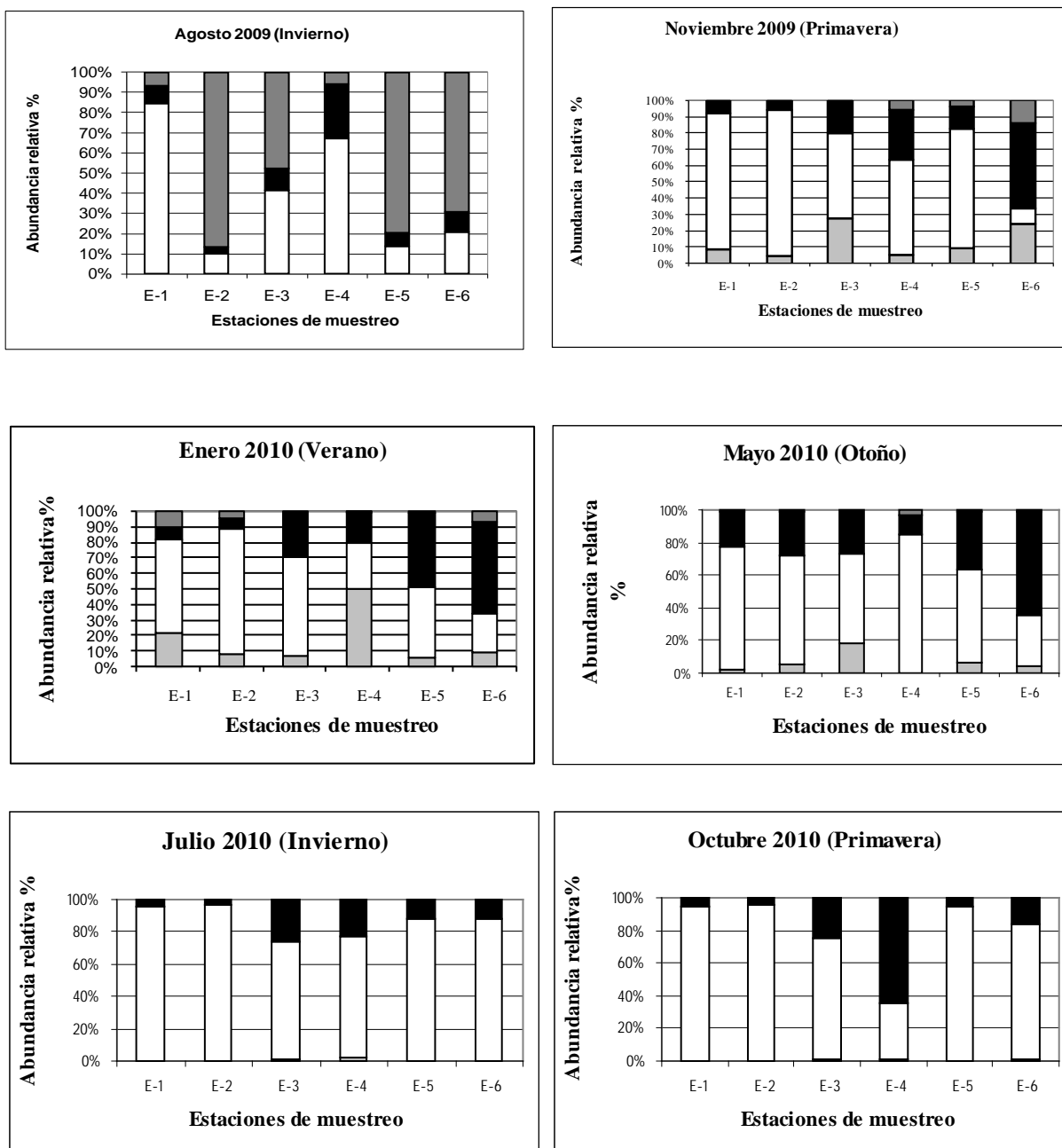


Figura 98: Abundancia relativa de los distintos grupos del fitoplancton por estación de muestreo y época el año. Chlorophyceae; Bacillariophyceae; Cyanophyceae, Otras (Crypthophyceae, Chrysophyceae, Dinophyceae).

Análisis de datos Biológicos

El ordenamiento por escalamiento multidimensional no paramétrico (nMDS) para las variables biológicas en los distintos meses del año, muestra que los datos de abundancia responden a un factor estacional, observando diferencias entre los meses. Sin embargo, este patrón no se cumple para los datos correspondientes al periodo de invierno del 2010, que se agrupan con los datos de primavera del 2010 (Figura 99).

El análisis de similitud (ANOSIM) $R=0,661$ ($p<0,001$), refuerza los resultados obtenidos en la representación gráfica del nMDS, mostrando diferencias significativas entre primavera de 2009, verano de 2010 y otoño de 2010, relacionando las abundancias de invierno y primavera de 2010 (Tabla 35).

Abundancia Fitoplancton

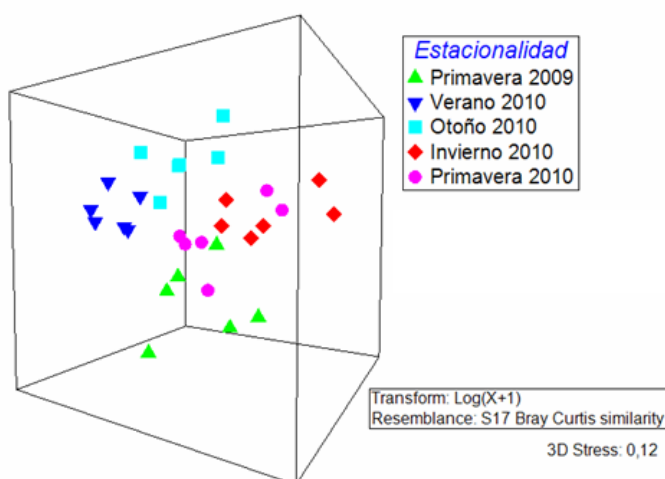


Figura 99: Análisis de ordenamiento por escalamiento multidimensional no paramétrico (nMDS), para la abundancia estacional del fitoplancton, empleando datos transformados a logaritmo y matriz de similitud Bray & Curtis.

El ordenamiento por escalamiento multidimensional no paramétrico (nMDS) para las variables biológicas en las distintas Cubetas del embalse Rapel, muestra que no existen diferencias entre estas, debido a que los datos de abundancia presentan el mismo agrupamiento. El análisis de similitud (ANOSIM) $R=0,19$ ($p<0,003$), respalda los resultados obtenidos en la representación gráfica de nMDS, no encontrando diferencias significativas de la abundancia entre las cubetas (Tabla 35).

Abundancia Fitoplancton

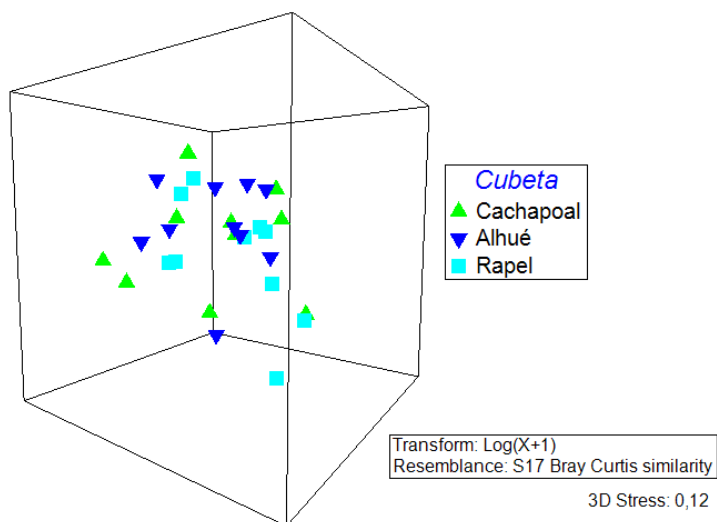


Figura 100: Análisis de ordenamiento por escalamiento multidimensional no paramétrico (nMDS), para la abundancia del fitoplancton por cubeta, empleando datos transformados a logaritmo y matriz de similitud Bray & Curtis.

Análisis de datos Ambientales

El nMDS para las variables físico-químicas de los distintos meses del año, muestran que los datos responden a un factor estacional, al igual que la abundancia del fitoplancton, observándose diferencias por época del año. Sin embargo, esto no se cumple para los datos correspondientes a la estación de invierno del 2010, que se agrupan con los datos de primavera del mismo año, lo que puede explicar que la abundancia del fitoplancton no presente diferencias durante estas dos estaciones (Figura 101).

El análisis de similitud (ANOSIM) $R=0,603$ ($p<0,001$) respalda los resultados obtenidos por la representación gráfica de nMDS, mostrando diferencias significativas entre las condiciones ambientales de las estaciones de primavera 2009, verano 2010 y otoño 2010, y la relación que existe entre los datos de invierno y primavera de 2010 (Tabla 35).

El nMDS para las variables físico-químicas de las distintas Cubetas del embalse, muestra una homogeneidad de datos ambientales dentro del Rapel, sin presentar diferencias entre las cubetas, esto debido a que los datos tienen el mismo agrupamiento representado gráficamente en el nMDS.

El análisis de similitud (ANOSIM) $R=0,117$ ($p=0,011$), muestra que no existen diferencias significativas de los datos ambientales entre las distintas cubetas del embalse Rapel (Tabla 35).

Parámetros físico-químicos

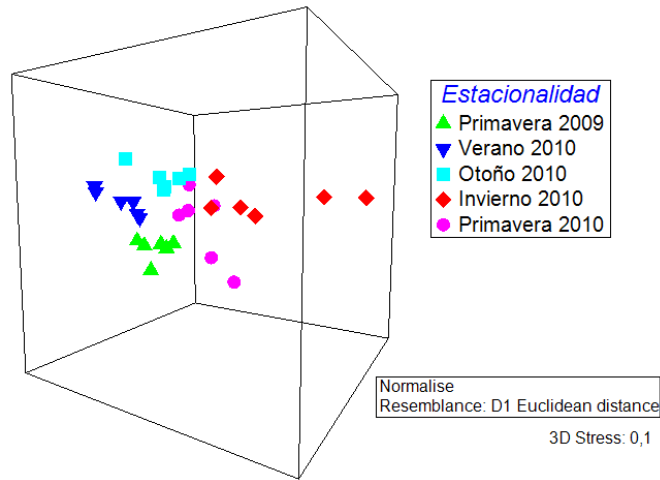


Figura 101: Análisis de ordenamiento por escalamiento multidimensional no paramétrico (nMDS), para las variables físico-químicas por estación anual, empleando los datos normalizados y el índice de distancia Euclidiana.

Parámetros físico-químicos

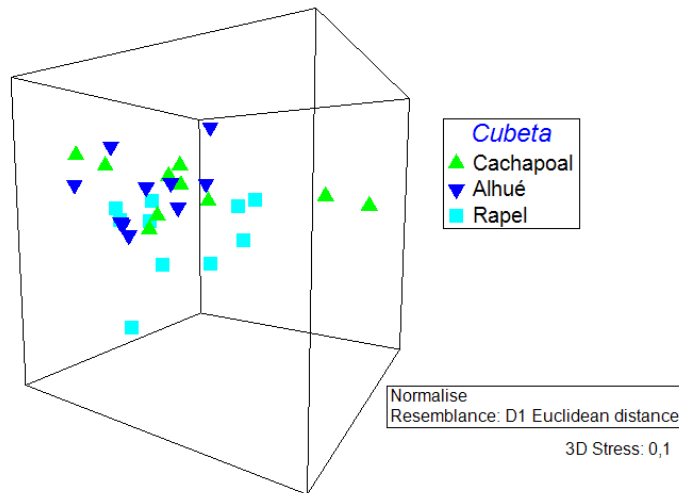


Figura 102: Análisis de ordenamiento por escalamiento multidimensional no paramétrico (nMDS), para las variables físico-químicas cubeta, empleando los datos normalizado y el índice de distancia Euclidiana.

Tabla 35: Análisis de similitud (ANOSIM) de variables ambientales y variables biológicas entre las distintas estaciones del año y entre las cubetas del embalse Rapel.

| Estaciones | Abundancia Fitoplancton | | Parámetros Físico-químico | |
|--------------------------------|-------------------------|---------|---------------------------|---------|
| | Test R | Valor p | Test R | Valor p |
| Primavera 2009, Verano 2010 | 0,811 | 0,002 | 0,648 | 0,002 |
| Primavera 2009, Otoño 2010 | 0,857 | 0,002 | 0,693 | 0,002 |
| Primavera 2009, Invierno 2010 | 0,585 | 0,002 | 0,567 | 0,002 |
| Primavera 2009, Primavera 2010 | 0,55 | 0,004 | 0,565 | 0,002 |
| Verano 2010, Otoño 2010 | 0,846 | 0,002 | 0,711 | 0,002 |
| Verano 2010, Invierno 2010 | 0,846 | 0,002 | 0,772 | 0,002 |
| Verano 2010, Primavera 2010 | 0,785 | 0,002 | 0,824 | 0,002 |
| Otoño 2010, Invierno 2010 | 0,561 | 0,002 | 0,556 | 0,002 |
| Otoño 2010, Primavera 2010 | 0,746 | 0,002 | 0,659 | 0,002 |
| Invierno 2010, Primavera 2010 | 0,363 | 0,006 | 0,333 | 0,009 |
| | Abundancia Fitoplancton | | Parámetros Físico químico | |
| Cubetas | Test R | Valor p | Test R | Valor p |
| Cachapoal, Alhué | 0,361 | 0,001 | 0,092 | 0,08 |
| Cachapoal, Rapel | 0,167 | 0,033 | 0,086 | 0,097 |
| Alhué, Rapel | 0,04 | 0,264 | 0,198 | 0,008 |

Dado que las diferencias en la abundancia del fitoplancton están dadas por un factor estacional y no por un factor de heterogeneidad espacial del embalse Rapel. El análisis de similitud porcentual SIMPER muestra las especies dominantes por estación del año, las que en este caso corresponden al grupo de Bacillariophyceae (Tabla 36).

Tabla 36: Porcentaje de contribución de especies por estación del año.

| Estación | Especie | Contribución % |
|----------------|--------------------------------|----------------|
| Primavera 2009 | <i>Cyclotella meneghiniana</i> | 23,17% |
| | <i>Microcystis aeruginosa</i> | 19,81% |
| Verano 2010 | <i>Aulacoseira granulata</i> | 8,65% |
| | <i>Nitzschia sp.</i> | 8,37% |
| Otoño 2010 | <i>Aulacoseira granulata</i> | 8,42% |
| | <i>Coelastrum microporum</i> | 7,13% |
| Invierno 2010 | <i>Aulacoseira granulata</i> | 14,45% |
| | Otras diatomeas penadas | 11,82% |
| Primavera 2010 | <i>Cyclotella meneghiniana</i> | 12,32% |
| | <i>Scenedesmus quadricauda</i> | 9,49% |

El análisis BEST, muestra las variables más importantes que influyen en la diferencia de la abundancia del fitoplancton existente entre las distintas estaciones del año, las cuales son pH, temperatura °C, conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$), transparencia (m) y Fósforo total (mg/L), con un valor de correlación de 0,634. Si bien la mayoría de las variables corresponde a parámetros físicos del agua, la que mejor explica las diferencias en la abundancia es el ortofosfato con un valor de correlación por si solo de 0,465 (Tabla 37).

Tabla 37: Variables ambientales que explican el patrón de abundancia del fitoplancton.

| N° de variables | R | Variables |
|-----------------|-------|---|
| 1. | 0,465 | Ortofosfato mg/L |
| 2. | 0,536 | Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$), Fósforo total mg/L |
| 3. | 0,591 | Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$), Fósforo total mg/L, Temperatura °C |
| 4. | 0,609 | Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$), Fósforo total mg/L, Temperatura °C, Transparencia m. |
| 5. | 0,634 | Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$), Fósforo total mg/L, Temperatura °C, Transparencia m, pH. |

2.7.1.4. Discusión

Las fluctuaciones en la abundancia de las algas dulceacuícolas y su distribución dependen de las características de los ecosistemas en los cuales se desarrollan (Margalef, 1983), como además de las condiciones climáticas, observándose diferentes asociaciones algales (Vila, *et al* 1987). En un cuerpo de agua podemos encontrar poblaciones de muchas especies que coexisten y se superponen, alcanzando una densidad máxima en puntos particulares del espacio o en diferentes momentos del tiempo, cuando las condiciones presentes se consideran óptimas, naturales o artificiales (Urrutia 2005), de esta manera se puede dar una aproximación sobre las condiciones que influyen en el fenómeno de floramientos algales en sistemas acuáticos, específicamente en el embalse Rapel, en el cual desde su creación hasta la actualidad, se han desarrollado intensas investigaciones (Martínez, 2003; Urrutia 2005; Vila, *et al* 1983; Vila, *et al* 2003).

En el presente estudio se reconoció un total de 113 taxa, destacando el predominio de las diatomeas seguido de las algas verdes. Las cyanophyceae, cryptophyceae, chrysophyceae y dinophyceae aparecen muy poco representadas. En comparación a estudios anteriores (Vila *et al.* 1987; Urrutia 2004) se encontró un mayor número de taxa en el embalse, en donde las especies más abundantes fueron *Aulacoseira granulata*, *Ciclotella meneghiniana*, *Nitzschia sp*, *Coelastrum microporum*, *Scenedesmus quadricauda*, dominancia compartida entre algas diatomeas y algas verdes.

Destaca la presencia de *A. granulata* debido a que es la especie con mayor abundancia durante las estaciones de verano, otoño e invierno. Solamente durante primavera decae su presencia, siendo *C. meneghiniana* la especie más abundante durante esta estación (Vila, *et al* 1983; Vila, *et al* 2003, Urrutia, 2004). Ambas microalgas son representantes de las diatomeas, reflejando la amplia dominancia de este grupo durante todo el año. Sólo durante primavera la abundancia de cianófitas, especificante *M. aeruginosa*, alcanzan un porcentaje significativo del 9,49% de contribución, pero siempre por debajo de *A. granulata*, factor contrastante dado las condiciones de eutroficación del embalse Rapel en donde las cianófitas están pobremente representadas.

En términos de abundancia, los resultados indican que no existen diferencias significativas entre las cubetas, lo que no es concordante con estudios previos (Martínez, 2003; Urrutia 2005). Estos muestran diferencias entre las cubetas del embalse, estableciendo un gradiente que va de cubeta Cachapoal - cubeta Alhué – cubeta Rapel, el que estaría determinado por la heterogeneidad espacial del embalse. Esto gatilla la respuesta diferencial de los ensambles planctónicos en las diferentes cubetas (Martínez, *et al* 2003). Sin embargo, el que no se registraran diferencias significativas de la abundancia entre las cubetas, se puede explicar por la baja variabilidad de las condiciones ambientales registradas, las que muestran una alta homogeneidad dentro del embalse en términos físico-químicos. El factor más importante que influye en la abundancia del fitoplancton corresponde al cambio estacional, siguiendo la sucesión clásica conocida para embalses o sistemas templados (Diatomeas-

Clorófitas- Cianófitas) (Vila *et al.*, 1987), mostrando el Rapel una amplia dominancia de diatomeas y pobre representación de cianófitas.

Los variables más importantes que modelan la abundancia de especies del fitoplancton corresponden en su mayoría a variables físicas, tales como transparencia, pH, temperatura y conductividad, sumándose a estas el fósforo total. Estos son semejantes a los resultados obtenidos por Martínez *et al* (2003), quien determinó que dichas variables explican la abundancia del fitoplancton. Sin embargo establece que son predictoras sólo de la cubeta Cachapoal, mientras que para las estaciones Alhué y la cubeta Rapel, la mayor variabilidad se debería a la concentración de compuestos nitrogenados. Esto indica la existencia de un control diferencial de la abundancia fitoplanctónica asociada a los diferentes sectores del embalse.

Esto último difiere de los resultados obtenidos en la presente investigación, dado que no se encontraron diferencias significativas de los parámetros registrados entre las cubetas, por lo que existirían un set de variables predictoras, destacando el ortofosfato por ser el que contribuye por si solo con un $R= 0,465$ (Tabla 37), el que muestra una alta correlación con el fósforo total, razón por la cual se indica a este nutriente en el set de variables que estaría modelando la abundancia total del fitoplancton del embalse.

De acuerdo a esto los fenómenos de florecimiento del fitoplancton en cierto punto se deberían a estos factores, sin embargo es necesario, dado que estos fenómenos son en la superficie de los sistemas, realizar estudios a futuro que involucren muestras para análisis cuantitativo del fitoplancton de esta zona, como además sumar mediciones de parámetros físico-químicos de este punto de la columna de agua, factores que podrían explicar la presencia de estos fenómenos en puntos específicos del embalse.

2.7.1.5 Conclusiones

En general la comunidad fitoplanctónica muestra en gran parte la misma estructura comunitaria que aquella descrita en estudios anteriores, ya sea en composición de especies como en densidades y patrones de abundancia relativa.

En cuanto a las abundancias, esta alcanza su mayor valor en la época estival (enero de 2010) en las tres cubetas, siendo la cubeta Alhué la que presenta los mayores valores. Los valores de las otras dos cubetas Rapel y Cachapoal son bastante similares.

En general, las especies más abundantes en el embalse corresponden fueron *Aulacoseira granulata*, *Ciclotella meneghiniana*, *Nitzschia sp*, *Coelastrum microporum*, *Scenedesmus quadricauda*, dominancia compartida entre algas diatomeas y algas verdes. *A. granulata* es la especie con mayor abundancia durante las estaciones de verano, otoño e invierno.

Los variables más importantes que modelan la abundancia de especies del fitoplancton corresponden a las siguientes variables física-químicas: transparencia, pH, temperatura, conductividad, y fósforo total.

La comunidad fitoplanctónica del Embalse Rapel, indica una clara condición de aguas eutróficas, al corresponder a ensamblajes dominados por diatomeas céntricas, algas chlorophyceae (particularmente Chlorococcales y algunos representantes de Desmidiaceae). Aún cuando siendo aguas de calidad eutrófica, el grupo de las algas cianofíceas están pobremente representadas, lo cual podría explicarse por las altas concentraciones de compuestos nitrogenados en la columna de agua.

2.7.2. Zooplancton

2.7.2.1 Introducción

Los componentes de la comunidad zooplanctónica son bioindicadores del estado de los ambientes pelágicos, es decir, viven suspendidos en la columna de agua y tienen una escasa capacidad de movimiento, desplazándose solo algunos centímetros a metros dentro de la columna de agua.

Su gran importancia radica en que son importantes consumidores de organismos de pequeño tamaño como fitoplancton o bacterias dentro de la zona pelágica, y a su vez son parte fundamental de la dieta de muchos peces pelágicos. Esta comunidad se encuentra conformada principalmente por Rotifera y dos subclases de Crustacea: Cladocera y Copepoda.

Revisión de la información

En Chile Central existe una serie de sistemas lénticos naturales y artificiales, caracterizados por su baja altura sobre el nivel del mar y una escasa profundidad. Esta zona en general, se caracteriza por la dominancia en biomasa del copépodo *Diaptomus diabolicus* (= *Tumeodiaptomus viviana*), que posee un gran rol ecológico en la estructuración de las comunidades pelágicas (Zuñiga 1975, Dussart 1979, Ramos et al. 1998, Ruiz & Bahamondes 2003). Al respecto, durante el año 2003, se realizaron muestreos estacionales de las comunidades zooplanctónicas en el embalse Rapel, en las tres cubetas.

Los resultados de este estudio mostraron que la comunidad zooplanctónica estuvo representada por 14 taxa, las cuales se resumen en la tabla 38. La mayor parte de las cuales fueron identificados a nivel de especie (71%). Del total de taxa, cinco fueron copépodos, un Diaptomidae (*Diaptomus diabolicus* Brehm, 1935) y cuatro Cyclopidae (*Mesocyclops longisetus* (Kiefer, 1929), *Metacyclops mendocinus* (Wierzejski, 1892), y dos copepoditos indeterminados). Los restantes grupos correspondieron a cladóceros pertenecientes a Sididae (*Diaphanostoma chilensis* (Daday, 1902)), Daphnidae (*Daphnia ambigua* Scourfield, 1947, *Ceriodaphnia dubia* Richard, 1894 y dos taxa indeterminados), Moinidae (*Moina micrura* (Kurz, 1874)), Bosminidae

(*Eubosmina hagmanni* (Stingelin, 1904) y Chydoridae (*Alona pulchella* King, 1853 y *Chydorus sphaericus* (O.F. Müller, 1785)). En este sentido, el embalse Rapel presenta una típica comunidad zooplanctónica observada en ecosistemas lénticos de Chile central, con dominancia del copépodo *Diaptomus diabolicus*. Espacialmente se observaron diferencias entre las cubetas Alhué y Rapel, con respecto a la cubeta Cachapoal, esta última es muy pobre en diversidad y abundancia.

Tabla 38: Composición del zooplancton en los tres sitios de muestreo del Embalse Rapel durante el estudio 2003.

| Orden - (Suborden) | Familia | Especie | |
|-----------------------|-------------|---|---|
| Copepoda | | | |
| - Calanoida | Diaptomidae | <i>Diaptomus diabolicus</i> Brehm, 1935 | |
| - Cyclopoida | Cyclopidae | <i>Mesocyclops longisetus</i> (Kiefer, 1929) <i>Metacyclops mendocinus</i> (Wierzejski, 1892) Copepodito tipo I Copepodito tipo II | |
| Cladocera | Sididae | <i>Diaphanostoma chilensis</i> (Daday, 1902) | |
| | Daphnidae | <i>Daphnia ambigua</i> Scourfield, 1947 <i>Ceriodaphnia dubia</i> Richard, 1894 Spec. Indet. I Spec. indet. II | |
| | Moinidae | <i>Moina micrura</i> (Kurz, 1874) | |
| | Bosminidae | <i>Eubosmina hagmanni</i> (Stingelin, 1904) | |
| | Chydoridae | | <i>Alona pulchella</i> King, 1853 <i>Chydorus sphaericus</i> (O.F. Müller, 1785) |

2.7.2.2 Metodología

El estudio se realizó mediante un primer muestreo exploratorio de tipo cualitativo fue realizado en julio de 2009 en las mismas del monitoreo de calidad del agua, donde se realizaron lances superficiales empleando una red de 55 µm de abertura de malla (Hydro-Bios). Las muestras fueron fijadas con alcohol 97% y transportadas al laboratorio para su revisión. Los organismos fueron identificados hasta la categoría taxonómica más baja posible, con el fin de una primera aproximación. Posteriormente se realizaron 5 muestreos de tipo cuantitativo para las fechas de noviembre de 2009, enero, mayo, julio y octubre de 2010.

En este caso, se filtró un volumen de 50 litros de agua subsuperficial y a 2 m de profundidad, mediante un filtro de 55 µm, igualmente las muestras fueron fijadas con alcohol al 97% y transportadas al laboratorio para su análisis. En laboratorio se tomaron submuestras y se procedió a la identificación y

cuantificación del número de individuos expresada en número de individuos L⁻¹, mediante un microscopio Carl Zeiss.

Para el análisis de las muestras, las abundancias absolutas fueron transformadas mediante raíz cuadrada y se obtuvo la matriz de similitud utilizando el índice de Bray Curtis (Clarke y Warwick 1994), para el análisis de clasificación se construyó un dendrograma de similitud utilizando ligamiento promedio no ponderado (Field et al 1982). Posteriormente se realizó un análisis de similitud (ANOSIM) entre todas las estaciones muestreadas con el fin de definir si hay diferencias significativas entre las zonas, en términos de abundancia de especies, considerando como factores de variación las fechas de muestreos, estaciones de muestreos y las cubetas donde se localizan las estaciones. Posteriormente se realizó un análisis de ordenación mediante escalamiento multidimensional no métrico (NMDS) (Ludwig y Reynolds 1988) en términos de abundancia de las estaciones por fechas de muestreos.

2.7.2.3 Resultados

En la Tabla 39 se resumen las taxa que fueron encontradas durante el muestreo de julio de 2009, donde es posible observar que la diversidad es más baja, no obstante, se encuentran en las 3 estaciones las taxa que fueron más abundante en los estudios anteriores como es *Diaptomus diabolicus* Brehm, 1935 y *Daphnia ambigua* Scourfield, 1947. Asimismo, se han encontrado en las tres cubetas la presencia de Rotífera, este Orden no fue señalado en los muestreos de 2003, probablemente por el tamaño de la red utilizada (250 µm) mientras que este estudio utilizó una red de 55 µm, que permitió registrar este grupo. Al respecto, el género *Brachionus* ha sido informado para el lago Rapel por Araya y Zuñiga (1985). También se observó presencia de Dinoflagelados (que no fueron incluidos en la lista como componentes del zooplancton).

Tabla 39: Composición del zooplancton en los tres sitios de muestreo del Embalse Rapel durante el estudio 2003, se entrega de manera comparativamente los resultados obtenidos en la primera revisión cualitativa de julio de 2009=(presencia, Estación 1= Cubeta Alhué, Estación 2= Cachapoal y Estación 3= Cubeta Rapel).

| Orden/Clase | Familia | Especie | Julio 09 Estación 1 | Julio 09 Estación 2 | Julio 09 Estación 3 |
|---------------------|--------------|--|------------------------|------------------------|------------------------|
| Copepoda | | | | | |
| -Calanoida | Diaptomidae | <i>Diaptomus diabolicus</i> Brehm, 1935 | √ | √ | √ |
| -Cyclopoida | Cyclopidae | <i>Mesocyclops longisetus</i> (Kiefer, 1929) | | | |
| | | <i>Metacyclops mendocinus</i> (Wierzejski, 1892) | | | |
| | | Copepodito tipo I | | | |
| | | Copepodito tipo II | | | |
| Cladocera | Sididae | <i>Diaphanostoma chilensis</i> (Daday, 1902) | | | |
| | Daphnidae | <i>Daphnia ambigua</i> Scourfield, 1947 | √ | √ | √ |
| | | <i>Ceriodaphnia dubia</i> Richard, 1894 | √ | | √ |
| | | Spec. Indet. I | | | |
| | | Spec. Indet. II | | | |
| | Moinidae | <i>Moina micrura</i> (Kurz, 1874) | √ | √ | √ |
| | Bosminidae | <i>Eubosmina hagmanni</i> (Stingelin, 1904) | | | |
| | Chydoridae | <i>Alona pulchella</i> King, 1853 | | | |
| | | <i>Chydorus sphaericus</i> (O.F. Müller, 1785) | | | |
| Rotifera (*) | Brachionidae | <i>Brachionus havanaensis</i> Rousselot 1911 | | | √ |
| | | <i>Brachionus</i> sp. | √ | √ | |

La Tabla 40 entrega los resultados del muestreo cuantitativo donde se registra un total de 26 y se observa que la cubeta del Cachapoal es la que presenta una mayor riqueza de especies en todos los muestreos, alcanzando hasta 17 taxa en el muestreo de julio (las dos estaciones), donde también mostró las menores dominancia (D) y las mayores diversidad (H') y equitatividad (J), siendo la misma estación la que presenta las mayores abundancias, especialmente en el mes de enero con más de 3300 ind. L^{-1} . Caso contrario es el sector hacia la cortina (cubeta Rapel), donde todos estos parámetros comunitarios disminuyen, registrándose sólo 6 y 5 especies en el mes de Enero.

En relación a los muestreos anteriores (2003), se observa una mayor diversidad, especialmente de formas pequeñas de Rotífera. Pero la diferencia más relevante guarda relación con que las diferencias entre cubetas, donde Cachapoal mostró las mayores abundancias y diversidad a diferencia del muestreo anterior.

Tabla 40: Composición y abundancia del zooplancton en las tres cubetas muestreadas del Embalse Rapel, obtenida en noviembre de 2009, enero, mayo, julio y octubre de 2010 (Estación 1 y 2= Cubeta Cachapoal, Estación 3 y 4 = Cubeta Alhue, Estación 5 y 6= Cubeta Rapel).

| Phyllum/Clase Orden | Familia | Taxa | 24-25 / 11 / 2009 | | | | | | 28-29 / 01 / 2010 | | | | | | 08 / 05 / 2010 | | | | | | 08 / 07 / 2010 | | | | | | 07-08 / 10 / 2010 | | | | | |
|---------------------|-----------------|--|-------------------|------|-------|------|-------|------|-------------------|------|-------|------|-------|------|----------------|------|-------|------|-------|------|----------------|------|-------|------|-------|------|-------------------|------|-------|------|-------|------|
| | | | Cachap | | Alhue | | Rapel | | Cachap | | Alhue | | Rapel | | Cachap | | Alhue | | Rapel | | Cachap | | Alhue | | Rapel | | Cachap | | Alhue | | Rapel | |
| Copepoda | | Nauplius | 493 | 543 | 343 | 163 | 680 | 363 | 173 | 507 | 17 | 17 | 383 | 93 | 8 | 27 | 9 | 3 | 86 | 75 | 10 | 25 | 114 | 132 | 78 | 277 | 50 | 117 | 141 | 59 | 121 | 83 |
| | Calanoida | Sp1 | 20 | 30 | 83 | 33 | 340 | 410 | 10 | 20 | 60 | 30 | 73 | 87 | 2 | 1 | | 1 | 2 | 1 | | | 135 | 179 | 26 | 83 | | 3 | 8 | 76 | 101 | 12 |
| | Cyclopoida | Sp2 | 43 | 17 | | | 30 | 0 | 40 | 87 | 3 | | 17 | 40 | 4 | | 1 | | 8 | 1 | 2 | 2 | 1 | 5 | 5 | 23 | 18 | 3 | | | 16 | 7 |
| Phyllopoda | Diplostraca | Bosminidae | 70 | 50 | | | 17 | 10 | 110 | 53 | 13 | 17 | 10 | 3 | 9 | 13 | 2 | 3 | 18 | 7 | 3 | 4 | 490 | 673 | 371 | 636 | 149 | 299 | 139 | 213 | 233 | 34 |
| | | Chydoridae | | | | | | | | | | | | | | | 1 | 4 | | | 1 | 3 | 7 | 31 | 2 | 6 | 6 | | | | 2 | |
| | | Daphniidae | | | | | | | | | | | | | | | | | 11 | 2 | | 1 | 93 | 63 | 173 | 128 | | 6 | 11 | 51 | 188 | 113 |
| | | Ceriodaphnia sp | 73 | | 197 | 440 | 297 | 147 | 13 | 43 | 47 | 20 | 163 | 283 | | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Daphnia sp | 13 | 37 | 50 | 57 | | 10 | | | | | 13 | 50 | | | | | | | | | 1 | | | | | 3 | | 15 | 14 | 11 |
| | | Filinia sp | 40 | | 113 | 13 | | | 50 | 90 | 30 | 10 | | | 2 | 3 | | | | | | | | | | | 3 | 4 | | | | |
| Rotifera | Flosculariaceae | Trochosphaeridae | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Asplanchnidae | | | | | | | | | | | | | | 3 | 1 | 6 | | | 1 | | 1 | | 3 | | 19 | 13 | 9 | 5 | 12 | 10 |
| | Ploima | Brachionidae | 13 | 10 | | | | | 3 | | | | | | 2 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Brachionus austrogenitus (Ahlstrom, 1940) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Brachionus calyciflorus (Pallas, 1766) | 243 | 90 | 323 | 567 | | | 353 | 187 | 30 | 73 | 140 | 103 | 5 | | | | | | 1 | | 1 | | 2 | | 62 | 21 | 3 | | | |
| | | Brachionus havanaensis (Rousselet, 1911) | | | 27 | | | | | 3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Brachionus plicatilis (Müller, 1786) | | | | | | | | | | | | | | 1 | | | | 1 | 1 | 4 | | | 3 | 1 | 2 | | | | | |
| | | Brachionus quadridentatus (Hermann, 1783y) | | | | | | | | | | | | | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Platyas sp | | | | | | | 70 | 37 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Keratella cochlearis (Gosse, 1851) | 500 | 150 | 7 | 53 | 17 | | 2013 | 1483 | 47 | 10 | 53 | 20 | 181 | 219 | 11 | 67 | 11 | 18 | 4 | 53 | 25 | 4 | 49 | 161 | 5 | 38 | 21 | 3 | 77 | 21 |
| | | Keratella tecta (Gosse, 1851) | | | | | | | 553 | 740 | | 133 | | | 135 | 151 | 35 | 143 | 104 | 108 | 5 | 36 | 55 | 93 | 154 | 611 | | 6 | 7 | | 2 | 8 |
| | | Keratella tropica (Apstein, 1907) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 2 | 2 | | | 3 | 1 | | | | | | |
| | | Keratella valga (Ehrenberg, 1834) | 393 | 767 | 17 | | | | | | | | | | 1 | | | | 1 | 2 | | | | | 1 | | | | | | | |
| | Lecanidae | Lecane sp | | | | | | | | | | | | | 3 | 1 | | | | | 2 | 2 | | | | | | | | | | |
| | Lepadellidae | Lepadella sp | | | | | | | | | | | | | 38 | 1 | | | | | 2 | 4 | | | | | | | | | | |
| | Mytilinidae | Mytilina sp | | | | | | | | | | | | | 2 | 1 | | | | | 1 | 2 | | | | | | | | | | |
| | Synchaetidae | Polyarthra sp | | | | | | | | | | | | | 192 | 307 | 240 | 217 | 410 | 143 | 8 | 31 | 33 | 44 | 57 | 166 | 2 | 5 | | | | 2 |
| | Synchaetidae | Synchaeta sp | | | | | | | 3 | | | | | | 47 | | | 1 | 15 | 3 | 14 | 53 | 43 | | 404 | 194 | | | 5 | | | |
| | Trichocercidae | Trichocerca sp | | | | | | | 13 | 80 | | | | | 1 | | | | | | | | 1 | | | | | | | | | |
| | | Indice de Riqueza específica (S) | 11 | 10 | 8 | 7 | 6 | 5 | 12 | 13 | 8 | 8 | 8 | 8 | 17 | 14 | 8 | 9 | 10 | 11 | 17 | 17 | 13 | 9 | 15 | 12 | 10 | 12 | 9 | 7 | 10 | 10 |
| | | Abundancia total (Ind/L) | 1903 | 1720 | 1133 | 1327 | 1380 | 940 | 3403 | 3333 | 247 | 310 | 853 | 680 | 631 | 728 | 300 | 445 | 666 | 361 | 56 | 222 | 999 | 1224 | 1327 | 2286 | 313 | 519 | 343 | 423 | 763 | 303 |
| | | Dominancia (D) | 0,20 | 0,31 | 0,22 | 0,31 | 0,35 | 0,36 | 0,39 | 0,28 | 0,17 | 0,26 | 0,28 | 0,24 | 0,23 | 0,31 | 0,66 | 0,36 | 0,42 | 0,29 | 0,14 | 0,17 | 0,29 | 0,35 | 0,21 | 0,19 | 0,30 | 0,39 | 0,34 | 0,32 | 0,21 | 0,24 |
| | | Indice de Diversidad de Shannon (H') | 1,82 | 1,49 | 1,68 | 1,39 | 1,21 | 1,12 | 1,37 | 1,64 | 1,88 | 1,64 | 1,55 | 1,67 | 1,72 | 1,34 | 0,75 | 1,20 | 1,25 | 1,43 | 2,30 | 1,99 | 1,65 | 1,45 | 1,81 | 1,90 | 1,53 | 1,35 | 1,38 | 1,39 | 1,75 | 1,74 |
| | | Equitatividad (J') | 0,76 | 0,65 | 0,81 | 0,71 | 0,68 | 0,69 | 0,55 | 0,64 | 0,91 | 0,79 | 0,75 | 0,81 | 0,61 | 0,51 | 0,36 | 0,54 | 0,54 | 0,59 | 0,81 | 0,70 | 0,64 | 0,66 | 0,67 | 0,76 | 0,66 | 0,54 | 0,63 | 0,72 | 0,76 | 0,75 |

En la Figura 103 se muestra un cluster de similitud obtenido utilizando la abundancia de los taxa y el índice de Bray & Curtis, en el se observa que existen tres grupos principales que diferencian las tres cubetas, mientras que las estaciones internas actúan como réplicas con una similitud superior al 70 %. No obstante, los 3 grupos presentan una similitud superior al 50 %, mostrando que existiría una fauna zooplanctónica muy homogénea en el sistema.

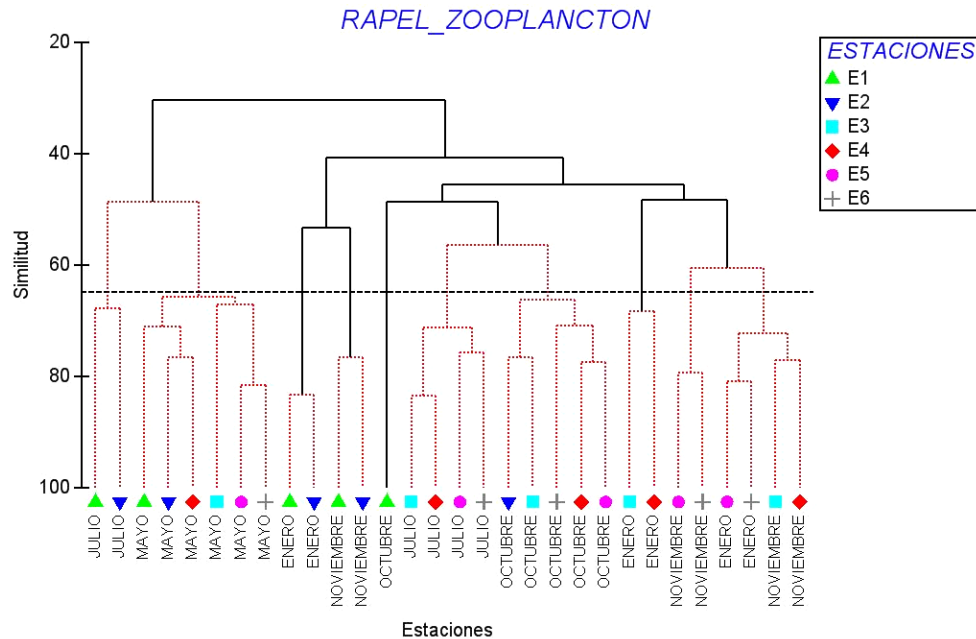


Figura 103: Cluster de similitud utilizando el índice de Bray & Curtis, para los 6 muestreos y utilizando las abundancias de las 6 estaciones evaluadas.

