



isb

## **INFORME TÉCNICO**

**EVALUACION DEL ESTADO AMBIENTAL DE  
LOS CUERPOS DE AGUA ASOCIADOS A LA  
ACTIVIDAD ANTRÓPICA DEL SECTOR  
MULPULMO**

AGOSTO 2018



Ellwanger, A. & Zamorano, J. 2018. Evaluación del estado ambiental de los cuerpos de agua asociados a la actividad antrópica del sector Mulpulmo. Ed ISB Chile SpA, Puerto Varas, Pp 54.

ISB Chile SpA

Informe técnico - Estado ambiental cuerpos de agua sector Mulpulmo 0309\_18.docx

02-09-2018 17:51:31



CONTENIDO

1	DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO .....	7
2	IDENTIFICACIÓN DE FUENTES DIFUSAS .....	11
3	IDENTIFICACIÓN DE LAS ESTACIONES DE MUESTREO EN ESTERO Mulpulmo .....	29
4	RESULTADOS .....	31
4.1	Resultados de la caracterización de fauna íctica .....	31
4.1.1	Caracterización de la riqueza y abundancia de la Fauna íctica .....	31
4.1.2	Índices Comunitarios Fauna íctica .....	34
4.1.3	Estado de conservación de las especies encontradas .....	34
4.2	Caracterización de macroinvertebrados bentónicos .....	35
4.2.1	Diversidad Alfa .....	35
4.2.2	Diversidad Beta .....	38
4.3	Calidad Biológica de Aguas .....	39
4.4	Caracterización de la calidad del agua .....	40
4.4.1	Coliformes Fecales (CF) .....	40
4.4.2	Oxígeno Disuelto .....	42
4.4.3	Materia orgánica .....	44
5	DISCUSIÓN .....	47
6	CONCLUSIÓN .....	52

## Índice de Figuras

Figura 1: Vista del área de estudio, donde se aprecia que es zona de actividad agronidustrial.....	7
Figura 2: Vista comparada Estero Yutreco (izq) versus Estero Mulpulmo (der).....	13
Figura 3: Cultivos agrícolas intensivos y viviendas .....	13
Figura 4: Actividades agrícola intensiva aledaña a PTR, con canal de drenaje hacia Estero Mulpulmo .....	14
Figura 5: Drenes con descarga al Estero Mulpulmo, entre E3 y E4 .....	15
Figura 6: Sistemas de drenes asociados al estero Yutreco .....	15
Figura 7: Sistemas de drenes asociados al estero Yutreco bordeando cauce Estero Yutreco .....	16
Figura 8: Zona de unión del sistema de canales de drenaje con estero Yutreco y Mulpulmo. ....	16
Figura 9: Localización de los drenes de drenaje de campos sobre E. Mulpulmo y E. Yutreco.....	18
Figura 10: Identificación de la posible ruta de aportes difusos de una alta conductividad al estero Mulpulmo [E1].....	19
Figura 11: Detalle del aporte de percolados por ensilaje al Estero Mulpulmo, aguas abajo [E4] .....	19
Figura 12: Descarga de percolados por ensilaje al Estero Mulpulmo .....	20
Figura 13: Descarga de percolados de ensilaje hacia E. Mulpulmo .....	21
Figura 14: Sección del Estero Mulpulmo con drenes y tranques de acumulación de aguas entre E3 y E4.....	22
Figura 15: Modificación de sección del Estero Mulpulmo.....	22
Figura 16: Extracción de agua desde el estero Yutreco a canal colector de drenaje predial.....	23
Figura 17: Extracción de agua desde el estero Yutreco al estero Mulpulmo.....	23
Figura 18: Traslado de agua desde el E. Yutreco (izq) hacia E. Mulpulmo (der).....	24
Figura 19: Diferencias de tamaño y flujo en el Estero Mulpulmo ente las estaciones E2, E3 y E4 .....	25
Figura 20: Abrevadero y/o paso de animales en Estero Mulpulmo.....	26
Figura 21: Viviendas con descargas de detergentes al Estero Mulpulmo, cerca de la E3.....	26
Figura 22: Viviendas con animales de granja en el Estero Mulpulmo .....	27
Figura 23: Localización de los puntos de monitoreo en sector Mulpulmo .....	29
Figura 24: Localización de estaciones de referencia para campañas de monitoreo .....	30
Figura 25: Ejemplar de la especie Cheirodon australe registrada en la campaña de monitoreo.....	32
Figura 26: Ejemplar de la especie Brachygalaxias bullocki registrada en la campaña de monitoreo. ....	32
Figura 27: Diversidad Beta según análisis de Bray-Curtis.....	38



Índice de Gráficos

Gráfico 1: Tiempos y áreas de prospección por estación de monitoreo.....	31
Gráfico 2: Abundancia relativa de la Fauna Íctica por estación de monitoreo, (CPUE: Individuos/m2) .....	33
Gráfico 3: Abundancia relativa de la Fauna Íctica por estación de monitoreo, (CPUE: Individuos/hora) .....	33
Gráfico 4: Índices comunitarios: Shannon & Weaver y Equidad de Pielou.....	34
Gráfico 5: Abundancia relativa de familias [E1] (ind/m2) .....	36
Gráfico 6: Abundancia relativa de familias [E2] (ind/m2) .....	36
Gráfico 7: Abundancia relativa de familias [E3] (ind/m2) .....	37
Gráfico 8: Abundancia relativa de familias [E5] (ind/m2) .....	37
Gráfico 9: Abundancia relativa de familias [E7] (ind/m2) .....	37
Gráfico 10: Abundancia relativa de familias [E9] (ind/m2).....	37
Gráfico 11: Índices comunitarios Shannon & Weaver e Índice de Pielou.....	38
Gráfico 12: Registro de Coliformes Fecales según estaciones en Estero Mulpulmo y Estero Yutreco .....	41
Gráfico 13: Registro de O2, pH, T° y Conductividad en estaciones monitoreadas .....	42
Gráfico 14: Registros de OD de enero a abril 2018, para 3 estaciones en el Estero Mulpulmo .....	43
Gráfico 15: Relación DBO/DQO según estaciones en Estero Mulpulmo y Estero Yutreco .....	45
Gráfico 16: Relación comparada DBO/DQO Estero Mulpulmo versus PTR Planta Mulpulmo .....	46

Índice de Tablas

Tabla 1: Resumen de campañas de monitoreo sobre E. Mulpulmo y E. Yutreco.....	8
Tabla 2: Localización de drenes de descarga sobre Canal Mulpulmo.....	17
Tabla 3: Localización de drenes de descarga sobre Estero Yutreco .....	17
Tabla 4: Localización de modificación de cauces .....	24
Tabla 5: Localización de fuentes contaminantes sobre Estero Mulpulmo (UTM (m) WGS84, H18).....	27
Tabla 6: Registro de informes de análisis por estación de monitoreo de referencia.....	30
Tabla 7: Relación peso (g) y longitud (cm) promedio de los ejemplares capturados para [E1], [E2] y [E3].....	31
Tabla 8: Relación peso (g) y longitud (cm) promedio de los ejemplares capturados para [E5], [E8] y [E9] .....	32
Tabla 9: Estado de conservación de las especies identificadas en la campaña de monitoreo .....	34
Tabla 10: Macroinvertebrados bentónicos presentes en los esteros Yutreco y Mulpulmo.....	35
Tabla 11: Calidad de agua del Estero Mulpulmo y Yutreco según IBF y EPT.....	39
Tabla 12: Registro de Coliformes Fecales (NMP/100ml) en E. Mulpulmo y E. Yutreco .....	41
Tabla 13: Relación DBO/DQO para 7 estaciones en Estero Mulpulmo y Yutreco .....	44



## 1 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El Estero Yutreco nace en el oeste del sector de Mulpulmo y se origina a partir de múltiples vertientes, recorre desde su nacimiento una distancia aproximada de 20 kilómetros con dirección noroeste, para finalmente desembocar en varios canales de regadío. Se caracteriza por ser un estero que presenta en época de estiaje un flujo laminar, un lecho fangoso arenoso. Posee un ancho promedio de unos 3 metros, con bordes de ribera poco definidos, con abundante vegetación nativa arbustiva tipo mangle.

El Estero Mulpulmo es un estero artificial, mayoritariamente de tramos rectos, de unos 2 a 6 metros de ancho, desprovisto de vegetación arbustiva en casi todo su recorrido, que se alimenta principalmente de infiltración de aguas subterráneas y lixiviación de predios que llegan a su lecho, mediante un sistema de canales artificiales *construidos con el fin de drenar terrenos agrícolas*. Este estero termina su recorrido uniéndose finalmente al estero Yutreco en la coordenada UTM (m) Norte: 5.509.108 y Este: 672.876 (Datum WGS84, Huso 18). Ambos esteros presentan un régimen principalmente pluvial, alcanzando sus mayores caudales en los meses de invierno y los mínimos a finales del verano. Durante el mes de julio se registra el caudal promedio mensual más alto, mientras que el caudal promedio mensual más bajo se observa en el mes de marzo.

Se destaca para la zona de estudio un alto grado de intervención antrópica, dada principalmente por la construcción de un sistema de canales de drenaje de los terrenos próximos a ambos esteros y por existir una intensa actividad agrícola, industrial y ganadera asociada a estos cuerpos de agua, con ausencia de extensiones de bosques (ver Figura 1)



Figura 1: Vista del área de estudio, donde se aprecia que es zona de actividad agronidustrial

Para relacionar la condición del Estero Yutreco y del Estero Mulpulmo, se identifican los aportes de fuentes difusas sobre los cuerpos de agua, asociadas a la actividad antrópica existente en el sector Mulpulmo, y que no correspondan a aportes realizados por la Planta de Tratamiento del RIL (PTR) de la Planta Mulpulmo. La georreferenciación de las fuentes difusas se determinó por análisis cartográfico utilizando software Global Mapper 2018 (v19.1) + Lidar y AutoCAD Map 3D 2019 (v22.02), e imágenes satelitales obtenidas en ESRI (2018)<sup>1</sup> y Google Earth Pro v7.3.2.

Para la caracterización de la calidad de agua, se presentan los resultados obtenidos en 37 puntos de muestreo, obtenidos en 9 campañas de monitoreo sobre los cauces Estero Mulpulmo y Estero Yutreco realizadas entre el abril de 2017 y junio de 2018 (ver Tabla 1). En la Figura 23 más adelante, se observa la localización de ellos.

Tabla 1: Resumen de campañas de monitoreo sobre E. Mulpulmo y E. Yutreco

id	Laboratorio	Fecha	ETFA	Tipo de monitoreo
1	HIDROLAB	21.04.2017	Si	Calidad de agua
2	AGQ	06.01.2018	Si	NCh 1333/78 Mod 87: Vida acuática
3	AGQ	21.02.2018	Si	NCh 1333/78 Mod 87: Vida acuática
4	ANAM	27.03.2018	Si	Calidad de agua
5	AGQ	29.03.2018	Si	NCh 1333/78 Mod 87: Vida Acuática
6	Faroverde	05.04.2018	No <sup>(1)</sup>	Fauna íctica + macroinvertebrados
7	Faroverde	05.04.2018	No	Multiparamétrico in situ georreferenciado
8	AGQ	06.04.2018	Si	Calidad de agua
9	ANAM	27.06.2018	Si	Calidad de agua

(1) No existe ETFA para monitoreo de fauna íctica

Fauna íctica y macroinvertebrados fue realizada con una campaña de pesca de investigación autorizada por Res Ex 2330/17 Subpesca. La captura de peces se ejecutó utilizando la técnica de electronarcosis aplicando el método de una sola captura sucesiva propuesta por Lobón y Cervía (1991)<sup>2</sup>, utilizando un equipo de pesca eléctrica marca Honda®, Modelo GXV57. Se consideró el área a prospectar para conocer la abundancia relativa por unidad de esfuerzo (CPUE) según Specziára et al. (2012)<sup>3</sup>. Los peces capturados fueron registrados y devueltos vivos al río, previa identificación taxonómicas utilizando las claves propuestas por Arratia (1981)<sup>4</sup> y Pollard et al. (1997)<sup>5</sup>.

Los registros in situ de calidad del agua para la campaña de pesca de investigación (Faroverde, 2018), se determinó utilizando un equipo multiparamétrico AQUARED, modelo AP2000 (Aquameter), a partir

1 ESRI, 2018. World Imagery with Metadata. Disponible en [www.arcgis.com](http://www.arcgis.com)

2 Lobón-Cervía, J. 1991. Dinámica de poblaciones en ríos pesca eléctrica y métodos de captura sucesiva en la estimación de abundancias. Monografías del Museo Natural de Ciencias (CSIC). Madrid, España.

3 Specziára A, Takács P, Czeglédi I, Eros T. 2012. The role of the electrofishing equipment type and the operator in assessing fish assemblages in a non-wadeable lowland river. *FisheriesResearch* 125– 126 (2012) 99– 107.

4 Arratia, G., Rojas, G. & Chang, A. 1981. Géneros de peces de aguas continentales de Chile. Museo Nacional de Historia Natural. Publicación Ocasional 34: 3-108 pp.

5 Pollard W., Hartman G. & Groot, P. 1997. Field identification of coastal juvenile salmonid. *Canadian cataloguing in publications data*. 32 pag. Ruiz, V.H. 1993. Ictiofauna del río Andalién (Concepción, Chile). *Gayana Zoología* 57(2): 109-278.





del cual se determinaron las variables: Oxígeno Disuelto, T°, pH, Sólidos Disueltos Totales (TDS) y conductividad.

La toma de muestra de macroinvertebrados se realizó en triplicado para cada estación, según procedimientos establecidos por Carrera & Fierro (2001)<sup>6</sup>. Se utilizó una red Surber con apertura de malla de 250µm, abarcando un área de 0,09 m<sup>2</sup> (30x30 cm), removiendo el sustrato y orientando la red de captura en el sentido de la corriente. Las muestras colectadas se conservaron en envases plásticos rotulados y preservadas en alcohol al 70%, para su posterior análisis e identificación en el laboratorio de la empresa Fishing Partners en Puerto Montt, utilizando las claves de identificación propuestas por Hanson et al. (2010)<sup>7</sup>, Figueroa et al. (2003)<sup>8</sup>, Figueroa et al. (2007)<sup>9</sup>, Peters & Edmunds (1972)<sup>10</sup>, Mc Cafferty (1983)<sup>11</sup>, Arenas (1993)<sup>12</sup>, Arenas (1995)<sup>13</sup> y Fernández & Domínguez (2001)<sup>14</sup>.

