



UNIVERSIDAD DE CHILE

Facultad de Ciencias Forestales y de la

Conservación de la Naturaleza

Magíster en Áreas Silvestres y Conservación de la Naturaleza



**RELACIÓN ENTRE CALIDAD DEL AGUA SEGÚN NORMAS CHILE-
NAS Y VARIABLES COMUNITARIAS DE INSECTOS ACUÁTICOS
EN CUERPOS LACUSTRES DE LA REGIÓN METROPOLITANA**

Proyecto de grado presentado como parte de los requisitos para optar al grado de Magíster en Áreas Silvestres y Conservación de la Naturaleza.

FRANCISCO VICENCIO LANDEROS

Ingeniero Ambiental

SANTIAGO - CHILE

2021

Proyecto de grado presentado como parte de los requisitos para optar al grado de Magíster en Áreas Silvestres y Conservación de la Naturaleza.

Profesora Guía

Nombre Dra. Amanda Huerta Fuentes

Nota _____

Firma _____

Profesora consejera

Nombre Dra. Pilar Barría Sandoval

Nota _____

Firma _____

Profesor consejero

Nombre Dr. Cristián Estades Marfán

Nota _____

Firma _____

*Levántate y mira la montaña
De donde viene el viento, el sol y el agua
Tú que manejas el curso de los ríos
Tú que sembraste el vuelo de tu alma.*

Victor Jara, Plegaria a un Labrador

A mi Blanca Flor ...

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1. Introducción	1
2. Objetivos.....	4
2.1. General.....	4
2.2. Específicos	4
3. Materiales y Métodos.....	5
3.1. Materiales	5
3.1.1. Áreas de estudios a nivel de cuencas y sus estaciones de muestreo	5
3.1.2. Caracterización física de las áreas de estudio	9
3.2. Método	16
3.2.1. Medición de variables físico-químicas.....	16
3.2.2. Metodología de colecta e identificación de insectos acuáticos y evaluación mediante Índice Biótico de Familia (IBF).....	17
3.2.3. Evaluación de vegetación de ribera y hábitat fluvial mediante Índice de Calidad del Bosque de Ribera (QBR)	18
3.2.4. Análisis de correlación de variables.....	19
3.2.5. Análisis de datos e Índice de Calidad de Agua (ICA)	20
4. Resultados.....	21
4.1. Evaluación de calidad de agua mediante variables fisicoquímicas	21
4.3. Indicadores biológicos de calidad de agua	28
4.2. Evaluación de los cuerpos de agua según Índice de Calidad de Bosque de Ribera (QBR).....	33
4.2. Análisis de correlación de variables	35
4.3. Análisis de componentes principales e índice de calidad de agua	39
5. Discusión.....	46
6. Conclusiones	51

7. Bibliografía.....	53
8. Anexos	64
Anexo I. Puntajes Índice Biótico de Familias (IBF) de macrozoobentos.	64
Anexo II. Puntuación Índice de Calidad de Bosque de Ribera (QBR).	65
9. Apéndice.....	67
Apéndice I. Especies vegetales registradas en los cuerpos de agua estudiados por estación de muestreo (EM).	67

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Antecedentes geográficos de los cuerpos de agua de estudio, coordenadas, área total y altitud, consultados con el programa Google Earth Pro TM versión 7.1.5.1557 (Google, 2016).....	7
Tabla 2. Valores o rangos máximos permisibles por la norma NCh 1.333 (INN Chile, 1987) para riego y vida acuática y la guía (CONAMA, 2004), según variable físico-química analizada <i>In situ</i>	16
Tabla 3. Temporadas de muestreo y número de estaciones de muestreo (EM) por cuerpo de agua estudiado.	17
Tabla 4. Clases de calidad de agua a partir de los valores de IBF, modificado de MOP DGA (2010).....	18
Tabla 5. Niveles de calidad de la vegetación de ribera y sus rangos a partir del Índice de Calidad del Bosque de Ribera (QBR).....	19
Tabla 6. Categorías de calidad de agua en base al puntaje obtenido a través del Índice de Calidad del Agua (ICA).	20
Tabla 7. Variables fisicoquímicas evaluadas en los cuerpos de agua por temporada y estación de muestreo (EM), y su evaluación en conformidad a los criterios señalados en la NCh. 1333 (INN Chile, 1987) de agua destinada para la vida acuática según Tabla 4. En verde, cumple, y en rojo, no cumple.	22
Tabla 8. Evaluación de los cuerpos de agua por temporada y estación de muestreo (EM), mediante variables fisicoquímicas de acuerdo con los criterios señalados en la guía CONAMA (2004).....	23
Tabla 9. Resultados de nitrógeno y fósforo totales, evaluados en los cuerpos de agua por temporada y EM.	24
Tabla 10. Composición de fauna entomológica acuática y suma de ejemplares colectados por cuerpo de agua y temporada (O= Otoño; P= Primavera).	28
Tabla 11. Calidad del agua según Índice Biótico de Familias (IBF) en los distintos cuerpos de agua estudiados por estación de muestreo y temporada.	30
Tabla 12. Evaluación de los cuerpos de agua por temporada y estación de muestreo según el Índice de Calidad del Bosque de Ribera (QBR).	33
Tabla 13. Resumen de los valores propios producidos por el ACP utilizando los valores estandarizados de 9 variables de calidad del agua para las tres temporadas estudiadas.	42