Estos resultados tendientes a una aparente homogeneidad del sistema, mientras que los valores de los parámetros comunitarios y las observaciones de los muestreos preliminares que había mostrado diferencias entre las cubetas, indicaron la necesidad de realizar un análisis de similitud (anosim) para identificar cuales eran los factores que incidían en el comportamiento observado. En este sentido la Figura 104 muestra que las fechas de muestreo (4a) inciden en las diferencias ($R= 0,68$; $NS= 0,1\%$), mientras que al considerar las estaciones o las cubetas (4 b y c), no se observaron diferencias significativas con ($R=0,03$; $NS= 62\%$ y $R=0,12$; $NS=3\%$). Siguiendo estos resultados, se realizó un análisis de ordenación NMDS (Figura 105), donde el diagrama reúne un grupo de primavera-verano (noviembre-enero) y otro de otoño-invierno (mayo-julio), localizando el mes de octubre en el medio de ambos.

Con esta información se analizaron los datos independientes por fechas de muestreos, los cuales se muestran en la Figura 106, donde es posible observar claramente que para los muestreos de noviembre, enero y julio, todas las cubetas son diferentes, agrupando siempre las estaciones E1 - E2; E3 - E4 y E5 - E6, mientras que mayo tiende a homogenizar el sistema (primeras lluvias) donde las estaciones E3 y E4 que recibe aportes de las otras dos cubetas se asemeja al grupo E1-E2 y E4-E5, respectivamente. Esto tiende a ordenarse nuevamente en julio (no significativamente) y retoma la homogenización en octubre. Estos resultados muestran que el sistema es fuertemente dependiente de aporte del Cachapoal, el cual homogeniza el sistema en invierno, asociado probablemente a eventos de lluvias que arrastran la masa de agua hacia la cortina.

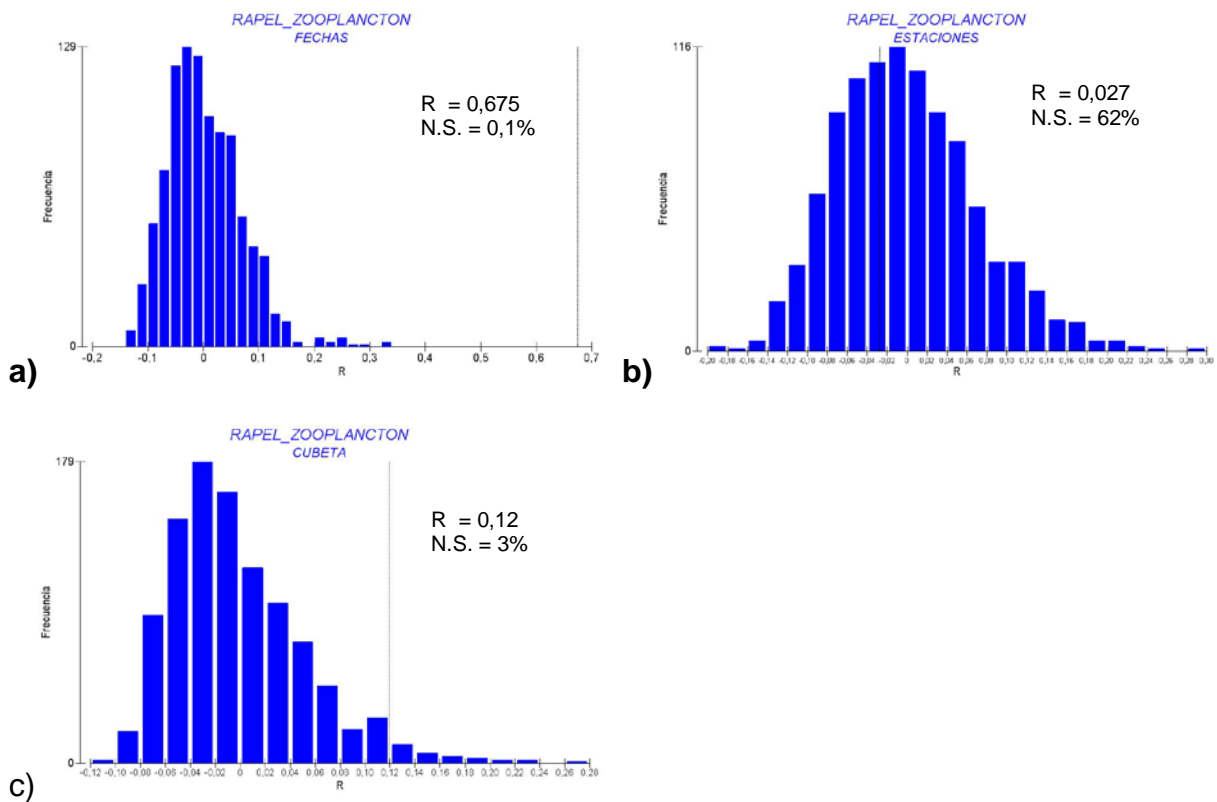


Figura 104: Análisis de Similitud (Anosim) a) fechas, b) estaciones y c) cubetas, considerando los 5 muestreos realizados y utilizando las abundancias de las 6 estaciones evaluadas.

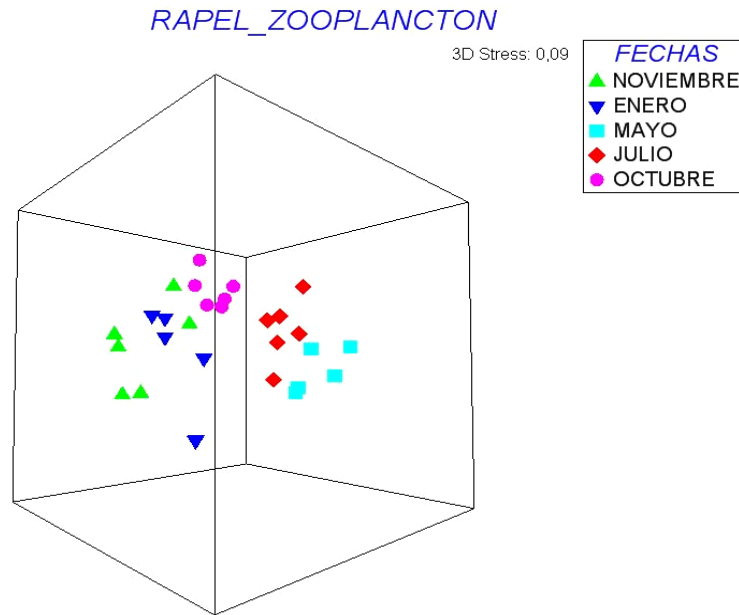


Figura 105: Gráfico del análisis de ordenación mediante escalamiento multidimensional no métrico (NMDS), en términos de abundancia de las estaciones por fechas de muestreos.



Figura 106: Cluster de similitud utilizando el índice de Bray & Curtis, para los 5 muestreos realizados y utilizando las abundancias de las 6 estaciones evaluadas.

2.7.2.4 Conclusión

El embalse Rapel presenta una típica comunidad zooplanctónica observada en ecosistemas lénticos de Chile central. Los diversos muestreos mostraron que existen diferencias entre el componente zooplanctónico de las tres cubetas, siendo siempre la más diversa la cubeta Cachapoal. No obstante, el sistema tiende a una homogenización en periodos de invierno, donde al parecer los eventos de lluvia invernales son relevantes en este proceso. Al respecto, es importante indicar que el estudio de 2003 mostró a la cubeta Cachapoal como la menos diversa, probablemente asociado al tamaño de la red, puesto que en el actual estudio aparecen variados morfos de Rotíferos que por su menor tamaño no fueron registrados en el estudio anterior.

2.7.3 Bioensayos de toxicidad

2.7.3.1 Metodología

Se determinó la toxicidad del agua del embalse (brazo Alhué, brazo Cachapoal y brazo Cortina) y tributarios que llegan al embalse, mediante la realización de bioensayos de toxicidad aguda y crónica con *D. magna* durante los meses de noviembre de 2009, mayo y octubre de 2010. Los organismos fueron sometidos a cinco concentraciones (series geométricas de 100, 50, 25, 12,5 y 6,25 %) de las muestras de agua más un control con agua de dilución. Las metodologías y técnicas utilizadas en el presente estudio son las propuestas por la Norma Chilena Oficial, la U.S.EPA (1991, 1993) y por la ASTM (1987).

2.7.3.2 Resultados de Toxicidad Aguda.

En la Tabla 41 se presentan los resultados parciales de los bioensayos de toxicidad aguda para las muestras de los tributarios y las muestras del embalse, durante el mes de noviembre de 2009, en donde es posible apreciar que ninguna de las estaciones analizadas presentó toxicidad aguda (LC_{50}) a las 24 y 48 horas de exposición. Sin embargo en la muestras E-4 y E-5 se registró mortalidad en el tratamiento sin dilución (100%) de 15% y 25%, respectivamente.

Tabla 41: (a) Resultados de los bioensayos de toxicidad aguda con *D. magna*, para las muestras de los tributarios (R-1, R-2, R-3, R-4, R-5, R-6 y R-7) del río Rapel y (b) para las muestras del embalse (E-1, E-2, E-3, E-4, E-5 y E-6) durante el mes de noviembre de 2009.

(a)

| Parámetros | Unidad | Estaciones | | | | | | |
|----------------------------------|--------|------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | | R-1 | R-2 | R-3 | R-4 | R-5 | R-6 | R-7 |
| Toxicidad aguda 24 h LC_{50} . | % | N.D | N.D | N.D | N.D | N.D | N.D | N.D |
| Toxicidad aguda 48 h LC_{50} . | % | N.D | N.D | N.D | N.D | N.D | N.D | N.D |

N.D = No Detectado.

(b)

| Parámetros | Unidad | Estaciones | | | | | |
|----------------------------------|--------|------------|-----|-----|-----|-----|-----|
| | | E-1 | E-2 | E-3 | E-4 | E-5 | E-6 |
| Toxicidad aguda 24 h LC_{50} . | % | N.D | N.D | N.D | N.D | N.D | N.D |
| Toxicidad aguda 48 h LC_{50} . | % | N.D | N.D | N.D | N.D | N.D | N.D |

N.D = No Detectado.

Durante el mes de mayo de 2010, los ensayos realizados con *D. magna* no registraron toxicidad aguda (LC_{50}) a las 24 y 48 horas de exposición, tanto para las muestras de los tributarios como del embalse. La estación R-2 no fue realizada ya que el estero Alhué no presentaba caudal. Los resultados se presentan en la Tabla 42.

Tabla 42: (a) Resultados de los bioensayos de toxicidad aguda con *D. magna*, para las muestras de los tributarios (R-1, R-2, R-3, R-4, R-5, R-6 y R-7) del río Rapel y (b) para las muestras del embalse (E-1, E-2, E-3, E-4, E-5 y E-6) durante el mes de mayo de 2010.

(a)

| Parámetros | Unidad | Estaciones | | | | | | |
|----------------------------------|--------|------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | | R-1 | R-2 | R-3 | R-4 | R-5 | R-6 | R-7 |
| Toxicidad aguda 24 h LC_{50} . | % | N.D | --- | N.D | N.D | N.D | N.D | N.D |
| Toxicidad aguda 48 h LC_{50} . | % | N.D | --- | N.D | N.D | N.D | N.D | N.D |

N.D = No Detectado.

(b)

| Parámetros | Unidad | Estaciones | | | | | |
|---|--------|------------|-----|-----|-----|-----|-----|
| | | E-1 | E-2 | E-3 | E-4 | E-5 | E-6 |
| Toxicidad aguda 24 h LC ₅₀ . | % | N.D | N.D | N.D | N.D | N.D | N.D |
| Toxicidad aguda 48 h LC ₅₀ . | % | N.D | N.D | N.D | N.D | N.D | N.D |

N.D = No Detectado.

Los ensayos realizados con *D. magna* durante el mes de octubre de 2010, fueron realizados sólo para las muestras de los tributarios y éstas no registraron toxicidad aguda (LC₅₀) a las 24 y 48 horas de exposición. Los resultados se presentan en la Tabla 43.

Tabla 43: Resultados de los bioensayos de toxicidad aguda con *D. magna*, para las muestras de los tributarios (R-1, R-2, R-3, R-4, R-5, R-6 y R-7) del río Rapel durante el mes de octubre de 2010.

| Parámetros | Unidad | Estaciones | | | | | | |
|---|--------|------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | | R-1 | R-2 | R-3 | R-4 | R-5 | R-6 | R-7 |
| Toxicidad aguda 24 h LC ₅₀ . | % | N.D | N.D | N.D | N.D | N.D | N.D | N.D |
| Toxicidad aguda 48 h LC ₅₀ . | % | N.D | N.D | N.D | N.D | N.D | N.D | N.D |

N.D = No Detectado.

2.7.3.3 Resultados de Toxicidad Crónica.

Daphnia magna

Las concentraciones utilizadas para la realización de los bioensayos de toxicidad crónica durante el mes de noviembre de 2009, fueron definidas una vez obtenidos los LC₅₀ del ensayo agudo; como no se detectó toxicidad aguda a las 24 y 48 horas de exposición, se decidió trabajar con las concentraciones al 100% y 50%. Los ensayos de toxicidad crónica para *D. magna*, de 21 días de exposición no presentaron toxicidad en la mayoría de las muestras, debido a que no existen diferencias estadísticamente significativas entre el nivel reproductivo de *D. magna* expuesto a las condiciones del control de laboratorio (control) y las muestras (Tabla 44). Sin embargo, las muestras provenientes de las estaciones E-2, E-4, R-4 y R-5 registraron toxicidad crónica al 100%, por lo tanto, se determinó un NOEC (concentración a la cual no se observa un efecto) de 50% y un LOEC (concentración mínima a la cual se observa un efecto) de 100% para las cuatro muestras mencionadas. A continuación se entregan los resultados correspondientes a los bioensayos crónicos con *D. magna* durante el mes de noviembre de 2009.

Tabla 44: Valores promedio de neonatos producidos por *D. magna*, desviación estándar, varianza y valor t del test de Dunnett a los 21 días de exposición durante el mes de noviembre de 2009.

| Muestra | n | Promedio | SD | Varianza | Valor t (Test de Dunnett) |
|-------------|----|----------|-----|----------|------------------------------|
| Control | 10 | 55.0 | 1.7 | 3.1 | / |
| Control | 10 | 55.5 | 1.9 | 3.61 | / |
| R-1(100 %) | 10 | 57.7 | 3.9 | 15.3 | -1.146 |
| R-1(50 %) | 10 | 54.9 | 3.1 | 9.8 | 0.458 |
| R-2 (100%) | 10 | 56.0 | 1.6 | 2.6 | -0.466 |
| R-2 (50%) | 10 | 55.8 | 2.3 | 1.9 | -1.099 |
| R-3 (100 %) | 10 | 56.5 | 3.4 | 11.8 | -2.062 |
| R-3 (50 %) | 10 | 54.4 | 1.7 | 3.1 | 0.076 |
| R-4 (100%) | 10 | 59.2 | 2.8 | 8.2 | -3.452 * |
| R-4 (50%) | 10 | 53.9 | 2.0 | 4.3 | 2.359 |
| R-5 (100%) | 10 | 62.1 | 3.0 | 9.2 | -6.158 * |
| R-5 (50%) | 10 | 54.1 | 2.1 | 4.4 | 3.505 |
| R-6 (100 %) | 10 | 57.7 | 3.4 | 12.2 | -2.062 |
| R-6 (50 %) | 10 | 56.2 | 2.2 | 5.0 | -0.917 |
| R-7 (100%) | 10 | 56.8 | 3.3 | 11.2 | -1.213 |
| R-7 (50%) | 10 | 57.1 | 1.5 | 2.5 | -1.493 |
| E-1 (100%) | 10 | 58.3 | 2.4 | 5.7 | -2.521 |
| E-1 (50%) | 10 | 55.6 | 3.2 | 10.7 | -0.458 |
| E-2 (100%) | 10 | 62.3 | 1.5 | 2.45 | -6.707 * |
| E-2 (50%) | 10 | 56.6 | 1.8 | 3.6 | -0.973 |
| E-3 (100%) | 10 | 57.5 | 2.9 | 8.72 | -2.297 |
| E-3 (50%) | 10 | 57.2 | 3.4 | 11.7 | -2.021 |
| E-4 (100%) | 10 | 59.7 | 3.3 | 11.3 | -3.494 * |
| E-4 (50%) | 10 | 56.2 | 2.6 | 2.9 | -0.875 |
| E-5 (100%) | 10 | 57.6 | 3.1 | 10.0 | -1.747 |
| E-5 (50%) | 10 | 58.3 | 2.5 | 6.4 | -2.329 |
| E-6 (100%) | 10 | 55.2 | 2.3 | 5.5 | 0.250 |
| E-6 (50%) | 10 | 57.4 | 2.5 | 6.7 | -1.581 |

Valor de tabla Dunnett = 2,67 ($p = 0,05$)

(*): Se observa diferencia significativa de la muestra respecto al control.

Durante el mes de Mayo de 2010 se realizaron los ensayos de toxicidad crónica con *D. magna* para las muestras R-4, R-5, E-2 y E-4, que en los ensayos realizados en el mes de noviembre de 2009 registraron toxicidad crónica, las concentraciones utilizadas para la realización de los bioensayos de toxicidad crónica, fueron definidas una vez obtenidos los LC_{50} del ensayo agudo, se decidió trabajar con las concentraciones al 100%, 50% y 25% para las muestras E-2, E-4, R-4 Durazno y R-5 Cachapoal. Los resultados se presentan en la Tabla 26 y en esta oportunidad no se registró toxicidad crónica a los 21 días de exposición, por lo que es posible suponer que la toxicidad crónica registrada en noviembre de 2009 pudo obedecer a un evento puntual de contaminación, que no se mantuvo en el tiempo.

Tabla 45: Valores promedio de neonatos producidos por *D. magna*, desviación estándar, varianza y valor t del test de Dunnett a los 21 días de exposición durante el mes de Mayo de 2010.

| Muestra | n | Promedio | SD | Varianza | Valor t (Test de Dunnett) |
|------------|----|----------|------|----------|---------------------------|
| Control | 10 | 69,9 | 1,37 | 1,87 | / |
| E-2 (100%) | 10 | 69,7 | 1,33 | 1,78 | 0,289 |
| E-2 (50%) | 10 | 69,6 | 1,57 | 2,48 | 0,434 |
| E-2 (25%) | 10 | 69,5 | 1,50 | 2,27 | 0,579 |
| E-4 (100%) | 10 | 69,7 | 1,25 | 1,56 | 0,289 |
| E-4 (50%) | 10 | 69,6 | 1,95 | 3,82 | 0,434 |
| E-4 (25%) | 10 | 70,3 | 1,70 | 2,90 | -0,579 |
| R-4 (100%) | 10 | 69,3 | 1,56 | 2,45 | 0,882 |
| R-4 (50%) | 10 | 69,8 | 1,13 | 1,28 | 0,147 |
| R-4 (25%) | 10 | 69,9 | 1,19 | 1,43 | 0,000 |
| R-5 (100%) | 10 | 69,6 | 2,06 | 4,26 | 0,441 |
| R-5 (50%) | 10 | 69,2 | 1,54 | 2,40 | 1,029 |
| R-5 (25%) | 10 | 69,6 | 1,57 | 2,48 | 0,441 |

Valor de tabla Dunnett = 2,64 (p = 0,05)

Selenastrum capricornutum

Los bioensayos de *S. capricornutum* correspondientes al monitoreo de noviembre de 2009 de las estaciones ubicadas en el embalse (E-1, E-2, E-3, E-4, E-5 y E-6), indican que no hubo inhibición de la tasa de crecimiento en ninguna de las muestras ensayadas, por el contrario, hubo una leve estimulación del crecimiento poblacional que en las muestras E-1, E-2 y E-3 es significativamente superior al control (ANOVA-Tuckey, $p < 0,05$) con valores de 9, 11 y 8 % respectivamente (Tabla 45).

Tabla 46: Densidad celular (N (células ml⁻¹ x10⁵), tasa de crecimiento absoluta (k div.día⁻¹) y relativa (% k del control) y % de inhibición y de activación de la tasa de crecimiento de *Selenastrum capricornutum*, en las muestra de agua ensayada al 50 y 100% de su concentración durante el mes de noviembre 2009.

| Tratamiento (% de concentración de la muestra) | Réplica | N (células ml ⁻¹) X 10 ⁵ | k div.día ⁻¹ | % k | % inhibición de k | % activación de k |
|---|---------|--|-------------------------|--------------|-------------------|-------------------|
| Control | 1 | 2,27 | | | | |
| | 2 | 2,02 | | | | |
| | 3 | 2,11 | | | | |
| Promedio | | 2,13 | 1,47 | 100 | 0 | 0 |
| RAPEL E-1 100% | 1 | 2,88 | | | | |
| | 2 | 3,04 | | | | |
| | 3 | 2,25 | | | | |
| Promedio | | 2,72 | 1,59 | 108,1 | 0 | 9,2 |
| RAPEL E-1 50% | 1 | 2,00 | | | | |
| | 2 | 2,20 | | | | |
| | 3 | 2,24 | | | | |
| Promedio | | 2,15 | 1,48 | 100,0 | 0 | 4,3 |
| RAPEL E-2 100% | 1 | 3,00 | | | | |
| | 2 | 3,26 | | | | |
| | 3 | 2,87 | | | | |
| Promedio | | 3,04 | 1,64 | 111,6 | 0 | 11,6 |
| RAPEL E-2 50% | 1 | 2,15 | | | | |
| | 2 | 2,25 | | | | |
| | 3 | 2,23 | | | | |
| Promedio | | 2,21 | 1,49 | 101,4 | 0 | 1,4 |
| RAPEL E-3 100% | 1 | 2,60 | | | | |
| | 2 | 2,81 | | | | |
| | 3 | 2,90 | | | | |
| Promedio | | 2,77 | 1,59 | 108,2 | 0 | 8,2 |
| RAPEL E-3 50% | 1 | 2,32 | | | | |
| | 2 | 2,74 | | | | |
| | 3 | 2,68 | | | | |
| Promedio | | 2,58 | 1,56 | 106,1 | 0 | 6,1 |

2.7.3.4 Conclusiones

Los ensayos realizados con *D. magna* durante los meses noviembre de 2009, Mayo y Octubre de 2010, no registraron toxicidad aguda (LC₅₀) a las 24 y 48 horas de exposición, para las muestras de los tributarios. La estación R-2 durante le mes de Mayo no fue realizada, ya que el estero Alhué no presentaba caudal. Las muestras del embalse analizadas en los meses de Noviembre de 2009 y Mayo de 2010 no registraron toxicidad aguda.

Los ensayos de toxicidad crónica con *D. magna* durante el mes de noviembre de 2009 registraron diferencias significativas respecto al control de laboratorio para las

muestras R-4, R-5, E-2 y E-4, sin embargo en los ensayos realizados en el mes de Mayo de 2010 no presentaron toxicidad crónica a los 21 días de exposición. Los ensayos realizados durante el mes de noviembre de 2009 con *S. capricornotum* indican que no hubo toxicidad crónica en ninguna de las muestras ensayadas del embalse, por el contrario, se observó una leve estimulación del crecimiento poblacional en algunas muestras, debido probablemente a las altas concentraciones de nutrientes presentes en las muestras de agua.

3 PLAN DE GESTIÓN EMBALSE RAPEL

3.1 Introducción

El embalse Rapel, fue creado en el año 1968 para la generación de energía hidroeléctrica, alimentando a la central que lleva su mismo nombre. Hoy en día, el embalse es conocido principalmente, por los atractivos turísticos y recreacionales que otorga a miles de turistas que llegan a este lugar, mayoritariamente en época estival, convirtiéndose en un polo de desarrollo social en la región del Libertador Bernardo O'Higgins.

Los usos turísticos y recreacionales que actualmente se realizan en el embalse, usualmente, no entran en conflicto con el uso hidroeléctrico. Sin embargo, existen excepciones, durante periodos de sequía, el nivel del embalse baja considerablemente, haciendo dificultoso las actividades recreativas en el espejo de agua.

En la actualidad el embalse Rapel presenta serios problemas de contaminación, correspondiendo a una condición de salud ecológica grave y extrema de **eutrofización**. Esta condición se traduce en elevadas concentraciones de materia orgánica y nutrientes, especialmente fósforo y nitrógeno, tanto en masa de agua como en sus sedimentos, que bajo determinadas condiciones ambientales (meteorológicas, hidrológicas y ecológicas), posibilita el desarrollo de eventos ecológicos extremos, entre otros: (1) crecimiento explosivo de microalgas tóxicas (Parra *et al.*, 1980, 1986), (2) disminución de las concentraciones de oxígeno disuelto en la columna de agua, (3) incremento de la concentración de algunos iones disueltos como amonio (EULA, 2009). Estos eventos o una combinación de ellos, pueden afectar a parte de la biota residente en el cuerpo de agua y producir, por ejemplo, la mortandad masiva de peces.

El origen de la materia orgánica y los nutrientes, provienen de actividades antrópicas (como agricultura, agroindustrias, crianza y faenamiento de animales, entre otras), que se realizan en la cuenca de drenaje y llegan al embalse por diversos procesos, principalmente como contaminación difusa. Por otro lado, los asentamientos humanos, que no poseen un adecuado tratamiento de sus aguas servidas, aportan de igual manera a la eutrofización del embalse.

La condición de eutrofización del embalse, genera diversos impactos negativos, principalmente en el rubro turístico y la comunidad que vive en torno a este, ya que su deterioro ambiental, está directamente relacionado con la pérdida del atractivo turístico y por ende, con la disminución de la demanda de visitantes al lugar, reduciendo la economía del sector. Esta condición se podría revertir si se lograra disminuir el grado de eutrofización del embalse, llevándolo a una mejor calidad de agua (estado mesotrófico).

A lo largo del tiempo, se han desarrollado diversas investigaciones con el fin de estudiar la contaminación del embalse, sin embargo, éstas no han sido utilizadas como herramientas de gestión para dar una mejora a la calidad del agua, a objeto de mantener en el tiempo, los beneficios económico y sociales que este lugar otorga a las comunidades.

Con el propósito de mejorar la calidad de agua del embalse y minimizar todos los impactos ambientales que ello conlleva, se hace necesaria la implementación de un plan de gestión ambiental, el cual busca maximizar el beneficio social que otorga el embalse Rapel, a través de la mejora de la calidad de sus aguas.

Es importante destacar, que el plan de gestión que se mostrará a continuación, se basa en la información obtenida a través del diagnóstico ambiental (capítulos precedentes) y de la participación ciudadana. Los procesos participativos organizados, permiten que las comunidades locales, tengan la oportunidad de plantear sus expectativas y colaborar con el logro de los productos a alcanzar con la implementación de un plan de gestión.

En la Figura 107 se muestra la guía metodológica utilizada para la elaboración del presente plan de gestión, en la que es posible apreciar la secuencia de decisiones que se deben adoptar para gestionar el recurso agua en lagos o embalses. Es importante señalar que la selección final de la estrategia más apropiada para el control de la eutroficación deberá pasar por un análisis múltiple basado en los aspectos sociales, técnicos, económicos y ecológicos relevantes. También es importante establecer un programa de seguimiento para evaluar el grado de efectividad de las medidas implementadas.

Se debe mencionar, que el presente informe es un documento técnico, que direcciona la planificación y gestión ambiental del embalse Rapel y su área de drenaje.

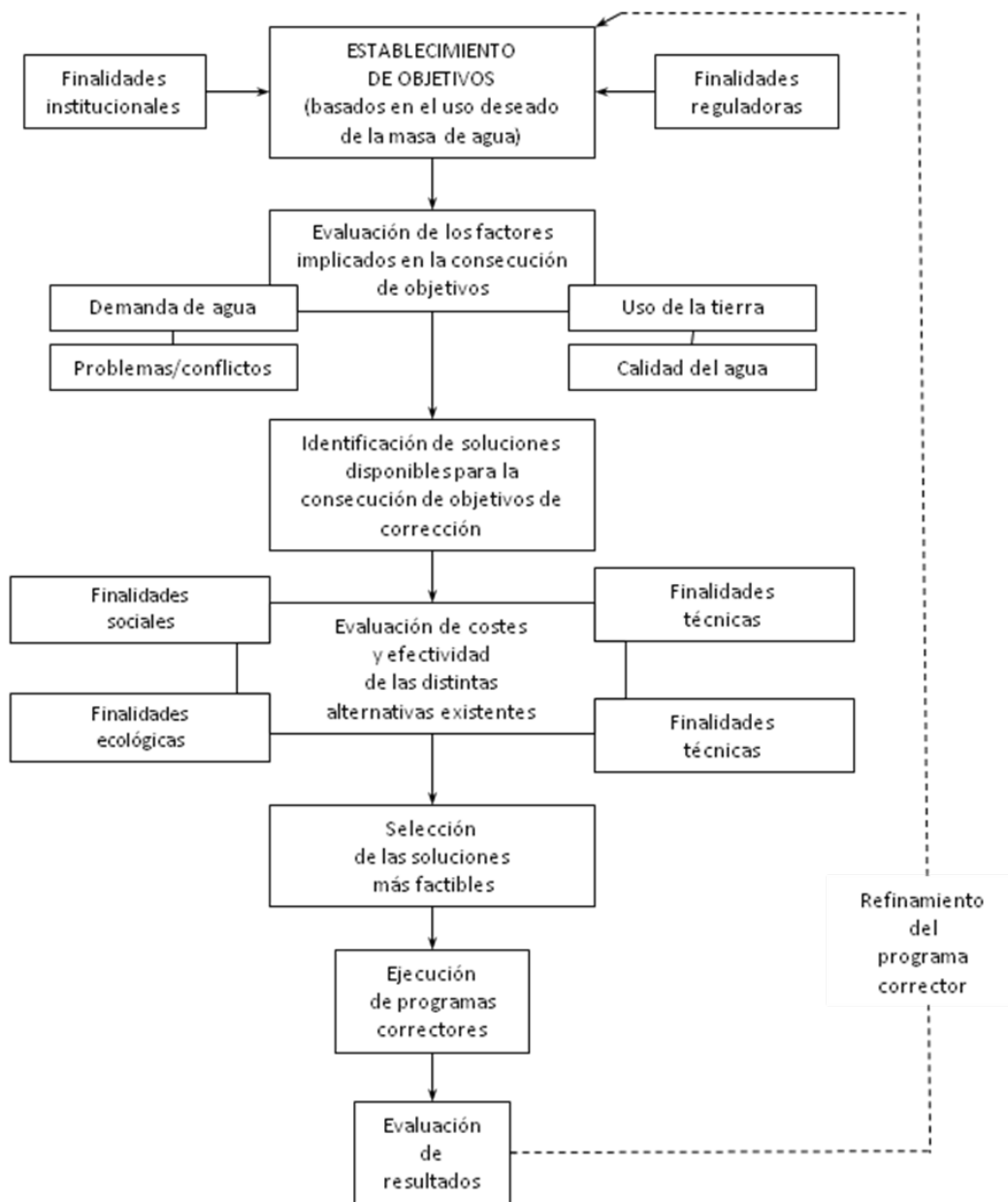


Figura 107: Secuencia de decisiones a tomar para realizar el plan de gestión (extraído de Ryding & Rast, 1992).

3.2. Objetivos de la propuesta de gestión

El objetivo principal del presente plan de gestión es implementar medidas para rehabilitar y proteger la calidad de agua del embalse Rapel.

Para poder garantizar el cumplimiento de este objetivo, se deben definir objetivos específicos, los cuales apuntan a:

- Dar conocimiento a la comunidad local y turistas del embalse Rapel, la presencia y permanencia de floraciones microalgales, en la superficie de la columna de agua del embalse. A su vez, se busca minimizar los riesgos provocados por las floraciones microalgales en la salud humana y en las actividades turísticas – recreativas que se realizan en este, a través de un sistema de alerta temprana de floraciones microalgales (Alerta temprana).
- Alcanzar una calidad objetivo del agua del embalse Rapel, a través del control de la eutroficación, permitiendo de esta manera, el uso múltiple del sistema (recreación y turismo, riego, energético, etc.) (Rehabilitación).
- Promover y desarrollar actividades turísticas y recreativas alternativas a las actuales desarrolladas en el embalse Rapel (Turismo y Recreación).
- Concientizar a los usuarios del embalse Rapel y su área de drenaje, a que desarrollen su sentido de responsabilidad y a que tomen conciencia de la urgente necesidad de prestar atención a los problemas ambientales asociados a este lugar (Educación Ambiental).
- Gestionar e implementar proyectos de investigación que se consideren prioritarios para el control de la eutroficación y manejo sustentable del embalse y su área de drenaje (Investigación).
- Asegurar la adecuada aplicación de los programas de gestión específicos definidos para el embalse Rapel y su área de drenaje (Administración).

3.3 Diagnóstico participativo

Los procesos participativos organizados, permiten que las comunidades locales, tengan la oportunidad de plantear sus expectativas y colaborar con el logro de los productos a alcanzar con la implementación de un plan de gestión.

En el siguiente subcapítulo, se sustenta en los antecedentes entregados por la comunidad vinculada al embalse Rapel, a través de dos talleres participativos, realizados en las comunas de Las Cabras y La Estrella. Con esta actividad, se logró obtener una visión local de las posibles problemáticas vinculadas con el embalse y su área de drenaje.

Se identificaron aquellos actores que mantienen una relación directa o indirecta con el embalse Rapel y sus alrededores. También se definieron los usos actuales y potenciales, las problemáticas ambientales y se propone *a priori*, las posibles instituciones públicas y privadas que deberían conformar un Comité de Gestión, el cual tendrá como principal función, la implementación del proyecto de Plan de Gestión para el Embalse Rapel.

A continuación se resume los aspectos más importantes de ambos talleres. En el Anexo II, se puede encontrar en más detalle, la metodología y resultados de cada uno de estos talleres.

3.3.1 Identificación de actores involucrados con el embalse Rapel

Los actores involucrados se pueden clasificar en tres categorías: sector público, sector privado y sociedad civil. Dentro del sector público, los participantes de los talleres identificaron al Estado de Chile, como principal responsable del estado ambiental actual del embalse. Esto es en relación a la débil normativa ambiental aplicable para el sector. Luego, se identifican a las municipalidades emplazadas en la cuenca del Cachapoal, y principalmente a las que tienen dentro de sus límites comunales la ribera del embalse, a saber, las comunas de Las Cabras, La Estrella, Litueche y Pichidegua. Por otro lado, la Armada de Chile y Carabineros de Chile, son catalogadas como instituciones claves para hacer efectivas las diversas normativas que rigen al embalse y su ribera. Se menciona también como actor relevante a la empresa estatal Codelco.

Por el sector de los privados, se vinculan a todos los empresarios que realizan actividades agropecuarias en el sector de la cuenca del Cachapoal. Principalmente, se destacan, los rubros de la agroindustria de porcinos y aves. Por otro lado, involucran a empresas de áridos emplazadas en algunos sectores cercanos al embalse y propietarios turísticos.

En el ámbito de la sociedad civil, se destaca a las diversas organizaciones con personalidad jurídica, establecimientos educacionales, turistas y comunidad en general.

3.3.2 Usos actuales y potenciales identificados por los participantes de los talleres

Las principales observaciones formuladas por los participantes, en relación a los usos actuales y potenciales del embalse Rapel, permitió determinar las principales categorías de uso, acorde con las actividades desarrolladas en la actualidad en la zona del embalse, y las anheladas para el futuro.

Los principales usos actuales identificados por los participantes de los talleres en el embalse Rapel son:

- (a) Turismo y Recreación; actividades de pesca, campismo, deportes náuticos y caza.
- (b) Productivo; comercio de subsistencia, viñas, agroindustrias, ganadería, vegas de pastoreo.
- (c) Infraestructura; asentamientos humanos permanentes y transitorios (esta última, principalmente en época estival).

En relación a los usos potenciales, los participantes de los talleres, destacaron las siguientes categorías:

- (a) Turismo y Recreación; con anhelos de definir esta zona como área para uso exclusivo, tanto el espejo de agua y su ribera. Zonas de campismo, las cuales deben existir, pero todas agrupadas en un solo sector.
- (b) Productivo: se deben conservar los mismo usos actuales (Comercio de subsistencia, viñas, agroindustrias, ganadería, vegas de pastoreo), deseando que éstas actividades no sigan expandiéndose y
- (c) Infraestructura: se promueve expandir este uso, principalmente en ambas riveras del brazo del Cachapoal (Asentamientos humanos permanentes y transitorios).

Un aspecto importante a destacar, es que los diferentes actores participantes en el taller, en general, no manifestaron intereses opuestos en términos de uso del embalse y sus alrededores, observándose la coincidencia en potenciar el uso habitacional y declarar el espejo de agua y la ribera del embalse para uso exclusivo de turismo y recreación.

En las siguientes figuras, se observan los usos actuales (Figura 108) y potenciales (Figura 109) elaborados por los participantes de los talleres.

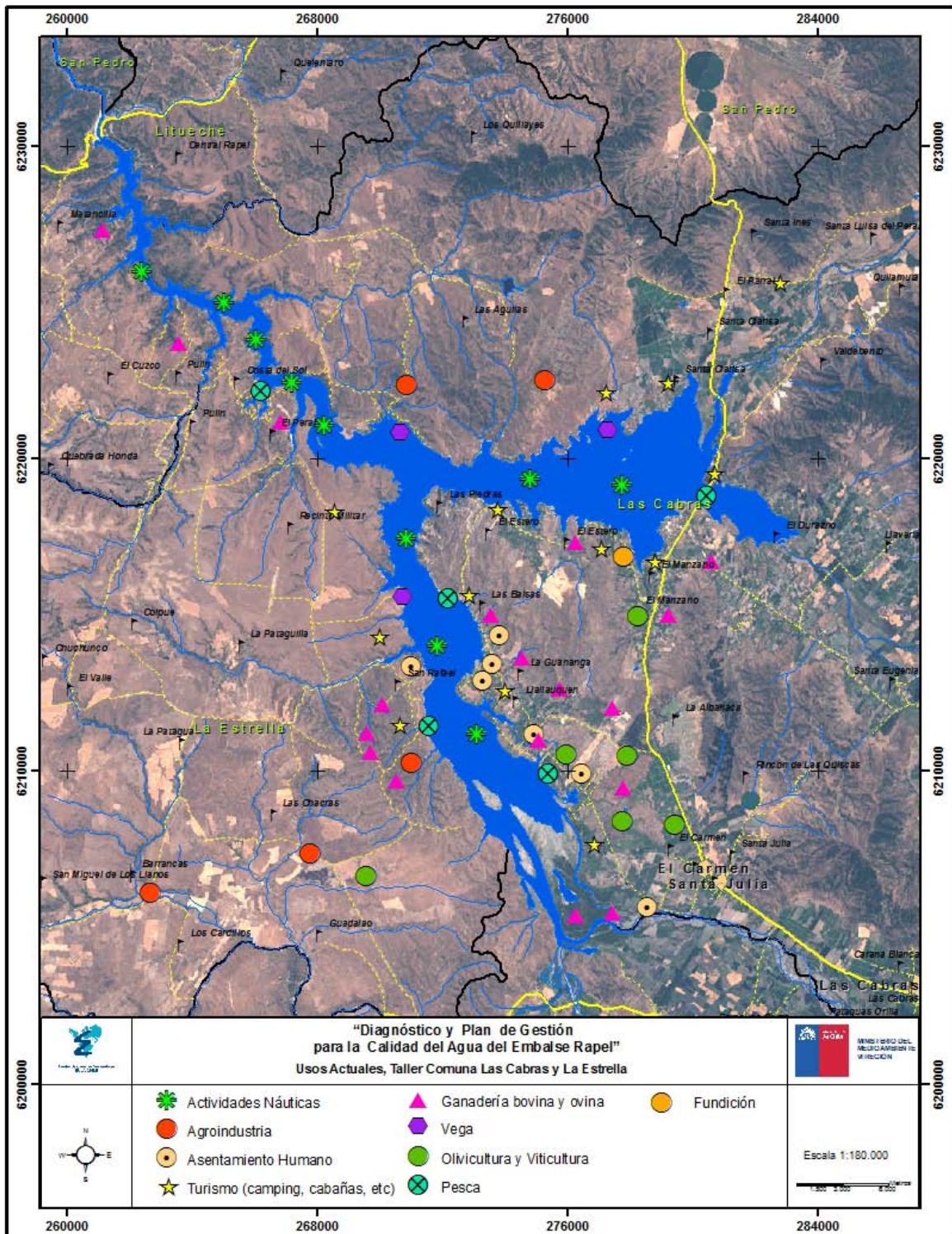


Figura 108: Usos actuales determinados por los participantes de los talleres de la comuna de Las Cabras y La Estrella.