- 
- 6 Carrera, C. y Fierro, K. 2001. Manual de monitoreo. Los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua. Eco Ciencia. Quito. 64pp.
  - 7 Hanson, P., Springe, M. & Ramirez, A. 2010. Introducción a los grupos de macroinvertebrados acuáticos. Revista de Biología Tropical 58(4): 3-37.
  - 8 Figueroa, R., Valdovinos, C., Araya, E. & Parra, O. 2003. Macroinvertebrados Bentónicos como Indicadores de la Calidad de Agua de Ríos del Sur de Chile. Revista Chilena de Historia Natural 76: 275 – 285.
  - 9 Figueroa, R., Palma, A., Ruiz, V. & Niell, X. 2007. Análisis comparativo de índices bióticos utilizados en la evaluación de la calidad de agua en un río mediterráneo de Chile: río Chillán, VIII Región. Revista Chilena de Historia Natural 80: 225 – 242.
  - 10 Peters, W. & Edmunds, G. 1972. A revision of the Generic classification of certain Leptophlebiidae from southern South America (Ephemeroptera). Annals of the Entomological Society of American 65: 1398–1414.
  - 11 McCafferty, W. 1983. Aquatic Entomology. Jones and Bartlett Publishers Inc., Boston, MA. 448 pp.
  - 12 Arenas, J. 1993. Macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores de la calidad del agua del río Bio-Bío. Tesis de Doctorado de la Universidad de Concepción, Concepción. 116 pp.
  - 13 Arenas, J. 1995. Composición y Distribución del Macrozoobentos del curso principal del río Biobío, Chile. Medio Ambiente (Chile) 12: 39–50.
  - 14 Fernández, H. & Domínguez, E. 2001. Guía para la Determinación de los Artrópodos Bentónicos Sudamericanos. Secretaría de Ciencia y Técnica de la Universidad Nacional de Tucumán, Tucumán. 282 pp.





## 2 IDENTIFICACIÓN DE FUENTES DIFUSAS

La contaminación producto de la transferencia de nutrientes de fuentes difusas antropogénicas, en particular de la agricultura, está bien documentada (Zhang, et al, 2017)<sup>15</sup>, (Blankenberg, et al, 2008)<sup>16</sup>, (Nöges et al, 2007)<sup>17</sup>, (Figueroa et al., 2003)<sup>18</sup>; siendo más difícil de controlar que la contaminación de fuentes fijas (Anderson et al., 2002)<sup>19</sup>, (Withers et al., 2014)<sup>20</sup>. Parra et al (1999)<sup>21</sup> señalan al aporte difuso de nutrientes como el principal factor que afecta la calidad del agua en zonas con actividad agropecuaria, tales como los aportes difusos de materia orgánica/inorgánica, aportes de lixiviados altos en DBO (lechería, casas, purines, etc.) y fertilizantes inorgánicos. Estas actividades existen en la zona de Mulpulmo desde hace mucho tiempo, donde es posible identificar, además de la Planta Mulpulmo, actividades tales como: i) Extracciones de agua ii) Actividades agropecuarias; iii) Praderas de cultivos; iv) Intervenciones de cauces; v) Redes de drenaje vi) Viviendas, entre otros; y tienen un efecto significativo sobre los cuerpos de agua existentes en el área (Freitas & Burr, 1996)<sup>22</sup>, (Archer & Marks, 1997)<sup>23</sup> (Carpenter et al., 1998)<sup>24</sup>.

El Estero Mulpulmo es un estero artificial, mayoritariamente de tramos rectos, de unos 2 a 6 metros de ancho, desprovisto de vegetación arbustiva en casi todo su recorrido, que se alimenta principalmente de infiltración de aguas subterráneas y lixiviación de predios que llegan a su lecho, mediante un sistema de canales artificiales construidos con el fin de drenar terrenos agrícolas. Este estero termina su recorrido uniéndose finalmente al estero Yutreco en la coordenada UTM (m) Norte: 5.509.108 y Este: 672.876 (Datum WGS84, Huso 18).

El entorno del Estero Mulpulmo corresponde a suelo con pradera antropogénica, sin presencia de vegetación arbórea o bosque nativo ribereño que facilite la retención de nutrientes y sedimentos que

- 
- 15 Zhang, Y., Collins, A., Johnes, P., & Jones, J. 2017. Projected impacts of increased uptake of source control mitigation measures on agricultural diffuse pollution emissions to water and air. *Land Use Policy*, 62 (2017), pp. 185-201.
  - 16 Blankenberg, A., Haarstad, K. & Sovik, A. 2008. Nitrogen retention in constructed wetland filters treating diffuse agriculture pollution Desalination, 226 (1-3) (2008), pp. 114-120.
  - 17 Nöges, T., Järvet, A., Kisand, A., Laugaste, R., Loigu, E., Skakalski, B. & Nöges, P. 2003. Reaction of large and shallow lakes Peipsi and Vortsjarv to the changes of nutrient loading. *Hydrobiologia*, 584 (2007), pp. 253-264
  - 18 Figueroa, R., Valdovinos, C., Araya, E., & Parra, O. 2003. Macroinvertebrados bentónicos como indicadores de calidad de agua de ríos del sur de Chile. *Revista Chilena de Historia Natural*. 76 (2003), pp. 275-285.
  - 19 Anderson, D., Glibert, P. & Burkholder, J. 2020. Harmful algal blooms and eutrophication: Nutrient sources, composition, and consequences *Estuaries*, 25 (4B) (2002), pp. 704-726.
  - 20 Withers, P., Neal, C., Jarvie, H. & Doody, D., 2014. Agriculture and eutrophication: where do we go from here? *Sustainability*, 6 (9) (2014), pp. 5853-5875.
  - 21 Parra, O., Valdovinos, C., Campos, H., Figueroa, R., Debels, P. & Zaror, C. 1999. Diagnóstico de la calidad del río Damas, X Región, lineamientos para un plan de prevención y/o descontaminación. Informe Final, Centro EULA-Chile, Universidad de Concepción: 1-286.
  - 22 Freitas, R. & Burr, M. 1996. Animal wastes. In: Pepper, I.L.; Gerba, C.P. and Brusseau, M.L. (eds.). *Pollution Science*, Academic Press. p.237- 251.
  - 23 Archer, J. & Marks, M. 1997. Control of nutrient losses to water from agriculture in Europe. *Fert. Soc. Proc.* N° 405
  - 24 Carpenter, S. Caraco, N., Correll, D., Howarth, R., Sharpley, A. & Smith, V. 1998. Nonpoint pollution of surface waters with phosphorous and nitrogen. *Ecological Society of America, Issues in Ecology* N° 3.

escurren hacia el estero (Jefferies, 1989)<sup>25</sup>, (Bunn *et al.*, 1999)<sup>26</sup>, (Carothers, 1977)<sup>27</sup>, con secciones transversales uniformes tipo trapezoidal, y secciones longitudinales rectas, especialmente es sus primeros tramos. El factor anterior, sumado a que las actividades agrícola y ganadera intensiva del entorno aportan con fósforo y nitrógeno (Arango & Sánchez, 2009)<sup>28</sup>, facilitan la sedimentación en el tramo estudiado, situación que se refleja en el sustrato fangoso y los Sólidos Suspendidos Totales (SST) en la totalidad de las estaciones de monitoreo y que configuran condiciones de eutrofización del ambiente acuático en ambos esteros, facultando que se expresan ambientes anóxicos, emanación de compuestos orgánicos volátiles (COV), y procesos de floración algal.

A diferencia del Estero Yutreco, la ausencia de vegetación ribereña afecta la condición del Estero Mulpulmo (ver Figura 2). La vegetación de ribera o bosques de ribera son fundamentales para el equilibrio ecológico, siendo un área de transición entre hábitats terrestres y acuáticos, en sus diferentes estratos verticales, incluidas las herbáceas. Weisberg *et al.* (2013)<sup>29</sup> dan cuenta del papel ecológico significativo que cumple esta vegetación en la conservación de los servicios ecosistémicos asociados a las riberas. Estas zonas permiten procesar mayor cantidad de materia orgánica y capturar más nitrógeno, mejorar la cantidad y calidad del agua, facilitar el procesamiento de contaminantes y regular la temperatura y luz que ingresa a los sistemas acuáticos de mejor manera que aquellos sin este tipo de vegetación, reduciendo las probabilidades de afectar negativamente los ecosistemas río abajo (Scarsbrook *et al.* 2001)<sup>30</sup>, (Sirombra y Mesa, 2010)<sup>31</sup>. Además, los sistemas ribereños pueden categorizarse como hábitat diverso, dinámico y complejo (Sweeney *et al.* 2004)<sup>32</sup>, frecuentemente fértiles y productivos, debido principalmente a su ubicación cercana a los cursos y cuerpos de agua, donde los depósitos aluviales proporcionan un suelo rico en nutrientes y materia orgánica (Granados *et al.* 2006)<sup>33</sup>.

---

25 Jefferies, D. 1989. The changing otter population of Britain 1700-1989. *Biological Journal of the Linnean Society* 38: 61-69.

26 Bunn, S. & Arthington, A. 2002. Basic Principles and Ecological Consequences of Altered Flow Regimes for Aquatic Biodiversity. *Environmental Management* 30: 492-507

27 Carothers, S. 1977. Importance, preservation, and management of riparian habitats: an overview. In: R.R. Jonson & D.A. Jones (eds.), *Importance, Preservation, and Management of Riparian Habitats: a Symposium*, pp. 2-4. USDA Forest Service General Technical Report RM-43. US Government Print Office, Washington, DC.

28 Arango, L. & Sánchez, P. 2009. Tratamiento de aguas residuales de la industria láctea en sistemas anaerobios tipo USAB. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad del Cauca. Colombia.

29 Weisberg P, Mortenson, S., Dilts, T. 2013. Gallery Forest or Herbaceous Wetland? The need for multi-target perspective in riparian restoration planning. *Restoration Ecology* 21(1): 12-16.

30 Scarsbrook M., Quinn, J., Halliday, J. & Morse, R. 2001. Factors controlling litter input dynamics in streams draining pasture, pine, and native forest catchments. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research* 35: 751-762.

31 Sirombra M, Mesa, L. 2010. Composición florística y distribución de los bosques ribereños subtropicales andinos del Río Lules, Tucumán, Argentina. *Revista de Biología Tropical* 58(1): 499-510.

32 Sweeney B, Bott, T., Jackson, J., Kaplan, K., Newbold, J., Standley, L., Hession, W. & Horwitz, R. 2004. Riparian deforestation, stream narrowing and loss of stream ecosystem services. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 101(39): 14132-14137.

33 Granados D, Hernández, M. & López, G. 2006. Ecología de las zonas ribereñas. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 12(1): 55-69.



Figura 2: Vista comparada Estero Yutreco (izq) versus Estero Mulpulmo (der)

En el sector Mulpulmo existen múltiples actividades agroindustriales, donde se evidencia el manejo intensivo de praderas en base a monocultivos, principalmente de maíz con fines forrajero, en un predio colindante con canales de drenaje, que conectan con el punto de descarga de la PTR, y que son aportes difusos de nutrientes inorgánicos/orgánicos, derivados de procesos de fertilización (ver Figura 3 y Figura 4).



Figura 3: Cultivos agrícolas intensivos y viviendas  
(5.508.150 N y 674.565 E, WGS84 H18)



Figura 4: Actividades agrícola intensiva aledaña a PTR, con canal de drenaje hacia Estero Mulpulmo (5.508.013 N y 674.520 E, WGS84 H18)

La excesiva o mal aplicada fertilización produce la escorrentía de los nutrientes desde los campos hacia las aguas superficiales y causa la reducción de oxígeno y otros problemas (Kasak et al., 2018)<sup>34</sup>. Sólo en el sector Mulpulmo, en poco más de 2 km de extensión se identificaron 44 puntos de drenaje de los campos que descargan al Canal Mulpulmo (23) y Estero Yutreco (21).

<sup>34</sup> Kasak, K., Kill, K., Päm, J. & Mander, Ü. 2018. Efficiency of a newly established in-stream constructed wetland treating diffuse agricultural pollution. *Ecological Engineering*, 119 (2018), pp. 1-7.



Figura 5: Drenes con descarga al Estero Mulpulmo, entre E3 y E4 (5.508.737 N y 673.515 E, WGS84 H18)



Figura 6: Sistemas de drenes asociados al estero Yutreco (5.509.871 N y 673.987 E, WGS84 H18)



Figura 7: Sistemas de drenes asociados al estero Yutreco bordeando cauce Estero Yutreco (5.509.349 N y 673.129 E, WGS84 H18)



Figura 8: Zona de unión del sistema de canales de drenaje con estero Yutreco y Mulpulmo. (5.509.136 N y 672.946 E, WGS84 H18)

Como se muestra en las figuras más atrás, la actividad agrícola del sector genera paulatinamente una modificación en los cuerpos de agua. El canal colector de los drenes de los campos evita la lixiviación





## EVALUACION DEL ESTADO AMBIENTAL DE LOS CUERPOS DE AGUA ASOCIADOS A LA ACTIVIDAD ANTRÓPICA DEL SECTOR Mulpulmo

natural de los predios, afectando la escorrentía del estero. Esto se evidencia en el Estero Yutreco, al comparar las Figura 6 y Figura 7, donde en esta última se aprecia una disminución significativa del cauce. Las aguas lixiviadas de los predios son canalizadas y retomadas al Estero Yutreco en un punto ubicado a 83 m antes de su unión con el estero Mulpulmo (ver Figura 8), siendo prácticamente una sección artificial del estero, ya que se evidencia que es una prolongación del canal colector del drenaje de los predios, los cuales aportan materia orgánica y sedimento a esa sección del estero.

Las tablas a continuación muestran la localización de los puntos de descarga sobre los Esteros Mulpulmo y Estero Yutreco, del drenaje de los predios cercanos a sus cauces.