Tabla 14. Resumen de los coeficientes de correlación entre las puntuaciones de los componentes principales (PC) y las cargas de cada variable en los respectivos ejes de los PC. 43

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Cuenca, subcuenca y subsubcuenca a la cual pertenecen los cuerpos de agua analizados. Elaboración propia a partir de Infraestructura de Datos Espaciales (IDE) Chile (2016).	6
Figura 2. Ubicación geoespacial de los cuatro cuerpos de agua en estudio ubicados en la Región Metropolitana. Cartografía generada a partir de Qgis Desktop 3.16.2. QuickMapServices versión 0.19.11.1.	8
Figura 3. Estaciones de muestreo (EM) de cada cuerpo de agua. Cartografía generada a partir de Cartografía generada a partir de Qgis Desktop 3.16.2. QuickMapServices versión 0.19.11.1.	9
Figura 4. Cuerpo de agua Humedal de Batuco. Imagen capturada el 29 de abril de 2016 a las 11:56 h. Cortesía del Prefecto Perito en Ecología Ing. en Recursos Naturales Álvaro Palma Muñoz, Policía de Investigaciones (PDI), Chile.	11
Figura 5. Imagen de Laguna Carén, tomada en abril de 2016. Gentileza del Prefecto Perito en Ecología Ing. en Recursos Naturales Álvaro Palma Muñoz, PDI.	13
Figura 6. Embalse Chada, imagen capturada en abril de 2018. Gentileza del Prefecto Perito en Ecología Ing. en Recursos Naturales Álvaro Palma Muñoz, PDI, Chile.	14
Figura 7. Estero Coyanco, septiembre 2018. Fotografía del Prefecto Perito en Ecología Ing. en Recursos Naturales Álvaro Palma Muñoz, PDI.	15
Figura 8. Análisis de correlación de Pearson para las variables medidas y los índices estimados en el cuerpo de agua del Humedal de Batuco. Se observa el grado de relación de variables (tamaño y color de las esferas desde -1(rojo oscuro) a 1 (azul oscuro) y el porcentaje de confiabilidad (p-value valor numérico en el interior de la esfera).....	35
Figura 9. Análisis de correlación de Pearson para las variables medidas y los índices estimados en el cuerpo de agua de Laguna Carén. Se observa el grado de relación de variables (tamaño y color de las esferas desde -1(rojo oscuro) a 1 (azul oscuro) y el porcentaje de confiabilidad (p-value valor numérico en el interior de la esfera).....	37
Figura 10. Análisis de correlación de Pearson para las variables medidas y los índices estimados en el cuerpo de agua del Tranque Chada. Se observa el grado de relación de variables (tamaño y color de las esferas desde -1(rojo oscuro) a 1 (azul oscuro) y el porcentaje de confiabilidad (p-value valor numérico en el interior de la esfera).....	38
Figura 11. Análisis de componentes principales (Dim 2 vs Dim 1) para los cuatro cuerpos de agua con sus EM en las diferentes temporadas de monitoreo. A. Gráfico de individuos.	

B. Gráfico de variables. Variables: T= Temperatura, P=Fósforo, C.E.: Conductividad Eléctrica, SST=Sólidos Suspendidos Totales, N=Nitrógeno, QBR= Índice de Calidad de Bosque de Ribera, IBF=Índice Biótico de Familia, O.D.=Oxígeno Disuelto. 40

Figura 12. Análisis de componentes principales (Dim 2 vs Dim 3) para los cuatro cuerpos de agua con sus EM en las diferentes temporadas de monitoreo. A. Gráfico de individuos.