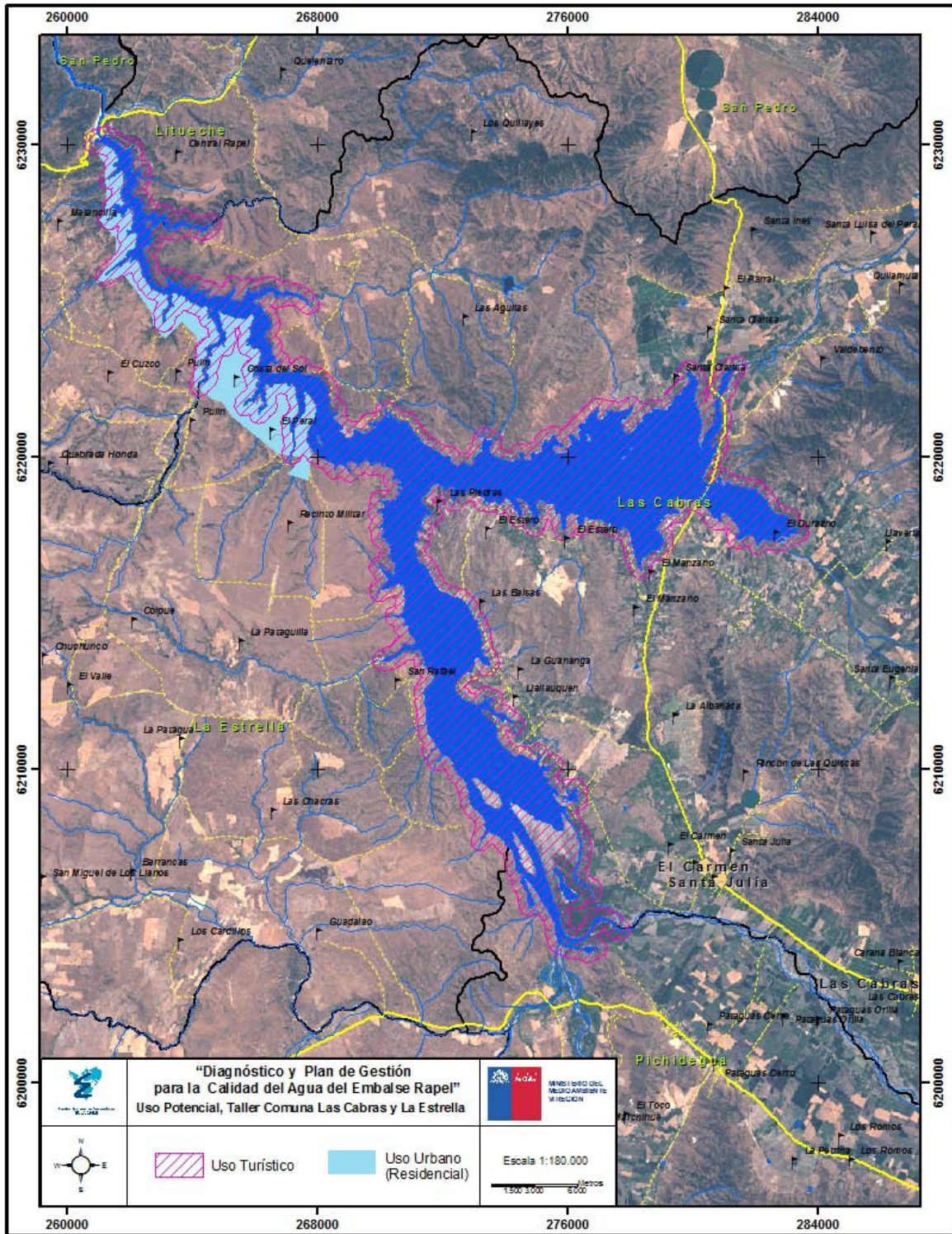


Figura 109: Usos potenciales determinados por los participantes de los talleres de la comuna de Las Cabras y La Estrella.

3.3.3 Problemáticas ambientales identificados por los participantes de los talleres

En cuanto a la situación ambiental, fue posible identificar seis problemáticas ambientales en la zona de estudio. Estas son:

- (a) eutroficación del embalse Rapel: provocada por aporte de nutrientes desde la cuenca de drenaje,
- (b) concentración de metales pesados: aportados por las actividades mineras realizadas en ciertos sectores de la cuenca,
- (c) aguas negras provenientes de casas habitación, debido principalmente a que no existe una infraestructura sanitaria adecuada en la mayoría de las localidades aledañas al embalse,
- d) basura en el espejo de agua y ribera. Los aportes de basura provienen también por la cuenca de drenaje superficial al embalse,
- (e) embancamiento de sedimentos: lo cual disminuye el área para la realización de actividades recreativas (deportes náuticos y playas de sol)
- (f) episodios de mal olor: originados por las empresas agroindustriales.

En la Figura 110, se observa la ubicación de los problemas ambientales en el área de estudio.

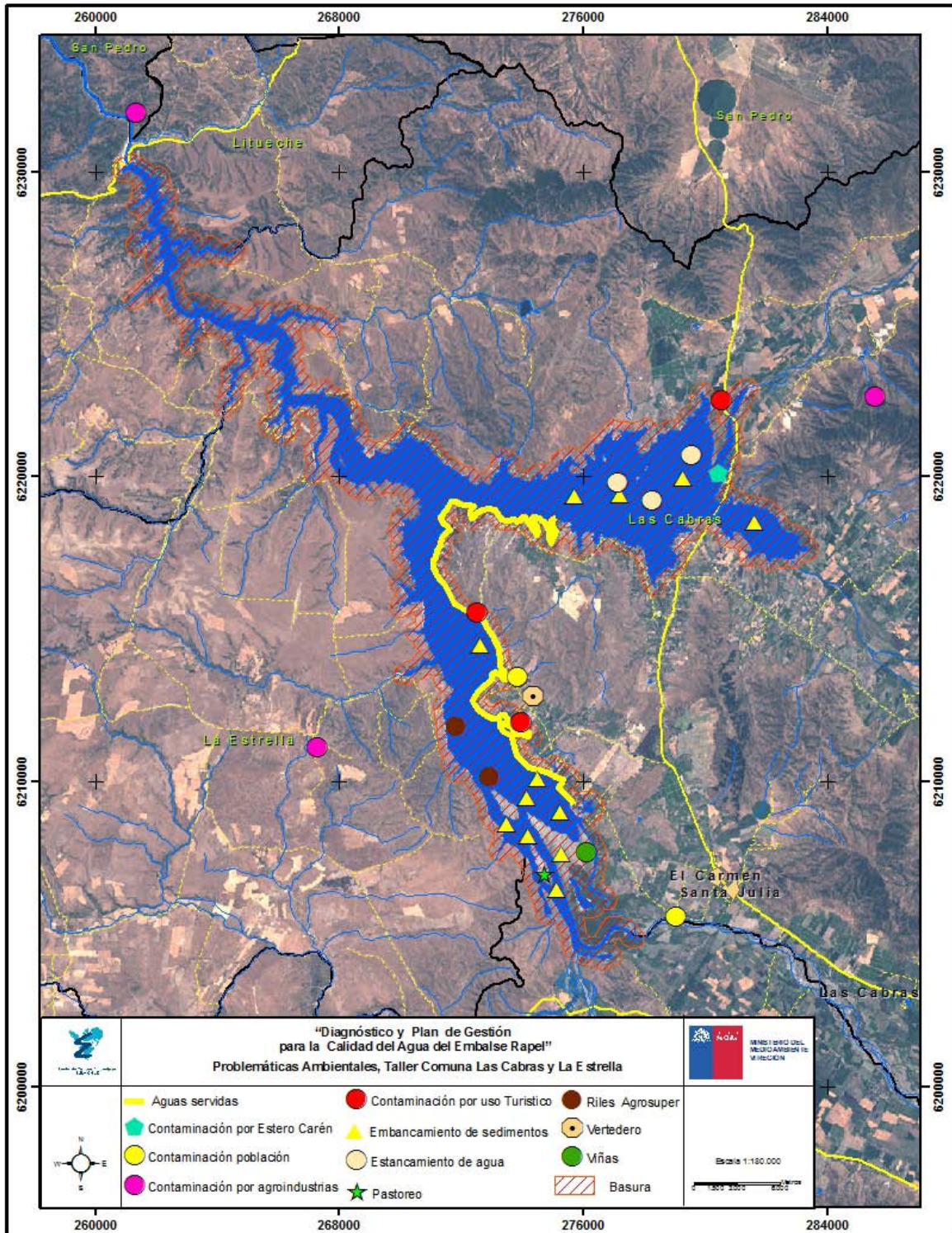


Figura 110: Problemas ambientales identificados por los participantes de los talleres de la comuna de Las Cabras y La Estrella.

3.3.4 Propuesta de integrantes para formar el futuro Comité de Gestión para la implementación del plan de gestión

Según los participantes de ambos talleres, el futuro comité de gestión, debería estar constituido en una primera instancia por los municipios que colindan con la zona del embalse. Estos municipios corresponden a Las Cabras, La Estrella, Litueche y Pichidehua.

3.4 Zonificación y lineamientos preliminares

3.4.1 Introducción

La zonificación es una etapa fundamental en un plan de gestión cuyo resultado se transforma en un instrumento efectivo de ordenamiento y planificación del territorio. Las técnicas empleadas (que incluyen talleres comunitarios) permiten una adecuada asignación de usos compatibilizando las características biofísicas del área y las expectativas de los usuarios.

Ésta **zonificación indicativa** tiene como finalidad ordenar los usos desarrollados y potenciales en las áreas adyacentes al embalse Rapel, y asegurar un uso del espacio compatible con las características de sus recursos naturales y el plan de ordenamiento Intercomunal futuro.

En éste sentido, la siguiente propuesta de zonificación, se basa en una síntesis de las zonas, restricciones y potencialidades definidas en el Anteproyecto del Plan Regulador Intercomunal Rapel y de la información obtenida de los talleres de participación ciudadana realizados en las comunas de Las Cabras y La Estrella.

Esta zonificación busca darle un carácter turístico a aquellas áreas donde se desarrolla principalmente esta actividad, sin vulnerar los usos y restricciones ya determinados por el Plan Intercomunal, para dichas zonas (Ver Figura 112).

Se señalan sus principales lineamientos a continuación.

3.4.2 Metodología

Para elaborar la zonificación, se utilizaron herramientas de análisis espacial implementadas en los Sistemas de Información Geográfica (SIG) que permiten el tratamiento y la superposición de datos o coberturas geográficas y fotointerpretación de imágenes satelitales.

La información geográfica mencionada anteriormente, así como también los usos de suelo, provienen del Diagnóstico Ambiental desarrollado en el Anteproyecto del Plan Regulador Intercomunal Rapel, que señala las potencialidades y usos consolidados y extensivos del área. De esta forma, la zonificación propuesta

recoge las zonas determinadas en el Plan Regulador, coincidiendo en sus límites, usos y restricciones, pero otorgándole un carácter turístico en aquellas áreas donde se desarrolla principalmente esta actividad, como también, asegurando el uso sustentable de los recursos naturales del sector, por ejemplo: protección de cauces.

Además, esta información fue validada con los usos actuales y potenciales identificados en talleres participativos realizados en las comunas de La Estrella y Las Cabras, durante los meses de Octubre y Noviembre del año 2010 (Ver Anexo II); y la obtención de información primaria obtenida de salidas a terreno, realizadas en el marco del Diagnóstico Ambiental del presente Estudio.

3.4.3 Resultados

De ésta zonificación indicativa, se desprenden cuatro grandes Zonas de Uso Actual y Potencial:

1.- Zona Uso Turístico - Residencial: Áreas de uso actual y potencial (uso extensivo) destinadas, preferentemente, al turismo y actividades recreativas, como también al uso residencial.

- *Usos Permitidos:* Establecimiento de camping, cabañas, restaurantes, hosterías, hostales, negocios locales y uso residencial (viviendas).
- *Usos Prohibidos:* Industrial, rellenos sanitarios y disposición final o transitoria de residuos sólidos, locales de almacenamiento y talleres con calificación de contaminante y/o peligroso. Actividades de extracción y procesamiento de todo tipo de áridos. Cementerios y crematorios. Cárceles y centros de detención. Instalaciones militares que involucren almacenamiento peligroso. Criaderos de animales y caballerizas.
- *Infraestructura mínima:* Viviendas, alcantarillado, energía eléctrica, caminos, agua potable y contenedores de residuos domiciliarios

2.- Uso Residencial Transitorio: Áreas de uso residencial, principalmente en temporadas estivales, caracterizadas por casas de veraneo.

- *Usos Permitidos:* Establecimiento de viviendas, según las condiciones de edificación, subdivisión y urbanización de cada zona de extensión urbana establecidas en Plan Regulador Intercomunal de Rapel.
- *Usos Prohibidos:* Industrial, Rellenos sanitarios y disposición final o transitoria de residuos sólidos, locales de almacenamiento y talleres con calificación de contaminante y/o peligroso. Actividades de extracción y procesamiento de todo tipo de áridos. Cementerios y crematorios. Cárceles y centros de detención. Instalaciones militares que involucren almacenamiento peligroso. Criaderos de animales y caballerizas.

- *Infraestructura mínima:* Viviendas, alcantarillado, energía eléctrica, caminos, agua potable y contenedores de residuos domiciliarios.

3.- Uso Recreativo e Hidroeléctrico

3.1.- Uso Recreativo de Actividades Acuáticas: Áreas designadas para actividades recreativas, deportes náuticos (vela, motos de agua, etc.) y pesca deportiva en general.

- *Usos Permitidos:* Actividades recreativas, de esparcimiento y deportivas.
- *Usos Prohibidos:* Industrial, edificación y construcción. Actividades de extracción y procesamiento de áridos a orillas de cauce. Desvío o cambios en el cauce y disposición final o transitoria de residuos sólidos y líquidos.
- *Infraestructura:* Muelles menores y contenedores de residuos sólidos.

3.2.- Uso Generación Hidroeléctrica: Área consideradas para la generación de energía eléctrica.

- *Usos Permitidos:* Generación de electricidad y regulación de los niveles del embalse, compatibles con el uso recreativo.
- *Usos Prohibidos:* Uso Industrial. Actividades de extracción y procesamiento de áridos a orillas de cauce. Desvío o cambios en el cauce.
- *Infraestructura:* La necesaria para la realización de éste tipo de actividad productiva.

4.- Zona de Protección de Cauces: Áreas destinadas a la protección de riberas y cauces naturales, cuerpos de agua, quebradas, lagos y embalses.

- *Usos Permitidos:* *Recreacional, esparcimiento y deportivas*
- *Usos Prohibidos:* Remoción de cobertura vegetal (arbórea y arbustiva) en quebradas y riberas de cauces. Extracción de áridos, desvío de cauces y vertimiento de aguas servidas domésticas e industriales sin tratamiento, construcción y edificación. Disposición de residuos sólidos.

El resultado final de toda la información mencionada anteriormente, se puede observar en la Figura 111.

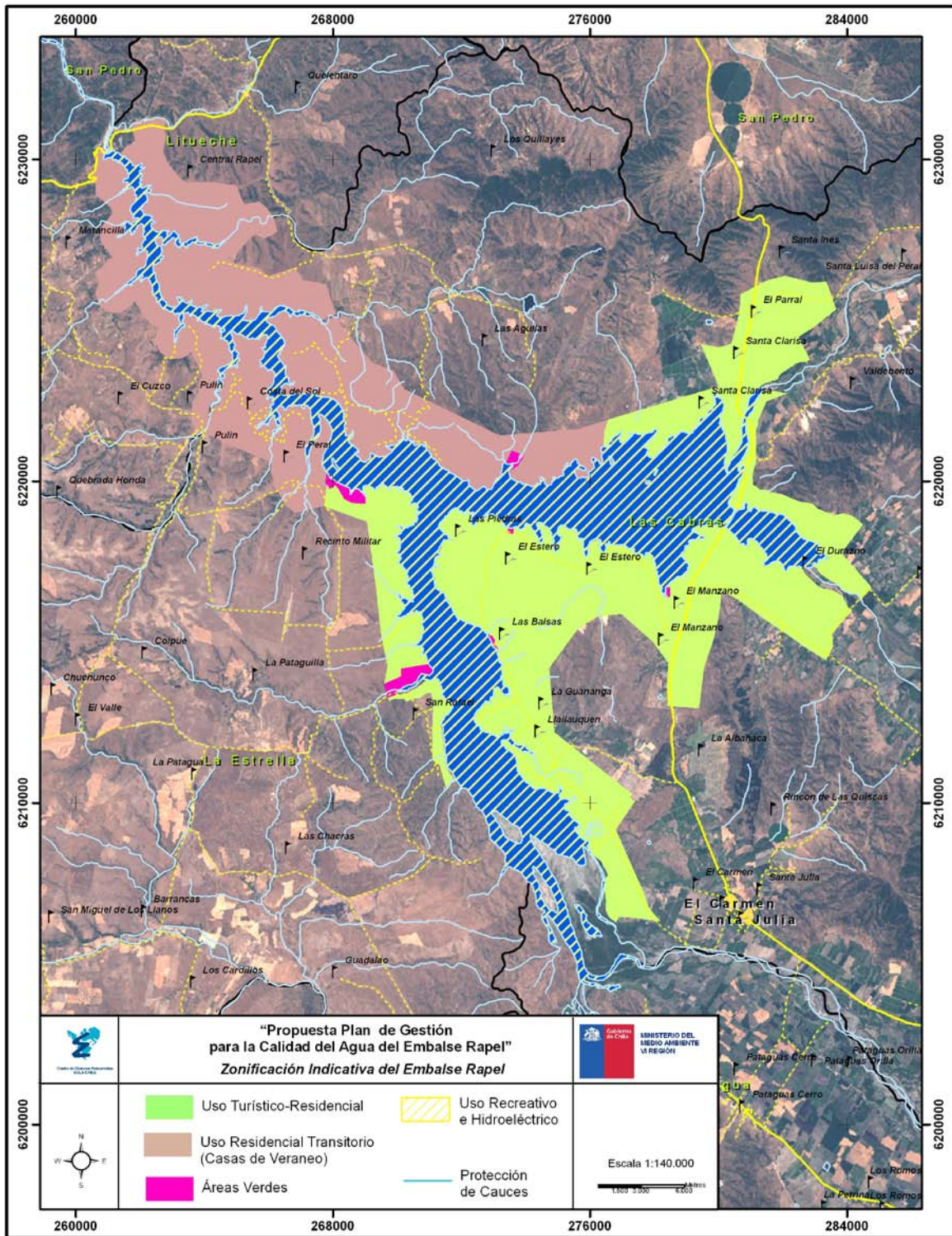


Figura 111: Zonificación Indicativa para propuesta de Plan de Gestión para la Calidad del Agua del Embalse Rapel. Elaboración Propia.

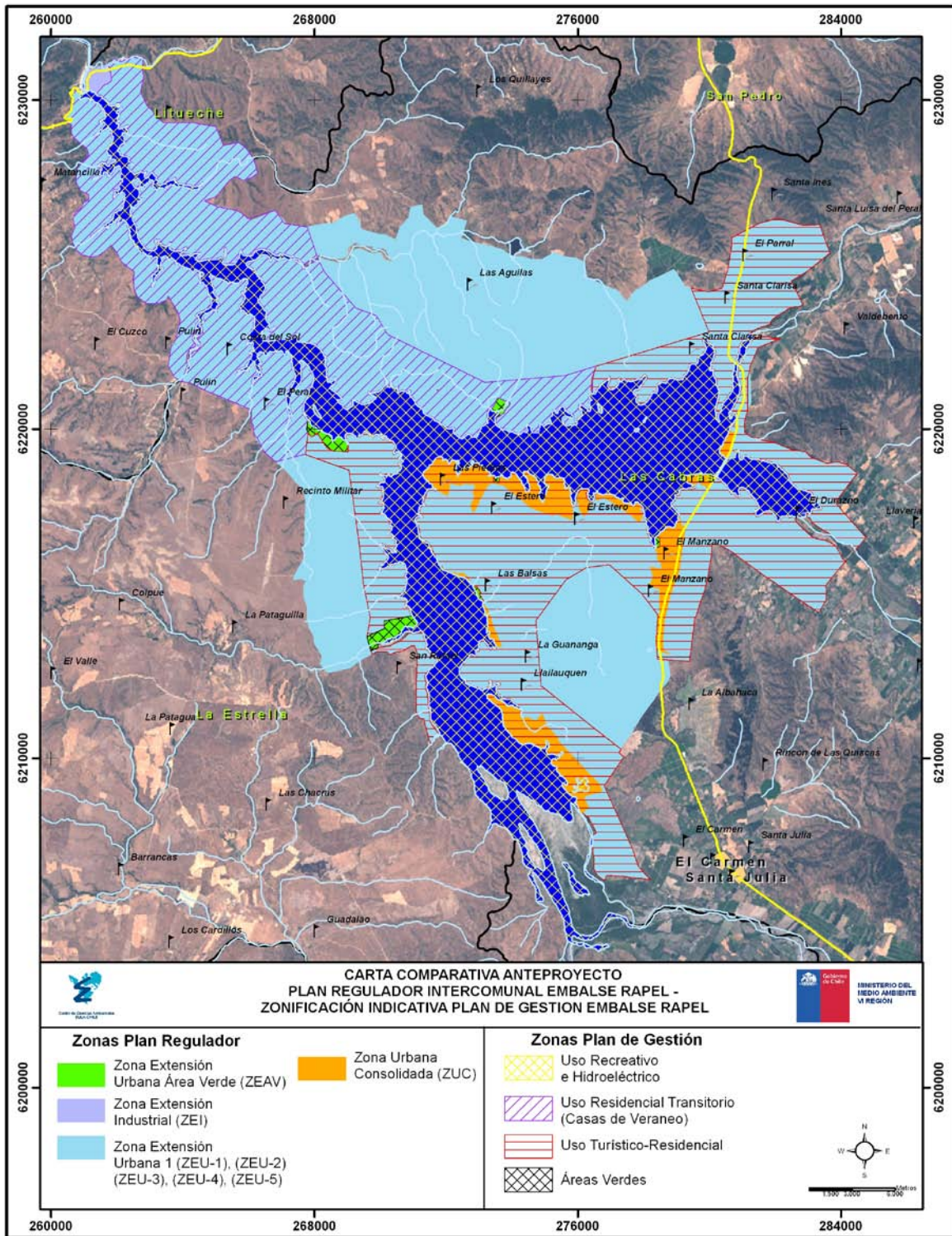


Figura 112: Carta comparativa entre Anteproyecto Plan Regulador Intercomunal Embalse Rapel y Zonificación Indicativa Plan de Gestión para la Calidad del Agua del Embalse Rapel. Elaboración Propia

3.4.4 Conclusiones

A través de una zonificación indicativa, el área adyacente del embalse Rapel, podría estar constituido por cuatro grandes zonas, las cuales se clasifican para uso turístico y recreativo, uso residencial transitorio, uso recreativo y energético, y finalmente un uso para protección de causas.

3.5 Programas específicos de gestión

Los programas específicos de gestión, tienen por objetivo servir como guía para la ejecución de acciones destinadas a implementar, a través de diversas actividades, los objetivos propuestos para cada zona de manejo definida mediante el proceso de zonificación.

Estos programas incluyen una propuesta específica de manejo, en los cuales se establecen los lineamientos generales y directrices, a modo de objetivos, para la planificación futura del área en cuestión. Por cada programa se detallan los objetivos generales y específicos, las actividades a realizar, la jerarquización de éstas, un horizonte de planificación de cuatro años y los costos asociados a la implementación de cada plan específico de gestión.

La jerarquización de las actividades propuestas, están ordenadas en base a criterios lógicos, a fin de asegurar que unas actividades siguen a otras en forma secuencial.

3.5.1 Plan de Gestión en alerta temprana y medidas de contingencias.

i) Objetivos generales

Dar conocimiento a la comunidad local y turistas del embalse Rapel, la presencia y permanencia de floraciones microalgales, en la superficie de la columna de agua del embalse Rapel. A su vez, se busca minimizar los riesgos provocados por las floraciones microalgales en la salud humana y en las actividades turísticas – recreativas que se realizan en el embalse Rapel, a través de un sistema de alerta temprana de floraciones microalgales.

ii) Objetivos específicos

- Implementar un sistema de monitoreo diario visual, durante los periodos de primavera, verano y otoño.
- Implementar un sistema de señalética sobre el aviso temprano de la presencia de floraciones microalgales, dirigido a la comunidad local y turistas, a fin de minimizar los daños a la salud y actividades turísticas.

iii) Actividades

- a. **Necesidad de personal y apoyo de infraestructura.** Referido este punto a la identificación y cuantificación de las necesidades de personal, construcciones, equipos y servicios necesarios para la aplicación del Plan de Gestión en Alerta Temprana.
- b. **Capacitaciones en temas ambientales.** Se deben realizar capacitaciones del personal designado para implementar el Plan de Gestión en Alerta Temprana, en temáticas medioambientales.
- c. **Plan de Vigilancia Ambiental.** Realización de monitoreos visuales diarios desde los meses de octubre a abril (periodos de primavera, verano y otoño) para registro de floraciones microalgales. Este monitoreo podría ser efectuado por personal de la Capitanía de Puerto (CC.PP) del embalse Rapel.
- d. **Instalación de señaletería permanente.** Diseño, elaboración e instalación de un letrero en las zonas con mayor concentración de turistas alusivo a la presencia o ausencia de floraciones microalgales. Este letrero debe indicar, los colores de los banderines que se utilizarán al momento de presentarse una floración microalgal. Se designarán tres colores por cada banderín a utilizar; por un lado, el *color naranja*, estará asociado a la ausencia de floraciones microalgales en el embalse; el *color amarillo*, indicará el inicio de una floración microalgal y por último, el *color negro*, se usará para asociarlo a la presencia de floraciones microalgales en el embalse Rapel.

Al momento que se establezca el inicio de algún tipo de floración microalgal (banderín amarillo), personal de CC.PP dará aviso a la SEREMI de Salud para que se realice toma de muestras de agua del embalse con su posterior análisis en el Laboratorio Bromatológico. Con esto, se pretende descartar si la floración microalgal es tóxica o no. De ser una floración tóxica, en la zona de emplazamiento de los banderines, se colocarán dos banderines de color negro. También, en el mismo letrero señalado anteriormente, se deberá hacer referencia en la prohibición de las actividades con contacto directo, pesca extractiva, extracción de agua para riego, etc, en el embalse, durante los periodos de floraciones microalgales.

Se debe considerar, que para toda medida que incluya el accionar del Capitán de Puerto, ésta debe tener un respaldo oficial de un laboratorio reconocido por el Estado o alguna entidad técnico-científica certificada que indique el nivel de toxicidad de las aguas. El embalse siempre tendrá niveles de concentración de microalgas muy difíciles de precisar en su toxicidad. De esta manera, el Capitán de Puerto podrá tomar, en conjunto con el Servicio de Salud, las medidas propuestas de cierre o apertura de balnearios.

- e. **Informativo comunicacional.** Realizar un traspaso de la información sobre la presencia de floraciones microalgales hacia la comunidad usuaria y

vinculada al embalse Rapel, a través de medios locales y nacionales, como diarios y radio.

- f. **Implementación de un sistema estadístico epidemiológico.** Esta actividad está orientada a llevar un control sobre alergias atribuibles a las floraciones microalgales. Los profesionales de los consultorios de salud (médicos y enfermeras) de las comunas de Las Cabras, La Estrella, Pichidegua y Litueche, deberán estar a cargo de esta obtención de datos. Se debería elaborar un reporte anual y esta información debería ser enviada a la SEREMI de Salud. A su vez, esta información debería para otras instituciones y comunidad en general.
- g. **Mantenimiento de los equipos y de las instalaciones.** Esta actividad está orientada a proveer un mantenimiento de toda la infraestructura a utilizar para llevar a cabo el Plan de Gestión de Alerta temprana, como lo son las lanchas, letreros de señalética, entre otros.

iv) Cronograma de actividades

La siguiente tabla, muestra el cronograma de actividades a realizar en el presente plan de gestión específico y el tiempo de aplicabilidad y duración de cada una de éstas.

Tabla 47: Cronograma de actividades.

| PLAN DE GESTIÓN EN ALERTA TEMPRANA Y MEDIDAS DE CONTINGENCIA | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|--|--|---|---|---|-----------|---|---|---|-----------|---|---|---|-----------|---|---|---|
| Actividades | | Año 1 | | | | Año 2 | | | | Año 3 | | | | Año 4 | | | |
| | | Trimestre | | | | Trimestre | | | | Trimestre | | | | Trimestre | | | |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| a. | Necesidad de personal y apoyo de infraestructura | | | | | | | | | | | | | | | | |
| b. | Capacitaciones en temas ambientales | | | | | | | | | | | | | | | | |
| c. | Plan de Vigilancia Ambiental | * | * | * | | * | * | * | | * | * | * | | * | * | * | |
| d. | Instalación de señalética permanente. | | | | | | | | | | | | | | | | |
| e. | Informativo comunicacional. | * | * | * | | * | * | * | | * | * | * | | * | * | * | |
| f. | Implementación de un sistema estadístico epidemiológico. | * | * | * | | * | * | * | | * | * | * | | * | * | * | |
| g. | Mantenimiento de los equipos y de las instalaciones. | | | | | | | | | | | | | | | | |
| * | | Actividad mensual permanente, no asociada a medidas de corto, mediano y largo plazo. | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Actividad a corto plazo | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Actividad a mediano plazo | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Actividad a largo plazo | | | | | | | | | | | | | | | |

v) Propuesta de costos priorizados

La siguiente tabla, muestra los costos asociados para el presente plan específico de gestión, por un periodo de cuatro años.

Tabla 48: Propuesta de costos priorizados por actividad.

| PLAN DE GESTION EN ALERTA TEMPRANA Y MEDIDAS DE CONTINGENCIAS | | | | | | |
|---|-------------|---|---------------------------|------------|------------|------------|
| Priorización | Actividades | | Costos por Actividad (UF) | | | |
| | | | Año 1 | Año 2 | Año 3 | Año 4 |
| 1 | a. | Necesidad de personal y apoyo de infraestructura. | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 2 | b. | Capacitaciones. | 100 | 0 | 100 | 0 |
| 3 | c. | Plan de Vigilancia Ambiental | 608 | 608 | 608 | 608 |
| 4 | d. | Instalación de señalética permanente | 266 | 0 | 0 | 0 |
| 5 | e. | Informativo comunicacional | 15 | 15 | 15 | 15 |
| 6 | f | Implementación de un sistema estadístico epidemiológico | 5 | 5 | 5 | 5 |
| 7 | g | Mantenimiento de los equipos y de las instalaciones. | 30 | 30 | 30 | 30 |
| Total por Año | | | 1124 | 758 | 858 | 758 |
| TOTAL COSTO PLAN | | | 3498 | | | |

A continuación, se entrega un detalle aproximado de los costos para cada una de las actividades, mostradas en la tabla anterior.

- a. **Necesidad de personal y apoyo de infraestructura.** Los costos asociados a este actividad, están definidos por el pago de honorarios al personal encargado de dirigir este plan específico de gestión y a pagos por concepto de arriendo de infraestructura y servicios básicos (luz, agua, gas, etc).
- b. **Capacitaciones en temas ambientales.** Los costos estarían vinculados a la capacitación del personal encargado de dirigir este programa de específico de gestión.

Se sugiere, que el personal correspondiente, sea capacitado, por alguna institución con experiencia demostrable en temáticas ambientales.

Por otro lado, el curso de capacitación podría ser efectuado de dos maneras: la primera de ella, consiste en que el personal a cargo, se desplace hacia otras ciudades para capacitarse, o solicitar a la institución respectiva, que se dirija a alguna comuna del sector del embalse para dictar la capacitación. Esta

última modalidad sería la más propicia, ya que se estudiaría en terreno las problemáticas ambientales reales del embalse.

El curso de capacitación debería ser de una modalidad teórico-práctico, con una duración mínima de 20 horas. El costo por persona capacitada es de aproximadamente 20 UF. Lo ideal es que a lo menos puedan ser capacitadas dos personas (40 UF/año). El resto de los gastos, serán considerados como operacionales e imprevistos.

En la Tabla 48, se observa que las capacitaciones se deberían realizar los años 1 y 3. Se debería asumir un nuevo ciclo de capacitación, a partir del año 3, para personal nuevo que llegue a reemplazar, a los que estaban desde inicios de la implementación de este plan específico de gestión.

- c. **Plan de Vigilancia Ambiental.** Los costos vinculados para esta actividad, son para el gasto en combustible, revisiones bimensuales y mantenciones de la lancha del personal marítimo. Estos gastos son solo considerados para los periodos de otoño, primavera y verano.

Se estima que los días de monitoreo anuales son 274. Si se estima un gasto de combustible de 2 UF por día, se obtiene un costo anual de 548 UF para combustibles. Se establecen 60 UF por año adicionales por concepto de mantención y revisión de la lancha.

- d. **Instalación de señaletica permanente.** Los costos para señaletica, incluyen el diseño, elaboración e instalación de letreros ubicados en las zonas con mayor afluencia de turistas. Se considerarían a lo menos, la instalación de siete letreros en los sectores de Santa Clarisa, El Durazno, El Manzano, El Estero, Las Piedras, Las Balsas y Llallauquén¹. Los letreros deberían ser confeccionados con materiales resistentes, para mayor durabilidad y deberían tener una dimensión de a lo menos 3 x 2 metros.

El costo por letrero sería de aproximadamente 38 UF, obteniéndose un costo total para esta actividad de 266 UF.

- e. **Informativo comunicacional.** Los costos asociados a esta actividad, serían para el uso de medios de comunicación como telefonía celular e internet, a fin de dar cuenta de una manera más eficaz, sobre la presencia de floraciones microalgales en el embalse Rapel, a los medios locales (radios y diarios).

- f. **Implementación de un sistema estadístico epidemiológico.** Los costos para implementar esta actividad, estarían orientados a la compra de insumos y materiales de escritorio (hojas para imprimir, lápices, tintas para impresora, etc).

¹ Esta información fue extraída del informe de participación ciudadana, donde los participantes señalan los lugares donde se realizan actividades turísticas y recreativas (ver Anexo II. Figura 3).

- g. **Mantenimiento de los equipos y de las instalaciones.** En esta actividad, los costos estarían designados para la mantención de los equipos como computadores e impresoras, que ya son parte de las instituciones que participan en este plan específico de gestión, a saber, Capitanía de Puerto y consultorios comunales. También se deberían asumir, los costos de mantención de los letreros, cada dos años.

3.5.2 Programa de Gestión en Rehabilitación

i) Objetivo general

Alcanzar una calidad objetivo (condición mesotrófica) del agua del embalse Rapel, a través del control de la eutroficación, permitiendo de esta manera, el uso múltiple del sistema (recreación y turismo, riego, energético, etc.).

ii) Objetivos específicos

- Implementar medidas para la rehabilitación de la calidad de agua y las riberas del embalse Rapel.
- Proponer medidas para el control de nutrientes procedentes de fuentes difusas de la cuenca de drenaje.
- Rehabilitar ambientes donde exista la presencia de aguas estancadas en sectores ribereños del embalse.

iii) Actividades

- a. **Reuniones y Coordinación.** Deben existir instancias para la coordinación entre los distintos participantes del Comité de Gestión para implementar el Plan de Gestión en Rehabilitación.
- b. **Necesidad de personal y apoyo de infraestructura.** Referido este punto a la identificación y cuantificación de las necesidades del personal, construcciones, equipos y servicios para la aplicación del Plan de Gestión en Rehabilitación.
- c. **Capacitaciones en temas ambientales.** Se deben realizar capacitaciones del personal designado para implementar el Plan de Gestión en Rehabilitación, en temáticas medioambientales.
- d. **Aplicación de medidas de control externas:**
 - **Construcción de humedal en la desembocadura del estero Las Palmas.** Esta actividad apunta a la construcción de zonas de humedales artificiales con vegetación palustre en la desembocadura del estero Las Palmas, esto con el fin de atenuar la entrada de los

nutrientes provenientes de dicho tributario hacia el embalse (sector cubeta Alhúe). Este estero se caracteriza por mantener un caudal constante y con alto aporte de nutrientes. Junto a esto, la zona donde desemboca es poco profunda y propensa a mantener aguas estancadas, con un tiempo de residencia de 2 a 3 meses, promoviendo estas condiciones a la formación de floraciones microalgales. Esta medida está asociada al área comprendida entre el puente El Durazno y la desembocadura del estero El Durazno (cubeta Alhúe).

La creación de humedales artificiales en las desembocaduras o en secciones de menor velocidad de los ríos y esteros que desagüen en el embalse, es una medida válida para aprovechar (consumir) los nutrientes que estos transportan.

Algunas ventajas en la utilización de humedales construidos son:

- Buen rendimiento depurativo.
- Funcionamiento sencillo.
- Bajo costo operación.
- Optima integración paisajística.
- Oportunidad de reutilización de las aguas tratadas y de los Subproductos.
- Recalificación ambiental de los sitios degradados.
-

- **Programas de capacitación en buenas prácticas agrícolas.** Esta actividad está orientada para mantener un control de las fuentes difusas agrícolas con aporte de nutrientes al embalse. Se deberá elaborar un programa de capacitación sobre buenas prácticas de manejo agrícola, a fin de minimizar los aportes excesivos de nutrientes desde las tierras cultivables hasta el embalse. El diseño de este programa, podría ser ejecutado por el Instituto de Desarrollo Agropecuario (INDAP).

Entre algunas medidas para controlar fuentes difusas provenientes de la cuenca de drenaje hacia el embalse, se encuentra el incentivo a la aplicación de abonos minerales naturales a los cultivos, con lo cual se impediría su transporte y acceso a las masas de agua, incluyendo con esto, la optimización de la captura del abono por los cultivos. Otro método, es mantener un máximo control de la erosión del suelo, a través de bandas de vegetación, previniendo de este modo, la escorrentía.

- **Desincentivo del pastoreo en las riberas del embalse Rapel.** Esta actividad promueve desincentivar el pastoreo en riberas y zonas inundables del embalse. Para el logro de esta medida, se deberá contar con el diseño e instalación de señalética permanente (letreros) en varias zonas del embalse, alusivo a las implicancias ambientales que tiene el pastoreo en las riberas, ya que los animales, por un lado,

aportan materia orgánica (excretas) y por otro remueven el sedimentos al buscar su alimento, aportando a la eutroficación de las aguas. El diseño y la implementación del letrero podría ser llevado a cabo por INDAP.

e. Aplicación de medidas de control internas:

- **Control de la resuspensión de sedimentos del embalse.** Esta actividad, se encuentra asociada a desarrollar un control de la resuspensión de sedimentos del embalse Rapel, a través de la extracción de las carpas (*Cyprinos carpio*). La entidad responsable de esta medida, podría ser el Servicio Nacional de Pesca (SERNAPESCA), ya que esta institución definiría la cuota de extracción de esta especie, previo estudio de abundancia de carpas en el embalse (Ver Plan de Gestión en Investigación).

- **Aplicación de ultrasonido.** Esta actividad está orientada al control en la aparición y crecimiento de cianobacterias (grupo mayormente responsable de las floraciones microalgales en el embalse Rapel). La aplicación de ultrasonido en las células de las cianobacterias induce a la rotura de diferentes estructuras de la pared celular, provocando efectos nocivos al estado funcional de la microalga. La célula no se rompe por lo tanto no se liberan toxinas.

f. Mantenimiento de los equipos y de las instalaciones. Esta actividad está orientada a proveer un mantenimiento de toda la infraestructura a utilizar para llevar a cabo el Plan de Gestión en Rehabilitación.

iv) Cronograma de actividades

La siguiente tabla, muestra el cronograma de actividades a realizar en el presente plan de gestión específico y el tiempo de aplicabilidad y duración de cada una de éstas.

Tabla 49: Cronograma de actividades.

| PLAN DE GESTIÓN EN REHABILITACIÓN | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------------|--|---------------------------|---|---|---|-----------|---|---|---|-----------|---|---|---|-----------|---|---|---|
| Actividades | | Año 1 | | | | Año 2 | | | | Año 3 | | | | Año 4 | | | |
| | | Trimestre | | | | Trimestre | | | | Trimestre | | | | Trimestre | | | |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| a. | Reuniones y Coordinación | | | | | | | | | | | | | | | | |
| b. | Necesidad de personal y apoyo de infraestructura | | | | | | | | | | | | | | | | |
| c. | Capacitaciones en temas ambientales | | | | | | | | | | | | | | | | |
| d. | Aplicación de medidas de control externas: | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | <i>Construcción de humedal en la desembocadura del estero Las Palmas</i> | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | <i>Programas de capacitación en buenas prácticas agrícolas</i> | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | <i>Desincentivo del pastoreo en las riberas del embalse Rapel.</i> | | | | | | | | | | | | | | | | |
| e. | Aplicación de medidas de control internas: | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | <i>Control de la resuspensión de sedimentos del embalse</i> | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | <i>Aplicación de ultrasonido</i> | | | | | | | | | | | | | | | | |
| f. | Mantenimiento de los equipos y de las instalaciones. | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Actividad a corto plazo | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Actividad a mediano plazo | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Actividad a largo plazo | | | | | | | | | | | | | | | |

v) Propuesta de costos priorizados

La Tabla 50, muestra los costos asociados para el presente plan específico de gestión, por un periodo de cuatro años.