Tabla 2: Localización de drenes de descarga sobre Canal Mulpulmo

Id	Este	Norte	Id	Este	Norte
1	673428	5508655	13	674524	5508247
2	673473	5508688	14	674582	5508140
3	673565	5508731	15	674759	5508064
4	673646	5508721	16	674831	5508061
5	673795	5508724	17	674884	5508065
6	673813	5508705	18	674917	5508074
7	673855	5508656	19	675021	5508142
8	673948	5508608	20	675038	5508183
9	673972	5508599	21	675203	5508073
10	674051	5508627	22	675226	5508056
11	674095	5508609	23	673094	5508947
12	674221	5508536			

Tabla 3: Localización de drenes de descarga sobre Estero Yutreco

Id	Este	Norte	Id	Este	Norte
1	672969	5509169	12	674358	5509904
2	673013	5509247	13	674414	5509783
3	673147	5509323	14	674428	5509723
4	673446	5509317	15	674445	5509658
5	673481	5509431	16	674400	5509577
6	673730	5509638	17	674431	5509489
7	673787	5509768	18	674464	5509440
8	673894	5509812	19	674539	5509376
9	673929	5509826	20	675842	5509082
10	674067	5509867	21	672459	5509126
11	674191	5509970			



Figura 9: Localización de los drenes de drenaje de campos sobre E. Mulpulmo y E. Yutreco

También existen aportes difusos de lecherías, ternerera, ensilados, y en general de la actividad agrícola del sector, actividades antrópicas altamente contaminantes que afectan directamente al Estero Mulpulmo. Se identificaron aportes difusos con una alta conductividad, como la registrada en la [E1] (2273uS/cm), situación que podría explicarse en que esta estación se recibe infiltración del predio ubicado al costado norte del camino, arrastrando nutrientes y sales de actividades agropecuarias (ver Figura 10). También descargas de percolados de ensilaje después de la E4, a un costado de la ternerera existente (ver Figura 11). Estos percolados de ensilaje tienen un efecto significativo sobre el Estero Mulpulmo, debido a que los lixiviados son ricos en ácidos orgánicos que aportan corrosividad al medio, efecto que se acentúa en época estival cuando el cauce del Mulpulmo está en su menor nivel, ya que su demanda de oxígeno se encuentra entre las más altas entre varios tipos de efluentes, alcanzando entre los 30.000 a 80.000 mg/L de DBO (Dumont, 1992)<sup>35</sup>, lo que tiene una relación directa con la generación COV (Compuestos Orgánicos Volátiles) produciendo olores perceptibles. 1.100m después de la PTR, donde se descargan percolados de ensilaje con gran poder de contaminación, y de acuerdo con Ansorena (1992)<sup>36</sup>, es el residuo más contaminante de los producidos en explotaciones agrícolas.

35 Dumont, J. 1992. Impacto ambiental de la actividad ganadera. INIA Remehue. Pp 4.

36 Ansorena, J. 1992. Impacto de la agricultura en el medio ambiente: Contaminación agraria puntual. Laboratorio agrario de Fraisoro, Dip. Foral de Gipuzkoa, País Vasco, España. SUSTRAI N°26, 3er Trimestre. 1992



Figura 10: Identificación de la posible ruta de aportes difusos de una alta conductividad al estero Mulpulmo [E1]



Figura 11: Detalle del aporte de percolados por ensilaje al Estero Mulpulmo, aguas abajo [E4] (5.508.774 N y 673.764 E, WGS84 H18)



Figura 12: Descarga de percolados por ensilaje al Estero Mulpulmo  
(5.508.794 N y 673.765 E, WGS84 H18)



Figura 13: Descarga de percolados de ensilaje hacia E. Mulpulmo (5.508.794 N y 673.765 E, WGS84 H18)

También existen 2 lecherías en el sector, siendo una de ellas de un tamaño importante a 450m del cauce del Estero Mulpulmo (5.508.213 N y 673.739 E, WGS84 H18). La segunda lechería es de menor tamaño (5.508.845 N y 673.781 E, WGS84 H18), localizada aguas arriba de la Planta Mulpulmo, y podría ser responsable de los altos registros de conductividad en la [E1] (ver Figura 10).

Los efluentes de lechería, tales como los purines, aguas residuales del lavado de equipos de ordeña y estiércol, han sido identificados como fuentes potenciales de contaminación directa y/o difusas (Freitas & Burr, 1996)<sup>37</sup>, (Archer & Marks, 1997)<sup>38</sup> (Carpenter et al., 1998)<sup>39</sup>. El manejo y utilización de estos efluentes requiere de buenas prácticas agrícolas, ya que la DBO5 de los purines, normalmente está entre 16.000 y 30.000 mg O<sub>2</sub>/L, y el de las aguas de lavado de lecherías en niveles de 3.000 mg O<sub>2</sub>/L, mientras que el agua de un río tiene una DBO5 de <2 mg O<sub>2</sub>/L (Merkel, 1981)<sup>40</sup>.

37 Freitas, R. & Burr, M. 1996. Animal wastes. In: Pepper, I.L.; Gerba, C.P. and Brusseau, M.L. (eds.). Pollution Science, Academic Press. p.237- 251.

38 Archer, J. & Marks, M. 1997. Control of nutrient losses to water from agriculture in Europe. Fert. Soc. Proc. N° 405

39 Carpenter, S. Caraco, N., Correll, D., Howarth, R., Sharpley, A. & Smith, V. 1998. Nonpoint pollution of surface waters with phosphorous and nitrogen. Ecological Society of America, Issues in Ecology N° 3.

40 Merkel, J. 1981. Managing livestock wastes. AVI Publishing Company, Westport. Connecticut. 419 pp.

Adicional a lo anterior, se detectó en este estero, puntos irregulares y muy rudimentarios para la extracción de agua (ver Figura 15), los que facilitan la instalación de sistemas de extracción forzada de agua con fines de riego agrícola.



Figura 14: Sección del Estero Mulpulmo con drenes y tranques de acumulación de aguas entre E3 y E4 (5.508.635 N y 674.035 E, WGS84 H18)



Figura 15: Modificación de sección del Estero Mulpulmo. (5.508.678 N y 673.384 E, WGS84 H18)



Figura 16: Extracción de agua desde el estero Yutreco a canal colector de drenaje predial.  
(5.509.377 N y 674.539 E, WGS84 H18)



Figura 17: Extracción de agua desde el estero Yutreco al estero Mulpulmo.  
(5.509.229 N y 674.751 E, WGS84 H18)

Respecto al agua extraída desde el Estero Yutreco (ver Figura 16 y Figura 17), luego de consultar las bases de datos de los registros de aguas (DGA, 2018)<sup>41</sup>, no se encontraron registros de propiedad de los respectivos derechos de aprovechamiento de aguas. Además, la extracción del agua adolece de mecanismos de captación que regulen el caudal, por lo que se infiere que corresponde a una extracción ilegal de las aguas del Estero Yutreco.

La Figura 18 evidencia desde la alcantarilla existente en la Ruta U-159 (5.508.529 N y 674.160 E, WGS84 H18) como el agua es trasvasada desde el Estero Yutreco y dispuesta en el Estero Mulpulmo. La Tabla 4 identifica las coordenadas de los puntos que evidencian la extracción de agua y donde comienza la modificación del eje del Estero Yutreco (ver también Figura 6, Figura 7 y Figura 8 más atrás).



Figura 18: Traslado de agua desde el E. Yutreco (izq) hacia E. Mulpulmo (der).  
(5.508.794 N y 673.765 E, WGS84 H18)

Tabla 4: Localización de modificación de cauces

Id	Este	Norte
Extracción de agua del Estero Yutreco	674571	5509229
Ingreso de agua al canal Mulpulmo	674142	5508604
Modificación de cauce de Estero Yutreco	674686	5509309

41 DGA, 2018. Consulta y seguimientos a solicitudes y expedientes.  
Disponible en <http://www.dga.cl/sitioDerechos/Paginas/default.aspx>



El trasvase de caudal desde el Estero Yutreco hacia el Estero Mulpulmo también se aprecia en las estaciones de monitoreo, donde la sección del cuerpo de agua se ve significativamente modificada, como se aprecia en las estaciones [E2], [E3] y [E4] (ver Figura 19).



Figura 19: Diferencias de tamaño y flujo en el Estero Mulpulmo ente las estaciones E2, E3 y E4

También se evidencian abrevaderos (ver Figura 20), descargas domiciliarias (ver Figura 21) y otros usos antrópicos, como la cría de animales de granja (ver Figura 22).



Figura 20: Abrevadero y/o paso de animales en Estero Mulpulmo  
(5.508.685 N y 673.459 E, WGS84 H18)



Figura 21: Viviendas con descargas de detergentes al Estero Mulpulmo, cerca de la E3  
(5.508.235 N y 674.533 E, WGS84 H18)



Figura 22: Viviendas con animales de granja en el Estero Mulpulmo (5.508.685 N y 673.459 E, WGS84 H18)

La tabla y figura siguientes resumen la localización de las fuentes contaminantes sobre el Estero Mulpulmo.

Tabla 5: Localización de fuentes contaminantes sobre Estero Mulpulmo (UTM (m) WGS84, H18)

Id	Este	Norte
Cría de animales de granja	673.763	5.508.775
Descarga Ternera	673.444	5.508.681
Ensilaje	675.305	5.508.027
Lechería	673.739	5.508.213
Lechería	673.781	5.508.845
Ternera	673.754	5.508.808
Tranque	674.032	5.508.601
Tranque	674.025	5.508.657



### 3 IDENTIFICACIÓN DE LAS ESTACIONES DE MUESTREO EN ESTERO Mulpulmo

Los cuerpos de agua del sector Mulpulmo han sido monitoreados desde julio de 2017, con registros para 8 estaciones distribuidas entre Estero Mulpulmo (5) y Estero Yutreco (3), (ver Figura 23).



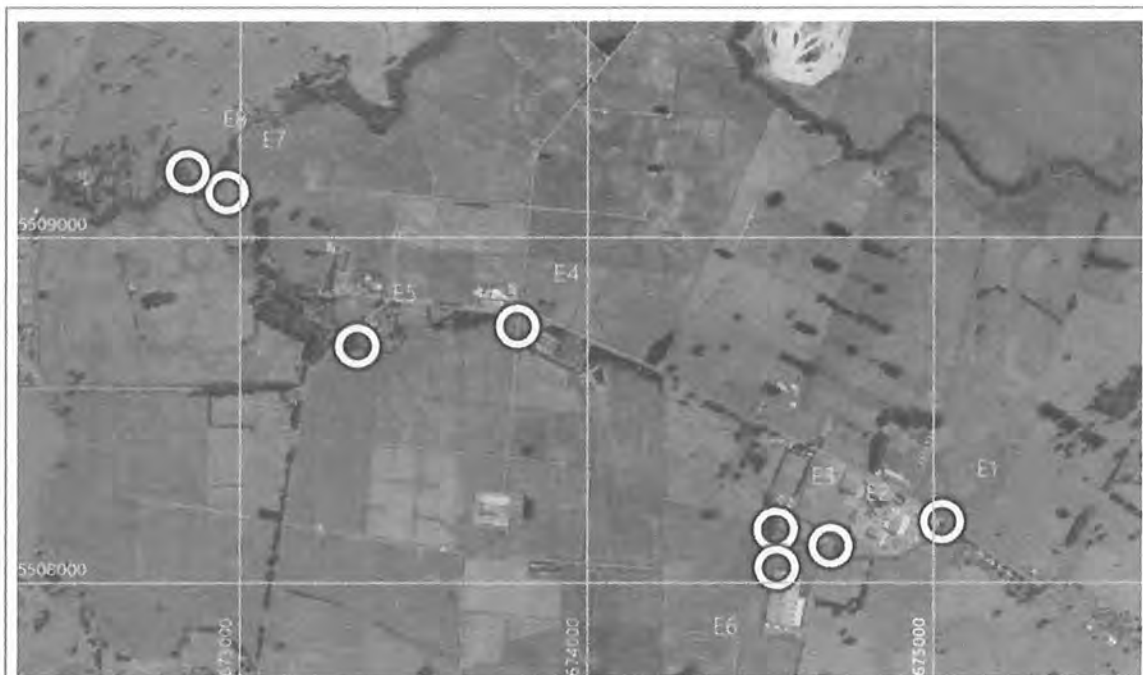
Figura 23: Localización de los puntos de monitoreo en sector Mulpulmo

Los puntos de monitoreo abarcan, esencialmente, 5 zonas del Estero Mulpulmo, identificados como: [E1] Antes de Planta Mulpulmo, [E2] Aguas arriba descarga Planta de tratamiento de riles (PTR) de Planta Mulpulmo, [E3] Aguas abajo descarga PTR, [E4] Cruce acceso lechería Sr. Romero, [E5] Cruce Ruta U-159; 1 punto de muestreo del efluente de la PTR, identificado como [E6] PTR Planta Mulpulmo; y 3 puntos de monitoreo en el Estero Yutreco, identificados como: [E7] Aguas arriba descarga del Estero Mulpulmo, [E8] Abajo descarga del Estero Mulpulmo, y [E9] Nuevo punto de descarga RIL en el Estero Yutreco.

El detalle de los informes de laboratorio, y registros de campo, se consultan en Anexos. La tabla siguiente resume los registros de los análisis por estación de muestreo para las distintas campañas de monitoreo.

Tabla 6: Registro de informes de análisis por estación de monitoreo de referencia

Muestreo	Fecha	[E1]	[E2]	[E3]	[E4]	[E5]	[E6]	[E7]	[E8]	[E9]
HIDROLAB	2104_17	380722	380723	387020			380758			
ANAM	2703_18	4687352		4687353	4684354	4687355	4687351	4687356	4687357	
AGQ	0604_18	27451	27452	27453		27545			27455	27546
Macroinvertebrados	0504_18	1	2	3		4			5	6
Aquameter	0504_18	TAG054	TAG059	TAG060		TAG051			TAG052	TAG053
ANAM	2706_18	4808989	4808990	4808993	4808991	4808988	4808992			
NCh1333	0501_18		A18-01207					A18-01194	A18-01197	A18-1205
NCh1333	2002_18		A18-13589					A18-13580	A18-13582	A18-13586
NCh1334	2903_18		A18-25033			A18-25034		A18-25028	A18-25030	A18-25032



Nota: [E1] E. Mulpulmo antes de Planta Mulpulmo, [E2] E. Mulpulmo aguas arriba descarga PTR, [E3] E. Mulpulmo aguas abajo descarga PTR, [E4] E. Mulpulmo zona temerera, [E5] E. Mulpulmo cruce Ruta U-159, [E6] PTR Planta Mulpulmo, [E7] E. Yutreco aguas arriba descarga E. Mulpulmo, [E8] E. Yutreco aguas abajo descarga E. Mulpulmo, [E9] E. Yutreco nuevo punto de descarga RIL.

Figura 24: Localización de estaciones de referencia para campañas de monitoreo

#### 4 RESULTADOS

##### 4.1 Resultados de la caracterización de fauna íctica

Las áreas de prospección para cada estación fueron variables, no obstante, los tiempos fueron relativamente homogéneos, los que variaron de 0,5 a 0,6 hr por estación de monitoreo (ver Gráfico 1).