B. Gráfico de variables. Variables: T= Temperatura, P=Fósforo, C.E.: Conductividad Eléctrica, SST=Sólidos Suspendidos Totales, N=Nitrógeno, QBR= Índice de Calidad de Bosque de Ribera, IBF=Índice Biótico de Familia, O.D.=Oxígeno Disuelto. 41

Figura 13. Calidad de agua a partir del Índice de Calidad del Agua (ICA) según estaciones de muestreo de cada cuerpo de agua y temporada. 44

RELACIÓN ENTRE CALIDAD DEL AGUA SEGÚN NORMAS CHILENAS Y VARIABLES COMUNITARIAS DE INSECTOS ACUÁTICOS EN CUERPOS LACUSTRES DE LA REGIÓN METROPOLITANA

RESUMEN

En Chile existen leyes y normas que establecen estándares de calidad de agua con fines de conservación de ecosistemas acuáticos, basados solo en variables fisicoquímicas. Siguiendo esta tendencia, se realizó una categorización en cuatro cuerpos de agua de la Región Metropolitana (Humedal de Bатуco, Laguna Carén, Tranque Chada y Estero Coyanco) en conformidad a la Norma Chilena 1.333 y Guía CONAMA 2004 para las temporadas: primavera (2017), otoño (2018), primavera (2018) y primavera (2019). Se consideraron las siguientes variables medidas desde distintas estaciones de muestreo por cuerpos de agua: Temperatura (T), Conductividad Eléctrica (C.E.), Oxígeno Disuelto (O.D.), pH, Sólidos Suspendidos Totales (S.S.T), nitrógeno y fósforo totales. Como complemento a este análisis convencional se usaron insectos acuáticos como bioindicadores, muestreados en paralelo, se aplicó el Índice Biótico de Familia (IBF) y se hizo un análisis de vegetación ripariana a través del Índice de Calidad de Bosque de Ribera (QBR). A partir de todas estas variables e índices obtenidos, se construyó un análisis de correlación de Pearson para cada cuerpo de agua y posteriormente un Índice de Calidad de Agua (ICA) mediante un análisis de componentes principales (ACP).

Las familias de insectos acuáticos más abundantes fueron Corixidae (Hemiptera) (54%), Chironomidae (Diptera) (31%) y Baetidae (Ephemeroptera) (11%), siendo, según los puntajes del IBF, las dos primeras indicadoras de mala calidad de agua, y la última, de buena calidad. De acuerdo con las variables fisicoquímicas los cuerpos con mayor grado de incumplimiento fueron el Humedal de Bатуco y Laguna Carén, especialmente por los S.S.T. y C.E., seguido del Tranque Chada y Estero Coyanco.

La correlación común en los cuerpos de agua fue entre el IBF y la C.E., estableciendo que a mayor IBF, menor C.E. Esta última variable fue la de mayor significancia en ACP y permitió la construcción del ICA, determinando que el cuerpo de agua con mejor calidad fue Batuco, seguido por Carén, Chada y Coyanco.

Palabras clave: Calidad de agua para vida acuática, insectos como bioindicadores, Índice Biótico de Familia (IBF), Índice de Calidad de Agua (ICA).

RELATIONSHIP BETWEEN WATER QUALITY ACCORDING TO CHILEAN STANDARDS AND COMMUNITY VARIABLES OF AQUATIC INSECTS IN LAKE BODIES IN THE METROPOLITAN REGION

ABSTRACT

In Chile there are laws and standards that establish water quality for the purpose of conserving aquatic ecosystems based only on physicochemical parameters, following this trend, a categorization was performed in four water bodies of the Metropolitan Region (Humedal de Batuco, Laguna Carén, Tranque Chada and Estero Coyanco) in accordance with the Chilean Standard 1333 and CONAMA Guide 2004 for the seasons: spring (2017), fall (2018), spring (2018) and spring (2019). The following variables measured from different sampling stations by water bodies were considered: Temperature (T), Electrical Conductivity (E.C.), Dissolved Oxygen (D.O.), pH, Total Dissolved Solids (T.D.S.), total nitrogen and phosphorus. As a complement to this conventional analysis, aquatic insects were used as bioindicators sampled in parallel, the Biotic Family Index (BFI) was applied and an analysis of riparian vegetation was made through the Riparian Forest Index (QBR). Based on all these variables and indices obtained, a Pearson correlation analysis was constructed for each water body and subsequently a Water Quality Index (WQI) by means of a Principal Component Analysis (PCA).

The most abundant aquatic insect families were Corixidae (Hemiptera) (54%), Chironomidae (Diptera) (31%) and Baetidae (Ephemeroptera) (11%), the first two being, according to the BFI scores, indicators of poor water quality, while the last one of good quality. According to the physicochemical s, the bodies with the worst water quality were the Humedad de Batuco and the Laguna Carén, especially the T.S.D. and C.E., followed by the Tranque Chada and Estero Coyanco.