Tabla 50: Propuesta de costos priorizados por actividad

| PLAN DE GESTION EN REHABILITACIÓN | | | | | | |
|-----------------------------------|-------------|---|---------------------------|------------|------------|------------|
| Priorización | Actividades | | Costos por Actividad (UF) | | | |
| | | | Año 1 | Año 2 | Año 3 | Año 4 |
| 1 | a. | Reuniones y Coordinación | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | b. | Necesidad de personal y apoyo de infraestructura | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 3 | c. | Capacitaciones en temas ambientales | 100 | 0 | 100 | 0 |
| 4 | d. | <i>Aplicación de medidas de control externas:</i> | - | - | - | - |
| | | Construcción de humedal en la desembocadura del estero Las Palmas | 240 | 0 | 0 | 0 |
| | | Programas de capacitación en buenas prácticas agrícolas | 100 | 100 | 0 | 0 |
| | | Desincentivo del pastoreo en la riberas del embalse Rapel | 266 | 0 | 0 | 0 |
| 5 | e. | <i>Aplicación de medidas de control internas:</i> | - | - | - | - |
| | | Control de la resuspensión de sedimentos del embalse | 0 | 20 | 20 | 20 |
| | | Aplicación de ultrasonido | 798 | 0 | 0 | 0 |
| 6 | f. | Mantenimiento de los equipos y de las instalaciones | 50 | 50 | 50 | 50 |
| Total por Año | | | 1654 | 270 | 270 | 170 |
| TOTAL COSTO PLAN | | | 2364 | | | |

A continuación, se entrega un detalle aproximado de los costos para cada una de las actividades, mostradas en la tabla anterior.

a. Reuniones y Coordinación. Esta actividad no contempla costos asociados.

b. Necesidad de personal y apoyo de infraestructura. Los costos asociados a este punto, estarían definidos por el pago de honorarios al personal encargado de dirigir este plan específico de gestión y a pagos por concepto de arriendo de infraestructura y servicios básicos (luz, agua, gas, etc).

c. **Capacitaciones en temas ambientales.** Los costos estarían vinculados a la capacitación del personal encargado de dirigir este programa de específico de gestión.

Se sugiere, que el personal correspondiente, sea capacitado, por alguna institución con experiencia demostrable en temáticas ambientales.

Por otro lado, el curso de capacitación puede ser efectuado de dos maneras: la primera de ella, consiste en que el personal a cargo, se desplace hacia otras ciudades para capacitarse, o solicitar a la institución respectiva, que se dirija a alguna comuna del sector del embalse para dictar la capacitación. Esta última modalidad sería la más propicia, ya que se estudiaría en terreno las problemáticas ambientales reales del embalse.

El curso de capacitación debería ser de una modalidad teórico-práctico, con una duración mínima de 20 horas. El costo por persona capacitada es de aproximadamente 20 UF. Lo ideal es que a lo menos puedan ser capacitadas dos personas (40 UF/año). El resto de los gastos, serán considerados como operacionales e imprevistos.

En la Tabla 50, se observa que las capacitaciones se deberían realizar los años 1 y 3. Se asume un nuevo ciclo de capacitación, a partir del año 3, para personal nuevo que llegue a reemplazar, a los que estaban desde inicios de la implementación de este plan específico de gestión.

d. Aplicación de medidas de control externas:

Construcción de humedal en la desembocadura del estero Las Palmas. Los costos asociados, estarían destinados a la preparación del terreno, adquisición de plantas acuáticas, compatibles con las características ambientales del lugar seleccionado.

Programas de capacitación en buenas prácticas agrícolas. Los costos asociados a esta actividad, estarían destinados a capacitar sobre buenas prácticas de manejo agrícola a personas naturales y empresarios vinculados este tipo de actividades. Se estima un costo total de 200 UF, dividiendo este gasto entre los años 1 y 2 (Tabla 50). La metodología y el número de personas a capacitar, debería ser definido a través de INDAP.

Desincentivo del pastoreo en las riberas del embalse Rapel. Los costos para señaleta, incluyen el diseño, elaboración e instalación de letreros ubicados en las zonas con mayor afluencia de turistas. Se considerarían a lo menos la instalación de siete letreros en los sectores de Santa Clarisa, El Durazno, El Manzano, El Estero, Las Piedras, Las Balsas y Llallauquén². Los letreros deberían ser

² Esta información fue extraída del informe de participación ciudadana, donde los participantes señalan los lugares donde se realizan actividades turísticas y recreativas (ver Anexo II. Figura 3).

confeccionados con materiales resistentes, para mayor durabilidad y con una dimensión de a lo menos 3 x 2 metros.

El costo por letrero sería de aproximadamente 38 UF, obteniéndose un costo total para esta actividad de 266 UF.

d. Aplicación de medidas de control internas:

Control de la resuspensión de sedimentos del embalse. Los costos para efectuar esta actividad, estarían vinculados a la promoción y divulgación de concursos para la extracción de carpas (*Cyprinos carpio*) en el embalse Rapel. Los gastos estarían relacionados a la confección de afiches informativos, los cuales se deberían ubicar en lugares concurridos de las comunas que rodean al embalse.

Aplicación de ultrasonido. Los costos de esta actividad, son referidos a la adquisición de a lo menos seis equipos de ultrasonido, los cuales deberían ser emplazados en la cubeta Alhúe.

El costo unitario de cada equipo asciende a 133 UF (incluido el IVA). Por lo tanto el costo total de esta inversión asciende a 798 UF.

e. Mantenimiento de los equipos y de las instalaciones. Principalmente los costos estarían asociados a mantención de equipos de ultrasonido y señáletica.

vi) Recomendaciones técnicas

A continuación, se entregan algunas recomendaciones técnicas, a fin de considerar, como medidas válidas para minimizar la eutroficación en el embalse.

- Construcción de un colector perimetral que recoja las aguas servidas de las casas aledañas al embalse.
- Aumento de la eficiencia de los sistemas de tratamiento de Plantas de Tratamientos de Agua Servidas (PTAS) para la disminución coliformes fecales y nutrientes.
- Implementación de trampas de sedimentos en salidas de colectores aguas lluvia al embalse Rapel. Una trampa de sedimento, es un tipo de contenedor de gran tamaño, que actúa como filtro de agua y de este modo permite que gran parte de las partículas de sedimentos queden retenidas. Con esta actividad se busca minimizar la entrada de nutrientes asociados a los sedimentos que llegan por arrastre superficial al embalse Rapel.
- Se deberían elaborar e implementar regulaciones específicas para uso sustentable a nivel de cuenca. Esta actividad promueve la elaboración y la

implementación de ordenanzas para el uso sustentable del territorio de la cuenca.

- Fiscalización de los "Acuerdo de Producción Limpia" que diversas empresas emplazadas en la cuenca de drenaje del embalse, han propuesto para esta zona. Esta fiscalización debería estar a cargo del Servicio Agrícola y Ganadero (SAG).

3.5.3 Plan de Gestión en Turismo y Recreación

i) Objetivo general

Promover y desarrollar actividades turísticas y recreativas alternativas a las actuales desarrolladas en el embalse Rapel.

ii) Objetivos específicos

- Identificar y delimitar sectores con potencialidades y aptitudes para el desarrollo de actividades turísticas y recreativas.
- Implementar medidas de mitigación para prevenir y/o corregir impactos ambientales derivados de la actividad turística.
- Instalar señalética permanente, la cual debe incluir las actividades recreativas permitidas y no permitidas en el área del embalse Rapel.
- Diversificar las actividades turísticas que actualmente se desarrollan en el embalse Rapel.

iii) Actividades

- a. **Reuniones y Coordinación.** Deben existir instancias para la coordinación entre los distintos participantes del Comité de Gestión para implementar el Plan de Gestión en Turismo y Recreación.
- b. **Necesidad de personal y apoyo de infraestructura.** Referido este punto a la identificación y cuantificación de las necesidades del personal, construcciones, equipos y servicios para la aplicación del Plan de Gestión en Turismo y Recreación.
- c. **Capacitaciones en temas ambientales.** Se deben realizar capacitaciones del personal designado para implementar el Plan de Gestión en Turismo y Recreación, en temáticas medioambientales.
- d. **Implementación de equipamiento y servicios básicos.** Esta actividad apunta al desarrollo actividades turísticas alternativas a las que actualmente se realizan en el embalse Rapel. Se propone implementar piscinas en los

campings que se encuentran cerca del embalse. Esta iniciativa podría estar apoyada por Servicio Nacional de Turismo (SERNATUR).

- e. **Diversificación de la actividad turística.** Esta actividad está orientada a buscar alternativas turísticas por parte de los empresarios turísticos que actualmente se benefician en el atractivo ambiental que brinda el embalse Rapel, principalmente por la utilización del espejo de agua para actividades recreativas. La diversificación de la actividad turística futura, apunta a realizar actividades orientadas al agroturismo y turismo rural. Esta actividad podría ser apoyada por SERNATUR, a través de un Programa de Capacitación para dinamizar el desarrollo turístico en zonas rurales.
- f. **Instalación de señalética permanente.** Diseño, elaboración e instalación de un letrero en las zonas más concurridas del embalse y alrededores, a fin de dar a conocer todas las actividades turísticas recreativas permitidas y no permitidas en el embalse y su ribera.
- g. **Regularización de camping.** Incentivar a la regularización de los campings frente a municipios y autoridad sanitaria.
- h. **Programa de control de Norma Primaria de Calidad.** Implementar un programa de control de la norma primaria a través de la SEREMI de Salud.
- i. **Mantenimiento de los equipos y de las instalaciones.** Esta actividad está orientada a proveer un mantenimiento de toda la infraestructura a utilizar para llevar a cabo el Plan de Gestión en Turismo y Recreación.

iv) Cronograma de actividades

La siguiente tabla, muestra el cronograma de actividades a realizar en el presente plan de gestión específico y el tiempo de aplicabilidad y duración de cada una de éstas.

Tabla 51: Cronograma de actividades.

| PLAN DE GESTION EN TURISMO Y RECREACIÓN | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---------------------------|---|---|---|-----------|---|---|---|-----------|---|---|---|-----------|---|---|---|
| Actividades | | Año 1 | | | | Año 2 | | | | Año 3 | | | | Año 4 | | | |
| | | Trimestre | | | | Trimestre | | | | Trimestre | | | | Trimestre | | | |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| a. | Reuniones y Coordinación | | | | | | | | | | | | | | | | |
| b. | Necesidad de personal y apoyo de infraestructura | | | | | | | | | | | | | | | | |
| c. | Capacitaciones en temas ambientales | | | | | | | | | | | | | | | | |
| d. | Implementación de equipamiento y servicios básicos | | | | | | | | | | | | | | | | |
| e. | Diversificación de la actividad turística. | | | | | | | | | | | | | | | | |
| f. | Instalación de señaletica permanente | | | | | | | | | | | | | | | | |
| g. | Programa de control de Norma Primaria de Calidad. | | | | | | | | | | | | | | | | |
| h. | Mantenimiento de los equipos y de las instalaciones | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Actividad a corto plazo | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Actividad a mediano plazo | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Actividad a largo plazo | | | | | | | | | | | | | | | |

v) Propuesta de costos priorizados

La siguiente tabla, muestra los costos asociados para el presente plan específico de gestión, por un periodo de cuatro años.

Tabla 52: Propuesta de costos priorizados por actividad.

| PLAN DE GESTION EN TURISMO Y RECREACIÓN | | | | | | |
|---|-------------|---|---------------------------|------------|------------|------------|
| Priorización | Actividades | | Costos por Actividad (UF) | | | |
| | | | Año 1 | Año 2 | Año 3 | Año 4 |
| 1 | a. | Reuniones y Coordinación | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | b. | Necesidad de personal y apoyo de infraestructura | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 3 | c. | Capacitaciones en temas ambientales | 100 | 0 | 100 | 0 |
| 6 | d. | Implementación de equipamiento y servicios básicos | 80 | 0 | 0 | 0 |
| 4 | e. | Diversificación de la actividad turística | 200 | 0 | 0 | 0 |
| 5 | f. | Instalación de señaletica permanente | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 7 | g. | Regularización de camping. | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 8 | g. | Programa de control de Norma Primaria de Calidad. | 150 | 150 | 150 | 150 |
| 9 | h. | Mantenimiento de los equipos y de las instalaciones | 85 | 85 | 85 | 85 |
| Total por Año | | | 715 | 335 | 435 | 335 |
| TOTAL COSTO PLAN | | | 1820 | | | |

A continuación, se entrega un detalle aproximado de los costos para cada una de las actividades, mostradas en la tabla anterior.

- a. **Reuniones y Coordinación.** Esta actividad no contempla costos.
- b. **Necesidad de personal y apoyo de infraestructura.** Los costos asociados a este punto, estarían definidos por el pago de honorarios al personal de dirigir este plan específico de gestión y a pagos por concepto de arriendo de infraestructura y servicios básicos (luz, agua, gas, etc).
- c. **Capacitaciones en temas ambientales.** Los costos estarían vinculados a la capacitación del personal encargado de dirigir este programa de específico de gestión.
Se sugiere, que el personal correspondiente, sea capacitado, por alguna institución con experiencia demostrable en temáticas ambientales.
Por otro lado, el curso de capacitación puede ser efectuado de dos maneras: la primera de ella, consiste en que el personal a cargo, se desplace hacia otras ciudades para capacitarse, o solicitar a la institución

respectiva, que se dirija a alguna comuna del sector del embalse, para dictar las capacitaciones. Esta última modalidad sería la más apropiada, ya que se estudiaría en terreno las problemáticas ambientales reales del embalse.

El curso de capacitación debería ser de una modalidad teórico-práctico, con una duración mínima de 20 horas. El costo por persona capacitada es de 20 UF. Lo ideal es que a lo menos puedan ser capacitadas dos personas (40 UF/año). El resto de los gastos, serán considerados como operacionales e imprevistos.

En la Tabla 52, se observa que las capacitaciones se deberían realizar los años 1 y 3. Se asume un nuevo ciclo de capacitación, a partir del año 3, para personal nuevo que llegue a reemplazar, a los que estaban desde inicios de la implementación de este plan específico de gestión.

- d. **Implementación de equipamiento y servicios básicos.** Los costos asociados a esta actividad, se vincularían al pago de honorarios de un profesional del área de turismo, para que gestione a través del Estado y con apoyo de SERNATUR, proyectos o subsidios que cubran parte de los gastos que implica la implementación de piscinas en los campings adyacentes al embalse Rapel.
- e. **Diversificación de la actividad turística.** Los costos asociados a esta actividad, estarían destinados para realizar capacitaciones a empresarios turísticos de la zona aledaña al embalse Rapel, con el objeto de aportar con iniciativas para dinamizar el desarrollo turístico en zonas rurales. El diseño de este programa de capacitación y el número de personas a considerar, debería ser efectuado por SERNATUR. A su vez, esta institución debería considerar la posibilidad de obtención de fondos adicionales para las capacitaciones.
- f. **Instalación de señalética permanente.** Los costos asociados a esta actividad, están vinculados al Programa de Alerta Temprana y Medidas de Mitigación, ya que se debería incorporar en la señalética alusiva a la presencia o ausencia de blooms, todas las actividades recreativas que se prohíben cuando exista una floración microalgal.
- g. **Regularización de campings.** Esta actividad no tiene costos. Los propietarios turísticos que no tengan regularizado sus camping deberían acercarse al municipio y regularizar su situación.
- h. **Programa de control de Norma Primaria de Calidad.** Los costos asociados a esta actividad, corresponderían a la medición de contaminantes en el agua del embalse. Esta actividad, podría estar vinculada y apoyada con más recurso financiero, a través de la investigación "Estudio sobre los forzantes ambientales inductores de floraciones microalgales en el embalse Rapel.", propuesto en el Plan de Gestión de Investigación.

- i. **Mantenimiento de los equipos y de las instalaciones.** Los costos de esta actividad estarían orientados a otorgar el mantenimiento y de la infraestructura a utilizar y señalética.

3.5.4 Programa de Gestión en Educación Ambiental

i) Objetivo general

Concientizar a los usuarios del embalse Rapel y su área de drenaje, a que desarrollen su sentido de responsabilidad y a que tomen conciencia de la urgente necesidad de prestar atención a los problemas ambientales asociados a este lugar.

ii) Objetivos específicos

- Contribuir al desarrollo de una mayor sensibilidad y conciencia ambiental en la comunidad local vinculada al embalse Rapel, con el fin de promover la rehabilitación y protección del espejo de agua y su entorno.
- Educar acerca de los procesos de eutroficación del embalse y la importancia que tiene la implementación de medidas ambientales para disminuir este proceso.
- Crear una buena imagen pública de los propietarios e instituciones con interés en el embalse Rapel, a fin de promover el turismo en este sector.

iii) Actividades

- a. **Reuniones y Coordinación.** Deben existir instancias para la coordinación entre los distintos participantes del Comité de Gestión para implementar el Plan de Gestión en Educación Ambiental.
- b. **Necesidad de personal y apoyo de infraestructura.** Referido este punto a la identificación y cuantificación de las necesidades del personal, construcciones, equipos y servicios para la aplicación del Plan de Gestión en Educación Ambiental.
- c. **Capacitaciones en temas ambientales.** Se deben realizar capacitaciones del personal designado para implementar el Plan de Gestión en Educación Ambiental en temáticas medioambientales.
- d. **Promoción de la educación ambiental.** Esta actividad abordaría a promocionar la educación ambiental de dos formas. Primero, a través de la educación formal en establecimientos educativos de las comunas Las cabras, La Estrella, Pichidegua y Litueche, a través de cada uno de los

respectivos DAEM (Departamento de Educación Municipal), y por otra parte, la educación ambiental del tipo informal que sería dictada para la comunidad local, a través de Organizaciones No Gubernamentales (ONG's) interesadas en este tema.

- e. **Elaboración de material informativo.** Esta actividad está orientada a la elaboración, diseño e impresión de material informativo para difusión del embalse Rapel, tanto a nivel local y nacional.
- f. **Instalación de señalética permanente.** Esta actividad apunta a la instalación de letreros en los lugares más concurridos por la comunidad o visitantes, respecto a control de la basura, la contaminación acuática y la conservación de la biodiversidad.
- b. **Mantenimiento de los equipos y de las instalaciones.** Esta actividad está orientada a proveer un mantenimiento de toda la infraestructura a utilizar para llevar a cabo el Plan de Gestión en Educación Ambiental.

iv) Cronograma de actividades

La siguiente tabla, muestra el cronograma de actividades a realizar en el presente plan de gestión específico y el tiempo de aplicabilidad y duración de cada una de éstas.

Tabla 53: Cronograma de actividades.

| PLAN DE GESTION EN EDUCACIÓN AMBIENTAL | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|---|---------------------------|---|---|---|-----------|---|---|---|-----------|---|---|---|-----------|---|---|---|
| Actividades | | Año 1 | | | | Año 2 | | | | Año 3 | | | | Año 4 | | | |
| | | Trimestre | | | | Trimestre | | | | Trimestre | | | | Trimestre | | | |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| a. | Reuniones y Coordinación | | | | | | | | | | | | | | | | |
| b. | Necesidad de personal y apoyo de infraestructura | | | | | | | | | | | | | | | | |
| c. | Capacitaciones en temas ambientales | | | | | | | | | | | | | | | | |
| d. | Promoción de la educación ambiental | | | | | | | | | | | | | | | | |
| e. | Elaboración de material informativo | | | | | | | | | | | | | | | | |
| f. | Instalación de señalética permanente | | | | | | | | | | | | | | | | |
| g. | Mantenimiento de los equipos y de las instalaciones | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Actividad a corto plazo | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Actividad a mediano plazo | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Actividad a largo plazo | | | | | | | | | | | | | | | |

v) Propuesta de costos priorizados

La siguiente tabla, muestra los costos asociados para el presente plan específico de gestión, por un periodo de cuatro años.

Tabla 54: Propuesta de costos priorizados por actividad.

| PLAN DE GESTION EN EDUCACIÓN AMBIENTAL | | | | | | |
|--|-------------|---|---------------------------|-------|-------|-------|
| Priorización | Actividades | | Costos por Actividad (UF) | | | |
| | | | Año 1 | Año 2 | Año 3 | Año 4 |
| 1 | a. | Reuniones y Coordinación | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | b. | Necesidad de personal y apoyo de infraestructura | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 2 | c. | Capacitaciones en temas ambientales | 100 | 0 | 100 | 0 |
| 4 | d. | Promoción de la educación ambiental | 150 | 0 | 150 | 0 |
| 5 | e. | Elaboración de material informativo | 150 | 0 | 0 | 0 |
| 7 | f. | Instalación de señalética permanente | 266 | 0 | 0 | 0 |
| 8 | g. | Mantenimiento de los equipos y de las instalaciones | 20 | 20 | 20 | 20 |
| Total por Año | | | 936 | 120 | 370 | 120 |
| TOTAL COSTO PLAN | | | 1546 | | | |

- a. **Reuniones y Coordinación.** Esta actividad no contempla costos.
- b. **Necesidad de personal y apoyo de infraestructura.** Los costos asociados a este punto, estarían definidos por el pago de honorarios al personal de dirigir este plan específico de gestión, y a pagos por concepto de arriendo de infraestructura y servicios básicos (luz, agua, gas, etc).
- c. **Capacitaciones en temas ambientales.** Los costos estarían vinculados a la capacitación del personal encargado de dirigir este programa de específico de gestión.
Se sugiere, que el personal correspondiente, sea capacitado, por alguna institución con experiencia demostrable en temáticas ambientales.
Por otro lado, el curso de capacitación puede ser efectuado de dos maneras: la primera de ella, consiste en que el personal a cargo, se desplace hacia otras ciudades para capacitarse, o solicitar a la institución respectiva, que se dirija a alguna comuna del sector del embalse, para dictar las capacitaciones. Esta última modalidad sería la más apropiada, ya que se estudiaría en terreno las problemáticas ambientales reales del embalse.

El curso de capacitación debería ser de una modalidad teórico-práctico, con una duración mínima de 20 horas. El costo por persona capacitada es de 20 UF. Lo ideal es que a lo menos puedan ser capacitadas dos personas (40 UF/año). El resto de los gastos, serán considerados como operacionales e imprevistos.

En la Tabla 54, se observa que las capacitaciones se deberían realizar los años 1 y 3. Se asume un nuevo ciclo de capacitación, a partir del año 3, para personal nuevo que llegue a reemplazar, a los que estaban desde inicios de la implementación de este plan específico de gestión.

- d. **Promoción de la educación ambiental.** Los costos asociados a esta actividad comprenderían charlas educativas a profesores de enseñanza básica (séptimos-octavos) y media (terceros-cuartos) de las escuelas y liceos, de las comunas aledañas al embalse. Por otro lado, se debería integrar dentro de estas mismas charlas, a representantes de ONG's a fin de transmitir la información adquirida a la comunidad. Las capacitaciones deberían estar dictadas por los encargados de dirigir este plan de gestión específico.
- e. **Elaboración de material informativo.** Los costos asociados corresponderían al diseño e impresión de dípticos y afiches educativos, los cuales deberían ser distribuidos en la comunidad educativa, organizaciones sociales y municipios del sector del embalse.
- f. **Instalación de señalética permanente.** Los costos para señalética, incluyen el diseño, elaboración e instalación de letreros ubicados en las zonas con mayor afluencia de turistas. Se consideran a lo menos la instalación de siete letreros en los sectores de Santa Clarisa, El Durazno, El Manzano, El Estero, Las Piedras, Las Balsas y Llallauquén³. Los letreros deberían ser confeccionados con materiales resistentes, para mayor durabilidad y con una dimensión de a lo menos 3 x 2 metros.
El costo por letrero sería de aproximadamente 38 UF, obteniéndose un costo total para esta actividad de 266 UF (Tabla 54).
- g. **Mantenimiento de los equipos y de las instalaciones.** Los costos de esta actividad estarían destinados a proveer un mantenimiento de toda la infraestructura que se utilizará y señalética.

³ Esta información fue extraída del informe de participación ciudadana, donde los participantes señalan los lugares donde se realizan actividades turísticas y recreativas (ver Anexo III. Figura 3).

3.5.4 Programa de Gestión en Investigación

i) Objetivo general

Gestionar e implementar proyectos de investigación que se consideren prioritarios para el control de la eutroficación y manejo sustentable del embalse y su área de drenaje.

ii) Objetivos específicos

- Definir las acciones y estrategias que posibiliten la investigación acerca de la interacción entre las actividades antropogénicas y el uso de los recursos naturales en la zona del embalse Rapel y su área de drenaje.
- Incentivar estudios de investigación que resulten atractivos para los usuarios, particularmente aquellos orientados a mejorar el manejo de los recursos naturales.
- Establecer convenios y acuerdos con instituciones académicas para desarrollar proyectos de investigación.
- Establecer normas sobre el uso del área para la investigación, reglamentando el acceso, la recolección de material y el uso de la información generada.

iii) Actividades

- a. **Reuniones y Coordinación.** Deben existir instancias para la coordinación entre los distintos participantes del Comité de Gestión para implementar el Plan de Gestión en Investigación.
- b. **Necesidad de personal y apoyo de infraestructura.** Referido este punto a la identificación y cuantificación de las necesidades del personal, construcciones, equipos y servicios para la aplicación del Plan de Gestión en Investigación.
- c. **Cartera de proyectos en investigación.** Esta actividad corresponde a priorizar y gestionar una cartera de proyectos de investigación. Estos proyectos, se deben centrar en generar nueva información ambiental del embalse Rapel, a fin, de que esta información permita la toma de decisiones técnicas, respecto a la recuperación del embalse.

Las investigaciones relevantes a efectuar serían:

- *Estudio sobre los forzantes ambientales inductores de floraciones microalgales en el embalse Rapel.* Para desarrollar esta investigación, se debe implementar un sistema de monitoreo a largo

plazo, tanto de las condiciones meteorológicas, como de hidrografía, calidad de agua y fitoplancton. Junto con esto, se debe implementar de un sistema informático para transmisión en línea de toda la información de monitoreo en tiempo real para mantener registro de las condiciones ambientales forzantes de las floraciones microalgales en el embalse Rapel. Este proyecto debería ser formulado por profesionales de la Gobernación Marítima.

- *Estudio de caracterización y cuantificación de la biomasa ictica presente en el embalse Rapel.* Esta investigación tendría como principal objetivo, establecer cuotas de pesca extractiva de la especie *Cyprinus carpio* (carpa). Esta especie se encarga de remover el sedimento del embalse Rapel, permitiendo su resuspensión. Este proyecto debería ser formulado por profesionales de SERNAPESCA.
- *Bioacumulación de metales en biomasa ictica.* Este estudio estaría enfocado en determinar contaminantes en peces, los cuales tendrían como destino final, el consumo humano y actividades con fines comerciales. Este proyecto debería ser formulado por profesionales de SERNAPESCA y SERCOTEC.
- *Estudio hidrogeológico para cuantificación de los aportes subterráneos de nutrientes.* Este estudio debería ser formulado por la DGA.

d. **Implementación de estrategias y mecanismos para obtención de fondos.** Esta actividad apunta a desarrollar estrategias de fomento para la investigación y definición de mecanismos para formalizar los acuerdos entre instituciones interesadas.

Para la obtención de fondos, se podría recurrir a instituciones tanto nacionales como internacionales que apoyen iniciativas para investigaciones aplicadas.

iv) Cronograma de actividades

La siguiente tabla, muestra los costos asociados para el presente plan específico de gestión, por un periodo de cuatro años.

Tabla 55: Cronograma de actividades.

| PLAN DE GESTION EN INVESTIGACIÓN | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------------------|---|---------------------------|---|---|---|-----------|---|---|---|-----------|---|---|---|-----------|---|---|---|
| Actividades | | Año 1 | | | | Año 2 | | | | Año 3 | | | | Año 4 | | | |
| | | Trimestre | | | | Trimestre | | | | Trimestre | | | | Trimestre | | | |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| a. | Reuniones y Coordinación | | | | | | | | | | | | | | | | |
| b. | Necesidad de personal y apoyo de infraestructura | | | | | | | | | | | | | | | | |
| c. | Cartera de proyectos en investigación | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | § Estudio sobre los forzantes ambientales inductores de floraciones microalgales en el embalse Rapel. | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | § Estudio de caracterización y cuantificación de la biomasa ictica presente en el embalse Rapel. | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | § Bioacumulación de metales en biomasa íctica | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | § Estudio hidrogeológico para cuantificación de los aportes subterráneos de nutrientes. | | | | | | | | | | | | | | | | |
| d. | Implementación de estrategias y mecanismos para obtención de fondos | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Actividad a corto plazo | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Actividad a mediano plazo | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Actividad a largo plazo | | | | | | | | | | | | | | | |

v) Propuesta de costos priorizados

La siguiente tabla, muestra los costos asociados para el presente plan específico de gestión, por un periodo de cuatro años.

Tabla 56: Propuesta de costos priorizados por actividad.

| PLAN DE GESTION EN INVESTIGACIÓN | | | | | | |
|----------------------------------|-------------|---|---------------------------|-------------|-------------|-------------|
| Priorización | Actividades | | Costos por Actividad (UF) | | | |
| | | | Año 1 | Año 2 | Año 3 | Año 4 |
| 1 | a. | Reuniones y Coordinación | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | b. | Necesidad de personal y apoyo de infraestructura | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 4 | c. | Cartera de proyectos en investigación | | | | |
| | | § Estudio sobre los forzantes ambientales inductores de floraciones microalgales en el embalse Rapel. | 1200 | 1200 | 1200 | 1200 |
| | | § Estudio de caracterización y cuantificación de la biomasa íctica presente en el embalse Rapel. | 750 | 750 | 0 | 0 |
| | | § Bioacumulación de metales en biomasa íctica | 0 | 500 | 500 | 0 |
| | | § Estudio hidrogeológico para cuantificación de los aportes subterráneos de nutrientes. | 0 | 4750 | 4750 | 0 |
| 3 | d. | Implementación de estrategias y mecanismos para obtención de fondos | 50 | 0 | 50 | 0 |
| Total por Año | | | 2100 | 7300 | 6600 | 1300 |
| TOTAL COSTO PLAN | | | 17300 | | | |

La siguiente tabla, muestra los costos asociados para el presente plan específico de gestión, por un periodo de cuatro años.

- Reuniones y Coordinación.** Esta actividad no contempla costos.
- Necesidad de personal y apoyo de infraestructura.** Los costos asociados a este punto, estarían definidos para el pago de honorarios al personal encargado de dirigir este plan específico de gestión y pagos por concepto de arriendo de infraestructura y servicios básicos (luz, agua, gas, etc).
- Cartera de proyectos en investigación.** Los costos asociados a esta actividad, están vinculados netamente, al aporte que deberían realizar las diversas instituciones interesadas en mejorar la calidad ambiental. Los

costos mostrados en la Tabla 56(letra c), son los considerados como mínimo para realizar los muestreos con un diseño muestral óptimo y con los análisis químicos correspondientes.

- d. **Implementación de estrategias y mecanismos para obtención de fondos.** Los costos asociados a esta actividad serían considerados como operacionales, ya que servirán para el traslado de los encargados de dirigir este plan específico de gestión a otros sectores o regiones para la gestión de fondos.

3.5.5 Plan de Gestión en Administración

El programa de administración integra todas las necesidades administrativas del resto de los programas.

i) Objetivo general

Asegurar la adecuada aplicación de los programas de gestión específicos definidos para el embalse Rapel y su área de drenaje.

ii) Objetivos específicos

- Proveer del personal, infraestructura y equipamiento básico para la adecuada administración y seguimiento del área donde serán aplicados los demás programas de gestión (Alerta Temprana, Rehabilitación, Turismo y Recreación, Educación Ambiental e Investigación).

iii) Comité de gestión

El Comité de Gestión debería estar liderado por los municipios de Las Cabras, La Estrella, Litueche y Pichidehua, debido a que éstos tienen como uno de sus límites comunales al embalse Rapel.

Es importante destacar, que actualmente, estos municipios no cuentan con departamentos de medio ambiente, lo cual dificulta la puesta en marcha de este plan de gestión.

Se sugiere, a futuro desarrollar un proyecto colaborativo entre estos municipios, con el fin de crear una entidad que vele por la calidad ambiental del embalse Rapel y su entorno, la cual podría estar a cargo, de a lo menos, dos profesionales, con experiencia en gestión ambiental.

Luego del diagnóstico social realizado en los talleres de participación ciudadana y desde los diversos encuentros efectuados entre el grupo denominado Mesa de

Trabajo Ambiental Rapel, la contraparte técnica del Ministerio del Medio Ambiente y el equipo consultor, se llegó a la conclusión que los siguientes actores son claves para poder llevar a cabo el presente plan de gestión para el embalse:

- Capitanía de Puerto del embalse Rapel
- Gobernación Marítima
- Seremi de Salud (Secretaría regional Ministerial de Salud)
- Consultorios municipales de las comunas Las Cabras, La Estrella, Pichidegua y Litueche.
- Instituto de Desarrollo Agropecuario (INDAP)
- Servicio Nacional de Turismo (SERNATUR)
- Departamento de Educación Municipal (DAEM)
- Servicio Nacional de Pesca (SERNAPESCA)
- Servicio de Cooperación Técnica (SERCOTEC)
- Empresarios de los rubros turísticos, agroindustrias.
- Organizaciones con personalidad jurídica
- Turistas y comunidad en general.

Se propone la formación de un Comité de Gestión a Nivel Local, como primera instancia de organización para la implementación de este plan de gestión. En la Figura 113, se puede observar la estructura grafica del Comité.

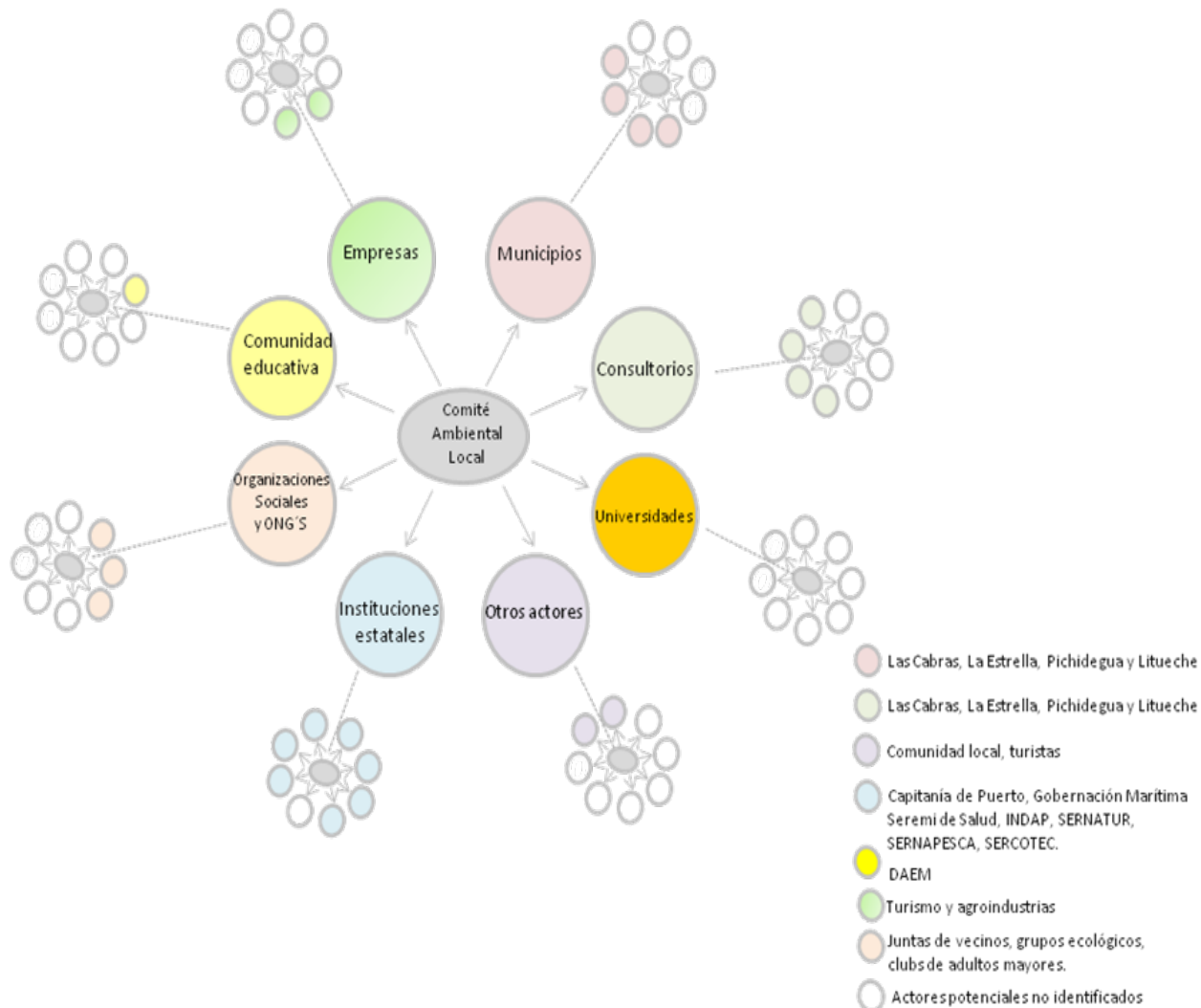


Figura 113: Propuesta de comité de gestión local (modificado de PEDAL, 2010).

iv) Actividades

- a. **Reuniones y Coordinación.** Deben existir instancias para la coordinación entre los distintos participantes del Comité de Gestión para implementar el Plan de Gestión en Administración.
- b. **Necesidad de personal y apoyo de infraestructura.** Referido este punto a la identificación y cuantificación de las necesidades del personal, construcciones, equipos y servicios para la aplicación del Plan de Gestión en Administración.
- c. **Seguimiento y control de planes de gestión específicos.** Esta actividad está orientada a la elaboración de un plan de seguimiento y control de las actividades establecidas en los otros planes de gestión, a saber, Alerta

Temprana y Medidas de Contingencia, Rehabilitación, Turismo y Recreación, Educación Ambiental e Investigación. A su vez, se deberá definir al personal encargado y responsables de llevar a cabo este programa de seguimiento.

- d. **Capacitaciones en administración.** Identificación y ejecución de capacitaciones necesarias para el personal, encargado de llevar a cabo el Plan de Gestión en Administración.
- e. **Implementación de estrategias de cooperación institucional.** Esta actividad apunta en generar redes estratégicas para la cooperación institucional, definiendo sistemas de acuerdos o contratos con terceros para labores de administración del área.
- f. **Implementación de sistemas contables.** Definición de sistemas administrativos y gestión financiera, incluyendo registro de ingresos y egresos y otros sistemas contables.
- g. **Mantenimiento de los equipos y de las instalaciones.** Esta actividad está orientada a proveer un mantenimiento de toda la infraestructura a utilizar para llevar a cabo el Plan de Gestión en Administración.

v) Cronograma de actividades

La siguiente tabla, muestra los costos asociados para el presente plan específico de gestión, por un periodo de cuatro años.

Tabla 57: Cronograma de actividades.

| PLAN DE GESTION EN ADMINISTRACIÓN | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------------|--|---------------------------|---|---|---|-----------|---|---|---|-----------|---|---|---|-----------|---|---|---|
| Actividades | | Año 1 | | | | Año 2 | | | | Año 3 | | | | Año 4 | | | |
| | | Trimestre | | | | Trimestre | | | | Trimestre | | | | Trimestre | | | |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| a. | Reuniones y Coordinación | | | | | | | | | | | | | | | | |
| b. | Necesidad de personal y apoyo de infraestructura | | | | | | | | | | | | | | | | |
| c. | Seguimiento y control de planes de gestión específicos | | | | | | | | | | | | | | | | |
| d. | Capacitaciones en administración | | | | | | | | | | | | | | | | |
| e. | Implementación de estrategias de cooperación institucional | | | | | | | | | | | | | | | | |
| f. | Implementación de sistemas contables | | | | | | | | | | | | | | | | |
| g. | Mantenimiento de los equipos y de las instalaciones. | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Actividad a corto plazo | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Actividad a mediano plazo | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Actividad a largo plazo | | | | | | | | | | | | | | | |

v) Propuesta de costos priorizados

La siguiente tabla, muestra los costos asociados para el presente plan específico de gestión, por un periodo de cuatro años.

Tabla 58: Propuesta de costos priorizados por actividad.

| PLAN DE GESTION EN ADMINISTRACIÓN | | | | | | |
|-----------------------------------|-------------|--|---------------------------|------------|------------|------------|
| Priorización | Actividades | | Costos por Actividad (UF) | | | |
| | | | Año 1 | Año 2 | Año 3 | Año 4 |
| 1 | a. | Reuniones y Coordinación | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | b. | Necesidad de personal y apoyo de infraestructura | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 3 | c. | Seguimiento y control de planes de gestión específicos | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 4 | d. | Capacitaciones en administración | 100 | 0 | 100 | 0 |
| 6 | e. | Implementación de estrategias de cooperación institucional | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 5 | f. | Implementación de sistemas contables | 50 | 0 | 20 | 0 |
| 7 | g. | Mantenimiento de los equipos y de las instalaciones | 20 | 0 | 20 | 0 |
| Total por Año | | | 370 | 200 | 340 | 200 |
| TOTAL COSTO PLAN | | | 1110 | | | |

- a. **Reuniones y Coordinación.** Esta actividad no contempla costos.
- b. **Necesidad de personal y apoyo de infraestructura.** Los costos asociados a este punto, están definidos por el pago de honorarios al personal de dirigir este plan específico de gestión y pagos por concepto de arriendo de infraestructura y servicios básicos (luz, agua, gas, etc).
- c. **Seguimiento y control de planes de gestión específicos.** Los costos asociados para esta actividad, contempla el pago de honorarios de un encargado de fiscalizar el seguimiento de todas las actividades propuestas a través de auditorías. Como producto se espera informes semestrales del cumplimiento de las actividades asociadas a cada uno de los planes específicos de gestión.
- d. **Capacitaciones en administración.** Los costos están vinculados a la capacitación del personal encargado de dirigir este programa de específico de gestión.