Gráfico 1: Tiempos y áreas de prospección por estación de monitoreo

##### 4.1.1 Caracterización de la riqueza y abundancia de la Fauna íctica.

En la campaña de monitoreo se registró la presencia de 2 especies nativas, *Cheirodon australe* y *Brachygalaxias bullocki* (ver Figura 25 y Figura 26). El detalle de las especies capturadas, sus características de abundancia y la relación longitud peso para cada estación de monitoreo, se presenta en las figuras y tablas siguientes:

Tabla 7: Relación peso (g) y longitud (cm) promedio de los ejemplares capturados para [E1], [E2] y [E3]

Especie	[E1]			[E2]			[E3]		
	N°	Long	Peso	N°	Long	Peso	N°	Long	Peso
<i>Brachygalaxias bullocki</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Cheirodon australe</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabla 8: Relación peso (g) y longitud (cm) promedio de los ejemplares capturados para [E5], [E8] y [E9]

Especie	[E5]			[E8]			[E9]		
	N°	Long	Peso	N°	Long	Peso	N°	Long	Peso
<i>Brachygalaxias bullocki</i>	-	-	-	15	3,3±0,4	0,4±0,2	52	3,2±0,2	0,3±0,8
<i>Cheirodon australe</i>	-	-	-	38	4,6±0,6	1,3±0,5	-	-	-

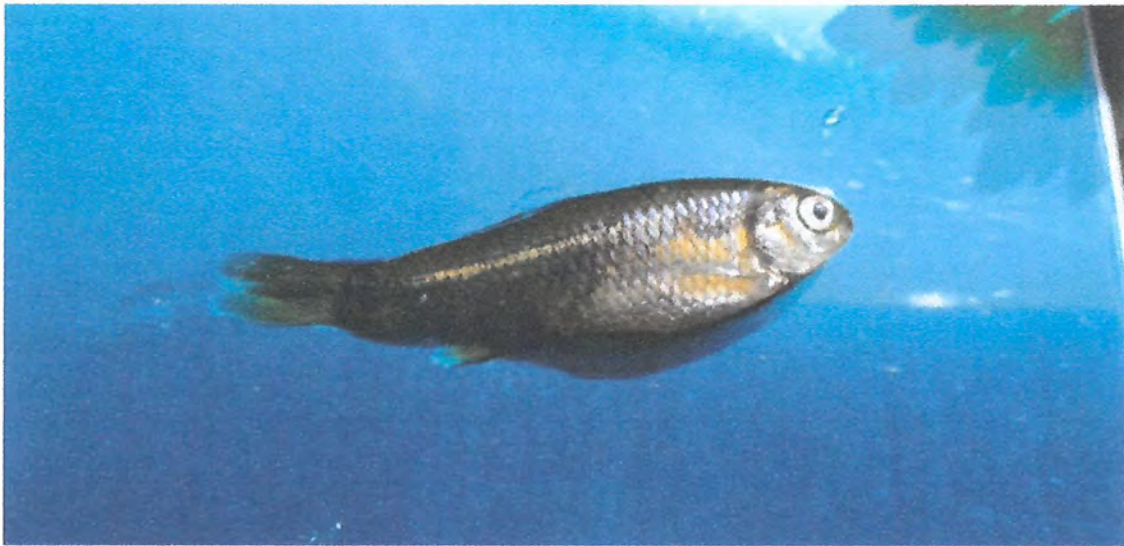


Figura 25: Ejemplar de la especie *Cheirodon australe* registrada en la campaña de monitoreo



Figura 26: Ejemplar de la especie *Brachygalaxias bullocki* registrada en la campaña de monitoreo.



La relación entre peso y longitud promedio de los ejemplares capturados, se muestra en la tabla a continuación.

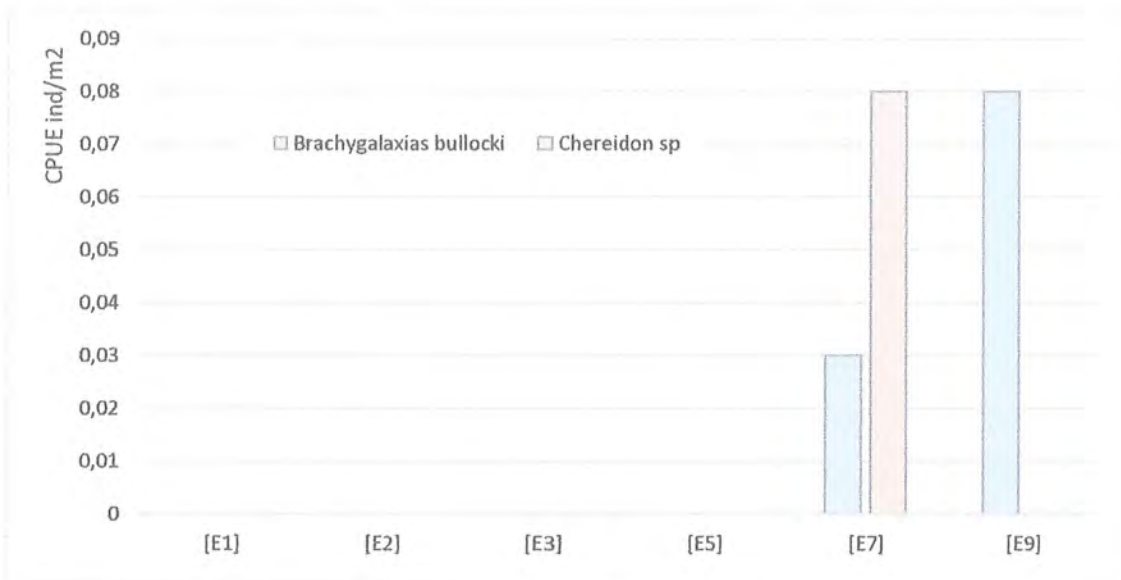


Gráfico 2: Abundancia relativa de la Fauna Íctica por estación de monitoreo, (CPUE: Individuos/m2)

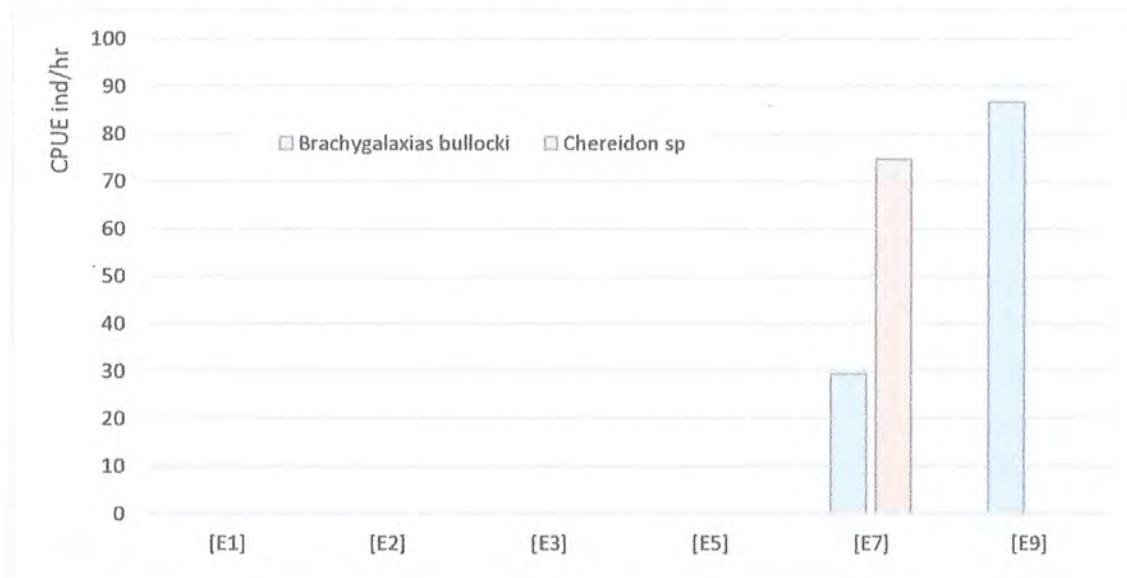


Gráfico 3: Abundancia relativa de la Fauna Íctica por estación de monitoreo, (CPUE: Individuos/hora).

#### 4.1.2 Índices Comunitarios Fauna Íctica

En las estaciones [E1], [E2], [E3] y [E5] no se registraron peces, mientras que en la [E9] sólo se registró la especie *Brachygalaxias bullocki*, por lo que para estas estaciones no es posible calcular parámetros comunitarios. Por su parte, en la [E8] se registró una riqueza específica de dos especies, correspondientes a *Brachygalaxias bullocki* y *Cheirodon australe*, donde según el índice de Shannon & Weaver (1963)<sup>42</sup> la diversidad es baja, con un H' 0,59, mientras que la equidad es J' 0,85 (ver Gráfico 4), existiendo una diferencia en la abundancia de los peces.

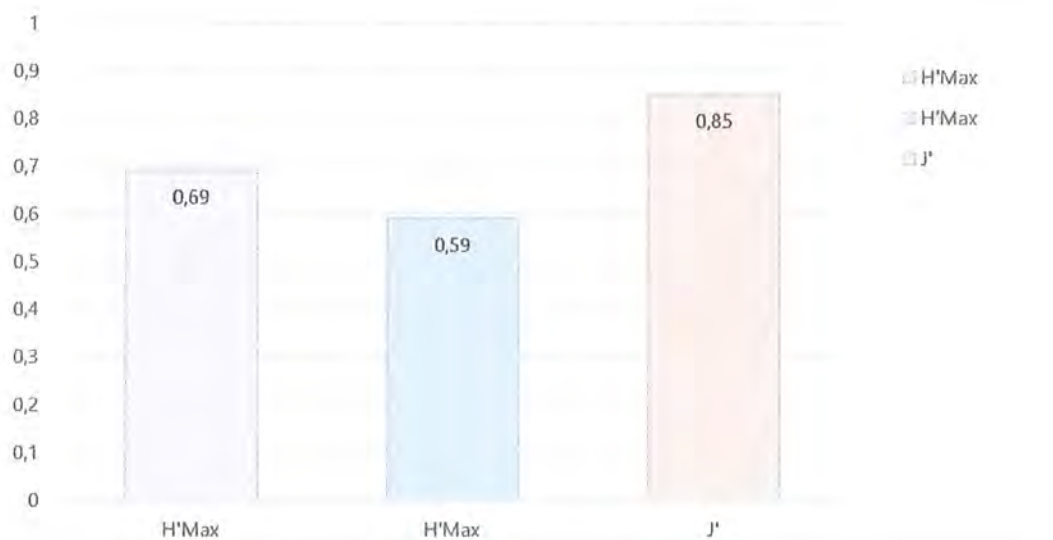


Gráfico 4: Índices comunitarios: Shannon & Weaver y Equidad de Pielou.

#### 4.1.3 Estado de conservación de las especies encontradas

El estado de conservación representa el estado en el que pueden encontrarse las especies, atendiendo el riesgo potencial de extinción de sus poblaciones. El estado de conservación de las especies registradas se presenta en la tabla a continuación:

Tabla 9: Estado de conservación de las especies identificadas en la campaña de monitoreo<sup>43</sup>.

Nombre Científico	Nombre Común	Familia	Estado de Conservación
<i>Brachygalaxias bullocki</i>	Puye, Peladilla	<i>Galaxiidae</i>	Vulnerable
<i>Cheirodon australe</i>	Pocha del Sur	<i>Characidae</i>	Vulnerable

42 Shannon, C. & Weaver, W. 1963. The Mathematical Theory of Communication. The University of Illinois Press, Urbana editors. USA. 111 pp.

43 Disponible en: <http://www.mma.gob.cl/clasificacionespecies/listado-especies-nativas-segun-estado-2014.htm>



## 4.2 Caracterización de macroinvertebrados bentónicos

### 4.2.1 Diversidad Alfa.

Se registraron 27 especies/familias (S) de macroinvertebrados bentónicos, pertenecientes a los Phylum *Annelida*, *Arthropoda*, *Mollusca* y *Nemertea*. El Phylum *Arthropoda* fue el que presentó una mayor cantidad de familias, correspondiendo a 17 especies de artrópodos, el segundo Phylum con mayor representación fue *Mollusca*, con cinco familias, en tanto, *Annelida* registró tres familias y *Nemertea* solo una.

La mayor riqueza específica se registró en la [E1] presentando 14 familias, en segundo lugar se encuentra la [E8] con 10 familias, por su parte, la menor riqueza específica de macroinvertebrados bentónicos se registró en las Estaciones [E2] y [E5] que presentaron solo tres familias (ver Tabla 10).

Tabla 10: Macroinvertebrados bentónicos presentes en los esteros Yuteco y Mulpulmo

Phylum	Orden u clase	Familia	Especie	[E1]	[E2]	[E3]	[E5]	[E8]	[E9]
<i>Annelida</i>	<i>Hirudinea</i>	<i>Hirudinea</i>	<i>Hirudinea (i)</i>	390	0	0	0	90	30
<i>Annelida</i>	<i>Oligochaeta</i>	<i>Naididae</i>	<i>Naididae (i)</i>	10	0	0	460	6610	0
<i>Annelida</i>	<i>Oligochaeta</i>	<i>Lumbriculidae</i>	<i>Lumbriculidae (i)</i>	0	0	0	60	30	0
<i>Arthropoda</i>	<i>Ostracoda</i>	<i>Ostracoda</i>	<i>Ostracoda indet.</i>	270	60	0	0	0	0
<i>Arthropoda</i>	<i>Diptera</i>	<i>Chironomidae</i>	<i>Chironomidae</i>	40	1840	180	5020	5170	90
<i>Arthropoda</i>	<i>Amphipoda</i>	<i>Hyaellidae</i>	<i>Hyaella sp.</i>	270	0	10	0	0	0
<i>Arthropoda</i>	<i>Odonata</i>	<i>Odonata</i>	<i>Odonata (l)</i>	10	0	0	0	0	0
<i>Arthropoda</i>	<i>Arachnida</i>	<i>Arachnida</i>	<i>Arachnida (i)</i>	10	0	0	0	0	0
<i>Arthropoda</i>	<i>Copepoda</i>	<i>Copepoda</i>	<i>Copepoda (i)</i>	280	0	0	0	170	0
<i>Arthropoda</i>	<i>Coleptera</i>	<i>Elmidae</i>	<i>Elmidae</i>	10	0	0	0	0	10
<i>Arthropoda</i>	<i>Coleptera</i>	<i>Coleoptera</i>	<i>Coleoptera (i)</i>	10	0	0	0	0	0
<i>Arthropoda</i>	<i>Chilopoda</i>	<i>Chilopoda</i>	<i>Chilopoda (i)</i>	60	0	0	0	0	0
<i>Arthropoda</i>	<i>Acari</i>	<i>Acari</i>	<i>Acari (i)</i>	10	10	10	0	0	0
<i>Arthropoda</i>	<i>Coleptera</i>	<i>Gyrinidae</i>	<i>Gyrinidae indet.</i>	30	0	0	0	0	0
<i>Arthropoda</i>	<i>Megaloptera</i>	<i>Sialidae</i>	<i>Sialidae (i)</i>	0	0	0	0	10	0
<i>Arthropoda</i>	<i>Diptera</i>	<i>Simuliidae</i>	<i>Simuliidae (i)</i>	0	0	0	0	20	0
<i>Arthropoda</i>	<i>Ephemeroptera</i>	<i>Baetidae</i>	<i>Baetidae (i).</i>	0	0	0	0	10	0
<i>Arthropoda</i>	<i>Decapoda</i>	<i>Aeglidae</i>	<i>Aegla sp.</i>	0	0	0	0	0	160
<i>Arthropoda</i>	<i>Diptera</i>	<i>Ceratopogonidae</i>	<i>Ceratopogonidae (i)</i>	0	0	0	0	0	10
<i>Arthropoda</i>	<i>Trichoptera</i>	<i>Hydropsychidae</i>	<i>Hydropsychidae (i).</i>	0	0	0	0	0	10
<i>Mollusca</i>	<i>Mollusca</i>	<i>Amnicolidae</i>	<i>Amnicolidae (l).</i>	30	0	0	0	0	0

Phyllum	Orden u clase	Familia	Especie	[E1]	[E2]	[E3]	[E5]	[E8]	[E9]	
Mollusca	Mollusca	Sphaeriidae	Pisidium sp.	0	0	0	0	20	0	
Mollusca	Mollusca	Sphaeriidae	Sphaeriidae (i)	0	0	0	0	60	0	
Mollusca	Mollusca	Hyriidae	Diplodon chilensis	0	0	0	0	0	750	
Mollusca	Mollusca	Chilinidae	Chilina sp.	0	0	0	0	0	10	
Nemertea	Nemertea	Nemertea	Nemertea (i).	0	0	30	0	0	0	
NOTA = (i) indeterminada				Abundancia	1430	1910	230	5540	12190	1070

Respecto a la abundancia, la mayor cantidad de individuos/m<sup>2</sup> se registró en la [E8], con 12.190 individuos/m<sup>2</sup>, donde las familias *Naididae* y *Chironomidae* fueron las más abundantes, representando el 54% y 42% respectivamente (ver Gráfico 9). La segunda mayor abundancia se registró en la [E5], aunque solo se observaron tres familias, las que en su conjunto arrojaron una abundancia de 5.540 individuos/m<sup>2</sup>, de los cuales el 91% pertenecen a la familia *Chironomidae* (ver Gráfico 8). El resto de las estaciones de monitoreo presentaron abundancias notoriamente menores a las anteriores, no superando los 2.000 ind/m<sup>2</sup> (ver gráficos siguientes).