El curso de capacitación puede efectuado de dos maneras: la primera de ella, consiste en que el personal a cargo, se desplace hacia otras ciudades

para capacitarse, o solicitar a la institución respectiva, que se dirija a alguna comuna del sector del embalse para dictar el curso de capacitación.

El curso de capacitación debería ser de una modalidad teórico, con una duración mínima de 20 horas. El costo por persona capacitada es de 20 UF. Lo ideal es que a lo menos puedan ser capacitadas dos personas (40 UF/año) puedan ser capacitadas a través de este programa específico. El resto de los gastos, serán considerados como operacionales e imprevistos. En la Tabla 54, se observa que las capacitaciones se deberían realizar los años 1 y 3. Se asume un nuevo ciclo de capacitación, a partir del año 3, para personal nuevo que llegue a reemplazar, a los que estaban desde inicios de la implementación de este plan específico de gestión.

- e. **Implementación de estrategias de cooperación institucional.** Esta actividad no contempla costos.
- f. **Implementación de sistemas contables.** Los costos para implementar esta actividad, corresponden a la compra de un computador, impresora e insumos (tintas para impresión) y materiales de escritorios (hojas para impresión, lápices, etc). Se debe destacar, que la adquisición de este computador, podría ser utilizado por las personas encargadas de los otros planes de gestión específicos.
- g. **Mantenimiento de los equipos y de las instalaciones.** Los costos estarían orientados para mantenimiento de la infraestructura a utilizar en este plan de gestión específico.

4. Indicadores Ambientales y de Gestión

A continuación, se entrega una propuesta de indicadores básicos, los cuales deberán ser considerados para estimar la restauración del embalse Rapel, a lo largo de un periodo de cuatro años.

Tabla 59: Indicadores de calidad

| INDICADORES DE CALIDAD | | | | |
|------------------------|---------------------|--|---------------------|------------------------|
| Tema | Sub tema | Indicadores | Unidad | Frecuencia de medición |
| Agua Dulce | Cantidad de agua | Caudal de los principales tributarios que llegan al embalse | m ³ /seg | Estacional |
| | Calidad de agua | Concentración de bacterias coliformes fecales en el agua dulce | NMP/100 ml | Estacional |
| | | Demanda bioquímica de oxígeno en las masas de agua | DBO ₅ | Estacional |
| | | N-total | mg/L | Estacional |
| | | P-total | mg/L | Estacional |
| | | Sólidos suspendidos totales | mg/L | Estacional |
| Biodiversidad | Especies | Catastro de fauna íctica | Especies presentes | Anual |
| | Biota bentónica | Riqueza específica | Especies presentes | Estacional |
| Residuos | Residuos domésticos | Eliminación de desechos domésticos por usuario turístico en las riberas del embalse. | kg | Anual |

5. REFERENCIAS

- ANSOLA G., C. FERNÁNDEZ AND E. DE LUIS, 1995 Removal of organic matter and nutrients from urban wastewater by using an experimental emergent aquatic macrophyte system. *Ecol. Eng.* 13–19 pp.
- ARAYA J & L ZUÑIGA. (1985). Manual taxonómico del zooplancton lacustre de Chile. Boletín informativo limnológico. Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile. 110 pp.
- BAHAMONDE N & R LR. (1981). Selectividad en muestreos de zooplancton en el Lago Rapel. *Not. Mens. Mus. Nac. Hist. Nat. Chile.* 25: 8-12
- BAKER P & L FABBRO. (1999). A Guide to the Identification of Common Blue-Green Algae (Cyanoprokaryotes) in Australian Freshwaters. Cooperative Research Centre for Freshwater Ecology Identification Guide N° 25. 42 pp.
- CAMPOS H W SETEFFEN G AGUERO O PARRA & L ZUÑIGA. (1987). Limnology of LakeRiñihue. *Limnologica* 18(2): 339-357. CAMPOS H W STEFFEN O PARRA P DOMINGUEZ & G AGÜERO 1987b Estudios Limnológicos en el lago Caburga (Chile). *Gayana, Bot.* 44 (1-4): 61-84.
- CHAPRA, S.C. (1996). Surface water-quality modeling - Preliminary edition, Mc.Graw-Hill, New York, 835 pp.
- CLARKE, K.R. & R.M. WARWICK (1994) Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation. Natural Environmental Research Council, Plymouth Marine Laboratory, Inglaterra. 144 pp.
- CONAF, CONAMA, BIRF, UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE, PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CHILE (1999a). Catastro y Evaluación de los Recursos Vegetacionales Nativos de Chile". Informe nacional con variables ambientales. Santiago, Chile. 88 pp.
- CONAF, CONAMA, BIRF, UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE, PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CHILE. (1999b). Sistema General de Clasificación de la Vegetación, desarrollado para proyecto "Catastro y Evaluación de los Recursos Vegetacionales Nativos de Chile".
- CUENCA INGENIEROS CONSULTORES LTDA. (2010). Levantamiento, Estudio y Evaluación de los cursos superficiales ubicados en la VI Región, y que tributan a la cuenca del embalse Rapel.
- DE LA FUENTE, A. & NIÑO, Y. (2008). Pseudo 2D model for a dendritic reservoir. *Ecological Modeling*, Vol. 213, p 389-401.
- DE LA FUENTE, A. & NIÑO, Y. (2001). Modelación de la estructura térmica del embalse Rapel. XV Congreso Chileno de Ingeniería Hidráulica "La hidráulica Chilena al inicio del siglo XXI", Concepción, Chile.
- EULA (2004). Estudio de los efectos ambientales de los relaves del embalse Carén sobre el embalse Rapel. Centro EULA-Chile de la Universidad de Concepción.
- EULA (1996). Estudios complementarios del sistema hidrobiológico del Estero Caren. Centro EULA-Chile de la Universidad de Concepción.
- EULA (2009). Catastro de actividades económicas por comuna en la cuenca del Rapel y observaciones en terreno proyecto: Diagnóstico Indicadores Biológicos en la Cuenca Rapel. Pág 137 – 145 Quinto Informe.

- FOLK, R. (1980). Petrology of sedimentary rocks. Hemphill, Austin.
- GONZALEZ, A. (1988). El Plancton de las Aguas Continentales. Secretaria General de la Organización de los Estados Americanos. Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico. 130 pp.
- GRAF ME, V MONTECINO & S CABRERA. (1983). Autoradiographic discrimination of carbon fixation in natural phytoplanktonic populations. Arch. Biol. Med. Exp. 16: 157.
- HUTCHINSON, G.E. (1967). A treatise on limnology. II Introduction to lake biology and the limnoplankton. John Wiley Sons, New York.
- INIA (1989). Mapa Agroclimático de Chile. Instituto de Investigación Agropecuaria.
- JEPPESEN, E. (1998). The ecology of shallow lakes- trophic interactions in the pelagial. DSc. dissertation. National Environmental Research Institute. Silkeborg, Denmark. NERI Technical Report 247. 420 pp.
- KLEIN, G. (1992). Rationale and implementation of a strategy to restore urban lakes in Berlin: Results after ten years of phosphorus removal. Water Pollution Research Journal of Canada, 27: 239-255.
- LAVANDEROS L, H VILLAGRAN & H MUHLHAUSER. (1994). Temporal and spatial changes in primary biomass as a diagnosis and prognosis in environmental impact (Rapel Reservoir, Central Chile). Environ. Monit. Assess. 29: 53-64
- LUDWIG JA & JF REYNOLDS (1988). Statistical ecology: a primer on methods and computing. John Wiley and Sons. Nueva York. 337 pp.
- MARGALEF R. (1983). Limnología. Ediciones Omega, S.A. Barcelona. España. 1010 pp.
- MARTINEZ G., M. CONTRERAS & I. VILA. (2003). Modelos conceptuales de abundancia de fitoplancton asociados a la heterogeneidad espacial en el Embalse Rapel (Chile central). Revista Chilena de Historia Natural 76: 225-266.
- MCMANUS, J. (1988). Grain size determination and interpretation, In: Tucker M. (Ed.), Techniques in sedimentology, Blackwell Science, Oxford, pp. 63-85.
- MONTECINO BANDERET V. (1981). Estimación de la productividad primaria en el Embalse Rapel y su metodología. Not. Mens. Mus. Nac. Hist. Nat. Chile. 25: 3-11.
- MONTECINO V & S CABRERA. (1982). Phytoplankton activity and standing crop in an impoundment of central Chile. J. Plankton Res. 4: 943-950
- MOSS, B., J. MADWICK & G. PHILLIPS. (1996). A guide for restoration of nutrient-enriched shallow lakes. Broads. Authority, Norfolk, U.K.
- PARRA O. & C. BICUDO. (1996). Algas de Aguas Continentales: Introducción a la Biología y Sistemática. Ediciones Universidad de Concepción. 268 pp.
- PARRA O S BASUALTO R URRUTIA & C VALDOVINOS. (1999). Estudio Comparativo de la Diversidad fitoplanctónica de Cinco Lagos de Diferentes Niveles de eutroficación del Area Litoral de la Región del Biobío (Chile). Gayana Bot. 56(2): 93-108.
- PARRA O E UGARTE S MORA M LIBERMAN A ARON & L BALABANOFF. (1980) Remarks on a Bloom of *Microcystis aeruginosa* Kützing. Nova Hedwigia.

- PARRA O M GONZALEZ V DELLAROSSA P RIVERA & M ORELLANA. (1982). Manual taxonómico del fitoplancton de aguas continentales con especial referencia al fitoplancton de Chile. Editorial Universidad de Concepción. Vol. I: Cyanophyceae. 70 pp.
- PARRA O M GONZALEZ V DELLAROSSA P RIVERA & M ORELLANA. (1982b). Manual taxonómico del fitoplancton de aguas continentales con especial referencia al fitoplancton de Chile. Editorial Universidad de Concepción. Vol. II: Chrysophyceae- Xanthophyceae. 82 pp.
- PARRA O M GONZALEZ V DELLAROSSA P RIVERA & M ORELLANA. (1982c). Manual taxonómico del fitoplancton de aguas continentales con especial referencia al fitoplancton de Chile. Editorial Universidad de Concepción. Vol. III: Chryptophyceae, Dinophyceae y Euglenophyceae. 99pp.
- PARRA O M GONZALEZ V DELLAROSSA P RIVERA & M ORELLANA. (1983a) Manual taxonómico del fitoplancton de aguas continentales con especial referencia al fitoplancton de Chile. Editorial Universidad de Concepción. Vol. V: Chlrohyceae. Parte I: Volvocales, Tetrasporales, Chlorococcales y Ulothricales. 151 pp.
- PARRA O M GONZALEZ V DELLAROSSA P RIVERA & M ORELLANA. (1983b) Manual taxonómico del fitoplancton de aguas continentales con especial referencia al fitoplancton de Chile. Editorial Universidad de Concepción. Vol. V: Chlrohyceae. Parte II: Zygnematales: 152-353.
- PEDAL, 2010. Guia para una educación ambiental local. Ministerio del Medio Ambiente. Gobierno de Chile.
- REDDY, K. R., M. AGAMI AND J. C. TUCKER.(1989). Influence of nitrogen supply rates on growth and nutrient storage by waterhyacinth (*Eichhornia crassipes*) plants. *Aquat. Bot.* 36:33-43.
- REYNOLDS C.S. (1984). The ecology of freshwater phytoplankton, Cambridge University Press, Cambridge, 384 pp.
- REYNOLDS CS, V MONTECINO, ME GRAF & S CABRERA. (1986). Short-term dynamics of a *Melosira* population in the plankton of an impoundment in central Chile. *J. Plankton Res.* 8: 715-740
- RIVERA P 1970. Diatomeas de los Lagos Ranco, Laja y Laguna Chica de San Pedro (Chile). *Gayana* 20:23 pp
- RIVERA P. (1974). Diatomeas de Agua Dulce de Concepción y Alrededores (Chile). *Gayana* 28:134 pp.
- RIVERA P O PARRA M GONZALEZ V DELLAROSSA & M ORELLANA. (1982). Manual taxonómico del fitoplancton de aguas continentales con especial referencia al fitoplancton de Chile. Editorial Universidad de Concepción. Vol. IV: Bacillariophyceae. 97 pp.
- RIVERA P O PARRA M GONZALEZ. (1973). Fitoplancton del Estero Lenga (Chile). *Gayana* 23:93 pp.
- RYDING S & W RAST. (1992). El Control de la Eutrofización en Lagos y Pantanos. Ediciones Pirámide, S.A. Madrid. 375 pp.
- SCHEFFER, M. (1998). Ecology of Shallow Lakes. Chapman & Hall, London. 357 pp.
- SCHMID-ARAYA JM (1991) Distributional aspects of Rotifera in Central and South Chile. *Archiv für Hydrobiologie* 120(4):481-493.

- SINGH A AND G. MCFEETERS. (1992). Detection Methods for waterborne pathogens in: Environmental Microbiology pp 125-156. Ed by Ralph. Mithchell, Wiley-Liss Publication, New York, USA.
- SMOL, J. (2002). Pollution of lakes and rivers, a paleoenvironmental perspective. Arnold, New York, 280 pp.
- SOTO D, I VILA & B VILLALOBOS. (1984). Temporal and spatial distribution of rotifera in a Chilean reservoir: A possible effect of impoundment hydrodynamics. *Hydrobiologia*. 114: 67-74.
- VILA I, I BARENS & V MONTECINO. (1987). Abundance and temporal distribution of the phytoplankton at the Rapel Reservoir, Central Chile. *Rev. Chil. Hist. Nat.* 60: 37-55.
- VILA I, M CONTRERAS & J PIZARRO. (1997). Eutrophication and phytoplankton selective responses in a temperate reservoir. In: Williams WD, Sladeckova, A (eds.). Sao Paulo 1995 Proceedings. Stuttgart - FRG Schweizerbartsche Verlagsbuchhandlung 26(2) :798-802.
- VILA I & LR ZUNIGA. (1980). Temporal and spatial distribution of the phytoplankton of the Rapel Reservoir. *Arch. Biol. Med. Exp.* 13: 117.
- VILLALOBOS B, D SOTO & I VILA (1981) Temporal and spatial changes in Rotifera at Rapel Reservoir. *Arch. Biol. Med. Exp.* 14: 302.
- VILLALOBOS L (2006) Estado de conocimiento de los crustáceos zooplanctónicos dulceacuícolas de Chile. *Gayana* 70(1):31-39.
- WWW.ccme.ca
- WWW.[sernageomin.cl](http://www.sernageomin.cl)
- WATSON S E, MC CAULEY & J DOWING. (1997). Patterns in phytoplankton taxonomic composition across temperate lakes of differing nutrient status. *Limnology and Oceanography*.
- WENTWORTH, C.K. 1922. A scale of grade and class terms for clastic sediments. *Journal of Geology*, 30: 377-392.
- ZUNIGA LR & J ARAYA. (1982). Estructura y distribución, durante un periodo otoñal del zooplancton en el embalse Rapel. *An. Mus. Hist. Nat. Valparaíso*. 15: 45-57.

ANEXO I: Calidad del agua

Tabla 1: Resumen estadístico de los datos del programa de monitoreo de la Dirección General de Agua (DGA) entre los años 2000 – 2008 para Cubeta Cachapoal.

| Año | Resumen | T (°C) | Conduct. (mS/cm) | pH | O.D. (mg/l) | Disco Secchi (m) | NO ₃ (mg/l) | NO ₂ (mg/l) | NH ₄ (mg/l) | N Total (mg/l) | PO ₄ (mg/l) | P Total (mg/l) | Chl. a (µg/l) | DQO (mg/l) | STS (mg/l) | SO ₄ (mg/l) |
|------|---------|--------|------------------|------|-------------|------------------|------------------------|------------------------|------------------------|----------------|------------------------|----------------|---------------|------------|------------|------------------------|
| 2000 | n | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | | 4 | | 2 | 4 | 2 | 2 |
| | Media | 15,63 | 364,09 | 7,72 | 8,4 | 0,28 | 2,04 | 0,06 | 0,22 | | 0,16 | | 2,62 | 19,98 | 140,45 | 52 |
| | D,E, | 5,9 | 114,61 | 0,35 | 0,66 | 0,16 | 2,02 | 0,01 | 0,17 | | 0,13 | | 1,25 | 8,81 | 80,02 | |
| | Mín | 10,5 | 242,7 | 7,42 | 7,59 | 0,12 | 0,13 | 0,06 | 0,06 | | 0,03 | | 1,73 | 11,33 | 83,87 | 52 |
| | Máx | 21,23 | 471,33 | 8,13 | 9,07 | 0,5 | 4,45 | 0,07 | 0,44 | | 0,28 | | 3,5 | 32 | 197,03 | 52 |
| 2001 | n | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | | 3 | | 4 | 3 | | 3 |
| | Media | 19,14 | 364,22 | 7,87 | 8,86 | 0,64 | 3,55 | 0,05 | 0,09 | | 0,12 | | 11 | 5,94 | | 77,44 |
| | D,E, | 5,54 | 87,8 | 0,09 | 1,05 | 0,13 | 1,57 | 0,03 | 0,1 | | 0,13 | | 19,26 | 3,59 | | 16,77 |
| | Mín | 12,75 | 294 | 7,77 | 7,68 | 0,5 | 2,19 | 0,03 | 0,01 | | 0,03 | | 0,5 | 2,5 | | 63 |
| | Máx | 22,63 | 462,67 | 7,93 | 9,66 | 0,75 | 5,26 | 0,09 | 0,2 | | 0,26 | | 39,87 | 9,67 | | 95,83 |
| 2002 | n | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 2 | 4 | 1 | 4 | 4 | | 4 |
| | Media | 18,11 | 401,36 | 7,9 | 8,12 | 0,59 | 4,54 | 0,05 | 0,19 | 1,15 | 0,16 | 0,02 | 7,22 | 12 | | 74,54 |
| | D,E, | 5,74 | 85,52 | 0,3 | 1,36 | 0,28 | 2,32 | 0,03 | 0,11 | 0,82 | 0,16 | 0 | 12,09 | 3,98 | | 20,27 |
| | Mín | 9,5 | 290,1 | 7,66 | 6,56 | 0,4 | 2,52 | 0,02 | 0,03 | 0,57 | 0,02 | 0,02 | 0,1 | 7 | | 55 |
| | Máx | 21,23 | 471,33 | 8,32 | 9,73 | 1 | 7,88 | 0,1 | 0,29 | 1,73 | 0,3 | 0,02 | 25,2 | 16,33 | | 98,33 |
| 2003 | n | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 3 | 4 | 4 | 1 | 3 | 3 | 4 | 3 | | 4 |
| | Media | 19,42 | 410,69 | 8,08 | 8,6 | 0,34 | 4,94 | 0,06 | 0,23 | 1,17 | 0,18 | 0,04 | 9,04 | 24,11 | | 100,17 |
| | D,E, | 5,31 | 44,97 | 0,32 | 0,67 | 0,11 | 1,78 | 0,04 | 0,15 | | 0,14 | 0,05 | 9,88 | 14,3 | | 25,87 |
| | Mín | 11,5 | 348,93 | 7,71 | 7,99 | 0,2 | 2,89 | 0,02 | 0,02 | 1,17 | 0,03 | 0,01 | 0,87 | 13,33 | | 68 |
| | Máx | 22,74 | 444,07 | 8,44 | 9,5 | 0,48 | 6,02 | 0,1 | 0,34 | 1,17 | 0,28 | 0,1 | 21,7 | 40,33 | | 125 |
| 2004 | n | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 2 | 4 | 4 | 4 | 4 | | 3 |
| | Media | 16,39 | 444,27 | 7,99 | 8,65 | 0,29 | 4,64 | 0,07 | 0,17 | 2,13 | 0,2 | 0,18 | 28,72 | 19,47 | | 109,72 |
| | D,E, | 4,66 | 31,97 | 0,43 | 0,74 | 0,14 | 2,79 | 0,03 | 0,13 | 0,21 | 0,12 | 0,06 | 35,32 | 26,84 | | 30,07 |
| | Mín | 10,83 | 400,27 | 7,54 | 7,82 | 0,14 | 1,15 | 0,04 | 0,08 | 1,98 | 0,06 | 0,12 | 5,33 | 0,1 | | 75 |
| | Máx | 21,25 | 476,9 | 8,5 | 9,35 | 0,42 | 7,39 | 0,11 | 0,35 | 2,28 | 0,34 | 0,26 | 80,2 | 57,02 | | 127,5 |
| 2005 | n | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | | |
| | Media | 17,84 | 415,43 | 8,07 | 8,54 | 0,68 | 3,32 | 0,05 | 0,23 | 2,02 | 0,19 | 0,22 | 25,97 | 17,48 | | |
| | D,E, | 4,54 | 164,24 | 0,3 | 0,68 | 0,36 | 1,82 | 0,01 | 0,18 | 0,27 | 0,17 | 0,05 | 29,47 | 6,75 | | |
| | Mín | 11,88 | 198,73 | 7,65 | 7,84 | 0,24 | 1,53 | 0,04 | 0,05 | 1,8 | 0,04 | 0,16 | 3,4 | 8,26 | | |
| | Máx | 22,78 | 579,67 | 8,31 | 9,18 | 1,05 | 5,74 | 0,06 | 0,46 | 2,42 | 0,36 | 0,26 | 68,85 | 24,37 | | |
| 2006 | n | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 3 | 4 | 4 | 4 | 4 | | |
| | Media | 16,23 | 383,83 | 8 | 8,68 | 0,52 | 3,64 | 0,05 | 0,02 | 1,14 | 0,16 | 0,2 | 4,28 | 9,55 | | |
| | D,E, | 4,47 | 94,31 | 0,31 | 0,63 | 0,21 | 2,34 | 0,04 | 0,02 | 0,34 | 0,05 | 0,09 | 3,4 | 8,57 | | |
| | Mín | 11,01 | 320 | 7,57 | 8,02 | 0,25 | 2 | 0,02 | 0,01 | 0,81 | 0,1 | 0,12 | 0,87 | 0,1 | | |
| | Máx | 21,36 | 521 | 8,32 | 9,39 | 0,77 | 7,11 | 0,12 | 0,05 | 1,48 | 0,2 | 0,31 | 8,9 | 18,23 | | |
| 2007 | n | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | | 3 | 3 | 3 | 3 | | |

Informe Final: "Diagnóstico y plan de gestión para la calidad del agua del embalse RAPEL"

| | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|-------|-------|--------|------|-------|------|-------|------|------|------|------|------|-------|-------|--------|-------|
| | Media | 15,14 | 489,17 | 8,23 | 9,27 | 0,48 | 4,67 | 0,1 | 0,11 | | 0,18 | 0,11 | 18,88 | 33,82 | | |
| | D,E, | 5,1 | 38,03 | 0,24 | 1,13 | 0,23 | 4,5 | 0,02 | 0,03 | | 0,12 | 0,03 | 24,62 | 20,89 | | |
| | Mín | 9,55 | 445,5 | 7,99 | 7,98 | 0,25 | 0,47 | 0,07 | 0,09 | | 0,07 | 0,09 | 3,1 | 9,76 | | |
| | Máx | 19,54 | 515 | 8,46 | 10,07 | 0,7 | 9,41 | 0,12 | 0,15 | | 0,3 | 0,15 | 47,25 | 47,38 | | |
| 2008 | n | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | | 3 | 3 | 3 | 2 | | 1 |
| | Media | 16,65 | 480,78 | 7,97 | 8,64 | 0,62 | 5,31 | 0,08 | 0,13 | | 0,11 | 0,07 | 13,89 | 18,32 | | 92,5 |
| | D,E, | 6,37 | 45,5 | 0,06 | 1,8 | 0,34 | 2,99 | 0,05 | 0,07 | | 0,09 | 0,04 | 14,68 | 7,03 | | |
| | Mín | 11,28 | 439,95 | 7,92 | 6,6 | 0,36 | 2,15 | 0,04 | 0,08 | | 0,03 | 0,03 | 3,05 | 13,36 | | 92,5 |
| | Máx | 23,69 | 529,83 | 8,04 | 9,99 | 1 | 8,1 | 0,13 | 0,21 | | 0,2 | 0,11 | 30,6 | 23,29 | | 92,5 |
| 2009-2010 | n | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 5 | 6 | 5 | 6 | 6 | 6 |
| | Media | 17,36 | 441,22 | 7,82 | 10,2 | 0,42 | 6,78 | 0,1 | 0,14 | 2,56 | 0,11 | 0,15 | 12,63 | 7,59 | 42,88 | 86,67 |
| | D,E, | 5,93 | 96,31 | 0,53 | 0,86 | 0,17 | 2,47 | 0,03 | 0,13 | 0,62 | 0,17 | 0,11 | 10,03 | 3,4 | 37,74 | 17,84 |
| | Mín | 11,3 | 294 | 7,17 | 9,4 | 0,15 | 3,55 | 0,08 | 0,03 | 1,64 | 0,01 | 0,09 | 1,13 | 3,1 | 17,75 | 65,5 |
| | Máx | 27,66 | 547 | 8,55 | 11,75 | 0,6 | 10,99 | 0,16 | 0,39 | 3,34 | 0,41 | 0,37 | 21,75 | 11,35 | 116,25 | 114,5 |

Tabla 2: Resumen estadístico de los datos del programa de monitoreo de la Dirección General de Agua (DGA) entre los años 2000 – 2008 para la Cubeta Alhué.

| Año | Resumen | T (°C) | Conduct. (mS/cm) | pH | O.D. (mg/l) | Disco Secchi (m) | NO ₃ (mg/l) | NO ₂ (mg/l) | NH ₄ (mg/l) | N Total (mg/l) | PO ₄ (mg/l) | P Total (mg/l) | Chl. a (µg/l) | DQO (mg/l) | STS (mg/l) | SO ₄ (mg/l) |
|------|---------|--------|------------------|------|-------------|------------------|------------------------|------------------------|------------------------|----------------|------------------------|----------------|---------------|------------|------------|------------------------|
| 2000 | n | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | | 4 | | 2 | 4 | 3 | 2 |
| | Media | 17,55 | 449,95 | 8,27 | 8,66 | 0,38 | 0,93 | 0,05 | 0,19 | | 0,06 | | 29,73 | 31,11 | 101,48 | 110 |
| | D,E, | 6,64 | 85,56 | 0,44 | 0,47 | 0,13 | 1,41 | 0,02 | 0,16 | | 0,04 | | 28,25 | 13 | 47,82 | 0 |
| | Mín | 11,65 | 334,3 | 7,89 | 8 | 0,2 | 0,1 | 0,02 | 0,06 | | 0,03 | | 9,75 | 19,5 | 52,9 | 110 |
| | Máx | 23,95 | 520,5 | 8,86 | 9,11 | 0,5 | 3,03 | 0,08 | 0,42 | | 0,11 | | 49,7 | 49 | 148,5 | 110 |
| 2001 | n | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | | 3 | | 4 | 3 | | 3 |
| | Media | 17,33 | 468,33 | 8,13 | 8,87 | 0,67 | 1,63 | 0,03 | 0,07 | | 0,04 | | 17,36 | 16,5 | | 135,43 |
| | D,E, | 4,89 | 87,73 | 0,21 | 1,41 | 0,29 | 1,21 | 0,03 | 0,09 | | 0,05 | | 8,48 | 5,41 | | 11,36 |
| | Mín | 13,75 | 370,5 | 7,89 | 7,3 | 0,5 | 0,28 | 0,02 | 0,01 | | 0,01 | | 9,05 | 12 | | 122,5 |
| | Máx | 22,9 | 540 | 8,29 | 10,01 | 1 | 2,6 | 0,06 | 0,17 | | 0,09 | | 28,9 | 22,5 | | 143,8 |
| 2002 | n | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 3 | 4 | 1 | 4 | 4 | | 4 |
| | Media | 17,74 | 440,25 | 8,43 | 9,63 | 0,69 | 2,02 | 0,02 | 0,08 | 1,53 | 0,03 | 0,02 | 10,76 | 14,13 | | 139,63 |
| | D,E, | 6,14 | 48,48 | 0,53 | 1,62 | 0,36 | 2,41 | 0,02 | 0,02 | 0,52 | 0,04 | | 6,18 | 2,59 | | 66,55 |
| | Mín | 10,5 | 372,5 | 7,66 | 8,5 | 0,4 | 0,13 | 4,70E-03 | 0,06 | 1,18 | 0,01 | 0,02 | 3,85 | 11 | | 64,5 |
| | Máx | 23,21 | 487,5 | 8,86 | 11,97 | 1,2 | 5,36 | 0,04 | 0,1 | 2,13 | 0,08 | 0,02 | 17,8 | 16,5 | | 226,5 |
| 2003 | n | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 3 | 4 | 4 | 2 | 4 | 3 | 4 | 3 | | 4 |
| | Media | 20,87 | 487,05 | 8,83 | 10,09 | 0,68 | 2,2 | 0,04 | 0,13 | 1,52 | 0,01 | 0,02 | 60,16 | 37,33 | | 137,25 |
| | D,E, | 5,9 | 50,24 | 0,17 | 1,61 | 0,29 | 1,73 | 0,03 | 0,09 | 0,5 | 0,01 | 0,02 | 27,91 | 9,24 | | 29,71 |
| | Mín | 12,17 | 427 | 8,65 | 8,38 | 0,46 | 0,2 | 3,10E-03 | 0,02 | 1,16 | 0,01 | 3,00E-03 | 35 | 32 | | 94 |
| | Máx | 25,29 | 550 | 9,05 | 12,02 | 1,1 | 3,24 | 0,08 | 0,23 | 1,87 | 0,03 | 0,05 | 93,55 | 48 | | 160 |
| 2004 | n | 4 | 4 | 4 | 4 | 3 | 4 | 4 | 4 | 3 | 4 | 4 | 3 | 4 | | 3 |
| | Media | 17,62 | 557,75 | 8,65 | 9,6 | 0,78 | 0,67 | 0,02 | 0,15 | 1,51 | 0,03 | 0,09 | 52,33 | 16,84 | | 210,83 |
| | D,E, | 5,33 | 46,44 | 0,25 | 1,42 | 0,27 | 1,13 | 0,03 | 0,1 | 0,12 | 0,02 | 0,03 | 21,88 | 17,73 | | 39,87 |
| | Mín | 10,7 | 492,95 | 8,34 | 7,65 | 0,48 | 0,01 | 3,10E-03 | 0,08 | 1,43 | 0,01 | 0,05 | 36,5 | 1,59 | | 177,5 |
| | Máx | 22,46 | 601,45 | 8,95 | 10,91 | 1 | 2,36 | 0,06 | 0,29 | 1,65 | 0,05 | 0,12 | 77,3 | 37,65 | | 255 |
| 2005 | n | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 3 | 4 | 4 | | |
| | Media | 18,69 | 521,71 | 8,58 | 8,63 | 1,84 | 1,63 | 0,03 | 0,15 | 1,46 | 0,04 | 0,2 | 35,31 | 24,17 | | |
| | D,E, | 4,48 | 96,88 | 0,46 | 1,93 | 2,19 | 1,88 | 0,02 | 0,08 | 0,39 | 0,07 | 0,09 | 19,24 | 8,88 | | |
| | Mín | 12,74 | 413,85 | 8,18 | 6,62 | 0,44 | 0,24 | 3,10E-03 | 0,05 | 1,22 | 0,01 | 0,1 | 7,1 | 12,13 | | |
| | Máx | 23,46 | 631,5 | 9,07 | 10,91 | 5,1 | 4,27 | 0,05 | 0,25 | 2,05 | 0,14 | 0,27 | 48,8 | 32,34 | | |
| 2006 | n | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 3 | 4 | 4 | 4 | 4 | | |
| | Media | 17,3 | 507,75 | 8,17 | 8,91 | 0,78 | 0,23 | 0,01 | 0,03 | 1,43 | 0,03 | 0,2 | 24,18 | 19,72 | | |
| | D,E, | 5,87 | 64,6 | 0,71 | 1,75 | 0,27 | 0,12 | 0,01 | 0,02 | 0,18 | 0,03 | 0,12 | 4,47 | 17,62 | | |
| | Mín | 11,72 | 455,5 | 7,19 | 6,5 | 0,39 | 0,08 | 3,10E-03 | 0,01 | 1,23 | 0,01 | 0,04 | 19,4 | 6,3 | | |
| | Máx | 24,27 | 599 | 8,86 | 10,42 | 1 | 0,34 | 0,03 | 0,04 | 1,57 | 0,08 | 0,32 | 30,2 | 45,27 | | |

| | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|-------|-------|--------|------|-------|------|------|----------|------|------|------|------|-------|-------|-------|--------|
| 2007 | n | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | | 3 | 3 | 3 | 4 | | |
| | Media | 16,19 | 589,33 | 8,67 | 10,82 | 0,73 | 2,05 | 0,06 | 0,04 | | 0,01 | 0,06 | 36,2 | 40,31 | | |
| | D,E, | 6,31 | 72,15 | 0,17 | 2,21 | 0,06 | 1,59 | 0,02 | 0,03 | | 0 | 0,03 | 28,59 | 25,96 | | |
| | Mín | 9,84 | 539 | 8,55 | 8,4 | 0,7 | 1,11 | 0,04 | 0,03 | | 0,01 | 0,02 | 4,3 | 14,45 | | |
| | Máx | 22,45 | 672 | 8,86 | 12,73 | 0,8 | 3,89 | 0,08 | 0,08 | | 0,01 | 0,09 | 59,5 | 63,05 | | |
| 2008 | n | 4 | 4 | 4 | 3 | 4 | 4 | 4 | 4 | | 3 | 3 | 4 | 2 | | 2 |
| | Media | 17,72 | 477,03 | 8,66 | 8,91 | 0,72 | 3,85 | 0,03 | 0,06 | | 0,01 | 0,06 | 29,45 | 29,79 | | 141,25 |
| | D,E, | 5,32 | 31,44 | 0,37 | 1,42 | 0,38 | 4,14 | 0,02 | 0,04 | | 0 | 0,02 | 24,84 | 6,95 | | 30,05 |
| | Mín | 11,74 | 447,75 | 8,28 | 7,41 | 0,37 | 0,44 | 4,70E-03 | 0,03 | | 0,01 | 0,05 | 6,99 | 24,88 | | 120 |
| | Máx | 24,17 | 513,45 | 9,17 | 10,23 | 1,17 | 9,62 | 0,05 | 0,11 | | 0,01 | 0,08 | 62,4 | 34,71 | | 162,5 |
| 2009-2010 | n | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 5 | 6 | 5 | 6 | 6 | 6 |
| | Media | 17,84 | 519,02 | 7,94 | 9,55 | 0,58 | 3,54 | 0,1 | 0,11 | 1,63 | 0,02 | 0,09 | 20,59 | 12,33 | 19,75 | 142 |
| | D,E, | 5,28 | 110,17 | 0,67 | 1,27 | 0,09 | 2,16 | 0,03 | 0,05 | 0,37 | 0,01 | 0,03 | 10,59 | 5,55 | 3,15 | 31,54 |
| | Mín | 11,33 | 332 | 7,13 | 7,4 | 0,45 | 0,94 | 0,06 | 0,06 | 1,12 | 0,01 | 0,07 | 6,7 | 5,65 | 14,75 | 103,5 |
| | Máx | 26,22 | 612 | 8,63 | 11,35 | 0,7 | 6,92 | 0,13 | 0,2 | 2,19 | 0,03 | 0,14 | 34,55 | 21,6 | 23,45 | 172 |

Tabla 3: Resumen estadístico de los datos del programa de monitoreo de la Dirección General de Agua (DGA) entre los años 2000 – 2008 para la Cubeta Muro.

| Año | Resumen | T (°C) | Conduct. (mS/cm) | pH | O.D. (mg/l) | Disco Secchi (m) | NO ₃ (mg/l) | NO ₂ (mg/l) | NH ₄ (mg/l) | N Total (mg/l) | PO ₄ (mg/l) | P Total (mg/l) | Chl. a (µg/l) | DQO (mg/l) | STS (mg/l) | SO ₄ (mg/l) |
|------|---------|--------|------------------|------|-------------|------------------|------------------------|------------------------|------------------------|----------------|------------------------|----------------|---------------|------------|------------|------------------------|
| 2000 | n | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | | 3 | | 2 | 4 | 1 | 2 |
| | Media | 15,92 | 344,78 | 7,58 | 7,87 | 0,5 | 1,95 | 0,07 | 0,2 | | 0,12 | | 5,27 | 20,02 | 220,33 | 51,67 |
| | D,E, | 6,38 | 99,39 | 0,4 | 1,24 | 0,39 | 1,91 | 0,02 | 0,15 | | 0,13 | | 1,13 | 8,6 | | |
| | Mín | 10,23 | 224,1 | 7,17 | 6,25 | 0,1 | 0,12 | 0,05 | 0,05 | | 0,02 | | 4,47 | 9 | 220,33 | 51,67 |
| | Máx | 21,8 | 448,67 | 8,11 | 9,1 | 1 | 3,96 | 0,1 | 0,38 | | 0,27 | | 6,07 | 30 | 220,33 | 51,67 |
| 2001 | n | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | | 3 | | 4 | 3 | | 2 |
| | Media | 19,04 | 359,64 | 7,64 | 7 | 0,73 | 2,72 | 0,06 | 0,08 | | 0,07 | | 5,52 | 9,22 | | 87,6 |
| | D,E, | 5,53 | 78,61 | 0,34 | 1,36 | 0,4 | 1,37 | 0,03 | 0,12 | | 0,1 | | 1,8 | 1,84 | | 26,3 |
| | Mín | 12,66 | 306,93 | 7,26 | 5,58 | 0,5 | 1,44 | 0,03 | 0,01 | | 0,01 | | 3,9 | 8 | | 69 |
| | Máx | 22,53 | 450 | 7,87 | 8,29 | 1,2 | 4,17 | 0,08 | 0,22 | | 0,19 | | 8,1 | 11,33 | | 106,2 |
| 2002 | n | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 2 | 4 | 1 | 4 | 4 | | 4 |
| | Media | 16,32 | 345,47 | 7,66 | 7,86 | 0,51 | 4,09 | 0,04 | 0,17 | 1,39 | 0,09 | 0,03 | 3,33 | 10,58 | | 81,92 |
| | D,E, | 5,69 | 71,97 | 0,28 | 1,47 | 0,1 | 2,16 | 0,01 | 0,16 | 0,78 | 0,12 | | 4,69 | 4,19 | | 18,38 |
| | Mín | 10,03 | 291,53 | 7,45 | 5,93 | 0,4 | 2,58 | 0,03 | 0,01 | 0,84 | 0,03 | 0,03 | 0,13 | 6,33 | | 65,67 |
| | Máx | 21,57 | 451 | 8,05 | 9,12 | 0,6 | 7,25 | 0,05 | 0,38 | 1,94 | 0,28 | 0,03 | 10,3 | 16,33 | | 105 |
| 2003 | n | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 3 | 4 | 4 | 1 | 3 | 3 | 4 | 3 | | 4 |
| | Media | 19,79 | 382,15 | 7,95 | 7,53 | 0,75 | 4,39 | 0,09 | 0,29 | 0,99 | 0,14 | 0,04 | 10,35 | 22 | | 99,67 |
| | D,E, | 5,34 | 63,38 | 0,32 | 0,93 | 0,55 | 1,79 | 0,04 | 0,21 | 0 | 0,19 | 0,03 | 8,75 | 12,71 | | 31,13 |
| | Mín | 11,9 | 315,07 | 7,56 | 6,28 | 0,2 | 2,33 | 0,05 | 0,03 | 0,99 | 0,03 | 0,02 | 1,17 | 14,33 | | 73 |
| | Máx | 23,68 | 436,27 | 8,24 | 8,53 | 1,4 | 5,52 | 0,12 | 0,53 | 0,99 | 0,37 | 0,07 | 20,1 | 36,67 | | 135 |
| 2004 | n | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 3 | 4 | 4 | 3 | 4 | 4 | 4 | 4 | | 3 |
| | Media | 16,52 | 478,93 | 7,81 | 7,55 | 0,83 | 3,72 | 0,07 | 0,17 | 1,73 | 0,1 | 0,09 | 36,43 | 9,38 | | 148,89 |
| | D,E, | 5,07 | 34,45 | 0,56 | 1,46 | 0,36 | 2,24 | 0,03 | 0,08 | 0,53 | 0,1 | 0,04 | 17,4 | 13,64 | | 25,51 |
| | Mín | 10,3 | 432,07 | 6,99 | 6,09 | 0,5 | 2,17 | 0,03 | 0,07 | 1,17 | 0,02 | 0,05 | 11,4 | 0,1 | | 133,33 |
| | Máx | 22,43 | 511 | 8,22 | 8,95 | 1,3 | 6,28 | 0,1 | 0,26 | 2,21 | 0,24 | 0,14 | 51,73 | 29 | | 178,33 |
| 2005 | n | 4 | 4 | 4 | 4 | 3 | 4 | 4 | 4 | 3 | 4 | 4 | 4 | 4 | | |
| | Media | 17,9 | 444,78 | 7,93 | 7,1 | 1,2 | 3,46 | 0,05 | 0,22 | 1,52 | 0,18 | 0,2 | 14,57 | 20,56 | | |
| | D,E, | 4,41 | 136,71 | 0,42 | 1,94 | 0,71 | 1,07 | 0,01 | 0,08 | 0,06 | 0,17 | 0,11 | 12,56 | 5,56 | | |
| | Mín | 12,08 | 279,47 | 7,55 | 4,78 | 0,55 | 1,86 | 0,03 | 0,15 | 1,45 | 0,05 | 0,07 | 5,33 | 13,49 | | |
| | Máx | 22,8 | 588 | 8,53 | 9,01 | 1,95 | 4,03 | 0,07 | 0,3 | 1,56 | 0,43 | 0,35 | 33,13 | 27,06 | | |
| 2006 | n | 3 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 3 | 4 | 4 | 4 | 4 | | |
| | Media | 16,43 | 368,5 | 8,06 | 8,2 | 1,12 | 3,31 | 0,05 | 0,08 | 1,34 | 0,1 | 0,18 | 7,89 | 14,36 | | |
| | D,E, | 5,28 | 102,62 | 0,42 | 1,37 | 0,67 | 1,44 | 0,03 | 0,12 | 0,4 | 0,11 | 0,12 | 6,23 | 6,71 | | |
| | Mín | 11,23 | 274 | 7,55 | 6,5 | 0,19 | 1,89 | 0,02 | 0,01 | 0,91 | 0,04 | 0,08 | 2 | 8,37 | | |
| | Máx | 21,79 | 512,33 | 8,48 | 9,63 | 1,79 | 5,31 | 0,1 | 0,26 | 1,71 | 0,27 | 0,34 | 16,7 | 23,93 | | |

| | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|-------|-------|--------|------|------|------|-------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|
| 2007 | n | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | | 3 | 3 | 3 | 3 | | |
| | Media | 14,12 | 566,44 | 7,92 | 7,01 | 2,36 | 3,97 | 0,1 | 0,18 | | 0,11 | 0,07 | 9,14 | 29,6 | | |
| | D,E, | 3,72 | 28,99 | 0,16 | 2,26 | 1,02 | 3,37 | 0,03 | 0,09 | | 0,11 | 0,04 | 5,71 | 15,22 | | |
| | Mín | 9,87 | 533 | 7,73 | 4,6 | 1,18 | 0,44 | 0,07 | 0,12 | | 0,02 | 0,03 | 5,83 | 12,37 | | |
| | Máx | 16,75 | 584,33 | 8,02 | 9,08 | 3 | 7,17 | 0,13 | 0,28 | | 0,24 | 0,11 | 15,73 | 41,18 | | |
| 2008 | n | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 3 | 4 | 4 | | 3 | 3 | 4 | 3 | | 1 |
| | Media | 17,22 | 455,46 | 7,65 | 6,63 | 1,46 | 3,55 | 0,08 | 0,14 | | 0,11 | 0,05 | 5,26 | 25,39 | | 95 |
| | D,E, | 4,69 | 55,43 | 0,21 | 2,3 | 0,93 | 2,64 | 0,02 | 0,13 | | 0,17 | 0,01 | 2,72 | 2,23 | | |
| | Mín | 10,94 | 391,6 | 7,41 | 4,07 | 0,43 | 1,44 | 0,05 | 0,03 | | 0,01 | 0,04 | 2 | 24,05 | | 95 |
| | Máx | 22,22 | 522,17 | 7,86 | 9,46 | 2,38 | 6,51 | 0,1 | 0,32 | | 0,31 | 0,07 | 8,47 | 27,96 | | 95 |
| 2009-2010 | n | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 5 | 6 | 5 | 6 | 6 | 6 |
| | Media | 17,17 | 447,13 | 7,9 | 9,23 | 1,11 | 5,96 | 0,13 | 0,14 | 2,49 | 0,08 | 0,09 | 3,21 | 6,58 | 15,72 | 97,75 |
| | D,E, | 5,04 | 92,22 | 0,62 | 0,98 | 0,59 | 2,39 | 0,05 | 0,07 | 0,68 | 0,08 | 0,04 | 3,21 | 3,16 | 8,18 | 16,51 |
| | Mín | 11,8 | 293 | 7,29 | 7,86 | 0,48 | 3,14 | 0,08 | 0,04 | 1,49 | 0,01 | 0,05 | 1,18 | 3,35 | 8,65 | 78,5 |
| | Máx | 25,17 | 550,3 | 8,76 | 10,3 | 2,15 | 10,23 | 0,24 | 0,22 | 3,37 | 0,2 | 0,14 | 8,86 | 12,65 | 30,85 | 119,5 |

Tabla 4: Resultados de parámetros físicos, químicos, inorgánicos, metales y microbiológicos de las estaciones del embalse Rapel en el muestreo realizado entre agosto y octubre de 2010.

| Parámetros en Agua Superficial(1) | Fecha | E - 1 | E - 2 | E - 3 | E - 4 | E - 5 | E - 6 |
|--|---------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Alcalinidad mg CaCO ₃ /L | Ago.09 | 71,5* | 73,0 | 72,5 | 76,5 | 59,0 | 54,0 |
| | Nov.09 | 97,0 | 84,0 | 73,0 | 76,0 | 89,0 | 82,0 |
| | Ene.10 | 77,0 | 75,0 | 81,0 | 47,0 | 63,0 | 65,0 |
| | May.10 | 45,0 | 89,5 | 78,5 | 64,0 | 79,5 | 81,0 |
| | Jul. 10 | 66,0 | 63,5 | 72,5 | 72,5 | 74,5 | 73,0 |
| | Oct. 10 | 103,0 | 87,5 | 215,0 | 63,5 | 75,0 | 76,5 |
| Amonio mg/L | Ago.09 | 0,14 | 0,12 | 0,17 | 0,14 | 0,26 | 0,17 |
| | Nov.09 | 0,08 | 0,11 | 0,03 | 0,13 | 0,14 | 0,11 |
| | Ene.10 | 0,05 | 0,08 | 0,11 | 0,08 | 0,09 | 0,07 |
| | May.10 | <0,02 | <0,02 | 0,14 | 0,03 | 0,05 | <0,02 |
| | Jul. 10 | 0,46 | 0,31 | 0,08 | 0,03 | 0,17 | 0,19 |
| | Oct. 10 | 0,12 | 0,10 | 0,16 | 0,24 | 0,10 | 0,26 |
| Cadmio mg/L | Ago.09 | <0,001* | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 |
| | Nov.09 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 |
| | Ene.10 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 |
| | May.10 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 |
| | Jul. 10 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 |
| | Oct. 10 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 |
| Cobre mg/L | Ago.09 | 0,008* | 0,011 | 0,008 | 0,009 | 0,012 | 0,012 |
| | Nov.09 | 0,006 | 0,006 | 0,008 | 0,008 | <0,005 | 0,008 |
| | Ene.10 | 0,008 | 0,009 | 0,005 | 0,005 | 0,006 | 0,011 |
| | May.10 | 0,005 | 0,010 | 0,006 | <0,005 | 0,006 | <0,005 |
| | Jul. 10 | 0,015 | 0,012 | 0,007 | 0,005 | 0,007 | 0,009 |
| | Oct. 10 | 0,007 | 0,006 | 0,006 | 0,006 | 0,006 | 0,007 |
| Cobre total mg/L | May.10 | 0,013 | 0,011 | 0,008 | 0,006 | 0,008 | 0,005 |
| | Jul. 10 | 0,092 | 0,066 | 0,013 | 0,009 | 0,024 | 0,014 |
| | Oct. 10 | 0,012 | 0,014 | 0,011 | 0,009 | 0,014 | 0,009 |
| Conductividad µS/cm | Ago.09 | 380,0* | 390,0 | 590,0 | 550,0 | 430,0 | 390,0 |
| | Nov.09 | 296,0 | 292,0 | 347,0 | 317,0 | 294,0 | 292,0 |
| | Ene.10 | 424,0 | 439,0 | 438,0 | 444,0 | 421,0 | 428,0 |
| | May.10 | 547,0 | 537,6 | 554,2 | 559,0 | 546,6 | 554,0 |
| | Jul. 10 | 422,0 | 473,0 | 533,0 | 691,0 | 514,0 | 477,0 |
| | Oct. 10 | 561,0 | 533,0 | 571,0 | 634,0 | 515,0 | 504,0 |
| DBO ₅ (2) mgO ₂ /L | Ago.09 | <1,0* | <1,0 | 2,5 | 1,9 | <1,0 | <1,0 |
| | Nov.09 | 2,7 | <1,0 | 5,5 | 1,6 | <1,0 | <1,0 |
| | Ene.10 | 2,3 | 1,8 | 1,1 | 2,5 | 1,0 | <1,0 |
| | May.10 | 2,0 | 3,1 | 1,7 | 7,6 | 1,2 | 1,1 |
| | Jul. 10 | 2,6 | 2,2 | 2,4 | 3,8 | 1,5 | 1,1 |
| | Oct. 10 | 6,6 | <1,0 | 1,5 | 1,2 | 1,5 | <1,0 |
| DQO mgO ₂ /L | Ago.09 | <2,5* | 3,7 | 5,5 | 5,8 | 6,9 | 6,0 |
| | Nov.09 | 7,7 | 5,3 | 12,1 | 6,7 | 3,7 | 3,0 |
| | Ene.10 | 2,8 | 6,2 | 11,6 | 18,5 | 5,5 | 5,9 |
| | May.10 | 9,6 | 9,4 | 17,1 | 26,1 | 8,5 | 16,8 |
| | Jul. 10 | 11,6 | 9,6 | 10,8 | 14,4 | 4,7 | 6,8 |
| | Oct. 10 | 14,9 | 7,8 | 8,6 | 10,7 | 6,3 | 4,8 |
| Fósforo Soluble mg/L | Nov.09 | 0,04 | 0,04 | <0,01 | 0,01 | 0,04 | 0,04 |
| | Ene.10 | 0,02 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 |

| | | | | | | | |
|--------------------------------------|---------|---------|---------|--------|---------|---------|---------|
| | May.10 | 0,04 | 0,02 | <0,01 | <0,01 | 0,02 | 0,01 |
| | Jul. 10 | 0,14 | 0,13 | 0,02 | 0,01 | 0,07 | 0,06 |
| | Oct. 10 | 0,02 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,03 |
| Fósforo Total mg/L | Ago.09 | 0,13* | 0,13 | 0,13 | 0,10 | 0,14 | 0,13 |
| | Nov.09 | 0,10 | 0,07 | 0,07 | 0,06 | 0,15 | 0,10 |
| | Ene.10 | 0,11 | 0,1 | 0,08 | 0,07 | 0,06 | 0,04 |
| | May.10 | 0,13 | 0,09 | 0,07 | 0,08 | 0,06 | 0,05 |
| | Jul. 10 | 0,39 | 0,35 | 0,10 | 0,17 | 0,13 | 0,11 |
| | Oct. 10 | 0,14 | 0,09 | 0,10 | 0,09 | 0,07 | 0,06 |
| Hierro mg/L | Ago.09 | 0,009* | 0,020 | 0,017 | 0,030 | 0,023 | 0,027 |
| | Nov.09 | 0,010 | 0,006 | 0,008 | 0,036 | <0,003 | <0,003 |
| | Ene.10 | <0,003 | <0,003 | <0,003 | 0,005 | 0,005 | 0,044 |
| | May.10 | 0,011 | 0,061 | 0,013 | 0,012 | 0,008 | 0,014 |
| | Jul. 10 | 0,053 | 0,019 | 0,010 | 0,006 | 0,009 | 0,016 |
| | Oct. 10 | < 0,003 | < 0,003 | 0,003 | < 0,003 | < 0,003 | < 0,003 |
| Hierro total mg/L | May.10 | 0,949 | 0,608 | 0,447 | 0,248 | 0,345 | 0,162 |
| | Jul. 10 | 8,198 | 6,098 | 0,490 | 0,523 | 1,198 | 0,632 |
| | Oct. 10 | 0,436 | 0,525 | 0,569 | 0,604 | 0,509 | 0,122 |
| Molibdeno mg/L | Ago.09 | <0,006* | <0,006 | 0,038 | 0,021 | 0,016 | <0,006 |
| | Nov.09 | <0,006 | <0,006 | 0,023 | <0,006 | 0,006 | <0,006 |
| | Ene.10 | <0,006 | <0,006 | <0,006 | <0,006 | <0,006 | <0,006 |
| | May.10 | <0,006 | <0,006 | 0,016 | 0,010 | <0,006 | <0,006 |
| | Jul. 10 | <0,006 | <0,006 | 0,021 | 0,056 | <0,006 | <0,006 |
| | Oct. 10 | 0,009 | 0,016 | 0,040 | 0,047 | 0,021 | 0,021 |
| Molibdeno total mg/L | May.10 | <0,006 | <0,006 | 0,018 | 0,012 | <0,006 | <0,006 |
| | Jul. 10 | <0,006 | <0,006 | 0,023 | 0,057 | <0,006 | <0,006 |
| | Oct. 10 | 0,010 | 0,018 | 0,043 | 0,052 | 0,026 | 0,023 |
| Nitrato mg/L | Ago.09 | 6,45* | 6,50 | 4,88 | 5,52 | 6,73 | 6,49 |
| | Nov.09 | 6,26 | 5,49 | 2,43 | 3,14 | 4,88 | 5,27 |
| | Ene.10 | 3,82 | 3,27 | 1,69 | 0,18 | 3,07 | 3,21 |
| | May.10 | 8,56 | 6,90 | 3,12 | 1,42 | 4,97 | 4,88 |
| | Jul. 10 | 11,24 | 10,73 | 8,08 | 5,76 | 9,68 | 10,78 |
| | Oct. 10 | 7,00 | 5,14 | 3,52 | 2,73 | 5,51 | 6,09 |
| Nitrito mg/L | Ago.09 | 0,119* | 0,084 | 0,076 | 0,102 | 0,083 | 0,082 |
| | Nov.09 | 0,065 | 0,092 | 0,093 | 0,097 | 0,126 | 0,137 |
| | Ene.10 | 0,068 | 0,082 | 0,146 | 0,023 | 0,145 | 0,097 |
| | May.10 | 0,080 | 0,070 | 0,067 | 0,054 | 0,094 | 0,102 |
| | Jul. 10 | 0,136 | 0,131 | 0,131 | 0,126 | 0,136 | 0,125 |
| | Oct. 10 | 0,166 | 0,144 | 0,123 | 0,142 | 0,248 | 0,225 |
| Nitrógeno Total mg/L | Ago.09 | 2,26* | 3,92 | 1,77 | 1,89 | 2,52 | 2,72 |
| | Nov.09 | 2,69 | 1,66 | 1,19 | 1,04 | 1,55 | 1,42 |
| | Ene.10 | 1,67 | 1,6 | 1,74 | 1,44 | 2,43 | 2,8 |
| | May.10 | 2,63 | 2,34 | 1,80 | 1,51 | 1,55 | 2,32 |
| | Jul. 10 | 3,55 | 3,13 | 2,37 | 2,00 | 3,76 | 2,97 |
| | Oct. 10 | 3,10 | 2,15 | 1,30 | 1,45 | 4,01 | 1,88 |
| Orto - Fosfato mg/L | Nov.09 | 0,074 | 0,083 | <0,012 | 0,021 | 0,110 | 0,111 |
| | Ene.10 | <0,012 | <0,012 | <0,012 | <0,012 | <0,012 | <0,012 |
| | May.10 | 0,015 | 0,046 | <0,012 | <0,012 | 0,024 | 0,034 |
| | Jul. 10 | 0,420 | 0,398 | 0,047 | <0,012 | 0,203 | 0,199 |
| | Oct. 10 | 0,031 | 0,012 | 0,012 | 0,012 | 0,020 | 0,077 |
| Oxígeno Disuelto mgO ₂ /L | Ago.09 | 8,6* | 10,2 | 8,8 | 6,0 | 9,6 | 8,9 |
| | Nov.09 | 10,6 | 10,1 | 9,6 | 9,6 | 8,2 | 8,3 |
| | Ene.10 | 11,5 | 12 | 9,1 | 10 | 9,9 | 9,6 |
| | May.10 | 10,03 | 9,26 | 8,75 | 11,25 | 8,33 | 7,38 |

| | | | | | | | |
|----------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | Jul. 10 | 9,15 | 10,2 | 10,95 | 11,75 | 10,35 | 9,6 |
| | Oct. 10 | 9,5 | 11,3 | 10,4 | 8,4 | 10,6 | 10,0 |
| pH | Ago.09 | 7,40* | 7,40 | 7,30 | 7,60 | 7,30 | 7,30 |
| | Nov.09 | 8,57 | 8,52 | 8,57 | 8,46 | 8,21 | 8,22 |
| | Ene.10 | 6,79 | 7,54 | 7,57 | 7,28 | 7,26 | 7,31 |
| | May.10 | 7,64 | 7,59 | 7,30 | 6,96 | 7,53 | 7,49 |
| | Jul. 10 | 7,85 | 8,04 | 8,47 | 8,78 | 8,55 | 8,08 |
| | Oct. 10 | 8,13 | 8,41 | 8,77 | 8,20 | 8,93 | 8,59 |
| Plomo mg/L | Ago.09 | <0,001* | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 |
| | Nov.09 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 |
| | Ene.10 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 |
| | May.10 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 |
| | Jul. 10 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 |
| | Oct. 10 | < 0,001 | < 0,001 | < 0,001 | < 0,001 | < 0,001 | < 0,001 |
| Plomo total mg/L | May.10 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 |
| | Jul. 10 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 |
| | Oct. 10 | < 0,001 | < 0,001 | < 0,001 | < 0,001 | < 0,001 | < 0,001 |
| Sólidos Suspendidos Totales mg/L | Ago.09 | 76,0* | 22,0 | 23,6 | 19,2 | 24,2 | 6,7 |
| | Nov.09 | 17,5 | 18,0 | 15,6 | 13,9 | 35,2 | 26,5 |
| | Ene.10 | 35,4 | 29,0 | 19,4 | 27,5 | 15,8 | 10,8 |
| | May.10 | 25,2 | 15,4 | 18,2 | 20,4 | 11,8 | 5,5 |
| | Jul. 10 | 115,5 | 117,0 | 20,4 | 23,2 | 21,8 | 12,6 |
| | Oct. 10 | 23,8 | 19,7 | 22,0 | 13,6 | 10,8 | 6,9 |
| Sulfato mg/L | Ago.09 | 66,0* | 65,0 | 145,0 | 130,0 | 96,5 | 69,0 |
| | Nov.09 | 76,0 | 76,0 | 105,0 | 102,0 | 79,0 | 78,0 |
| | Ene.10 | 91,0 | 92,0 | 99,0 | 112,0 | 93,0 | 91,0 |
| | May.10 | 96,0 | 98,0 | 191,0 | 148,0 | 117,0 | 110,5 |
| | Jul. 10 | 74,0 | 77,0 | 129,0 | 199,0 | 97,0 | 103,0 |
| | Oct. 10 | 110,0 | 119,0 | 162,0 | 182,0 | 126,0 | 113,0 |
| Temperatura mg/L | Ago.09 | 14,2* | 12,4 | 12,5 | 15,0 | 12,3 | 12,1 |
| | Nov.09 | 20,5 | 20,3 | 20,6 | 20,7 | 19,6 | 19,7 |
| | Ene.10 | 29,16 | 26,16 | 25,52 | 26,91 | 25,34 | 25,0 |
| | May.10 | 14,48 | 14,95 | 16,47 | 16,69 | 15,97 | 15,70 |
| | Jul. 10 | 10,87 | 11,72 | 11,21 | 11,44 | 12,09 | 11,51 |
| | Oct. 10 | 16,4 | 17,2 | 18,09 | 18,9 | 18,4 | 18,3 |
| Color Verdadero | May.10 | 8,0 | 8,0 | 7,0 | 10,0 | 21,0 | 6,0 |
| | Jul. 10 | 20,0 | 19,0 | 8,0 | 9,0 | 6,0 | 11,0 |
| | Oct. 10 | 8,0 | 8,0 | 5,0 | 6,0 | 5,0 | <5,0 |
| Transparencia m | Ago.09 | 0,40* | 0,30 | 0,40 | 0,50 | 0,50 | 0,45 |
| | Nov.09 | 0,60 | 0,60 | 0,50 | 0,60 | 1,30 | 3,0 |
| | Ene.10 | 0,4 | 0,5 | 0,8 | 0,5 | 1,15 | 1,2 |
| | May.10 | 0,50 | 0,60 | 0,80 | 0,60 | 1,00 | 1,40 |
| | Jul. 10 | 0,10 | 0,20 | 0,80 | 0,45 | 0,60 | 0,70 |
| | Oct. 10 | 0,40 | 0,50 | 0,60 | 0,45 | 0,80 | 1,20 |
| Zinc mg/L | Ago.09 | <0,001* | 0,002 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 |
| | Nov.09 | 0,007 | 0,015 | 0,016 | 0,007 | 0,006 | 0,007 |
| | Ene.10 | 0,003 | <0,001 | 0,002 | 0,003 | 0,002 | 0,004 |
| | May.10 | 0,002 | <0,001 | 0,002 | 0,007 | 0,002 | <0,001 |
| | Jul. 10 | 0,007 | 0,009 | 0,004 | 0,004 | 0,003 | 0,002 |
| | Oct. 10 | < 0,001 | < 0,001 | 0,003 | 0,002 | < 0,001 | < 0,001 |
| Zinc total mg/L | May.10 | 0,003 | 0,003 | 0,007 | 0,010 | 0,003 | 0,005 |
| | Jul. 10 | 0,026 | 0,018 | 0,005 | 0,013 | 0,003 | 0,003 |
| | Oct. 10 | 0,003 | 0,009 | 0,005 | 0,002 | 0,004 | 0,003 |
| Clorofila "a" □g/L | Ago.09 | 1,08 | 1,18 | 5,86 | 7,53 | 0,97 | 1,39 |

| | | | | | | | |
|------------------------------------|---------|---------|---------|-------|-------|-------|-------|
| | Nov.09 | 20,40 | 12,90 | 37,80 | 15,10 | 1,20 | 1,30 |
| | Ene.10 | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| | May.10 | 24,1 | 19,4 | 20,9 | 48,2 | 2,7 | 2,1 |
| | Jul. 10 | 2,61 | 2,61 | 1,52 | 37,86 | 1,9 | 2,83 |
| | Oct. 10 | 19,67 | 22,37 | 20,65 | 10,46 | 13,15 | 4,57 |
| Coliformes fecales NMP/100 ml | Ago.09 | 540,0* | 11,0 | 33,0 | 13,0 | 6,8 | 7,8 |
| | Nov.09 | 130,0 | 7,8 | 6,8 | <1,8 | 2,0 | <1,8 |
| | Ene.10 | <1,8 | 2 | <1,8 | <1,8 | <1,8 | <1,8 |
| | May.10 | 33,0 | 4,5 | 7,8 | 2,0 | 2,0 | <1,8 |
| | Jul. 10 | >1600,0 | >1600,0 | 7,8 | 130,0 | 33,0 | 240,0 |
| | Oct. 10 | 20,0 | < 18,0 | < 1,8 | 2,0 | < 1,8 | < 1,8 |
| Coliformes totales NMP/100 ml | Ago.09 | 3.500* | 170,0 | 240,0 | 130,0 | 46,0 | 79,0 |
| | Nov.09 | 130,0 | 33,0 | 33,0 | 9,3 | 17,0 | 4,0 |
| | Ene.10 | <1,8 | 13,0 | 22,0 | 22,3 | 70,0 | 110,0 |
| | May.10 | 220,0 | 46,0 | 33,0 | 7,8 | 4,5 | <1,8 |
| | Jul. 10 | >1600,0 | >1600 | 27,0 | 130,0 | 170,0 | 240,0 |
| | Oct. 10 | 310,0 | 330,0 | 23,0 | 23,0 | 23,0 | 23,0 |
| Coliformes fecales UFC / 100 mL | May.10 | 40,0 | 9,0 | 3,0 | 19,0 | 2,0 | 3,0 |
| | Jul. 10 | 500,0 | 750,0 | 6,0 | 33,0 | 25,0 | 86,0 |
| | Oct. 10 | 5,0 | <10,0 | 1,0 | 1,0 | 0,5 | <1,0 |
| Enterococos UFC / 100 mL | May.10 | 35,0 | 10,0 | 2,0 | 1,0 | 5,0 | <1,0 |
| | Jul. 10 | 590,0 | 856,0 | 11,0 | 344,0 | 76,0 | 252,0 |
| | Oct. 10 | 10,0 | 10 | <1,0 | 1,0 | <1,0 | <1,0 |

Nota: La estación E-1 se cambió debido a las características del sector.

*: Valores muestreados en la estación E-1 (agosto 09). ---: Sin Información.

Tabla 5: Resultados de parámetros físicos, químicos, inorgánicos, metales y microbiológicos correspondientes a los tributarios del embalse Rapel en el muestreo realizado entre agosto de 2009 y octubre de 2010.

| Parámetros en Agua Superficial (3) | Fecha | R-1 | R-2 | R-3 | R-4 | R-5 | R-6 | R-7 | R-8 |
|--|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Alcalinidad mg CaCO ₃ /L | Ago.09 | 35,5 | 24,5 | 30,0 | 101,5 | 99,5 | 60,5 | 22,5 | |
| | Nov.09 | 78,0 | 125,0 | 34,0 | 92,0 | 118,0 | 79,0 | 94,0 | |
| | Ene.10 | 35,0 | 75,0 | 36,0 | 87,0 | 70,0 | 66,0 | 78,0 | |
| | May.10 | 30,0 | S/C | 32,0 | 100,0 | 131,0 | 66,5 | 91,0 | |
| | Jul. 10 | 29,5 | 46,5 | 37,0 | 84,5 | 99,5 | 46,0 | 56,0 | 38,0 |
| | Oct. 10 | 27,6 | 61,9 | 35,0 | 113,5 | 123,5 | 118,0 | 87,0 | 44,0 |
| Amonio mg/L | Ago.09 | 0,03 | <0,02 | 0,14 | 0,04 | 0,21 | 0,07 | 0,12 | |
| | Nov.09 | <0,02 | <0,02 | 0,08 | 0,04 | 0,07 | 0,06 | 0,08 | |
| | Ene.10 | 0,07 | 0,09 | 0,07 | 0,07 | 0,13 | 0,05 | 0,06 | |
| | May.10 | 0,02 | S/C | 0,06 | 0,04 | 0,04 | <0,02 | <0,02 | |
| | Jul. 10 | 0,05 | 0,06 | 0,03 | 0,17 | 0,20 | 0,08 | 0,15 | 0,17 |
| | Oct. 10 | 0,03 | 0,02 | 0,03 | <0,02 | 0,11 | 0,07 | 0,14 | <0,02 |
| Cadmio mg/L | Ago.09 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | |
| | Nov.09 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | |
| | Ene.10 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | |
| | May.10 | <0,001 | S/C | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | |
| | Jul. 10 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | |
| | Oct. 10 | < 0,001 | < 0,001 | < 0,001 | < 0,001 | < 0,001 | < 0,001 | < 0,001 | < 0,001 |
| Cadmio total mg/L | May.10 | <0,001 | S/C | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | |
| | Jul. 10 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | |
| | Oct. 10 | < 0,001 | < 0,001 | < 0,001 | < 0,001 | < 0,001 | < 0,001 | < 0,001 | < 0,001 |
| Cobre mg/L | Ago.09 | <0,005 | 0,007 | 0,006 | <0,005 | 0,012 | <0,005 | 0,006 | |
| | Nov.09 | <0,005 | 0,010 | 0,009 | <0,005 | <0,005 | <0,005 | <0,005 | |
| | Ene.10 | 0,010 | 0,006 | 0,010 | 0,012 | 0,007 | 0,008 | <0,005 | |
| | May.10 | 0,010 | S/C | 0,009 | 0,006 | 0,008 | <0,005 | <0,005 | |
| | Jul. 10 | 0,009 | <0,005 | <0,005 | 0,007 | 0,010 | <0,005 | 0,006 | |
| | Oct. 10 | 0,010 | < 0,005 | 0,008 | 0,007 | 0,008 | < 0,005 | < 0,005 | 0,009 |
| Cobre total mg/L | May.10 | 0,012 | S/C | 0,009 | 0,010 | 0,016 | <0,005 | <0,005 | |
| | Jul. 10 | 0,014 | <0,005 | 0,008 | 0,012 | 0,039 | 0,008 | 0,008 | |
| | Oct. 10 | 0,011 | < 0,005 | 0,011 | 0,012 | 0,009 | 0,006 | < 0,005 | 0,010 |
| Conductividad μS/cm | Ago.09 | 1634,0 | 115,7 | 905,5 | 382,0 | 331,0 | 191,4 | 209,5 | |
| | Nov.09 | 2150,0 | 258,0 | 2010,0 | 388,0 | 401,0 | 248,0 | 261,0 | |
| | Ene.10 | 3460,0 | 299,0 | 3450,0 | 391,0 | 321,0 | 195,0 | 294,0 | |
| | May.10 | 3220,0 | S/C | 3250,0 | 657,0 | 610,0 | 388,0 | 386,0 | |
| | Jul. 10 | 2630,0 | 169,1 | 1521,0 | 595,0 | 614,0 | 396,0 | 361,0 | 1402,0 |
| | Oct. 10 | 2850,0 | 264,0 | 2290,0 | 628,0 | 592,0 | 508,0 | 410,0 | 2260,0 |
| DBO ₅ (4) mgO ₂ /L | Ago.09 | <1,0 | 2,2 | <1,0 | <1,0 | <1,0 | <1,0 | 3,1 | |
| | Nov.09 | <1,0 | 1,3 | <1,0 | <1,0 | <1,0 | 9,9 | <1,0 | |

| | | | | | | | | | |
|-------------------------|---------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | Ene.10 | <1,0 | <1,0 | <1,0 | <1,0 | <1,0 | 1,2 | 1,4 | |
| | May.10 | 9,8 | S/C | <1,0 | 6,5 | 1,3 | 2,3 | <1,0 | |
| | Jul. 10 | 2,1 | 1,4 | 1,7 | 1,4 | 1,1 | 1,2 | 4,0 | 1,4 |
| | Oct. 10 | <1,0 | <1,0 | <1,0 | 1,7 | 1,7 | 2,4 | <1,0 | <1,0 |
| DQO mgO ₂ /L | Ago.09 | 4,5 | 12,2 | 9,3 | 5,9 | <2,5 | <2,5 | 20,1 | |
| | Nov.09 | 5,1 | 8,8 | 7,6 | 5,8 | 2,5 | 9,9 | 10,8 | |
| | Ene.10 | 15,3 | 6,3 | 15,0 | 5,3 | <2,5 | <2,5 | 18,2 | |
| | May.10 | 13,2 | S/C | 12,3 | 8,8 | 4,8 | 11,6 | 13,1 | |
| | Jul. 10 | 13,6 | 6,9 | 10,5 | 14,6 | 5,9 | 9,1 | 28,5 | 10,5 |
| | Oct. 10 | 11,8 | 7,1 | 8,8 | 7,5 | 4,8 | 9,8 | 9,3 | 7,8 |
| Fósforo Soluble mg/L | Nov.09 | <0,01 | <0,01 | <0,01 | 0,10 | 0,08 | 0,08 | 0,06 | |
| | Ene.10 | 0,01 | 0,02 | 0,02 | 0,08 | 0,04 | 0,06 | 0,04 | |
| | May.10 | 0,01 | S/C | <0,01 | 0,10 | 0,10 | 0,03 | 0,02 | |
| | Jul. 10 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,09 | 0,10 | 0,06 | 0,19 | 0,03 |
| | Oct. 10 | 0,02 | <0,01 | 0,01 | 0,08 | 0,07 | 0,10 | 0,07 | 0,02 |
| Fósforo Total mg/L | Ago.09 | 0,02 | 0,08 | 0,05 | 0,11 | 0,25 | 0,13 | 0,23 | |
| | Nov.09 | <0,01 | 0,02 | 0,02 | 0,20 | 0,21 | 0,16 | 0,13 | |
| | Ene.10 | 0,03 | 0,02 | 0,05 | 0,17 | 0,69 | 0,16 | 0,10 | |
| | May.10 | 0,04 | S/C | 0,05 | 0,16 | 0,15 | 0,16 | 0,02 | |
| | Jul. 10 | 0,08 | 0,02 | 0,05 | 0,18 | 0,15 | 0,17 | 0,32 | 0,07 |
| | Oct. 10 | 0,05 | 0,03 | 0,04 | 0,16 | 0,10 | 0,21 | 0,23 | 0,06 |
| Hierro mg/L | Ago.09 | 0,045 | <0,003 | 0,004 | 0,004 | <0,003 | 0,040 | 0,306 | |
| | Nov.09 | 0,054 | <0,003 | <0,003 | 0,011 | <0,003 | 0,008 | 0,014 | |
| | Ene.10 | <0,003 | <0,003 | <0,003 | <0,003 | <0,003 | <0,003 | 0,010 | |
| | May.10 | <0,003 | S/C | <0,003 | 0,018 | 0,051 | 0,008 | 0,008 | |
| | Jul. 10 | 0,016 | 0,029 | 0,010 | 0,019 | 0,004 | 0,017 | 0,117 | |
| | Oct. 10 | 0,018 | 0,020 | < 0,003 | < 0,003 | < 0,003 | < 0,003 | < 0,003 | < 0,003 |
| Hierro Total mg/L | May.10 | 0,709 | S/C | 0,777 | 0,643 | 0,891 | 1,381 | 0,475 | |
| | Jul. 10 | 0,699 | 0,172 | 0,452 | 1,243 | 1,055 | 3,108 | 4,004 | |
| | Oct. 10 | 0,788 | 0,135 | 0,614 | 0,930 | 0,101 | 0,459 | 0,684 | 0,254 |
| Molibdeno mg/L | Ago.09 | <0,006 | 0,396 | 0,222 | <0,006 | <0,006 | <0,006 | <0,006 | |
| | Nov.09 | <0,006 | 0,485 | 0,412 | <0,006 | <0,006 | <0,006 | <0,006 | |
| | Ene.10 | 0,261 | 0,105 | 0,280 | <0,006 | <0,006 | <0,006 | <0,006 | |
| | May.10 | 0,311 | S/C | 0,312 | <0,006 | <0,006 | <0,006 | <0,006 | |
| | Jul. 10 | 0,517 | <0,006 | 0,288 | <0,006 | <0,006 | <0,006 | <0,006 | |
| | Oct. 10 | 0,553 | < 0,006 | 0,375 | < 0,006 | 0,008 | 0,006 | < 0,006 | 0,437 |
| Molibdeno total mg/L | May.10 | 0,403 | S/C | 0,385 | <0,006 | <0,006 | <0,006 | <0,006 | |
| | Jul. 10 | 0,594 | <0,006 | 0,335 | <0,006 | <0,006 | <0,006 | <0,006 | |
| | Oct. 10 | 0,606 | < 0,006 | 0,466 | < 0,006 | 0,009 | 0,008 | < 0,006 | 0,470 |
| Nitrato mg/L | Ago.09 | 1,42 | <0,05 | 0,80 | 8,39 | 10,28 | 4,76 | 15,16 | |
| | Nov.09 | 0,08 | <0,05 | <0,05 | 7,45 | 11,26 | 4,66 | 1,09 | |
| | Ene.10 | 0,23 | 1,22 | 0,61 | 5,36 | 4,68 | 3,49 | <0,05 | |
| | May.10 | 0,16 | SC | 0,13 | 7,09 | 11,15 | 7,88 | 0,22 | |
| | Jul. 10 | 0,24 | 2,87 | 1,42 | 12,13 | 11,16 | 8,21 | 17,61 | 2,27 |

| | | | | | | | | | |
|--------------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | Oct. 10 | 0,06 | 0,05 | 0,05 | 11,80 | 4,05 | 9,04 | 0,68 | 0,18 |
| Nitrito mg/L | Ago.09 | 0,010 | 0,005 | 0,006 | 0,028 | 0,154 | 0,047 | 0,135 | |
| | Nov.09 | <0,005 | <0,005 | <0,005 | 0,034 | 0,067 | 0,048 | 0,020 | |
| | Ene.10 | 0,006 | 0,014 | 0,008 | 0,046 | 0,032 | 0,061 | 0,009 | |
| | May.10 | <0,005 | S/C | <0,005 | 0,037 | 0,064 | 0,056 | 0,006 | |
| | Jul. 10 | <0,005 | 0,018 | 0,010 | 0,051 | 0,143 | 0,053 | 0,145 | 0,013 |
| | Oct. 10 | 0,005 | 0,008 | 0,005 | 0,050 | 0,148 | 0,176 | 0,014 | 0,005 |
| Nitrógeno Total mg/L | Ago.09 | 1,47 | 0,38 | 0,34 | 3,17 | 2,78 | 1,42 | 3,82 | |
| | Nov.09 | 0,21 | 0,49 | 0,37 | 2,41 | 3,48 | 1,49 | 0,66 | |
| | Ene.10 | 0,63 | 0,52 | 0,62 | 2,28 | 3,46 | 1,26 | 0,74 | |
| | May.10 | 0,58 | S/C | 0,51 | 2,08 | 4,71 | 2,48 | 0,40 | |
| | Jul. 10 | 0,50 | 0,88 | 0,71 | 3,15 | 3,86 | 2,99 | 5,78 | 0,87 |
| | Oct. 10 | 0,76 | 0,31 | 0,42 | 2,91 | 2,83 | 2,77 | 0,62 | 1,84 |
| Orto - Fosfato mg/L | Nov.09 | <0,012 | <0,012 | <0,012 | 0,298 | 0,254 | 0,206 | 0,151 | |
| | Ene.10 | <0,012 | <0,012 | <0,012 | 0,216 | 0,130 | 0,173 | 0,089 | |
| | May.10 | <0,012 | S/C | <0,012 | 0,318 | 0,290 | 0,087 | 0,053 | |
| | Jul. 10 | <0,012 | 0,020 | <0,012 | 0,272 | 0,310 | 0,189 | 0,556 | 0,052 |
| | Oct. 10 | 0,012 | 0,012 | 0,012 | 0,222 | 0,186 | 0,293 | 0,185 | 0,030 |
| Oxígeno Disuelto mgO ₂ /L | Ago.09 | 10,2 | 8,8 | 9,7 | 9,2 | 8,9 | 10,0 | 6,4 | |
| | Nov.09 | 8,5 | 11,9 | 12,4 | 9,1 | 9,0 | 8,5 | 7,5 | |
| | Ene.10 | 8,5 | 8,4 | 12,0 | 9,2 | 12,3 | 9,2 | 10,1 | |
| | May.10 | 10,75 | S/C | 10,65 | 9,45 | 11,9 | 3,75 | 7,15 | |
| | Jul. 10 | 10,5 | 10,95 | 10,95 | 9,15 | 9,90 | 10,8 | 6,65 | 10,45 |
| | Oct. 10 | 13,6 | 11,7 | 12,8 | 10,2 | 11,6 | 9,4 | 6,2 | 12,2 |
| pH | Ago.09 | 8,07 | 6,90 | 7,67 | 7,82 | 7,71 | 7,08 | 7,57 | |
| | Nov.09 | 7,21 | 8,47 | 8,41 | 7,76 | 7,98 | 7,67 | 7,44 | |
| | Ene.10 | 8,13 | 6,75 | 8,04 | 7,80 | 7,96 | 7,63 | 7,75 | |
| | May.10 | 7,65 | S/C | 7,21 | 7,82 | 8,59 | 8,09 | 7,76 | |
| | Jul. 10 | 6,81 | 7,18 | 7,13 | 7,41 | 7,86 | 7,34 | 7,18 | 7,11 |
| | Oct. 10 | 8,75 | 8,31 | 8,29 | 7,96 | 7,96 | 7,86 | 7,32 | 8,18 |
| Plomo mg/L | Ago.09 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | |
| | Nov.09 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | |
| | Ene.10 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | |
| | May.10 | <0,001 | S/C | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | |
| | Jul. 10 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | |
| | Oct. 10 | < 0,001 | < 0,001 | < 0,001 | < 0,001 | < 0,001 | < 0,001 | < 0,001 | < 0,001 |
| Plomo total mg/L | May.10 | <0,001 | S/C | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | |
| | Jul. 10 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | |
| | Oct. 10 | < 0,001 | < 0,001 | < 0,001 | < 0,001 | < 0,001 | < 0,001 | < 0,001 | < 0,001 |
| Sólidos Suspendidos Totales mg/L | Ago.09 | 3,1 | 7,2 | 4,9 | 15,0 | 51,0 | 43,2 | 34,6 | |
| | Nov.09 | 1,3 | 2,8 | 1,9 | 74,3 | 59,8 | 39,0 | 28,8 | |
| | Ene.10 | 167,5 | 11,2 | 54,0 | 53,6 | 590,0 | 66,5 | 6,8 | |
| | May.10 | 9,8 | S/C | 7,8 | 13,1 | 18,8 | 48,5 | 7,8 | |
| | Jul. 10 | 8,4 | 4,6 | 7,0 | 33,4 | 20,8 | 49,0 | 38,5 | |

| | | | | | | | | | |
|---------------------------------|---------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|---------|
| | Oct. 10 | 2,5 | 1,9 | 2,6 | 34,4 | 8,0 | 25,4 | 32,0 | 7,8 |
| Sulfato mg/L | Ago.09 | 21,0 | 1430,0 | 615,0 | 101,0 | 86,0 | 54,0 | 27,0 | |
| | Nov.09 | 101,0 | 164,0 | 224,0 | 96,0 | 91,0 | 59,0 | 55,0 | |
| | Ene.10 | 1740,0 | 1620,0 | 1880,0 | 101,0 | 107,0 | 65,0 | 65,0 | |
| | May.10 | 2020,0 | SC | 2080,0 | 118,0 | 108,0 | 76,0 | 57,0 | |
| | Jul. 10 | 1370,0 | 35,0 | 720,0 | 105,0 | 106,0 | 77,0 | 51,0 | 605,0 |
| | Oct. 10 | 1560,0 | 54,0 | 1280,0 | 113,0 | 111,0 | 96,0 | 70,0 | 1260,0 |
| Temperatura °C | Ago.09 | 17,3 | 17,9 | - | 18,6 | 16,3 | 18,6 | 17,8 | |
| | Nov.09 | 19,2 | 20,7 | 20,7 | 18,3 | 18,6 | 19,0 | 19,6 | |
| | Ene.10 | 26,3 | 26,5 | 26,9 | 23,0 | 23,9 | 25,9 | 27,8 | |
| | May.10 | 17,0 | S/C | 15,8 | 13,8 | 15,4 | 15,0 | 16,4 | |
| | Jul. 10 | 12,05 | 11,25 | 11,85 | 11,75 | 12,45 | 11,25 | 10,75 | 11,75 |
| | Oct. 10 | 19,3 | 20,9 | 20,6 | 18,5 | 18,2 | 17,5 | 16,5 | 20,9 |
| Color Verdadero Pt/Co | May. 10 | <5 | S/C | <5 | 15 | 6 | 46 | 10 | |
| | Jul. 10 | <5 | 13 | 7 | 21 | <5 | 12 | 50 | 9 |
| | Oct. 10 | 7 | 8 | 5 | 10 | 6 | 14 | 15 | <5 |
| Zinc mg/L | Ago.09 | <0,001 | 0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | 0,001 | 0,008 | |
| | Nov.09 | 0,012 | 0,008 | 0,007 | 0,004 | 0,004 | 0,011 | 0,014 | |
| | Ene.10 | 0,009 | 0,004 | 0,003 | 0,003 | <0,001 | <0,001 | 0,004 | |
| | May.10 | <0,001 | S/C | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | 0,004 | |
| | Jul. 10 | 0,004 | 0,005 | 0,005 | 0,002 | 0,005 | 0,004 | 0,012 | |
| | Oct. 10 | 0,002 | < 0,001 | < 0,001 | 0,003 | < 0,001 | 0,001 | 0,002 | < 0,001 |
| Zinc total mg/L | May.10 | 0,006 | S/C | 0,003 | 0,003 | 0,005 | 0,003 | 0,006 | |
| | Jul. 10 | 0,005 | 0,009 | 0,005 | 0,010 | 0,015 | 0,009 | 0,016 | |
| | Oct. 10 | 0,002 | 0,004 | 0,002 | 0,003 | 0,004 | 0,004 | 0,002 | 0,007 |
| Coliformes fecales NMP/100 ml | Ago.09 | 130,0 | <1,8 | 920,0 | 2400,0 | 350,0 | 920,0 | 170,0 | |
| | Nov.09 | 130,0 | 6,8 | 17,0 | 3500,0 | 490,0 | 5400,0 | 330,0 | |
| | Ene.10 | 79,0 | 79,0 | 240, | >1600 | 920,0 | 1600,0 | 23,0 | |
| | May.10 | 10,0 | S/C | 12,0 | 49,0 | 310,0 | 3500,0 | 310,0 | |
| | Jul. 10 | <1,8 | >1600 | 920,0 | 920,0 | 1300,0 | 2200,0 | 3500,0 | 350,0 |
| | Oct. 10 | 4,5 | 130,0 | 45,0 | 1700,0 | 490,0 | 330,0 | 170,0 | 37,0 |
| Coliformes totales NMP/100 ml | Ago.09 | 540,0 | 79,0 | 1600,0 | 3500,0 | 5400,0 | 3500,0 | 2400,0 | |
| | Nov.09 | 170,0 | 110,0 | 70,0 | 16000,0 | 3500,0 | 16000,0 | 330,0 | |
| | Ene.10 | 540,0 | 540,0 | 540,0 | >1600,0 | >1600,0 | 1600,0 | 920,0 | |
| | May.10 | 220,0 | S/C | 27,0 | 240,0 | 1100,0 | >16000 | 460,0 | |
| | Jul. 10 | 70,0 | >1600,0 | >1600 | >1600,0 | 3500,0 | 5400,0 | 3500,0 | 1600,0 |
| | Oct. 10 | 23,0 | 230,0 | 230,0 | 3500,0 | 3500,0 | 790,0 | 490,0 | 79,0 |
| Coliformes fecales UFC / 100 mL | May.10 | 18,0 | S/C | 30,0 | 185,0 | 168,0 | 1100,0 | 1760,0 | --- |
| | Jul. 10 | 4,0 | 564,0 | 334,0 | 560,0 | 70,0 | 980,0 | 2160,0 | 237,0 |
| | Oct. 10 | 16,0 | 88,0 | 25,0 | 285,0 | 77,0 | 150,0 | 250,0 | 3,0 |
| Enterococos UFC / 100 mL | May.10 | 80,0 | S/C | 33,0 | 278,0 | 420,0 | 1500,0 | 1460,0 | --- |
| | Jul. 10 | 19,0 | 187,0 | 70,0 | 2130,0 | 384,0 | 2840,0 | 3470,0 | 190,0 |
| | Oct. 10 | 89,0 | 470,0 | 80,0 | 330,0 | 210,0 | 500,0 | <100 | 26,0 |