En la [E1] las familias/especies más abundantes son *Hirudinea*, representando un 27% de la abundancia, mientras que *Ostracoda*, *Hyalella sp.* y *Copepoda* representan un 19% cada una. La situación de abundancia en [E2] y [E3], difiere de [E1], dado que la familia *Chironomidae* en estas estaciones representa el 96% y 78% de abundancia respectivamente. Respecto a la [E9], que presentó ocho especies, su abundancia estuvo marcada por la presencia de *Diplodon chilensis*, con un 70% de abundancia.

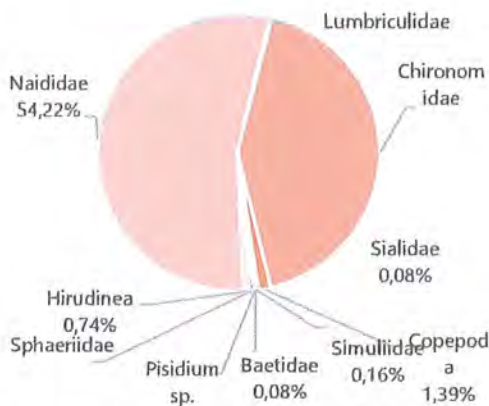


Gráfico 5: Abundancia relativa de familias [E1] (ind/m2)

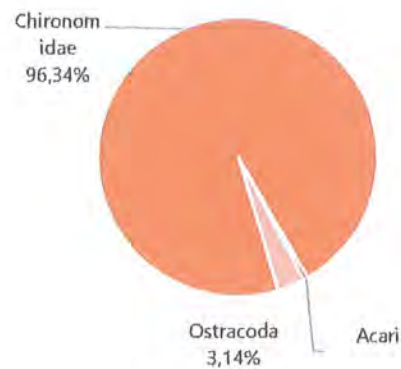


Gráfico 6: Abundancia relativa de familias [E2] (ind/m2)

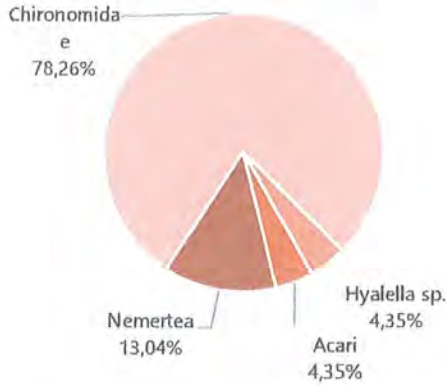


Gráfico 7: Abundancia relativa de familias [E3] (ind/m2)

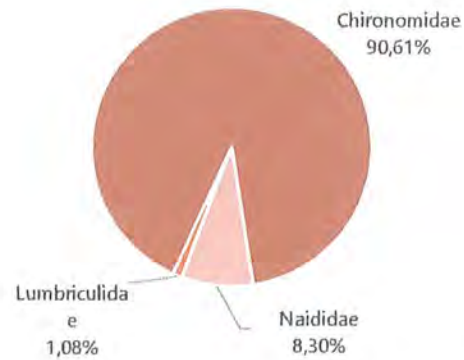


Gráfico 8: Abundancia relativa de familias [E5] (ind/m2)

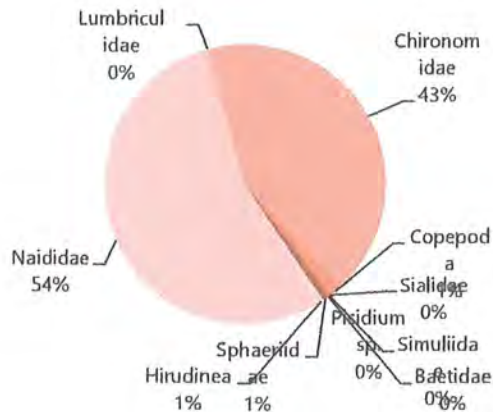


Gráfico 9: Abundancia relativa de familias [E7] (ind/m2)

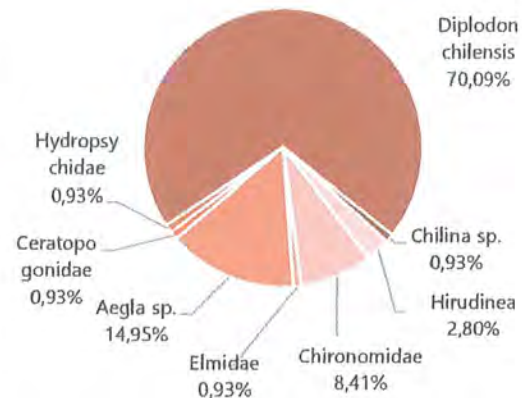


Gráfico 10: Abundancia relativa de familias [E9] (ind/m2)

En relación a los índices comunitarios, según el Índice de Shannon & Weaver (1963)<sup>44</sup>, la estación E1 presenta la mayor diversidad con un  $H'$  2,04, en contraste a la [E5] que registró la menor diversidad  $H'$  0,46. En segundo lugar de diversidad se encuentra la [E9], con un índice de  $H'$  1,36. Respecto a la equidad de las comunidades macrobentónicas, el índice de Pielou ( $J'$ ) indica que las equidades son bajas, especialmente en [E2], [E5] y [E7], lo cual se debería a una alta dominancia por parte de la familia Chironomidae en éstas tres estaciones, lo anterior considerando que el valor 1 de Pielou indica completa equidad y 0 indica total dominancia (ver Gráfico 11).

<sup>44</sup> Shannon, C. & Weaver, W. 1963. The Mathematical Theory of Communication. The University of Illinois Press, Urbana editors. USA. 111 pp.

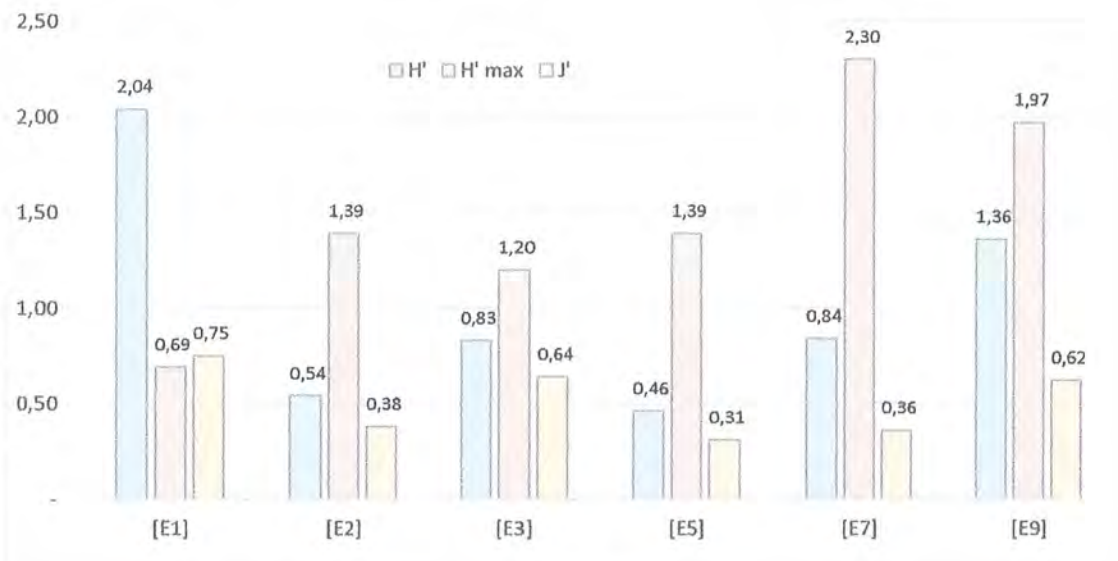


Gráfico 11: Índices comunitarios Shannon & Weaver e Índice de Pielou.

#### 4.2.2 Diversidad Beta

En relación con la diversidad beta, según el análisis de Bray-Curtis el cual relaciona riqueza específica (familias) y abundancia, se obtiene que las estaciones [E2] y [E5] son similares en un 90%, formando el primer clúster de similitud. El segundo clúster agrupa las estaciones [E2], [E3] y [E5], las que son similares en un 84%, mientras que el tercer clúster indica que las estaciones [E2], [E3], [E5] y [E8] alcanzan una similitud del 51%. Las estaciones [E1] y [E9] difieren comunitariamente de las demás estaciones de monitoreo, en términos de familias registradas como en abundancia (ver Figura 27).

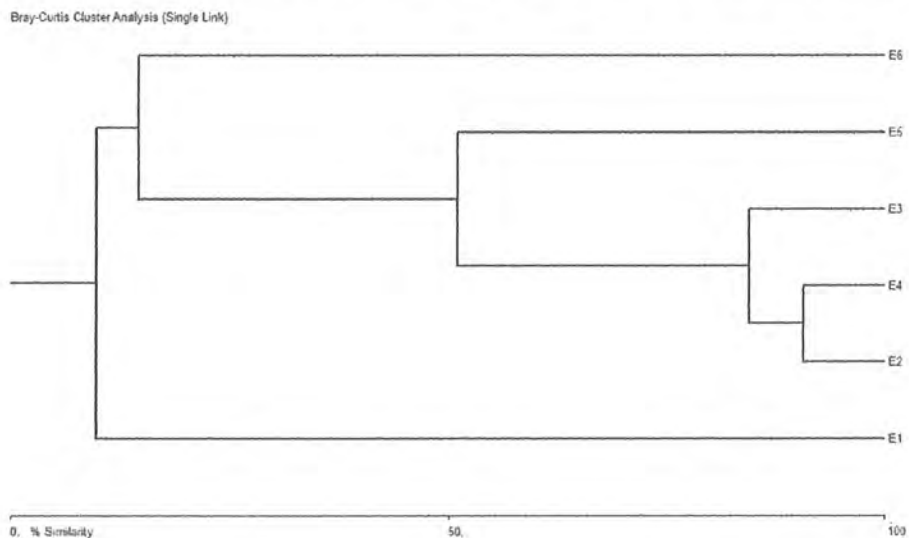


Figura 27: Diversidad Beta según análisis de Bray-Curtis.



### 4.3 Calidad Biológica de Aguas.

La calidad biológica de agua del Estero Mulpulmo según el Índice Biótico de Familias (IBF) varía desde regular a malo, siendo regular en la [E1] y [E3], y malo en [E2] y [E5]. En relación con el Índice EPT que vincula las clases *Ephemeroptera*, *Plecoptera* y *Tricoptera*, se indica que las cuatro estaciones mencionadas anteriormente son de mala calidad. Respecto al Estero Yutreco, su calidad de agua varía drásticamente, siendo según el IBF de calidad muy bueno en la [E9] y de calidad muy malo en la [E8], después de su confluencia con el Estero Mulpulmo (ver Tabla 11), en tanto el índice EPT categoriza la calidad de agua de éstas dos estaciones como Mala.

Tabla 11: Calidad de agua del Estero Mulpulmo y Yutreco según IBF y EPT.

Estación	IBF			EPT		
	Valor	Clase	Calidad	Valor	Clase	Calidad
[E1]	4,67	III	Regular, perturbado	0	4	Mala
[E2]	6,76	IV	Malo, muy perturbado	0	4	Mala
[E3]	6,00	III	Regular, perturbado	0	4	Mala
[E5]	7,09	IV	Malo, muy perturbado	0	4	Mala
[E8]	7,47	V	Muy malo, fuertemente perturbado	0,0008	4	Mala
[E9]	1,95	I	Muy bueno, no perturbado	0,009	4	Mala

Para la Estación [E1], la calidad biológica del agua corresponde a Regular, indicando que el lugar está perturbado. Este resultado deriva del tipo de familias de macroinvertebrados presentes, tales como *Hirudinea* e *Hyalellidae*, especies tolerantes a los altos contenidos de materia orgánica en el agua (Figueroa et al, 2003)<sup>45</sup>. Estos resultados se explican por la alta conductividad eléctrica del lugar (2273 uS/cm), sustrato fangoso y actividad antrópica, correspondiente a la ganadería y agricultura que se desarrolla en el entorno a esta estación, aportando sales y nitratos a través de desechos y la fertilización de praderas respectivamente. Estos, a través de procesos de infiltración y escorrentía se depositan en el Estero Mulpulmo. Se presume que la alta conductividad eléctrica registrada en esta estación de monitoreo respondería a la infiltración del predio lechero mencionado en el ítem de peces (ver Figura 10).

La Estación [E2] presenta una calidad biológica de agua Mala, indicando que el lugar está muy perturbado debido a la presencia de la familia *Chironomidae* la que posee una alta tolerancia a los niveles elevados de materia orgánica en el agua (Figueroa et al, 2003), lo que le da un ambiente ideal para su desarrollo. Esta familia alcanzó un 96% de abundancia total de individuos (ver figura de índice beta). Los parámetros fisicoquímicos asociados a esta estación indican niveles de fósforo, nitrito y oxígeno disuelto de 0,68 mg/L, 0,5 mg/L y 2,16 mg/L respectivamente, lo que indica ambientes ricos

45 Figueroa, R., Valdovinos, C., Araya, E. & Parra, O. 2003. Macroinvertebrados bentónicos como indicadores de calidad de agua de ríos del sur de Chile. Revista Chilena de Historia Natural. 76 (2).

en materia orgánica (Rivera et al, 2004)<sup>46</sup>, (Rivera et al 2002)<sup>47</sup>, dado que frente a las concentraciones de oxígeno detectadas las bacterias del tipo nitrobacter no son capaces de oxidar el nitrito (Marín, 1995)<sup>48</sup>. En tanto, el sustrato de esta estación es fangoso y se explica por los mismos efectos de la actividad antrópica antes indicada, factores que explicarían el tipo de calidad de agua registrada.

Respecto a la Estación [E3], los parámetros fisicoquímicos, sustrato y actividad antrópica son iguales a los de la [E2], sin embargo, su valor de IBF es un poco más bajo, por lo que registra una calidad de agua Regular. Dicha situación es consecuencia de una menor abundancia relativa de *Chironomidae* en esta estación (78%), lo cual podría estar asociado a la selección del lugar de toma de muestra.

En relación con las Estaciones de monitoreo [E5] y [E8], los valores de fósforo, nitrito y oxígeno disuelto mejoran respecto a los valores de las estaciones [E2] y [E3], sin embargo, la calidad biológica del agua es Mala y Muy mala, respectivamente; lo cual se explica en las altas abundancias de las familias *Chironomidae* y *Naididae*, ambas tolerantes a altos contenidos de materia orgánica en el agua (Figueroa et al, 2003). Situación que estaría condicionada por el tipo de sustrato existente (fangoso), y a la actividad antrópica del entorno, la misma registrada en las estaciones anteriores.

#### 4.4 Caracterización de la calidad del agua

##### 4.4.1 Coliformes Fecales (CF)

En el muestreo de la SMA 21.04.17, tenemos que los registros de CF son del orden de 920 NMP/100 ml, superior a los registros obtenidos antes y después de la descarga de la PTR, con 49 y 170 NMP/100 ml, respectivamente. Asociado a esta variable, tenemos que la temperatura de la [E1] (11,9°C) es mucho más baja que la registrada en las 2 estaciones siguientes, con 20,7 y 20,4°C, respectivamente, lo que evidencia un aporte de una fuente difusa externa, previo a la PTR Planta Mulpulmo, y que confluye a la [E1] (ver Gráfico 12). También se observa un incremento de CF desde 170 NMP/100 ml (E3 aguas abajo PTR) a 9.200 NMP/100 ml a 300 m aguas abajo de la descarga de la PTR (Informe 10502204 (E3) y 17022205), lo que evidencia un nuevo aporte difuso proveniente de una fuente externa de CF no relacionadas con la PTR, y que aumenta significativamente la carga de esta variable.

En el muestreo de la SMA 27.03.18, tenemos que los registros de CF son del orden de 3.000 NMP/100 ml en la [E1] (antes de la PTR), y de 16.000 NMP/100 ml en la E3 (después de la PTR), más de 2 meses (70 días) después de que la PTR dejó de descargar en el Estero Mulpulmo (ver Gráfico 12). Ambos registros evidencian un aporte de CF no relacionadas con la PTR, y que se mantiene el registro fuera de los límites establecidos por la DS90/00 MMA, en monitoreos realizados en 341 días de diferencia (entre 21.04.2017 y 27.03.2018).

46 Rivera, N., Encina, F., Muñoz-Pedrerros, A. & Mejías, P. 2004. La Calidad de las Aguas en los Ríos Cautín e Imperial, IX Región-Chile. Información tecnológica, 15(5), 89-101.

47 Rivera, N., Muñoz-Pedrerros, A. & Encina, F.. 2002. La calidad fisicoquímica de las aguas en la Reserva Nacional Malleco en la IX Región de Chile. Información Tecnológica. 13. 37-45.

48 Marín, R. 1995. Química, microbiología, tratamiento y control Analítico de aguas, Córdoba, Servicio de Publicaciones de la Universidad de Córdoba.





El monitoreo realizado por ANAM (27.06.2018), los resultados de CF mostraron que se supera el límite establecido en la Tabla 1 DS90/00 MINSEGPRES, en 4 estaciones de monitoreo en el Estero Mulpulmo ([E1], E3, E4, E5), a 163 días de que la PTR Planta Mulpulmo dejara de verter el RIL tratado sobre el Estero Mulpulmo (ver Gráfico 12). Estos resultados también evidencian aportes de fuentes no relacionadas con la PTR.

Tabla 12: Registro de Coliformes Fecales (NMP/100ml) en 5 estaciones E. Mulpulmo y 2 estaciones E. Yutreco

Monitoreo	[E1]	E2	E3	E4	E5	E7	E8
2104_17	170	9.200	920	-	-	-	-
2703_18	3.000	-	16.000	130	80	7	110
0604_18	1.600	1.600	1.600	-	240	-	1.600
0504_18	-	-	-	-	-	-	-
2706_18	1.100	240	16.000	16.000	16.000	-	-
	E. Mulpulmo antes PTR		E. Mulpulmo después PTR			E. Yutreco	

El Gráfico 12 muestra los resultados obtenidos para todas las estaciones señaladas en la Tabla 12, donde se aprecia que se supera el límite de 1.000 NMP/100 ml establecido por la Tabla 1 del DS90/00 MINSEGPRES, tanto aguas arriba ([E1] y E2) como aguas abajo del punto de descarga de la PTR Planta Mulpulmo (E3, E4 y E5).

Es preciso señalar que la PTR descargó sus riles sobre el Estero Mulpulmo hasta el 14 de enero de 2018, por lo que los registros de CF obtenidos para el año 2018 (4 campañas) muestran superación de los límites establecidos por la norma de emisión (DS90/00 MINSEGPRES) sin el aporte de la PTR, lo que evidencia nuevamente aportes de fuentes difusas no relacionadas con la operación de la Planta de Tratamiento del RIL de la Planta Mulpulmo.

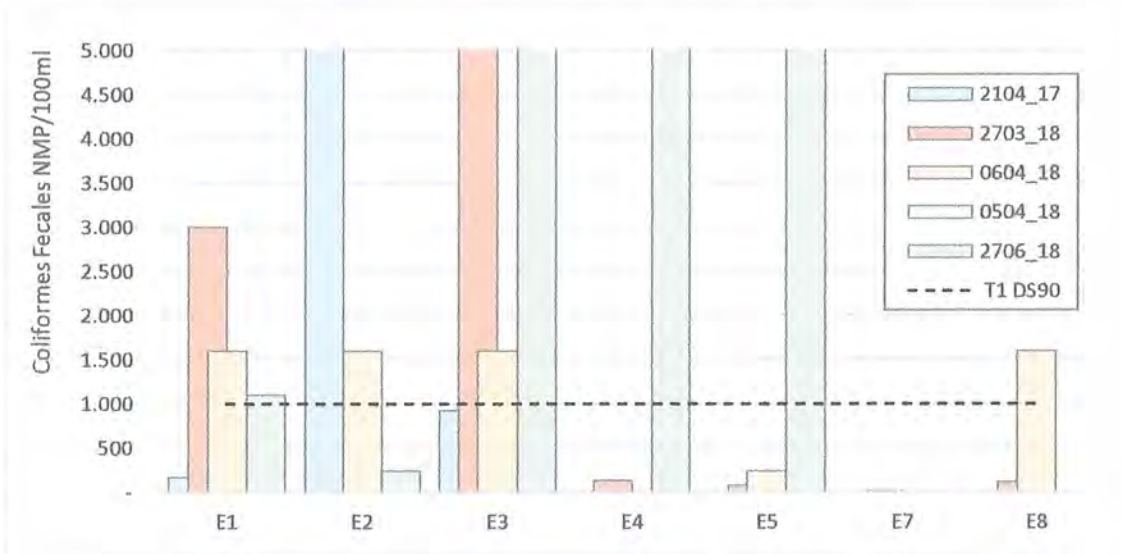


Gráfico 12: Registro de Coliformes Fecales según estaciones en Estero Mulpulmo y Estero Yutreco

#### 4.4.2 Oxígeno Disuelto

La calidad de agua en las estaciones es pobre, principalmente debido a bajas concentraciones de oxígeno disponible (1,1 mg/L menor valor) y alta conductividad (2.200 uS/cm mayor valor). En relación con esta última variable, se identificó ingreso al sistema acuático de sales solubles por en la [E1], aguas arriba de la Planta Mulpulmo, las que se distribuirían hasta la [E3], variable que a partir de la [E4] se mejoran significativamente dado el efecto de dilución que se realiza en el Estero Mulpulmo por aportes irregulares de agua que llegan desde el Estero Yutreco.

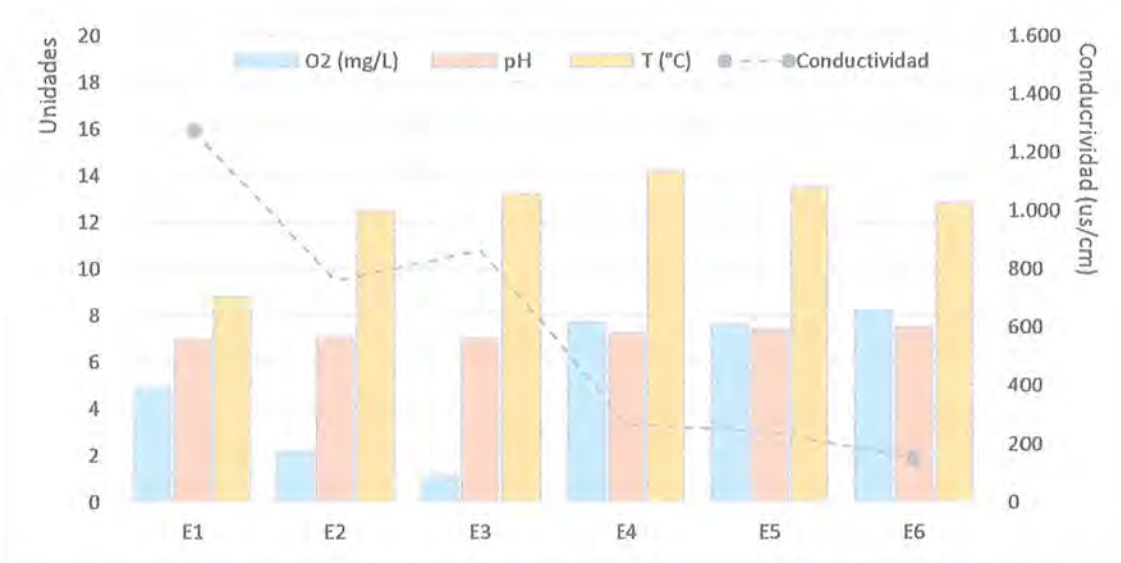


Gráfico 13: Registro de O2, pH, T° y Conductividad en estaciones monitoreadas

En los muestreos de NCh1333/78 Mod 84 Vida Acuática se observa que, aunque existe una mejora en los niveles de oxígeno disuelto (OD) para todas las estaciones monitoreadas en el Estero Mulpulmo ([E1] y [E2] antes de la descarga PTR, y [E3] después de la descarga PTR), esta decae para todas las estaciones en abril de 2018 (ver gráfico siguiente). Sólo en el registro observado para el mes de enero (06/01/2018), el efluente de la PTR se descargó en el Estero Mulpulmo, para el resto de los registros observados (febrero 2018 a la fecha), no se evidencia influencia de la descarga de la PTR sobre el cuerpo receptor, lo que permite concluir que la disminución de los niveles de OD en el Estero Mulpulmo, tanto aguas arriba como abajo de la localización de la PTR, sería producto de otros factores externos a la descarga del efluente de la PTR. El Gráfico 14 muestra los registros de OD para las campañas de enero, febrero y marzo, en las estaciones de monitoreo cercanas a la PTR Planta Mulpulmo: [E1] 500 m aguas arriba PTR, [E2] 100 m aguas arriba PTR, y [E3] 100 m aguas abajo PTR.



Gráfico 14: Registros de OD de enero a abril 2018, para estaciones [E1], [E2] y [E3] en el Estero Mulpulmo

Por su parte las bajas concentraciones de oxígeno, en especial de las estaciones [E2] y [E3], nos indica que oxígeno fue consumido en metabolizar los compuestos orgánicos degradables biológicamente (ver Gráfico 13). Esto es concordante con la presencia de lodos anóxicos y fuertes olores en esas estaciones, posiblemente atribuible a que en el pasado estas estaciones estuvieron sometidas a un proceso de acumulación de materia orgánica.

Al respecto se ha demostrado que el oxígeno disuelto constituye el mejor estimador de la calidad del agua y de la capacidad auto-depurativa del ambiente (Parra, 1989)<sup>49</sup>, (Conzonno, 1995)<sup>50</sup>, (Battle & Golladay 2001)<sup>51</sup>, (Beavan et al. 2001)<sup>52</sup>, (Figueroa et al. 2003)<sup>53</sup>. En este estudio, la concentración de oxígeno disuelto junto con la pérdida de hábitat constituyó uno de los factores más importantes para explicar la abundancia y diversidad (D') de la comunidad de macroinvertebrados y peces especialmente en las estaciones E2 y E3.

Asimismo, las estaciones [E1], [E2] y [E3] del estero Mulpulmo, presentan un muy bajo caudal de agua, el cual aumenta significativamente en la estación [E4] (ver Figura 19), aumento que se debería a una

49 Parra, O. 1989. La eutrofización de la Laguna Grande de San Pedro, Concepción, Chile: un caso de estudio. *Ambiente y Desarrollo (Chile)* 1: 117-136

50 Conzonno, V. 1995. Métodos para análisis químicos. En: Lobretto E & G Tell (eds) *Ecosistemas de aguas continentales: 231-249*. Tomo I. Editorial Sur, La Plata, Argentina

51 Battle, J. & Golladay, S. 2001. Water quality and macroinvertebrate assemblages in three types of seasonally inundated lime sink wetlands in southwest Georgia. *Journal of freshwater ecology* 16: 189-207

52 Beavan, L. Sadler, J. & Pinder, C. 2001. The invertebrate fauna of a physically modified urban river. *Hydrobiologia* 445: 97-108

53 Figueroa, R., Valdovinos, C., Araya, E. & Parra, O. 2003. Macroinvertebrados bentónicos como indicadores de calidad de agua de ríos del sur de Chile. *Revista Chilena de Historia Natural*. 76 (2).

captación artificial de agua desde el Estero Yutreco (ver Figura 16), la cual es conducida hacia el estero Mulpulmo, para unirse en un punto ubicado a 600 m., aguas arriba de la estación [E4].