S/C: Sin Caudal

ANEXO II: Informe taller participación ciudadana



Talleres Participativos Proyecto

"DIAGNÓSTICO Y PLAN DE GESTIÓN PARA LA CALIDAD DEL AGUA DEL EMBALSE RAPEL"

INFORME TALLERES



ELABORADO POR

CENTRO DE CIENCIAS AMBIENTALES EULA-CHILE
UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN

1. Presentación

El presente informe, da cuenta de las acciones planificadas y los resultados obtenidos en dos Talleres Participativos realizados en las comunas de Las Cabras y La Estrella, Región de O'Higgins, en el contexto del proyecto "Diagnóstico y Plan de Gestión para la Calidad del Agua del Embalse Rapel".

Al respecto, el objetivo general de la realización de estos talleres, fue, dar a conocer a la comunidad, el estado ambiental actual del embalse Rapely, por otro lado, adquirir por parte de la comunidad involucrada al embalse, antecedentes relevantes que debieran ser considerados en un futuro plan de gestión.

En este contexto, los participantes a los talleres fueron líderes sociales y/o miembros representantes de organismos públicos y privados con competencias o actividades desarrolladas en el sector del embalse Rapel. Los talleres se realizaron en los meses de octubre y noviembre de 2010, en la comuna de Las Cabras y La Estrella, respectivamente.

1.1 Objetivos del Taller

- Presentar los resultados de los diversos muestreos realizados en el marco del presente proyecto.
- Sensibilizar respecto a la importancia de generar un plan de gestión para el embalse Rapely su area de drenaje.
- Identificar a través de trabajos grupales actores relevantes vinculados al embalse Rapel.
- Identificar a través de trabajos grupales los usos actuales y potenciales que se dan y podrían dar en el sector de estudio.
- Identificar a través de trabajos grupales, las principales problemáticas ambientales tanto en el embalse como en zonas aledañas a éste.
- Proponer entre todos los asistentes al taller, el futuro comité de gestión que se hará cargo de llevar a cabo las actividades vinculadas para la mejora de la calidad de agua del embalse Rapely su área de drenaje.

2. Antecedentes Generales de los Talleres

2.1 Información sobre talleres

A continuación (Tabla 1), se muestra toda la información relativa a la realización de los talleres de participación ciudadana.

Tabla 1: Información talleres.

| | Comuna Las Cabras | Comuna La Estrella |
|--------------------------------|---|--------------------------------------|
| Organiza y convoca | Ministerio de Medio Ambiente | Región de O'Higgins |
| Financia | Gobierno Regional | Región de O'Higgins |
| Fecha de realización | 7 de Octubre de 2010 | 12 de Noviembre de 2010 |
| Lugar de realización | Comité Agua Potable Rural de Lllallauquén | Centro Cultural, comuna La Estrella. |
| Dirección | Lllallauquén s/n | Calle Arturo Prat s/n |
| Horario | 17:00 a 20:45 | 17:00 a 19:30 |
| Tipo de Actividad | Taller Participativo | Taller Participativo |
| Número de participantes | 37 | 21 |

2.1 Participantes

La convocatoria para ambas comunas, estuvo dirigida fundamentalmente a diversas instituciones públicas y privadas, representantes sociales y miembros de la comunidad con competencia e intereses en el área contemplada en el proyecto.

A continuación (Tabla 2), se muestra el listado de instituciones y organizaciones participantes por comuna, asistentes a los talleres.

a. Comuna Las Cabras

Tabla 2: Nómina de organizaciones participantes en los talleres

| Comuna Las Cabras | Comuna La Estrella |
|--|--|
| Escuela República de Grecia | Junta de vecinos Costa del Sol |
| Junta vecinal de Lllallauquén | Comité Medio Ambiente Lago Rapel |
| Movimiento Ecológico Rapelde (MER) | Fundación para la Superación de la Pobreza |
| Club del Adulto Mayor Los Cariñositos | Junta de vecino (no identificada) |
| Cámara de comercio, comuna Las Cabras | Gobernación Marítima San Antonio |
| Balseros, comuna Las Cabras | Directemar |
| Ilustre Municipalidad de Las Cabras | Ministerio Medio Ambiente |
| Comité de Agua Potable Rural de Lllallauquén (APR) | Alcalde, Municipalidad La Estrella |

| Comuna Las Cabras | Comuna La Estrella |
|--|---------------------------------------|
| Cámara de turismo, comuna Las Cabras | Concejales, Municipalidad La Estrella |
| Ciudadano Jefa Gabinete Diputada Alejandra Sepúlveda | EULA-Chile, Universidad de Concepción |
| Fundación para la Superación de la Pobreza (Servicio País) | |
| Armada de Chile | |
| Carabineros de Chile | |
| Seremi Medio Ambiente O'Higgins | |
| EULA-Chile, Universidad de Concepción | |

En el Anexo II A, se encuentra el listado oficial de las personas que asistieron a los talleres.

3. Metodología Taller

La metodología empleada en el taller estuvo directamente relacionada con los objetivos planteados para éste y las consideraciones requeridas para el trabajo con adultos con diferentes competencias e intereses. Para ello se aplicó estrategias y técnicas didácticas que permitieran la adquisición, comprensión y discusión de las temáticas planteadas, así como también, que optimizaran la participación de los asistentes y el empleo eficaz del tiempo. Lo anterior sustentado en los principios básicos de la educación ambiental, a través de los cuales se crearon instancias ó momentos que permitieron sensibilizar, adquirir conocimiento y aplicarlo de acuerdo a la experiencia de los participantes. Como resultado de lo anterior, los asistentes tuvieron un rol activo, generándose los espacios necesarios para que plantearan sus opiniones, inquietudes y sugerencias respecto a la planificación del embalse Rapel contemplado en el proyecto.

Una de las técnicas empleadas fue la expositiva, esencialmente utilizada por los profesionales del Centro Eula, para la presentación y alcances del proyecto y exposición de los antecedentes ambientales del embalse Rapel, técnica que fue complementada con recursos didácticos como presentación en el programa Powerpoint y apoyo cartográfico.

También se empleó, la técnica didáctica que contempla el trabajo con grupos focales, organizándose a los participantes en grupos heterogéneos (personas pertenecientes a distintas organizaciones civiles, privadas y públicas), a fin de enriquecer el análisis y la discusión de las temáticas planteadas.

Cada uno de estos grupos focales, dispuso de la cartografía del área del proyecto, lo que facilitó el análisis, discusión y proposición en torno a las problemáticas ambientales

y a los usos actuales y potenciales del sector embalse Rapel. Además, como recurso didáctico adicional, cada grupo organizó sus resultados en tarjetas de colores, las que fueron utilizadas para la posterior presentación y discusión plenaria, a través de la cual socializaron las distintas propuestas de los grupos focales en relación a los objetivos mencionados anteriormente.



Figura 1. Discusión en los grupos de trabajo y presentación plenaria. Comuna Las Cabras⁴

Es preciso destacar, que fue esencial el trabajo de los grupos focales para definir los primeros lineamientos a considerar para la propuesta del plan de gestión, por cuanto se generó esta instancia para que los participantes identificaran las principales problemáticas ambientales y sociales para la gestión del área. Por consiguiente, a partir del análisis del desarrollo de cada uno de los objetivos planteados para el taller, cada grupo socializado y consensuado a través de discusión plenaria, fue posible definir los principales indicadores y criterios propuestos por la comunidad, basados en su experiencia e intereses.

⁴ En Anexo II B, se muestran fotografías capturadas durante los talleres realizados en las comunas de Las Cabras y La Estrella.



Figura 2: Discusión en los grupos de trabajo y presentación plenaria. Comuna La Estrella¹

Lo anterior permitió a los ejecutores del proyecto, contrastar la propuesta de la comunidad con los antecedentes científicos y técnicos, y generar una propuesta concreta y sólida, la que será incorporada en el informe final del presente proyecto “Diagnóstico y plan de gestión para la calidad del agua del embalse Rapel”.

4. Resultados

a. Identificación de actores involucrados al embalse Rapel

Del análisis y discusión efectuada por los distintos grupos focales durante el taller, se identifican aquellos actores que mantienen una relación directa o indirecta con el embalse Rapel y sus alrededores, a través de la utilización de los recursos naturales que se encuentran en este sector.

Los actores involucrados se pueden dividir en tres categorías; sector público, sector privado y comunidad local (Tabla 3).

Tabla 3. Actores identificados por los participantes de los talleres realizados en las comunas de Las Cabras y La Estrella.

| Sector | Comuna Las Cabras | Comuna La Estrella |
|---------|---|--------------------|
| Público | Gobierno de Chile | Gobierno de Chile |
| | Municipalidades de la cuenca del Cachapoal y principalmente las que colindan con embalse (Las Cabras, La Estrella, Pichidegua y Litueche) | Codelco |
| | Armada de Chile | |
| | Carabineros de Chile | |
| | Codelco (embalse Caren) | |
| Privado | Empresarios agropecuarios | Agroindustrias |

| Sector | Comuna Las Cabras | Comuna La Estrella |
|----------------|--|---------------------------------------|
| | Endesa | Propietarios turísticos |
| | Empresas comerciales y productivas (Agrosuper) | |
| | Ganaderos | |
| | Agricultores | |
| | Empresarios packing (Verfrut) | |
| | Vitivinicultores | |
| | Empresas de áridos | |
| | Empresa Ex basurero Guayanga | |
| Sociedad Civil | Comité de Agua Potable de Llallauquén | Comunidad |
| | Comunidad en general | Residentes permanentes y transitorios |
| | Unidades vecinales | Escuelas |
| | Establecimientos educacionales | |
| | Turistas región Metropolitana | |
| | Turistas en general | |
| | Vecinos | |
| | Campistas | |
| | Pescadores | |

b. Identificación de usos actuales y potenciales

La Tabla 4, resume las principales categorías que los participantes plantearon en relación con los usos actuales y potenciales del embalse Rapely zona adyacente.

Tabla 4: Usos actuales y potenciales señalados por los participantes, considerando categoría de uso del área.

| Uso | Categoría | Comuna Las Cabras | Comuna La Estrella |
|--------------|----------------------|---------------------------|--|
| Actual | Turismo y Recreación | Pesca y caza | Actividades náuticas a través de todo el embalse (Ski acuático, pesca) |
| | | Camping | Camping |
| | Productivo | Comercio | Vega |
| | | Viñas | Ganaderos ovinos |
| | | | Agroindustrias olivos |
| | | | Agroindustrias |
| Ganadería | | | |
| Habitacional | Casas de veraneo | Asentamientos humanos | |
| Potencial | Turismo y Recreación | Igual a los usos actuales | espejo de agua y rivera del embalse solo para uso turístico (declarar rivera del embalse como área |

| Uso | Categoría | Comuna Las Cabras | Comuna La Estrella |
|-----|---------------------|---------------------------|--|
| | | | turística) |
| | | | zonas de camping ordenadas en sectores determinados |
| | | | exigir fiscalización y formalización de los servicios turísticos |
| | | | igual al uso actual pero con educación ambiental |
| | | | agua limpia del embalse para riego en casa particulares |
| | | | educación ambiental a los operadores turísticos (dueños de camping) y que ellos se responsabilicen de transmitir esta información a sus clientes |
| | | | Libre acceso a la rivera del lago |
| | Productivo | Igual a los usos actuales | Solo conservar agroindustrias actuales y respetar las normativas medioambientales |
| | Habitacional | Igual a los usos actuales | Igual a los usos actuales. Apoyan al uso habitacional |

De la tabla anterior, se rescata que los usos actuales para el área de estudio, corresponden a tres grandes ejes, a saber, usos de turismo y recreación, productivo y habitacional.

En relación a los usos potenciales, en general, existe una coincidencia entre los participantes de ambos talleres, en relación a que los usos potenciales, deberían ser los mismos que hay hoy en día en la zona. Solo que a esto, se enfatiza que para poder evitar la degradación del sistema natural donde se manifiestan los usos, se debe educar ambientalmente a la comunidad y a todos los usuarios de este sector.

Una diferencia a la mantención de los usos potenciales mencionados más arriba, se manifestó en el taller realizado en la comuna La Estrella, donde los participantes manifiestan un apoyo en crear nuevas áreas para el uso habitacional dentro de esta comuna y que el espejo de agua del embalse solo sea usado para turismo y recreación.

En las siguientes figuras, que detallan los diversos usos que se dan en el embalse y su área adyacente, elaborada durante los respectivos talleres.

En el taller participativo de la comuna de Las Cabras muestran los usos actuales y potenciales (Figura 3). Se visualiza una concentración de actividades en el sector nor-este, encontrándose que los mayores usos actuales son para la ganadería y turismo.

Durante la realización del taller en la comuna de La Estrella (Figura 4), los participantes dieron a conocer una mayor heterogeneidad de usos actuales. También, se observa que estas actividades están distribuidas a través de todo el embalse y su área adyacente. Los mayores usos se dan para las actividades relacionadas con turismo y recreación y la agroindustria.

En relación a los usos potenciales (Figura 5), y coincidente a lo registrado en el taller de Las Cabras, los usos actuales, también podrían ser considerados como potenciales. Solo que a esta situación, se debe agregar el uso habitacional en la riera de esta comuna y la totalidad de la superficie del espejo de agua para usos recreativos.

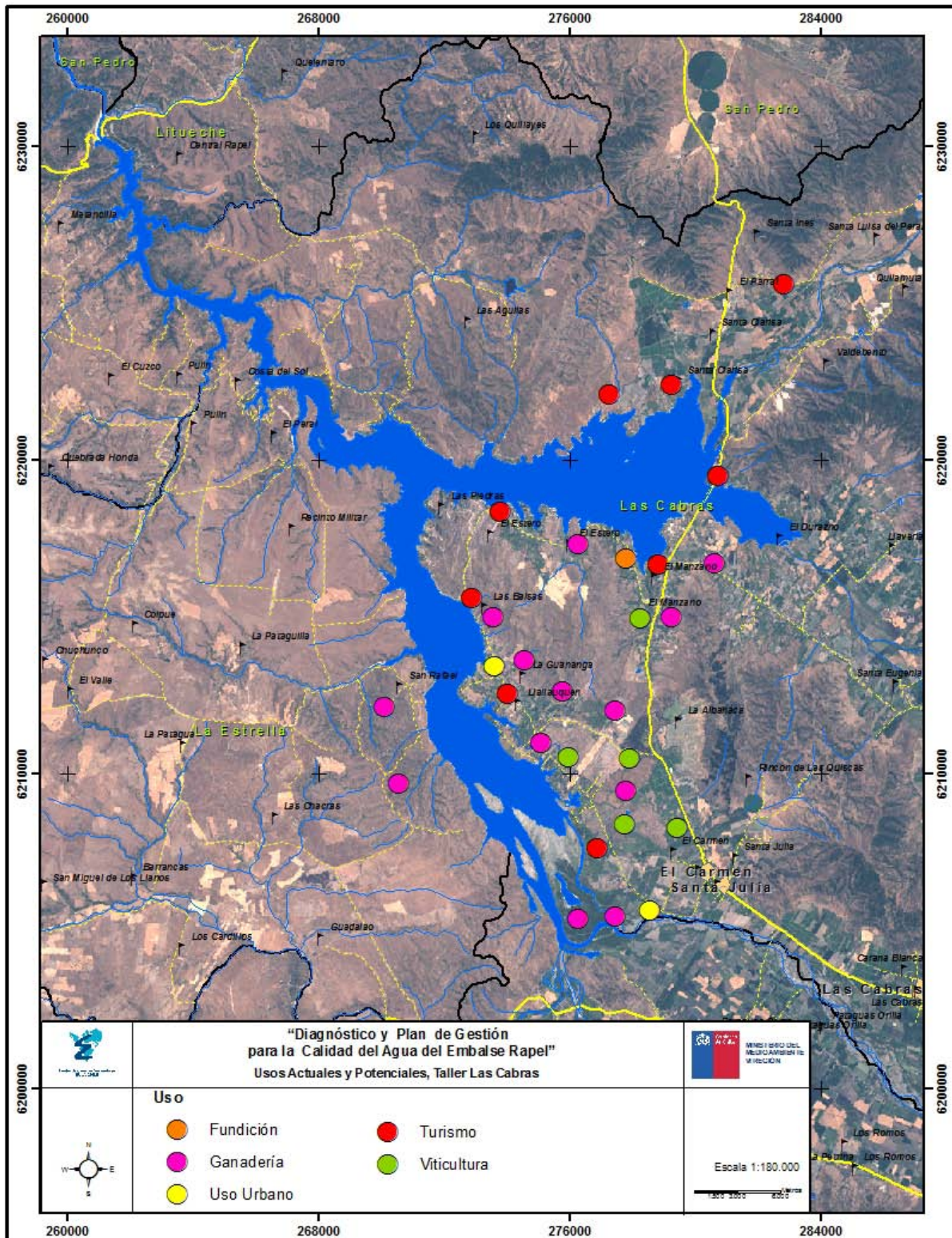


Figura 3: Identificación de usos actuales y potenciales aportados en el taller de la comuna Las Cabras.

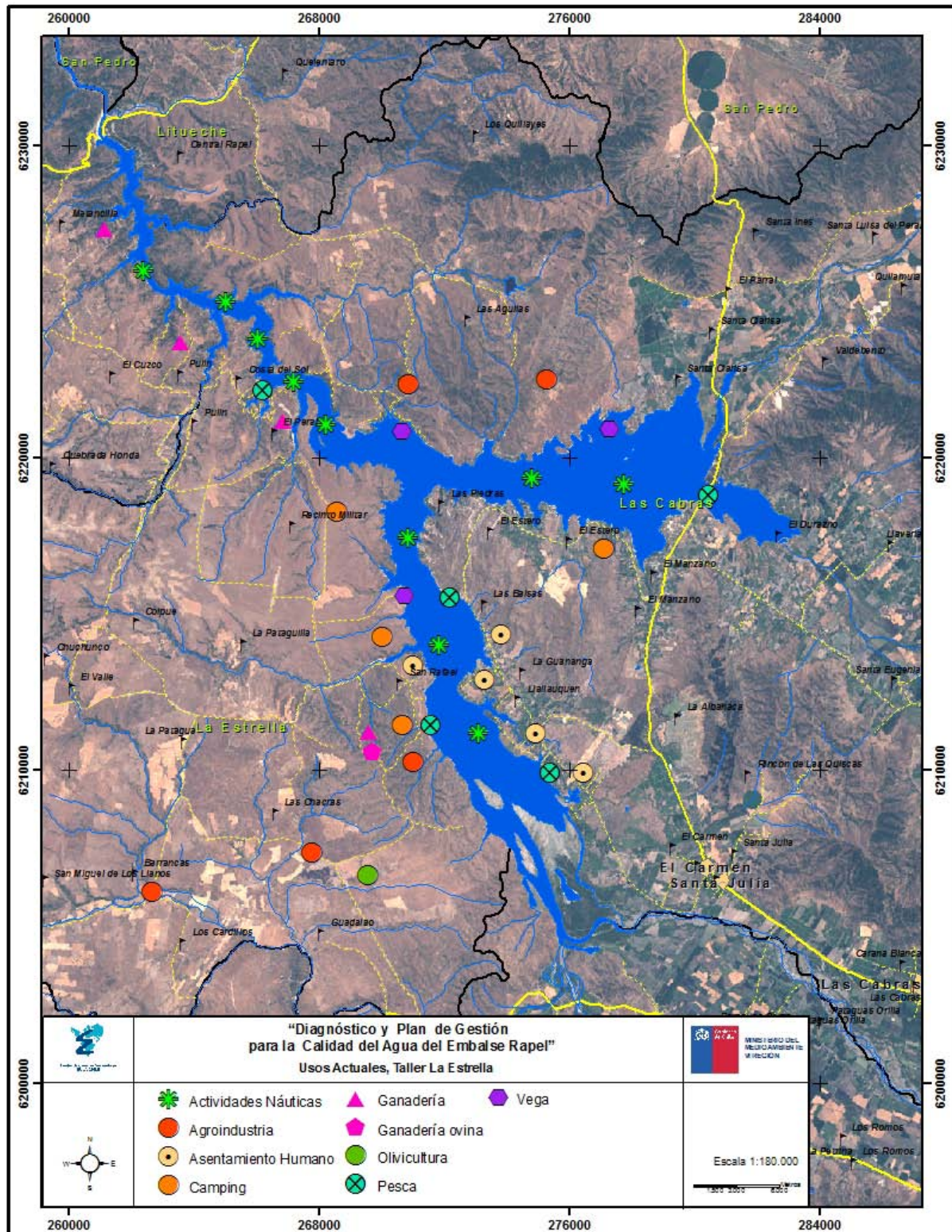


Figura 4: Identificación de usos actuales aportado en el taller de la comuna La Estrella

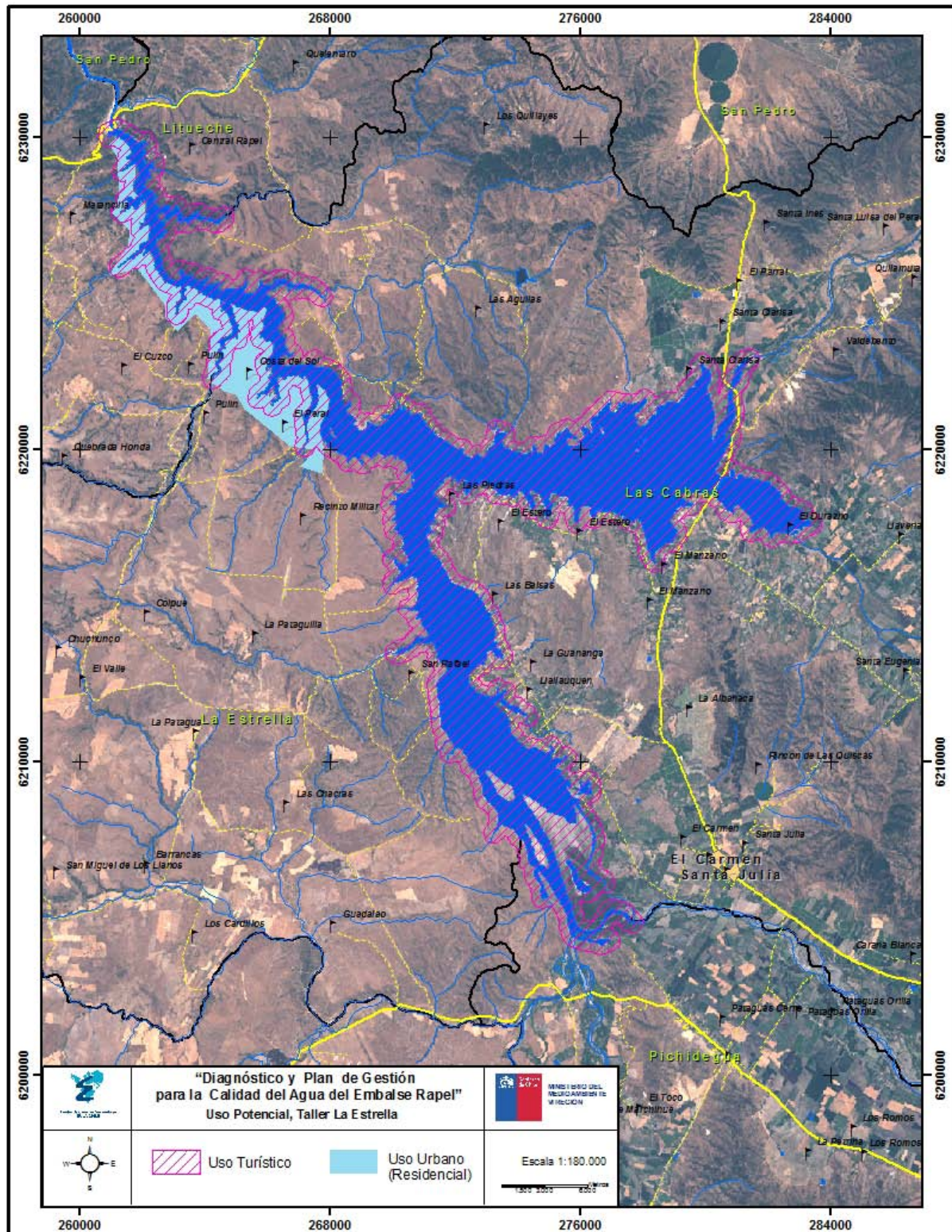


Figura 5: Identificación de usos potenciales aportados en el taller de la comuna La Estrella.

c. Identificación de problemáticas ambientales

La Tabla 5, muestra los principales problemas ambientales identificados por los participantes de los talleres, en el área del embalse y su área adyacente. Estos problemas abarcan diferentes componentes ambientales, a saber, agua, suelo, sedimento, aire y el componente social.

Tabla 5: Identificación de las problemáticas ambientales en la zona de embalse Rapely su área adyacente.

| Componente ambiental afectado | Comuna Las Cabras | Comuna La Estrella |
|--------------------------------------|--|--|
| Agua | Material orgánico en causes y embalse | Eutroficación embalse |
| | Empresas agroindustrial sin plantas de tratamiento | Contenidos de metales pesados en agua |
| | Empresa Codelco | Falta de infraestructura sanitaria |
| | Bajada de aguas minerales de Loncha | Empresas cobre, fundiciones relaves. |
| | Percolado Agrosuper (Valdebenito) | Baja nivel embalse |
| | Aguas estancadas/descarga de aguas negras | |
| Suelo | Ganadería aledaña al lago | Agroindustrias (Agrosuper: cerdos) |
| | El ex vertedero no tratado | |
| | Microbasurales en distintos lugares del embalse | Basura en rivera del embalse |
| | Residuos poblaciones | |
| Sedimentos | Embanques | Embanques |
| Aire | | Mal olor |
| Social | Falta de conciencia | Falta aplicación de la escasa normativa medioambiental, Falta de educación ecologica |
| | Falta de señalética “prohibido botar basura” | |
| | Habilitar puntos limpios instalación de contenedores | |

Como principal problema, destaca, la eutroficación del embalse. Los participantes señalan que el aporte de nutrientes en el lago, tiene origen desde algunas agroindustrias, que no poseen un tratamiento adecuado de sus riles. Estas empresas se emplazan en la cuenca del Cachapoal, siendo los nutrientes transportados desde los

tributarios hasta el embalse. Mencionan que otra fuente aportante de materia orgánica para la eutricación son las actividades de ganadería en la rivera del embalse. Sumado a lo anterior, las bajas excesivas de la cuota de agua en el embalse, principalmente en época estival, estaría provocando los blooms de microalgas.

Otro problema ambiental identificado, son el contenido de metales pesados en el agua, debido a los riles de las empresas de extracción de cobre (fundiciones y relaves). Otra situación que identificaron los participantes de los talleres es la descarga de aguas negras desde casas emplazadas en las distintas comunas rivereñas del embalse. Los participantes del taller de la comuna de Las Cabras manifiestan que no existe la infraestructura sanitaria adecuada en un alto porcentaje de las casas (cercano al 80%) ubicadas de esta comuna.

La presencia de microbasurales entorno a la rivera y en el agua del embalse es habitual.

Se identifican zonas de embancamientos de sedimento, lo que provoca una disminución en la superficie para la realización de deportes náuticos y zonas de toma de sol. En estas zonas de embancamiento, se han encontrado también restos de ganado muerto.

Los episodios de mal olor, son muy recurrentes. Los causantes de estos olores serían identificados como las empresas del rubro de las agroindustrias (aves y cerdos).

En las figuras 6 y 7, se muestran las zonas de ubicación de los problemas ambientales.

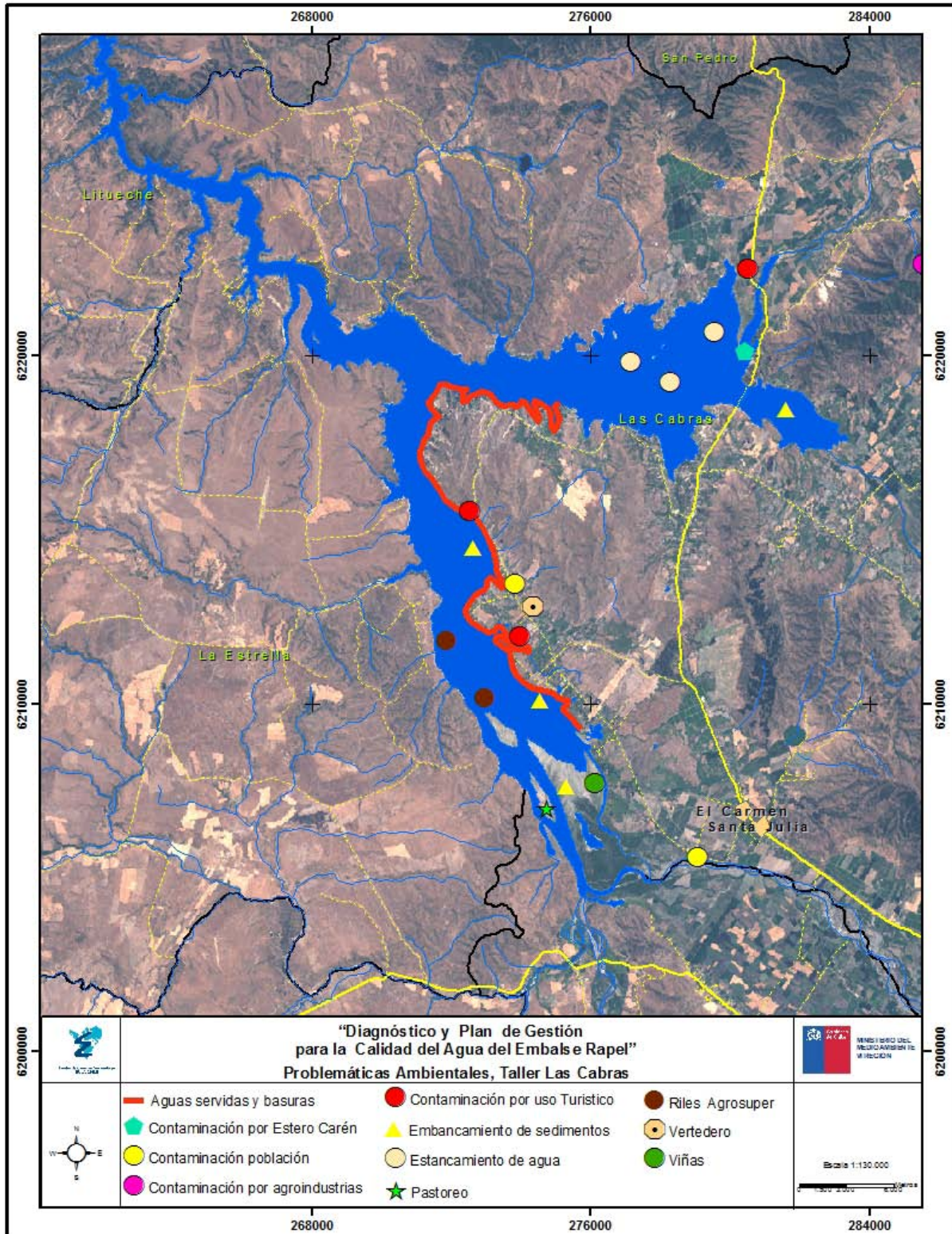


Figura 6: Problemáticas ambientales comuna Las Cabras

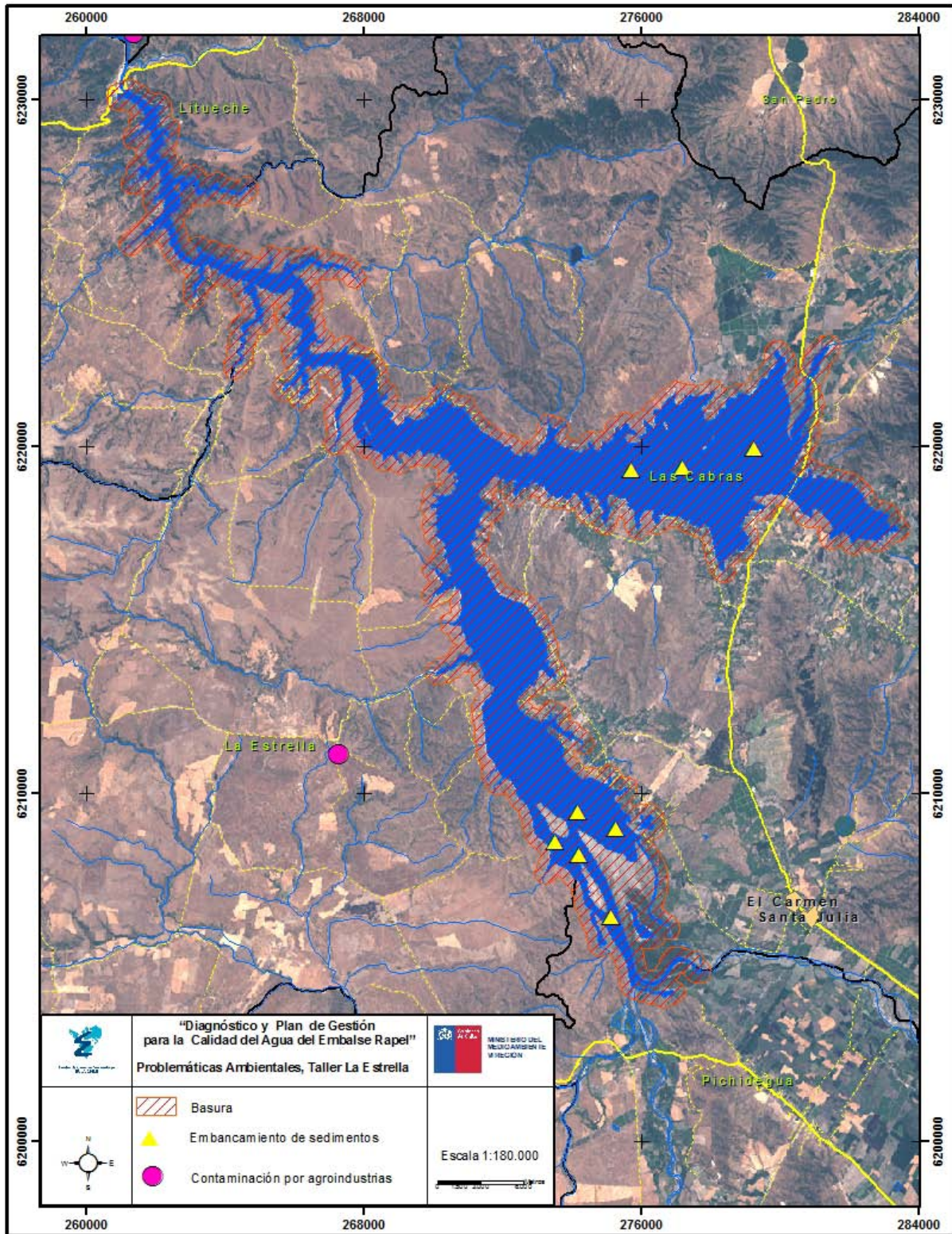


Figura 7: Problemáticas ambientales comuna La Estrella

d. Propuesta Comité de gestión

Tabla 6: Actores relevantes que debieran conformar el Comité de Plan de Gestión del Embalse Rapel.

| Comuna Las Cabras | Comuna La Estrella |
|--|--|
| Municipios del borde ribereños del embalse, Las Cabras, La Estrella, Litueche, Pichidegua. | Municipios del borde ribereños del embalse, Las Cabras, La Estrella, Litueche, Pichidegua. |
| Municipalidad de Navidad | |
| Municipalidad de Peumo | |
| Gob. Regional (Juan Pablo Díaz) | |

5. Conclusiones

- a. En relación a los actores involucrados al embalse, se destacan tres sectores; publico, privados y sociedad civil. Dentro del sector publico, los participantes identificaron al estado de chile, municipalidades tanto de la cuenca del Cachapoal y las que colindan con el embalse (Las Cabras, La Estrella, Litueche y Pichidegua), la Armada de Chile, Carabineros de Chile y Codelco. Por el sector de los privados destacan todos los empresarios agropecuarios del sector que se emplazan en la cuenca del Cachapoal. También, involucran a empresas de áridos del sector, a la empresa relacionada con el ex basurero Guayanga y a los propietarios turísticos. En el ámbito de la sociedad civil, se destaca a las organizaciones con personalidad jurídica, establecimientos educacionales, turistas y comunidad en general.
- b. Las principales observaciones formuladas por los participantes, con relación a los usos actuales y propuesta de usos futuros del embalse Rapel, permitió determinar las principales categorías de uso, acorde con las actividades desarrolladas en la actualidad en la zona del embalse, y las anheladas para el futuro.