Lo anterior contribuye a aumentar artificialmente el caudal del Estero Mulpulmo a partir de este punto, generando un efecto de dilución, observándose una repentina reducción de los parámetros de SST y conductividad, y un aumento significativo de la concentración de oxígeno disuelto respecto de la estación anterior [E3] (ver Gráfico 13). Situación que, por otra parte, podría enmascarar los efectos de nuevos aportes como los lixiviados de ensilajes identificados como fuentes difusas (ver Figura 12).

#### 4.4.3 Materia orgánica

La DBO5 y DQO son métodos analíticos utilizados para medir la cantidad de materia orgánica presente en un cuerpo de agua. La Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 5 días (DBO5) registra la cantidad de oxígeno que los microorganismos necesitan para oxidar la materia orgánica presente en la muestra, mientras que la Demanda Química de Oxígeno (DQO) mide la cantidad de oxígeno necesaria para oxidar completamente la materia orgánica por medio de agentes químicos (Sawyer et al, 2001)<sup>54</sup>. Normalmente, los valores de la DQO son mayores que los de la DBO, porque el oxidante químico es capaz de reaccionar con sustancias de difícil biodegradación para los microorganismos.

Los valores de DQO y DBO5 se relacionan en proporciones que varían según los componentes asociados a la materia orgánica en degradación. De acuerdo con Hidalgo et al. (2003)<sup>55</sup>, esta relación determina el tipo de contaminación de las aguas y la biodegradabilidad de la materia contaminante, donde un cociente DBO/DQO inferior a 0,2 indica un vertido de tipo inorgánico.

En los registros de la SMA 2018 (27.03.2018), para los parámetros DBO y DQO, tenemos que analizando la relación DBO/DQO, se observa que para todas las estaciones monitoreadas en el Estero Mulpulmo y en el Estero Yutreco, se obtiene una relación  $DBO/DQO < 0,2$ . Esto implica condiciones de baja biodegradabilidad y contenido mayoritariamente inorgánico (Metcalf & Eddy, 2003)<sup>56</sup>, para ambos esteros (ver Tabla 13).

Tabla 13: Relación DBO/DQO para 7 estaciones en Estero Mulpulmo y Yutreco

Monitoreo	[E1]	[E2]	[E3]	[E4]	[E5]	[E7]	[E8]
2703_18	0,059	-	0,138	0,143	0,118	0,133	0,111
2706_18	0,080	0,143	0,235	0,120	0,071	-	-
	E. Mulpulmo antes PTR		E. Mulpulmo después PTR			E. Yutreco	

<sup>54</sup> Sawyer, C., Perri, L. & Perry, G. 2001. Química para ingeniería ambiental. 4ª Ed. Mc Graw Hill. Pp 716.

<sup>55</sup> Hidalgo, M., Meoni, G., Barrionuevo, M. Navarro, G. & Paz, R. 2003. Variabilidad de la relación DBO/DQO en Ríos de Tucumán, Argentina. Dirección General de Saneamiento Ambiental, Sistema Provincial de Salud. Tucumán, Argentina. 13er Congreso Argentino de Saneamiento y Medio Ambiente. P. 11.

<sup>56</sup> Metcalf & Eddy. 2003. Wastewater Engineering: Treatment and reuse. Mc Graw Hill, New York, N.Y. 5 Ed. Pp 2048.

Para el muestreo realizado por la SMA el 27.03.2018, la relación DBO/DQO fue 0,11 en el Estero Yutreco aguas arriba de la descarga del Estero Mulpulmo [E8]. La menor relación DBO/DQO se obtiene a 500 m aguas arriba PTR [E1], con 0,059, siendo la estación que mostró una alta conductividad eléctrica, con 2.273 uS/cm (ver Gráfico 13), muy superior a la registrada agua debajo de la PTR con 864 us/cm [E3] (TAG060). La relación DBO/DQO para los registros del 27.06.2018 también muestran una relación <2 para casi todas las estaciones registradas en el Estero Mulpulmo, salvo [E3] con 0,235, aunque de acuerdo con Metcalf & Eddy (2003)<sup>57</sup> también implica baja biodegradabilidad y contenido mayoritariamente inorgánico.

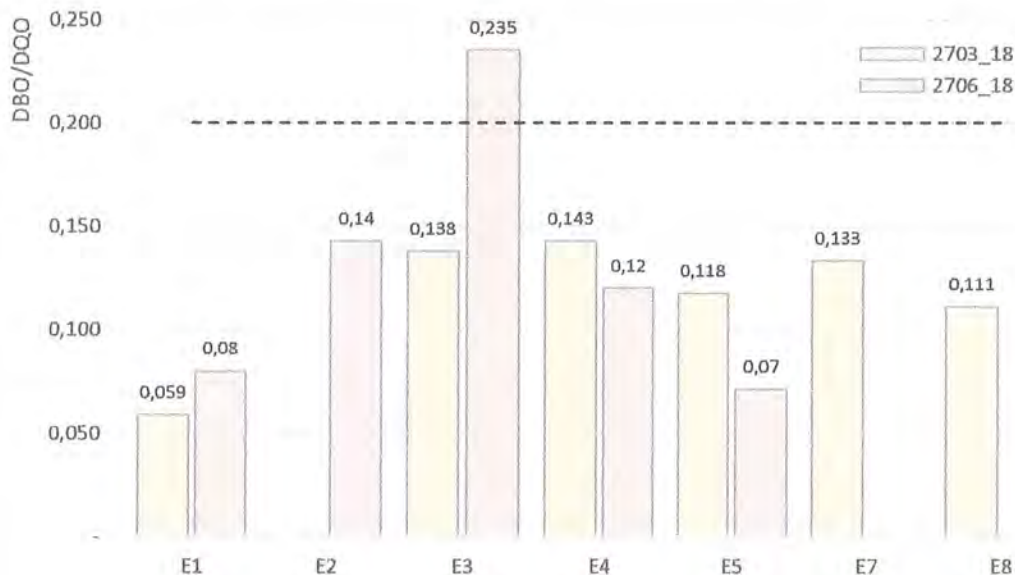


Gráfico 15: Relación DBO/DQO según estaciones en Estero Mulpulmo y Estero Yutreco

Sin embargo, la relación DBO/DQO del RIL tratado de la PTR [E6], fue mayor a todas las obtenidas para el conjunto de estaciones en el Estero Mulpulmo y estero Yutreco, tanto para el registro del 27.03.2018, como en el muestreo del 27.06.2018, con 0,43 (SMA 4687351) y 0,36 (ANAM 4808992), lo que indica que la característica del RIL de la PTR difiere de las condiciones aguas arriba y aguas abajo monitoreadas, con mayor presencia de compuestos orgánicos.

57 Metcalf & Eddy. 2003. Wastewater Engineering: Treatment and reuse. Mc. Graw Hill, New York, N.Y. 5 Ed. Pp 2048.



Gráfico 16: Relación comparada DBO/DQO Estero Mulpulmo versus PTR Planta Mulpulmo



## 5 DISCUSIÓN

La producción agropecuaria es considerada como una de las principales actividades productivas responsables de la contaminación difusa de cursos de agua, debido a que genera el enriquecimiento de éstas con nutrientes, principalmente Nitrógeno y Fósforo (Jarvis, 2002)<sup>58</sup>. Isermann (1990)<sup>59</sup>, estimó que entre un 37 y 82% del Nitrógeno, y entre un 27 y 38% del Fósforo que llega a las aguas, proviene de actividades agropecuarias. Esto se acentúa cuando existe una alta correlación entre la intensidad de producción del sistema ganadero (alto número de animales por unidad de superficie) y los niveles de eutroficación de los cursos de agua (Djodic et al., 2002)<sup>60</sup>. Por su parte, Ryden et al. (1984)<sup>61</sup> y Heathwaite et al. (1990)<sup>62</sup> demostraron que las pérdidas por lixiviación y percolación en los campos, puede ser hasta 5 veces más alta bajo pastoreo que en praderas utilizadas bajo corte, debido a los efectos de las manchas de orina y destrucción de praderas. En los Estados Unidos se estima que entre el 50% y el 70% de todos los nutrientes que llegan a aguas superficiales son derivados del uso de fertilizantes (Altieri & Nicholls, 2000)<sup>63</sup>.

Vandermeer et al. (1998)<sup>64</sup> identifican patrones de crecimiento económico que afectan significativamente a los sistemas agroecológicos en un territorio, a saber: i) El uso de insumos para subsidiar los reguladores internos y los recursos del ecosistema; ii) La aparente reducción de componentes no planificados de la biodiversidad (tales como el control de malezas y plagas, entre otras); iii) La especialización del proceso productivo con la consiguiente reducción de los componentes planificados de la biodiversidad (actividades, especies, genes); y v) La dependencia de la economía de mercado para la toma de decisiones. Al respecto, Elizondo (2006)<sup>65</sup> señala que al aporte de nutrientes que hace la actividad agropecuaria está siendo aplicado en cantidades mayores que las que el ecosistema puede tolerar, ocasionando problemas de olores y contaminación de las aguas, con efectos negativos en los ecosistemas tanto terrestres como acuáticos

58 Jarvis, S. 2002. Environmental impacts of cattle housing and grazing. P. 10-23. In Kaske, M., H. Scholz and M. Höltershinken (eds.). Recent developments and perspectives in bovine medicine. Keynotes lectures of the 22nd World Buiatrics Cong. (WBC), Hannover, Germany. 18-23 August. WBC, Hannover, Germany.

59 Isermann, K. 1990. Share of agriculture in nitrogen and phosphorus emissions into the surface waters of Western Europe against the background of their eutrophication. *Fertilizer Research*. 26: 253-269.

60 Djodic, F., Montas, H., Shirmohammadi, A., Bergström, L. & Ulén, B. 2002. A decision support system for phosphorus management at a watershed scale. *J. Environ. Qual.* 31:937-945.

61 Ryden, J., Ball, P. & Garwood, E. 1984. Nitrate leaching from grasslands. *Nature (London)* 311:50-5

62 Heathwaite, A., Burt, T. & Trudgill, S. 1990. Land-use controls on sediment production in a lowland catchment, south-west England. p. 69-86. In Boardman, J., D.L. Foster, and J.A. Dearing (eds.). *Soil erosion on agricultural land*. John Wiley & Sons Ltd., London, UK.

63 Altieri, M. & Nicholls, C. 2000. *Agroecología: Teoría y práctica para una agricultura sustentable*. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Primera Edición. México D.F., México. 250 pp.

64 Vandermeer, J., Van Noordwijk, M., Andreson, J., Ong, C. & Perfecto, I. 1998. Global-change and multi-species agroecosystems. *Concepts and issues. Agriculture, ecosystems and environment* 67:1-22.

65 Elizondo, J. 2006. El nitrógeno en los sistemas ganaderos de leche. *Agronomía Mesoamericana*, 17 (1), 69-77.

Según Habit y Parra (2001)<sup>66</sup>, el sistema hidrológico de la mayoría de las cuencas de Chile se encuentra altamente modificado por la operación de numerosos canales de riego, impactando negativamente la biota acuática. Donoso et al. (1999)<sup>67</sup> señala que la zona central de Chile exhibe un aumento del transporte de  $\text{NO}_3^-$  por escorrentía superficial y percolación debido a: i) Precipitaciones intensas en la época invernal (cuando el suelo está en barbecho), ii) Baja eficiencia de riego durante primavera-verano y iii) Fertilización nitrogenada elevada, asociado principalmente al cultivo de maíz para grano. Además, en la década de los 90, en la zona central del país ya se registraban dosis de fertilización superiores a  $450 \text{ kg/Há}^{-1}$  de N, con claras evidencias de procesos de eutrofización del lago Rapel, donde los principales afluentes del Río Cachapoal y el Río Rapel podrían estar recibiendo cargas altas de Nitrógeno y Fósforo desde suelos con uso agrícola.

Respecto al sur de Chile, estudios realizados por Oyarzún et al. (1997)<sup>68</sup> en microcuencas del Lago Rupanco, muestran una mayor pérdida de Nitrógeno y Fósforo desde microcuencas con praderas destinadas a la ganadería, en comparación con aquellas en que prevalecen praderas con rotaciones de cultivos extensivos, praderas con matorrales o bosque nativo, respectivamente.

Parra et al. (1999)<sup>69</sup> señalan que la Cuenca Hidrográfica del Río Damas ( $40^{\circ}39' \text{ S}$ ,  $72^{\circ}23' \text{ W}$ ), presenta una intensa actividad agrícola y ganadera en un 78,2 % de su superficie, lo cual se ha traducido en importantes aportes de nutrientes al ecosistema acuático que son manifestados en un gradiente de concentraciones en dirección a su desembocadura, correlacionado positivamente el Índice Biótico de Familia (IBF) de la comunidad de macro invertebrados bentónicos, con Fósforo Total ( $R^2 = 0,71$ ), Temperatura ( $R^2 = 0,66$ ), Nitrito ( $R^2 = 0,56$ ), Conductividad Eléctrica ( $R^2 = 0,50$ ), Demanda Biológica de Oxígeno ( $R^2 = 0,46$ ), y Nitrógeno Total ( $R^2 = 0,46$ ), y correlacionó negativamente con Oxígeno Disuelto ( $R^2 = 0,53$ ); donde también determinó que estas variables están estrechamente asociadas a actividades agrícolas y ganaderas.

Parra et al. (1999) establecieron que el aporte difuso de nutrientes es el principal factor que afecta la calidad del agua en los sectores medios de la cuenca del río Damas, adquiriendo las fuentes puntuales mayor relevancia en el curso inferior (e.g., descargas de purinas de lecherías, de agroindustrias y domésticas). Al respecto estimaron que el aporte de nutrientes al río debido a fuentes difusas era en el momento del estudio, de  $43 \text{ Ton/año}^{-1}$  de fósforo, y de  $567 \text{ Ton/año}^{-1}$  de nitrógeno, ambos procedentes entre un 86 y 88% de fertilizantes empleados en las praderas artificiales con fines ganaderos.

La diversidad de productos y métodos de producción agropecuaria, hacen que la industria produzca residuos líquidos industriales muy variables. Los productos residuales generados del sistema deben

---

66 Habit, E. & Parra, O. 2001. Impacto ambiental de los canales de riego sobre la fauna de peces. Ambiente y Desarrollo XVII: 50-56.

67 Donoso, G. & Cancino, J. 1999. Effects of agricultural activities in water pollution with nitrates and pesticides in the central valley of Chile. Water Science and Technology, 39(3): 49-60

68 Oyarzún, C., Campos, H. & Huber, A. 1997. Exportación de nutrientes en microcuencas con distinto uso del suelo en el sur de Chile (Lago Rupanco, X Región). Rev. Chil. Hist. Nat. 70:507-519.