Los principales usos actuales identificados por la comunidad en el embalse Rapelson:

- i. Turismo y Recreación: Pesca, Campismo, Deportes Náuticos, Caza.
- ii. Productivo: Comercio de subsistencia, viñas, agroindustrias, ganadería, vegas pastoreo.
- iii. Infraestructura: Asentamientos humanos permanentes y transitorios (verano)

Los principales usos potenciales por la comunidad en el embalse Rapelson:

- i. Turismo y Recreación: área definida como espejo de agua y rivera del embalse solo para este uso. Zonas de campismo deben ser ordenadas en sectores determinados.
- ii. Productivo: conservar los mismo usos actuales (Comercio de subsistencia, viñas, agroindustrias, ganadería, vegas pastoreo)
- iii. Infraestructura: conservar los mismos usos actuales (Asentamientos humanos permanentes y transitorios (verano)).

Un aspecto importante a destacar, es que los diferentes actores participantes en el taller, en general, no manifestaron intereses opuestos en términos de uso del sector, lo que originó que no se observara conflicto de intereses, sino más bien coincidencia incluso de sectores específicos del embalse, tanto fundamentalmente para los usos potenciales. Los participantes del segundo taller, promueven en potenciar el uso habitacional y declarar el espejo de agua y la rivera del embalse para uso exclusivo de turismo y recreación.

Lo anterior, permitirá proponer una propuesta de zonificación teniendo en consideración a la ciudadanía y los antecedentes científicos y técnicos del área.

- c. En cuanto a la situación ambiental, fue posible identificar seis problemáticas ambientales en la zona de estudio. Estos son: (a) eutroficación: provocada por aporte de nutrientes desde la cuenca, (b) Concentración de metales pesados: aportados por las actividades mineras realizadas en ciertos sectores de la cuenca, (c) Aguas negras provenientes de casas habitación: no existe una infraestructura sanitaria adecuada en la mayoría de la población aledaña al embalse, (d) basura, (e) embancamiento der sedimentos: lo cual disminuye el área para la realización de actividades recreativas (deportes náuticos y playas pata tomar sol) y (f) episodios de mal olor: originados por las empresas agroindustriales.
- d. El futuro comité de gestión, debería estar constituido en una primera instancia por los municipios que colindan con la zona del embalse. Estos municipios corresponden a Las Cabras, La Estrella, Litueche y Pichidehua.

Anexo II A

Lista de asistentes a talleres de participación ciudadana

o Comuna Las Cabras



3. LISTADO DE PARTICIPANTES (incluir filas según la cantidad de participantes)

| Número total de participantes: | | 0534 | | | |
|--------------------------------|-------------------------|----------------------------|-------------|--------------|---------|
| # | Nombre | Organización / Institución | Cargo | RUT | Firma |
| 1 | Paola Fernández Ariza | Escuela P. de Grecia | Profesora | 15-108.817-1 | [Firma] |
| 2 | José Ricardo Blasco P. | Exe. Dep. de Justicia | Director | 5.576.564-7 | [Firma] |
| 3 | Florencia Pardo Jilg | A. U. La Uspu | Presidenta | 11.088.442-5 | [Firma] |
| 4 | PAOLA OSORIO SOTO | MER | Presidenta | 153509103 | [Firma] |
| 5 | SILVIA ROBERTO TOBAR | MER | SECRETARIA | 11.483.819-2 | [Firma] |
| 6 | María Inés López | Escuela La Uspu | Directora | 3.121.584-8 | [Firma] |
| 7 | BENEDICTA BARRA P. | MER | INTEG. | 6.588.052-0 | [Firma] |
| 8 | Carmen Silvia Donoso | MER y A.M. | Secretaria | 3.836.640-7 | [Firma] |
| 9 | Florencia Buitrago | C.A.M. | Socia | 5.331-150-7 | [Firma] |
| 10 | Herminia Vichayana | PTZ CAM | MTB. | 2.891.477-4 | [Firma] |
| 11 | Beatriz Cordero D. | MER y A.M. | SOCIA | 5.138.986-7 | [Firma] |
| 12 | Lucía Bascón P. | | | 4.371.101-6 | [Firma] |
| 13 | José Luis Guzmán A. | Camara Comercio | | 9.904.357-7 | [Firma] |
| 14 | R. Soledad Palomares | MER | | 1.787.062-2 | [Firma] |
| 15 | José Avila de la F. | MER | Integrante | 7.072.617-3 | [Firma] |
| 16 | LUYSA ESCOBAR P. | D. BALSEROS | D. BALSEROS | 10.029.209-6 | [Firma] |
| 17 | AROLDI COTTON S. | | | 11.041.336-5 | [Firma] |
| 18 | Mariana Ruiz | MER | Socia | 9.205.773-2 | [Firma] |
| 19 | Socorro Rojas | MER | Secretaria | 7.556.198-1 | [Firma] |
| 20 | Edmundo Salazar Vozniak | MER | Secretario | 16.978.031-1 | [Firma] |
| 21 | LUISA NUÑEZ | A.P.P. | Presidenta | 11.675.320-2 | [Firma] |
| 22 | ERICH WOODWOOD | CAMARA TURISMO | PRES | 4.511.791-6 | [Firma] |
| 23 | Carlos Moretti | MER | Fiscal | 5.651.931-1 | [Firma] |
| 24 | Georgina HERNANDEZ | MUNICIPALIDAD | Asesora | 9.078.171-5 | [Firma] |
| 25 | PAOLA PINO MORAN | MUNICIPALIDAD | Arquitecta | 15.721.451-2 | [Firma] |
| 26 | MARIA ELIZABETH ABARCA | Dip. Alejandra S. T. F. S. | SECRETARIA | 8.928.721-9 | [Firma] |

IMPORTANTE: Si es una tarea ejecutada o co-ejecutada por el PSP, se deben llenar las dos últimas columnas.

4. VALIDACIÓN (siempre debe ir validada por algún representante ajeno a la FSP)

| Nombre Completo | Cargo | RUT | Firma |
|----------------------|--|--------------|---------|
| Florencia Pardo Jilg | Presidente/Secretario/Director/ otro representante | 11.088.442-5 | [Firma] |
| Candina Ruiz López | Profesional SP a cargo de la tarea | 15.868.252-7 | [Firma] |



3. LISTADO DE PARTICIPANTES (incluir filas según la cantidad de participantes)

| Número total de participantes: | | | | | |
|--------------------------------|-------------------|----------------------------|--------------|--------------|---------|
| # | Nombre | Organización / Institución | Cargo | RUT | Firma |
| 21 | FOLAN AVALOS | ARMAZA | PR.PP | 108274329 | [Firma] |
| 22 | HIO SOTO O. | CARABINEROS | JEF | 101514245 | [Firma] |
| 23 | Roberto Guedes | MER | Tesorero | 74037609 | [Firma] |
| 24 | Verónica González | Servicio M. a. | Profesional | 10.975.680-6 | [Firma] |
| 25 | Fabiola Vargas | CUA CHILE | Biol. Acuic. | 9.981.392-4 | [Firma] |
| 26 | Jamela Olave | U. de Concepción | Estud. | 16.339.383-3 | [Firma] |
| 27 | Roberto Vautour | Centro CULS | Profesor | 9.207.014-4 | [Firma] |
| 28 | Verónica Zúñiga | CULS | Biología | 15.520.344-2 | [Firma] |
| 29 | | | | | |
| 30 | | | | | |
| 31 | | | | | |
| 32 | | | | | |
| 33 | | | | | |
| 34 | | | | | |
| 35 | | | | | |
| 36 | | | | | |
| 37 | | | | | |
| 38 | | | | | |
| 39 | | | | | |
| 40 | | | | | |
| 41 | | | | | |
| 42 | | | | | |
| 43 | | | | | |
| 44 | | | | | |
| 45 | | | | | |
| 46 | | | | | |
| 47 | | | | | |
| 48 | | | | | |
| 49 | | | | | |
| 50 | | | | | |

IMPORTANTE: Si es una tarea ejecutada o co-ejecutada por el PSP, se deben llenar las dos últimas columnas.

4. VALIDACIÓN (siempre debe ir validada por algún representante ajeno a la FSP)

| Nombre Completo | Cargo | RUT | Firma |
|----------------------|---|--------------|---------|
| | Presidente/Secretario/Director/ otro representante | | |
| Verónica González A. | Representante Servicio Medio Ambiente O'Higgins | 10.975.680-6 | [Firma] |

o Comuna La Estrella

CONVOCATORIA TALLER PARTICIPATIVO DEL PROYECTO

DIAGNÓSTICO Y PLAN DE GESTION LA CALIDAD DEL AGUA DEL EMBALSE RAPEL

Lugar Taller: *LA Estrella* *Viernes 12 NOV. 2010*

| NOMBRE | CARGO | ORGANIZACIÓN | FIRMA |
|------------------------------|---|--|----------------|
| <i>Carmen Ventura</i> | <i>-</i> | <i>Junta de Vecinos Costa del Sol</i> | <i>[Firma]</i> |
| <i>Fernando Solé</i> | | <i>" "</i> | <i>[Firma]</i> |
| <i>Oscar Amundtzen</i> | <i>Comité Medio Ambiente Lago Rapel</i> | | <i>[Firma]</i> |
| <i>Jose Fariello</i> | <i>Presidente Junta Vecinos Costa del Sol</i> | | <i>[Firma]</i> |
| <i>Gustavo Sjoegren</i> | <i>miembro</i> | <i>Junta de Vecinos Costa del Sol</i> | <i>[Firma]</i> |
| <i>MARINA ZAAB</i> | <i>"</i> | | <i>[Firma]</i> |
| <i>Rose Mary Araya</i> | <i>Profesional Servicio País</i> | <i>Fundación para la superación personal</i> | <i>[Firma]</i> |
| <i>ALEXANDRO TORRES</i> | <i>PROFESIONAL Servicio País</i> | <i>FUNDACION SUPERACION PERSONAL</i> | <i>[Firma]</i> |
| <i>Rodrigo Rojas</i> | <i>ciudadano</i> | | <i>[Firma]</i> |
| <i>Magdalena Egoiza</i> | <i>dueña de casa</i> | <i>Junta de Vecinos</i> | <i>[Firma]</i> |
| <i>gabrielino Patriarqui</i> | <i>Presidente Junta de Vecinos</i> | | <i>[Firma]</i> |
| <i>MARCO ELGUETA O.</i> | <i>GOBERNACION MARTINA SAN ANDRÉS</i> | | <i>[Firma]</i> |
| <i>PEDRO VALDERRAMA</i> | <i>DIRECCIONAR</i> | <i>DIRECCIONAR</i> | <i>[Firma]</i> |
| <i>Keyko Miranda</i> | <i>D. Diriminan</i> | <i>Directemar</i> | <i>[Firma]</i> |
| <i>Juan Luis Villalón</i> | <i>Asesor Biólogo G.M. San Antonio</i> | <i>G.M. San Antonio</i> | <i>[Firma]</i> |
| <i>IVÁN HORRITO V.</i> | <i>profesional</i> | <i>Ministerio N. Ambiente</i> | <i>[Firma]</i> |
| <i>LUIS FERNANDEZ</i> | <i>CONCEJAL</i> | <i>MUNICIPALIDAD</i> | <i>[Firma]</i> |
| <i>Zaida Cabarca</i> | <i>concejal</i> | <i>Municipalidad</i> | <i>[Firma]</i> |
| <i>Irma Ojeda</i> | <i>concejal</i> | | <i>[Firma]</i> |
| <i>(Diana) Peralta</i> | <i>concejal</i> | | <i>[Firma]</i> |

Anexo II B

Imágenes talleres participación ciudadana

Anexo II a. Taller comuna Las Cabras







Anexo II b. Taller comuna La Estrella





ANEXO III: Seminario de finalización de proyecto

**"Diagnóstico y Plan de Gestión para la Calidad del Agua del
Embalse Rapel"**

Lugar evento: Hotel Diego de Almagro

Fecha: 20 de abril de 2011

Anexo III A: Lista de asistencia

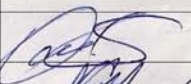
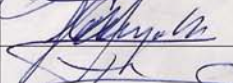



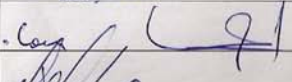
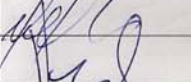
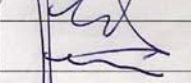

LISTADO DE ASISTENCIA
SEMINARIO DE CIERRE DEL ESTUDIO "DIAGNÓSTICO DE CALIDAD DE AGUAS Y PLAN DE GESTIÓN DEL EMBALSE RAPEL"

FECHA : 20 de ABRIL del 2011
LUGAR : HOTEL DIEGO DE ALMAGRO, RANCAGUA.
ORGANIZADORES : SEREMI DEL MEDIO AMBIENTE Y UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN

| NOMBRE | INSTITUCIÓN | CORREO ELECTRÓNICO | FIRMA |
|-----------------------|-----------------|-------------------------------|-------|
| Manuel Contreras Lav. | CEA | mcontreras@cea.cl | |
| TORADOJI URAOKA | CEA | turadoka@globalenvironment.cl | |
| PAULA AEDO | ECLA | paaredo@udec.cl | |
| Fabiola Lanas | ECLA | Fabola@udec.cl | |
| Hernán CID | ECLA | Hcid@udec.cl | |
| Ricardo Barra | ECLA | ricbarra@udec.cl | |
| Verónica González A. | Seremi M.A. | vgonzalez.6@mma.gob.cl | |
| Roberto Verrutia | CENTRO ECLA | RURRUTIA@UDEC.CL | |
| Florencia Candajal | J.V. Hellaquero | FloreCandajal@hotmail.com | |

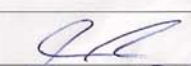
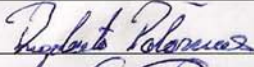


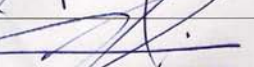
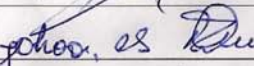
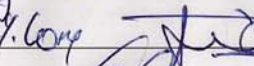


LISTADO DE ASISTENCIA
 SEMINARIO DE CIERRE DEL ESTUDIO "DIAGNÓSTICO DE CALIDAD DE AGUAS Y PLAN DE GESTIÓN DEL EMBALSE RAPEL"

FECHA : 20 de ABRIL del 2011
 LUGAR : HOTEL DIEGO DE ALMAGRO, RANCAGUA.
 ORGANIZADORES : SEREMI DEL MEDIO AMBIENTE Y UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN

| NOMBRE | INSTITUCIÓN | CORREO ELECTRÓNICO | FIRMA |
|-----------------------|------------------------------|-------------------------------|---|
| Raul Osorio Soto | NER | Raul.Osorio.Soto@gmail.com |  |
| Gonzalo Mujica | Mehwin Ltda | ghimujosa@mehwinchile.cl |  |
| Keren Gaete R. | Servicio País | kerengaetemart@gmail.com |  |
| Soleth Lecaros | Junta de Vecinos | |  |
| Alejandra Carrasco S. | Fundación Superación Pobreza | carrasco.alejandra@live.com |  |
| Luis Lys Jory | Centro Turístico Rapel | luisclaudiolys7@hotmail.com |  |
| EDUARDO Reyes | CAMPESINOS TURISTAS RAPÉL | EDUARDO REYES@HOTELRAPEL.COM |  |
| Roberto Cortés | Asesor Jurídico Rapel | Roberto.Felipe.68@hotmail.com |  |
| Hernán L. Villagrán | Abogado / Consultor | hl.villagrannaranjo@gmail.com |  |


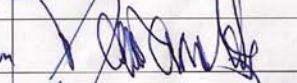
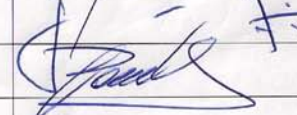
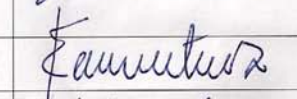
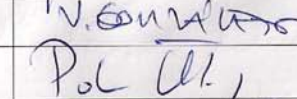
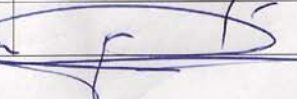

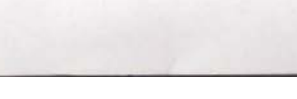
LISTADO DE ASISTENCIA
SEMINARIO DE CIERRE DEL ESTUDIO "DIAGNÓSTICO DE CALIDAD DE AGUAS Y PLAN DE GESTIÓN DEL EMBALSE RAPEL"

FECHA : 20 de ABRIL del 2011
LUGAR : HOTEL DIEGO DE ALMAGRO, RANCAGUA.
ORGANIZADORES : SEREMI DEL MEDIO AMBIENTE Y UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN

| NOMBRE | INSTITUCIÓN | CORREO ELECTRÓNICO | FIRMA |
|----------------------|---------------------------|---------------------------|---|
| Martin Londres | Aguaspe | mlondres@aguaspe.com |  |
| Rigoberto Palominos | mer | |  |
| Carlos A VWS | AGRO SUPER | carvives@agrosuper.com |  |
| Jorge G. Moya Castro | S.A.G. | Jorge.moya@zagros.cl |  |
| Rafael Prieto | Agrasuper | rprieto@agrosuper.com |  |
| Alfredo Junco | EULA | Alfredo@ula.cl |  |
| Carolina Quevedo | Municipalidad de Colau | CarolinaQuevedo@colau.cl |  |
| Aldo Hernández Reyes | MUNICIPAL | aldohernandezreyes@pmu.cl |  |
| Enrich Waywoo | CAMARA TURISMO LAGO RAPEL | enrichwaywoo@yahoo.es |  |


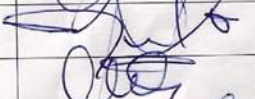

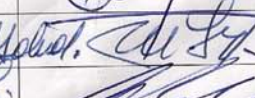
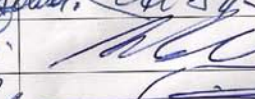
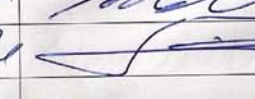
LISTADO DE ASISTENCIA
SEMINARIO DE CIERRE DEL ESTUDIO "DIAGNÓSTICO DE CALIDAD DE AGUAS Y PLAN DE GESTIÓN DEL EMBALSE RAPEL"

FECHA : 20 de ABRIL del 2011
LUGAR : HOTEL DIEGO DE ALMAGRO, RANCAGUA.
ORGANIZADORES : SEREMI DEL MEDIO AMBIENTE Y UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN

| NOMBRE | INSTITUCIÓN | CORREO ELECTRÓNICO | FIRMA |
|---------------------------|---|----------------------------|---|
| Eduardo Antiles | DGA | eduarda.antiles@mop.gov.cl |  |
| OSCAR ANWANJTER | CONSEJO DE DESARROLLO Y PROTECCIÓN DEL LAGO RAPEL | oanwanjter@hotmail.com |  |
| SAUL BARAHONA | ✓ ✓ ✓ ✓ | |  |
| ROSA ECCONI QUIROZ | Dideco los Celos. | rosecconi@gmail.com |  |
| Saul Barahona | | | |
| EUGO MARTÍNEZ BUSTOS | SERNATUR | emartinez@sernatur.cl |  |
| VERÓNICA GONZÁLEZ DE LA H | SISS | vgonzalez@sis.cl |  |
| Pol Anwar | SISS | PolAnwar@sis.cl |  |
| Roberto Giacardi | NER | roberto.giacardi@gmail.com |  |

LISTADO DE ASISTENCIA
 SEMINARIO DE CIERRE DEL ESTUDIO "DIAGNÓSTICO DE CALIDAD DE AGUAS Y PLAN DE GESTIÓN DEL EMBALSE RAPEL"

FECHA : 20 de ABRIL del 2011
 LUGAR : HOTEL DIEGO DE ALMAGRO, RANCAGUA.
 ORGANIZADORES : SEREMI DEL MEDIO AMBIENTE Y UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN

| NOMBRE | INSTITUCIÓN | CORREO ELECTRÓNICO | FIRMA |
|-------------------|--------------|----------------------------------|--|
| Christian Miranda | SEREMI M. A | Christian.Miranda@mma.gob.cl |  |
| David Figueroa | UC Temuco | dfigueroa@uct.cl |  |
| Carlos Aguayo A. | CC Temuco | caaguayo@uct.cl |  |
| Magdalena Tronco | Aerem Salud. | Magdalena.tronco@redsalud.gov.cl |  |
| M. Isabel Olmedo | CONAMA | miolmedo@conama.cl |  |
| Francisco Encina | UC Temuco | Fencina@uct.cl |  |
| | | | |
| | | | |

Anexo III B: Fotografías seminario













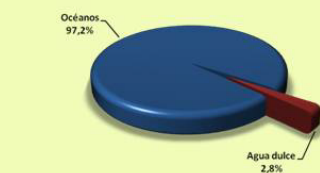
ANEXO IV: Material de difusión y educación ambiental



AGUA



El total del agua del planeta, ya sea en forma líquida, sólida o como vapor, es de 1,5000 millones de kilómetros cúbicos. Esta enorme cantidad de agua no está repartida en forma uniforme, y sólo una cantidad muy pequeña puede ser usada para consumo humano.



Agua total
100%



Agua dulce
3%



Agua dulce
disponible
0,5%



Agua dulce
utilizable
0,003%

| Distribución del agua dulce | |
|------------------------------------|--------|
| Casquetes polares y glaciares | 2,15% |
| Aguas subterráneas | 0,63% |
| Aguas superficiales (ríos y lagos) | 0,019% |
| Agua atmosférica | 0,001% |

¿Sabías que actualmente en la hoy Tierra la misma cantidad de agua que existía hace 3.8000 millones de años atrás?

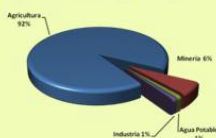
Esto se debe al hecho de que en el ciclo hidrológico se utiliza la misma agua. De esta manera, el agua disponible para nuestro uso está en continuo movimiento cíclico entre lagos, ríos, mar, atmósfera y suelos desde donde se evapora, precipita y condensa en un ciclo interminable.

Este proceso trabaja en forma gratuita para nosotros, reciclando y redistribuyendo esta agua a través de la Región, regalándonos agua limpia, cristalina y pura. CCV

Usos del agua en la Región de O'Higgins

La región de O'Higgins presenta gran desarrollo agrícola, ganadero, minero e importantes asentamientos urbanos.

La principal actividad productiva que usa utiliza agua es la agricultura con un 92%, luego sigue la minería con aproximadamente 6% y por último un 1% tanto para el uso industrial como agua potable.



PARA HACER

- Cierra bien las llaves y repara goteras
- Riega solo lo necesario y evita hacerlo en las horas de mayor calor
- Ocupa la menor cantidad de agua posible al ducharte, lavarte los dientes y cuando laves la loza.
- Evita usar plaguicidas u otras sustancias contaminantes, como detergentes, colorante, limpiavidrios.
- No botes basura en los ríos y lagos.
- Cuando estés de vacaciones, no uses jabón o champú en los ríos y lagos.
- No botes aceites o petróleo al alcantarillado.
- Cuida los ríos, lagos y humedales.



CICLO DEL AGUA



¿Cuánta agua hay en la región del Libertador Bernardo O'Higgins?

El principal sistema hidrográfico de la región lo constituye el río Rapel, el cual, a través de sus tributarios, colecta las aguas de la Cordillera de los Andes y de la parte Norte de la Cordillera de la Costa. Este río se forma de la unión de los ríos Cachapoal y Tinguiririca, lugar donde se encuentra ubicado el embalse Rapel.

En cuanto a las precipitaciones, los meses de octubre hasta abril presentan menos de 40 mm de agua caída, definiendo así una estación seca que dura 7 meses. Las sumas anuales de las precipitaciones varían entre aproximadamente más de 500 mm en la parte norte hasta casi 800 mm en el sector sur. Entre los meses de mayo y agosto cae entre el 76% y 80% de los totales anuales.





RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS



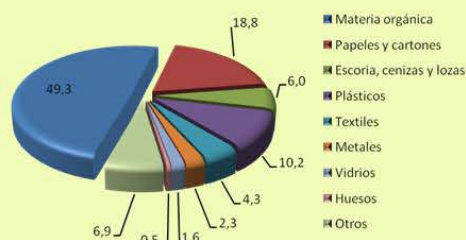
Los residuos sólidos urbanos (RSU), conocidos comúnmente como "basuras", que se producen en las ciudades, constituyen un problema desde el momento en que su generación alcanza importantes volúmenes y como consecuencia empiezan a invadir su espacio vital y a disminuir su calidad de vida.

Como por ejemplo de la envergadura del problema actual de las basuras podemos tomar el dato de la producción de basuras en un año de la ciudad de Rancagua, que asciende aproximadamente 883.368 ton/día, lo que supone 322.429 ton/año. Si bien se asume un peso de 180kg/m³ de RSU, la producción en volumen sin compactar de esas basuras alcanzarían los 1.791.274 m³ al año, los que extendidos en una capa de 20cm de espesor supondría la ocupación de 8,96 km².

Problemas ambientales provocados por la generación e incorrecta disposición de residuos sólidos.



Los residuos sólidos urbanos (RSU) tienen una composición heterogénea que depende de la época del año, del país y del nivel socioeconómico de la población generadora. En nuestro país la composición promedio de la basura es la que se presenta en la siguiente figura:



Practica los principios de las 3 Rs:

- **REDUCE:** Consume menos, lo que necesites cómpralo con el mínimo de cajas, envoltorios, bolsas y botellas plásticas.
- **REUTILIZA:** Usa las hojas de tus cuadernos por ambos lados, utiliza bolsas reutilizables y no plásticas ni de papel.
- **RECICLA:** Compra productos que sean reciclables, además recicla en tu hogar: botellas, cartones, bolsas, etc.



TIPOS Y CRITERIOS DE SUSTENTABILIDAD



El Desarrollo Sustentable es un proceso progresivo de cambios, que considera diferentes dimensiones, entre las que destaca la ecológica, ambiental, social y política, cuyos marcos conceptuales se definen a continuación:

Sustentabilidad ecológica: Se refiere a la base física y objetiva del proceso de crecimiento y la mantención del stock de recursos naturales incorporado a las actividades productivas. Se pueden identificar a lo menos dos criterios para su ponerlo en operación:

- Recursos naturales renovables: la tasa debiera ser equivalente a la tasa de recuperación del recurso.
- Recursos naturales no renovables: la tasa de utilización debe ser equivalente a la tasa de sustitución del recurso.

Sustentabilidad ambiental: Se refiere a la capacidad de la naturaleza absorber y recomponerse de las acciones humanas. Aquí también existen dos criterios de operación:

- Las tasas de desechos provenientes de actividades económicas deben equivaler a las tasas de regeneración, las que a su vez son determinadas por la capacidad de recuperación del ecosistema.
- La reconversión industrial debe estar orientada a reducir la Entropía, es decir, privilegiar la conservación de energía, con producción limpia y el uso de fuentes de energía renovables.

Sustentabilidad social: Se orienta al mejoramiento de la calidad de vida de la población. Se basa en la implementación de criterios de justicia distributiva (distribución de bienes y servicios) y de la universalización de la cobertura de la educación, salud, viviendas y seguridad social. Apunta especialmente a disminuir las enormes tasas de pobreza existentes en el mundo.

Sustentabilidad política: Se refiere a la necesidad de crear espacios democráticos que permitan el desarrollo de la ciudadanía y la participación de las personas en los asuntos de la sociedad. Aquí prevalece el criterio de fortalecer las organizaciones sociales y comunitarias y de democratizar las acción del Estado.

REPRESENTACION GRAFICA DE LOS OBJETIVOS DE CRECIMIENTO ECONOMICO, EQUIDAD Y SUSTENTABILIDAD

Triángulo de Nijkamp



$$\text{Desarrollo Sustentable} = f \begin{cases} \text{Crecimiento económico} \\ \text{Equidad Social} \\ \text{Sustentabilidad Ambiental} \end{cases}$$




CAMBIO DE VALORES INHERENTES AL DESARROLLO SUSTENTABLE

| DESDE UNA VISIÓN EGOCENTRISTA | DESDE UNA VISIÓN AMBIENTALISTA |
|--|--|
| • Desde la competencia individualista | ➤ •Hacia la cooperación, el interés común |
| • Desde la acumulación material | ➤ •Compartir la riqueza |
| • Desde el dominio sobre la naturaleza | ➤ •A vivir en armonía con la naturaleza |
| • Desde el consumo de los recursos | ➤ •Hacia la conservación de los recursos |
| • Desde la basura | ➤ •Hacia su reducción, reutilización, reciclaje |
| • Desde el elitismo: considerar que algunas personas son las importantes que otras | ➤ •Hacia el igualitarismo: igualdad de oportunidades para todas las personas |
| • Desde la impaciencia e intolerancia | ➤ •Hacia la paciencia y actitud solidaria |
| • Desde la apariencia superficial | ➤ •Hacia la honestidad profunda |
| • Desde el control burocrático | ➤ •Hacia el control por convencimiento |
| • Desde una concepción en que los derechos humanos individuales son más importantes que los colectivos | ➤ •Hacia una concepción donde los derechos humanos colectivos son más importantes que los individuales |
| • Desde una preeminencia de los derechos colectivos sobre las responsabilidades colectivas | ➤ •Hacia una preeminencia de las responsabilidades colectivas sobre los derechos colectivos |
| • Desde el crecimiento de énfasis en los económico | ➤ •Hacia un desarrollo económico, ambiental y social equilibrado |
| • Desde el énfasis en la ganancia monetaria | ➤ •Hacia el énfasis en el incremento de la calidad de vida, en el tiempo libre y el ahorro de energía |





LAGOS Y LAGUNAS



Desde un punto de vista científico, los lagos y lagunas son cuerpos de agua de tamaño variable, fluctuando desde pequeños volúmenes hasta grandes masas de agua. Mientras que las lagunas corresponden a cuerpos de agua que tiene comunicación o intercambio con el mar en forma permanente o temporal. Sin embargo, por uso común se tiende a identificar a las lagunas como aquellas de pequeño tamaño y los lagos como los de mayor masa de agua.

¿Cómo están estructurados estos cuerpos de agua?

En un lago típico los productores son pequeñas algas que se encuentran suspendidas en la columna de agua y plantas que pueden estar flotando o enraizadas en el fondo. Entre los consumidores de un lago están pequeños crustáceos y peces.



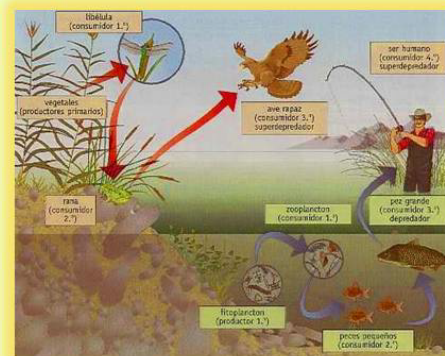
Laguna Cahuil

Laguna Bucalena

Ubicación de los principales lagos y lagunas de la región del Libertador Bernardo O'Higgins

En la región de O'Higgins existen sólo dos lagunas costaneras o de aguas salobres Cahuil y Bucalena con un régimen de agua mixto, ya que se nutren de aguas saladas de mar y de aguas dulces provenientes de los esteros que desembocan en ellas. Ambas fueron importantes fuentes de producción de sal, siendo explotadas desde la época indígena. En el presente este recurso se obtiene sólo en Cahuil pero cada vez en forma más restringida.

Además existen dos grandes embalses artificiales, embalse Carén cuyas aguas provienen de relaves mineros y el embalse Rapel, el cual es un importante polo de desarrollo turístico y habitacional en la región.



Importancia de lagos y lagunas

Los lagos y lagunas constituyen paisajes naturales donde su belleza invita a la paz, la recreación y el turismo. También sirven como importantes reservas de agua dulce, entregando agua en tiempos de escasez y acumulándola en tiempos de abundancia. Además, mantienen una gran diversidad de vida, tanto acuática como terrestre.

Son ecosistemas muy sensibles a alteraciones de sus condiciones físicas, químicas y/o biológicas. La depositación de basuras, la descarga de aguas servidas, la deforestación de su cuenca y el arrastre de fertilizantes producto de actividades agrícolas y forestales, aceleran el proceso natural de envejecimiento de estos cuerpos de agua, hecho conocido como eutrofización.

Aquellos lagos de aguas transparentes, con bajo contenido de nutrientes y pocos organismos productores y consumidores, son conocidos como oligotróficos. Lagos de aguas poco transparentes, con abundante contenido de nutrientes y gran cantidad de organismos productores, algas o plantas creciendo allí, son conocidos como eutróficos, p.e. el embalse Rapel.



Embalse Rapel

Embalse Carén



Garza Cuca



Cisne Coscoroba



Gaviotín piquerito



HUMEDALES



¿Qué es un humedal?

Se considera un humedal toda área que está inundada o saturada por agua superficial o subterránea con una frecuencia y duración suficientes para sostener predominio de vegetación habitualmente adaptada a estas condiciones.





Se encuentran entre los lugares más hermosos del mundo, y han inspirado a generaciones de artistas, viajeros, poetas y fotógrafos. No resulta sorprendente, ya que los humedales - o zonas pantanosas - acogen una variedad espectacular de fauna, que abarca desde insectos como mosquitos y zancudos; aves como garzas y cisnes; peces como percas, truchas y bagres; hasta mamíferos como el coipo. Pasando por una enorme abundancia de diversidad de flora. Además de la gran biodiversidad de albergan, son importantes sistemas de purificación de las aguas superficiales y de recarga de las aguas subterráneas.






Uno de los principales problemas que enfrenta la conservación de los humedales es la carencia de información básica y aplicada, fundamental para orientar el manejo sostenible de los humedales. Hasta el presente, existe escasa información sobre la estructura abiótica y biótica de los humedales y de su funcionamiento integral, siendo necesario ampliar, entre otras, el conocimiento taxonómico, florístico, hidroológico, edáfico y climatológico de los humedales de Chile.



Humedales de la Región de O'Higgins

Topocalma: humedal costero, lugar de descanso y alimentación de numerosas aves locales y migratorias. Lugar de alta productividad debido a la presencia de surgencia, se encuentra ubicado en la comuna de Litueche.

Laguna Cahuil: se pueden encontrar a lo menos 46 especies de aves, área reconocida como importante para la alimentación y eventual nidificación de patos silvestres, ya que alberga a lo menos siete especies de ellos. comuna de Pichilemu.

Bucalemu: lugar de descanso y alimentación de numerosas aves locales y migratorias. Presencia de especies en categorías de conservación, y mamíferos como el coipo, se encuentra ubicado en la comuna de Paredones.

¿Existen diferentes tipos de Humedales?

Debido a la enorme variedad de humedales y a su carácter altamente dinámico es difícil sus límites con precisión. Es por esto que se han clasificado en cinco principales categorías:

- Marino: arrecifes de coral, costas rocosas.
- Estuario: deltas, marismas y manglares.
- Lacustre: asociados a lagos
- Ribereño: humedales asociados a ríos y arroyos
- Palustre: lodazales, pantanos y ciénagas





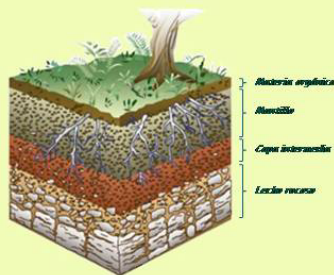

SUELO



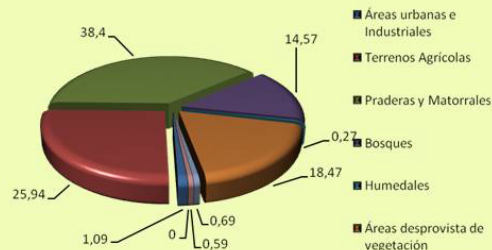
El suelo es un recurso vital, lleno de nutrientes que ayudan a las plantas a crecer. El suelo satisface muchas necesidades de las plantas, es la fuente de agua y minerales que necesitan para desarrollarse y les provee una base sólida para sus raíces.

La creación del suelo toma miles de años...

El suelo es el sistema complejo que se forma en la superficie del terreno, resultado de la disgregación de la roca madre, mediante meteorización física y química, y de la actividad de los seres vivos desde que se empieza a formar.



Usos del suelo en la región del Libertador Bernardo O'Higgins



1.-El suelo se inicia a partir de la roca que forma la superficie, llamada por ello, roca madre. Por la meteorización física y química esa roca es disgregada, y los fragmentos se desmenuzan liberando minerales y elementos químicos. Los huecos que quedan entre los fragmentos y los minerales se rellenan con agua y aire.

2.-La capa de roca disgregada empieza a ser colonizada por seres vivos. En primer lugar, líquenes y las plantas más primitivas (musgos), que aportan la primera materia orgánica y, poco a poco, se van incorporando microorganismos, plantas mayores y algunos invertebrados (lombrices, larvas, insectos, etc.) que mezclan los componentes del suelo y lo airean.

3.-Los restos de todos estos animales y plantas sirven de alimento a microorganismos (bacterias, hongos) que los descomponen en sustancias más sencillas, formando una capa de materia orgánica llamada humus o mantillo. Este mantillo, además de proporcionar nutrientes a plantas y animales, retiene el agua y actúa como aislante, evitando las variaciones bruscas de temperatura.



Suelo sin intervención antropica



Suelo con intervención antropica (cultivo de lechugas)

El suelo que se forme variará según sea la clase de roca madre a partir de la que se forme, el clima, el relieve, la cubierta vegetal y la presencia de animales.

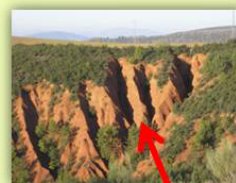
Los principales problemas que afectan los suelos en la actualidad son:

Erosión: arrastre de partículas constituyentes del suelo, la cual puede ser natural o antropica.

Contaminación: con diversos compuestos como aceites, pesticidas, etc.



Erosión en forma de surcos.



Erosión en forma de cárcavas.



Descarga de contaminante



EUTROFICACIÓN



El principal problema que afecta el agua en la actualidad es la eutrofización

La Eutrofización se define como: "El enriquecimiento en nutrientes de las aguas, que provoca la estimulación de una serie de cambios sintomáticos, entre los que el incremento en producción de algas y macrofitas, el deterioro de la calidad de agua y otros cambios sintomáticos resultan indeseables e interfieren con la utilización del agua" (OCDE, 1982). Estos nutrientes provienen de las distintas actividades que se desarrollan en la cuenca de drenaje del cuerpo de agua.

En palabras más simples es el exceso de alimento en las aguas, lo cual puede provocar una serie de cambios y síntomas que resultan dañinos para la flora y fauna presente y además interfieren con los usos que la población le da a estas.

Nutrientes = Nitrógeno y Fósforo = Alimento para plantas y microalgas

Algunos de los síntomas de la Eutrofización:



*El excesivo crecimiento de microalgas o plantas acuáticas es claramente perceptible y puede interferir en algunos de los usos que se le dan al agua (p.e. pesca, natación, agua potable), y en su calidad estética.

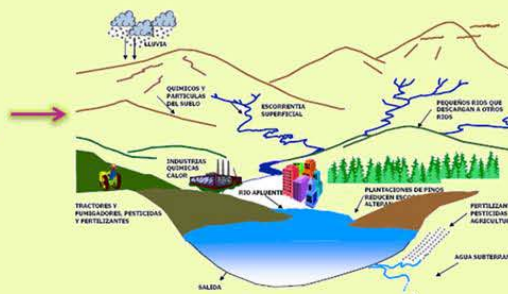


*Las microalgas (cianobacterias) generan sustancias tóxicas, que pueden envenenar aves, peces, ganado, incluso provocar su muerte.



* Las personas que se bañan en aguas eutróficas con cianobacterias están expuestas a enfermedades (p.e. irritaciones dérmicas y oculares, gastroenteritis y vómitos) (Gerard Kiely, 1999).

Interacciones en la cuenca de drenaje de un cuerpo de agua



Algunas actividades comunes en torno a un cuerpo de agua:

- Agricultura
- Plantaciones forestales
- Turismo
- Pesca
- Deportes náuticos
- Vivienda
- Minería

Los nutrientes pueden llegar a los cuerpos de agua mediante:

Fuentes Puntuales
(p.e. tuberías)



Fuentes Difusas
(p.e. agricultura)



Control de la Eutrofización:

Las actividades que se realizan para la gestión del control de la eutrofización deben ser de tipo multi e interdisciplinarias, abarcando a las entidades públicas, privadas y a la comunidad.

Existen medidas tanto internas como externas para controlar la llegada de nutrientes, las cuales pueden ser: químicas, biomanipulación, ordenamiento territorial, buenas practicas en las empresas y agricultura, entre otras.