69 Parra, O., Valdovinos, C., Campos, H., Figueroa, R., Debels, P. & Zaror, C. 1999. Diagnóstico de la calidad del río Damas, X Región, lineamientos para un plan de prevención y/o descontaminación. Informe Final, Centro EULA-Chile, Universidad de Concepción 1: 1-286.





ser descargados, y en el caso de los residuos acuosos significa, por lo general, descargarlos en algún río o estero. Cuando las aguas residuales descargadas no han sido del todo tratadas o lo han sido de forma insuficiente el resultado estos cuerpos de agua son contaminados (Cárdenas, 2009)<sup>70</sup>

Los efluentes de lecherías han sido asociados con la contaminación de aguas producto del enriquecimiento por nutrientes (Freitas & Burr, 1996)<sup>71</sup>, (Archer & Marks, 1997)<sup>72</sup>, (Carpenter et al., 1998)<sup>73</sup>. Es evidente que los efluentes de lechería ejercen una presión medioambiental si alcanzan aguas subterráneas o superficiales, ya que la DBO<sub>5</sub> de los purines (16.000 a 30.000 mgO<sub>2</sub>/L) y del agua del avado de lecherías (3.000 mgO<sub>2</sub>/L), supera la carga normal asociada al agua de un río (<2 mgO<sub>2</sub>/L), (Merkel, 1981)<sup>74</sup>. Salazar et al. (2003)<sup>75</sup> encontraron valores de DBO<sub>5</sub> desde 7.260 a 19.460 mgO<sub>2</sub>/L en la prospección de pozos purineros de lecherías de la Décima Región.

Desde el punto de vista ambiental, la época de aplicación de purines tiene una alta incidencia. Las pérdidas de nutrientes tienen mayor probabilidad de producirse en invierno debido al alto riesgo de escurrimiento y lixiviación de nitratos en este período. Salazar et al. (2003) determinaron que los efluentes de lecherías son a menudo aplicados en otoño e invierno y generalmente utilizando altas dosis, incrementando las pérdidas vía lixiviación, afectando cursos de agua.

Los fertilizantes inorgánicos son sustancias químicas aportan los nutrientes que se requiere para el crecimiento óptimo de los cultivos, siendo ellos los fertilizantes inorgánicos nitrogenados, fosfatados y potásicos. Aunque el uso de productos inorgánicos devuelve al suelo los nutrientes que necesita el cultivo, su uso inadecuado puede afectar a los cursos de agua cercanos, por lixiviación y/o percolación. Alfaro & Salazar (2005)<sup>76</sup> reconocen una potencial contaminación de los cuerpos de agua asociado a la falta de manejos prediales adecuados, debido a la menor eficiencia en el uso de los fertilizantes nitrogenados y fosfatado.

Las prácticas agrarias son las principales responsables de la contaminación por fertilizantes inorgánicos. Esta afirmación se sustenta en la relación existente entre el incremento del contenido en

70 Cárdenas, C. 2009. Caracterización de los sistemas de tratamiento de riles en la industria lechera y propuestas de mejora. Memoria presentada como parte de los requisitos para optar al título de Ingeniero en Alimentos. Facultad de Ciencias Agrarias. Escuela de Ingeniería en alimentos. Universidad Austral de Chile. Valdivia Chile.

71 Freitas, R. & Burr, M. 1996. Animal wastes. In: Pepper, I.L.; Gerba, C.P. and Brusseau, M.L. (eds.). Pollution Science, Academic Press. p.237- 251.

72 Archer, J. & Marks, M. 1997. Control of nutrient losses to water from agriculture in Europe. Fert. Soc. Proc. Nº 405

73 Carpenter, S. Caraco, N., Correll, D., Howarth, R., Sharpley, A. & Smith, V. 1998. Nonpoint pollution of surface waters with phosphorous and nitrogen. Ecological Society of America, Issues in Ecology Nº 3.

74 Merkel, J. 1981. Managing livestock wastes. AVI Publishing Company, Westport. Connecticut. 419 pp.

75 Salazar, F., Dumont, J., Santana, M., Pain, S., Chadwick, D. & Owen, E. 2003. Prospección del manejo y utilización de efluentes de lechería en el Sur de Chile. Archivos de Medicina Veterinaria, 35: 215-225

76 Alfaro, M. & Salazar, F. 2005. Ganadería y Contaminación Difusa, Implicancias para el Sur de Chile. Agricultura Técnica (Chile) 65(3):330-340.

nitratos, con el uso del suelo para el desarrollo agrícola, la evolución en los últimos años del consumo de fertilizantes y los cambios en el sistema de producción ganadera (Fernández, 2002)<sup>77</sup>

En la zona de Mulpulmo, se aprecia un alto grado de intervención antrópica, dada principalmente por la construcción de un sistema de canales de drenaje, por existir una intensa actividad agrícola, industrial y ganadera asociada al trayecto de los esteros Mulpulmo y Yutreco. De acuerdo con Tamayo (2016)<sup>78</sup> el estero Mulpulmo posee un bajo caudal, similar a un canal de regadío, altamente intervenido por las actividades lecheras y ganaderas de la zona, donde además señala que: *"Previo al cruce del predio de la planta Lácteos del Sur, el estero pasa por las parcelas de propietarios colindantes como el sr. Cea y otros dueños como Sr. Cárcamo. Estos también hacen uso del Mulpulmo aportando desagües derivados de las actividades ganaderas y lecheras"; "...todos los predios colindantes y en el área de influencia del proyecto, sostienen un uso territorial de faenas agro-ganaderas"*.

Alfaro & Salazar (2005)<sup>79</sup> señalan que una de las grandes limitaciones en predios destinados a la producción de leche es la falta de capacidad para el almacenaje adecuado de los residuos (purines, efluentes de lechería), lo que se traduce en su utilización como fertilizantes en la época inadecuada (invierno), favoreciéndose la pérdida de nutrientes y reduciéndose su eficiencia de utilización.

Aunque los parámetros fisicoquímicos dan una información extensa de la naturaleza de las especies químicas del agua y sus propiedades físicas, no aportan información de su influencia en la vida acuática, correspondiente a un momento puntual del registro de la muestra (Orozco et al, 2005)<sup>80</sup>. La mayoría de los parámetros monitoreados para la evaluación de la calidad del agua de los esteros Mulpulmo y Yutreco, son de carácter fisicoquímico y no reflejan las posibles alteraciones existentes que hayan podido suceder tiempo atrás (Alba-Tercedor, 1996)<sup>81</sup>.

Cabe mencionar que el Estero Mulpulmo es un cuerpo de agua muy intervenido en su sección, dando la sensación de origen artificial. Su entorno corresponde a suelo con pradera antropogénica, sin presencia de vegetación arbórea o bosque nativo ribereño que facilite la retención de nutrientes y

---

77 Fernández, L. 2002. Contaminación de origen agrario: El problema de los nitratos. Instituto Geológico y Minero de España. En: Presente y futuro de las aguas subterráneas en la Provincia de Jaen. Ed IGME, Madrid 2002. ISBN 84-7840-472-4. Pp 157-166.

78 Tamayo, M. 2016. Línea base medio humano proyecto de riego de praderas mediante aspersión de Mulpulmo. ISB Chile, febrero 2016. Disponible en: [http://seia.sea.gob.cl/archivos/2016/05/11/Linea\\_base\\_medio\\_humano\\_-\\_Mulpulmo\\_FINAL\\_22\\_FEBRERO.pdf](http://seia.sea.gob.cl/archivos/2016/05/11/Linea_base_medio_humano_-_Mulpulmo_FINAL_22_FEBRERO.pdf)

79 Alfaro, M. & Salazar, F. 2005. Ganadería y Contaminación Difusa, Implicancias para el Sur de Chile. Agricultura Técnica (Chile) 65(3):330-340.

80 Orozco, C., Pérez, A., Gonzáles, M., Rodríguez, F., & Alfayate, J. 2005. Contaminación Ambiental. Una visión desde la Química. Tercera edición, Thomson Ed. Spain Paraninfo, S.A.

81 Alba-Tercedor, J. 1996. Macroinvertebrados acuáticos y calidad de las aguas de los ríos. IV Simposio del Agua en Andalucía (SIAGA). Ameria 2: 203-213.



sedimentos que escurren hacia el estero (Jefferies, 1989)<sup>82</sup>, (Bunn *et al.*, 1999)<sup>83</sup>, (Carothers, 1977)<sup>84</sup>. El factor anterior, sumado a que las actividades agrícolas y ganaderas del entorno aportan con fósforo y nitrógeno (Arango & Sánchez, 2009)<sup>85</sup>, facilitan la sedimentación en el tramo estudiado, situación que se refleja en el sustrato fangoso y los Sólidos Totales Suspendidos (TDS) en la totalidad de las estaciones de monitoreo, aspecto que determina la presencia de familias tolerantes a los niveles elevados de materia orgánica en el agua, como lo son *Chironomidae*, *Oligochaeta*, *Hirudinea*, *Hyalellidae* y *Sphaeriidae*, y por el contrario, dificulta la colonización de familias bioindicadoras de buena calidad de agua tal como *Ephemeroptera*, *Plecoptera* y *Tricoptera*, las cuales habitan principalmente en sustratos rocosos (Roldán & Ramírez, 2008)<sup>86</sup>.

---

82 Jefferies, D. 1989. The changing otter population of Britain 1700-1989. *Biological Journal of the Linnean Society* 38: 61-69.

83 Bunn, S. & Arthington, A. 2002. Basic Principles and Ecological Consequences of Altered Flow Regimes for Aquatic Biodiversity. *Environmental Management* 30: 492-507.

84 Carothers, S. 1977. Importance, preservation, and management of riparian habitats: an overview. In: R.R. Jonson & D.A. Jones (eds.), *Importance, Preservation, and Management of Riparian Habitats: a Symposium*, pp. 2-4. USDA Forest Service General Technical Report RM-43. US Government Print Office, Washington, DC.

85 Arango L & Sánchez P (2009) Tratamiento de aguas residuales de la industria láctea en sistemas anaerobios tipo USAB. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad del Cauca. Colombia.

86 Roldán, G., & Ramírez, J. (2008). *Fundamentos de limnología neotropical*. Medellín: Editorial Universidad de Antioquia.

## 6 CONCLUSIÓN

El estero Mulpulmo, está conectado a una red de canales de drenaje de predios agrícolas, que aportan contaminantes a sus aguas, lo que está evidenciado por los resultados analíticos obtenidos por las diversas campañas de monitoreo de la calidad de sus aguas. Estos resultados permiten inferir que el Estero Mulpulmo es un cuerpo de agua muy intervenido en su sección, conformando aparentemente un canal artificial, donde se evidencia un escenario de intervención antrópica sistémica en el territorio, y que no tendrían sólo relación con alguna causalidad puntual, como la descarga de la planta de tratamiento de riles (PTR) Planta Mulpulmo.

Los bioindicadores encontrados, la estructura de la fauna íctica, y los resultados del análisis fisicoquímico del agua, son concordantes con un estado de *desequilibrio trófico en que se encuentran* estos esteros, donde prevalecen las especies que son más tolerantes a la materia orgánica, a la mala calidad de agua y al tipo de sustrato existente, prácticamente en toda la sección del Estero Mulpulmo, desde la [E1] a la [E5] ya en el Estero Yutreco.

El grado de deterioro del sistema Yutreco-Mulpulmo indica que cantidad y calidad de los desechos introducidos en él sistema, superan su capacidad de recuperación, donde los efectos negativos sobre la biota son detectados al exceder las concentraciones umbrales.

Los registros de coliformes fecales evidencian aportes difusos provenientes de una fuente externa no relacionados con la Planta de Tratamiento de Riles de la Planta Mulpulmo, ya que se evidencia tanto aguas arriba como aguas debajo de la descarga de la PTR en el Estero Mulpulmo, y en periodos donde no hay descarga del RIL sobre este cuerpo de agua.

La disminución de los niveles de Oxígeno Disuelto en el Estero Mulpulmo sería producto de otros factores externos a la descarga del efluente de la PTR, ya que los niveles bajaron tanto aguas arriba como abajo de la localización de la PTR, y luego de más de 70 días de no evidenciar descarga de la PTR en el Estero Mulpulmo.

La relación DBO/DQO muestra que existen aportes de elementos mayoritariamente inorgánicos al Estero Mulpulmo, principalmente agroquímicos, que no tienen vínculo con la operación de la PTR, ya que para muestreos realizados con 3 meses de diferencia, la relación DBO/DQO para el RIL tratado de la PTR fue mayor a todas las obtenidas para el conjunto de estaciones, tanto aguas arriba como aguas debajo de la descarga de la PTR en el Estero Mulpulmo.

El manejo del agua que se realiza en los predios de explotación agropecuaria, tales como: las zanjas de drenaje en los predios, las extracciones de agua desde el estero Yutreco y los aportes al estero Mulpulmo, barreras de lixiviación natural de las praderas, entre otras; afecta la continuidad hídrica de los esteros y la escorrentía natural de estos cuerpos de agua, alterando las tramas tróficas y afectando la biodiversidad de especies.

Todas estas situaciones descritas anteriormente tienen que ver con el uso del recurso agua de los esteros Yutreco y Mulpulmo (captaciones, descargas y desvíos de cauce), y están relacionados con el desarrollo de una actividad agrícola y pecuaria intensiva en este territorio, donde la presión de uso



sobre el recurso agua es superior la capacidad de estos esteros; situación que sin duda han generado un impacto en la fauna acuática, reduciendo en el caso de los peces, su abundancia y diversidad en las en la mayoría de los tramos evaluados.

El estero Mulpulmo ha estado sometido a una fuerte presión de uso a lo largo de toda su extensión, debido a que históricamente se han vinculado fuertemente a los patrones de crecimiento económico de este territorio, especialmente a la agricultura de mono cultivo, ganadería y lechería, situación que podría estar asociada a una pérdida de la biodiversidad ecosistémica, el deterioro en su calidad de agua, patrones de escorrentía dado el uso intensivo de fertilizantes. Estos patrones de crecimiento se identifican en el sector de Mulpulmo, evidentes al observar las imágenes satelitales, y han contribuido al aumento en la duración de la utilización productiva del territorio circundante.

La condición trófica de los esteros Mulpulmo y Yutreco es el resultado de múltiples actividades antrópicas, donde se evidencian múltiples aportes de contaminantes de diferentes fuentes, tanto difusas como permanente, de lixiviados, percolados y de descargas directas, así como también de intervenciones significativas sobre la escorrentía de estos cauces.

Los resultados obtenidos durante las diferentes campañas de monitoreo de los esteros Mulpulmo y Yutreco, evidencian lo que es el reflejo de diversos aportes difusos que han afectado a los ambientes acuáticos tanto aguas arriba como aguas abajo de la descarga de la planta de riles, por lo que no es posible determinar con exactitud una causalidad única que permita identificar el origen de su estado trófico.

En concordancia con todo lo anterior, se concluye que la descarga de la planta de tratamiento de riles (PTR) Planta Mulpulmo no sería el único responsable de la situación trófica de los esteros Mulpulmo y Yutreco.

# ANEXOS