The common correlation in the water bodies was between BFI and E.C., establishing that the higher the BFI, the lower the E.C. This last variable was the most significant in PCA and allowed the construction of the WQI, determining that the water body with the best quality is Batuco, followed by Caren, Chada and Coyanco.

Keywords: Water quality for aquatic life, insects as bioindicators, Biotic Family Index (BFI), Water Quality Index (WQI).

1. Introducción

En Chile, para evaluar la calidad del agua con fines de proteger o conservar ecosistemas (normas secundarias) se utilizan dos normas: (1) “Guía para el establecimiento de las normas secundarias de calidad ambiental para aguas continentales superficiales y marinas” CONAMA (Comisión Nacional del Medio Ambiente, 2004), y (2) La Norma Chilena 1.333 (NCh 1.333) “Requisitos de calidad de agua para diferentes usos” (INN (Instituto Nacional de Normalización Chile), 1987). Ambas, establecen valores de concentraciones y periodos, máximos o mínimos permisibles de sustancias, elementos, energía o combinación de ellos, cuya presencia o carencia en el ambiente puede constituir un riesgo para la conservación de la naturaleza (SINCA, 2021), lo que, por lejos de ser un concepto absoluto, es totalmente relativo a cuál es el destino final requerido para este recurso (Figueroa, 2004). Junto con esto, el concepto de “calidad de agua” también resulta ambiguo, ya que la guía de CONAMA (2004) define “calidad natural de aguas continentales” como el “valor de la unidad o valor de la concentración de un elemento o compuesto en el cuerpo y/o curso de agua continental superficial, que corresponde a la estimación de la situación original del agua sin intervención antrópica más las situaciones permanentes, irreversibles o inmodificables de origen antrópico”. En el caso de la NCh 1.333 “Requisitos de calidad de agua para diferentes usos” (INN Chile, 1987), fija criterios de calidad de agua a partir de requerimientos científicos, con el fin de “proteger y preservar la calidad de las aguas que se destinen a usos específicos, de la degradación producida por contaminación con residuos de cualquier tipo u origen” aplicable a diferentes usos del agua: consumo humano, consumo de animales, riego, recreación y estética y vida acuática, por lo que es dependiente del uso del recurso, no expresando necesariamente la calidad natural .

Dado lo anterior, resulta necesario la búsqueda de herramientas complementarias que permitan fijar criterios de decisión para conocer y proteger los ecosistemas fluviales y estudiar sus cambios en el tiempo. Ante esto, surge el desarrollo de criterios biológicos que permitan estimar el efecto de las intervenciones humanas en ellos (Norris y Hawkins, 2000). Los monitoreos biológicos analizan las especies presentes en los sistemas acuáticos tales como: fitoplancton, perifiton, macrófitas, zooplancton, macroinvertebrados y peces. La presencia o abundancia de éstos, permiten evaluar si las condiciones ambientales están fuera de sus rangos naturales (Hellowell, 1986). En este caso se utilizaron insectos acuáticos como indicadores biológicos, los cuales se definen como aquellos organismos que por sus características (sensibilidad a las perturbaciones ambientales, distribución, abundancia, dispersión, éxito reproductivo, entre otras) pueden ser usadas como estimadoras del estatus de otras especies o condiciones ambientales de interés que resultan difíciles, inconvenientes o costosas de medir directamente (Heink y Kowarik, 2010) y que son capaces de reflejar el estado de conservación, endemismo, diversidad y grado de perturbación en los ecosistemas, permitiendo complementar el análisis tradicional, fisicoquímico, y aportar al conocimiento sobre la diversidad (Figuroa *et al.*, 2016; Alvarado *et al.*, 2018). Sin embargo, también se reconoce que la situación ideal para la evaluación es considerar el uso de variables físicas y químicas, para proveer así un completo espectro de la información para un apropiado manejo del recurso acuático.

Un índice biológico habitualmente utilizado es el Índice Biótico de Familias (IBF) (Hilsenhoff, 1988), que permite clasificar calidad de agua desde Clase I (excelente), hasta Clase VII (muy mala) basado en la asignación de puntaje a cada familia en función a su sensibilidad a la contaminación y el número de morfoespecies existentes (Figuroa, 2004). Si bien, este método permite estimar si han sido afectados por cambios físicos o químicos de su hábitat, no indica directamente cuál es la causa específica que los afecta, lo cual debe ser estimado mediante su asociación con información del hábitat físico (e.g., substrato de fondo, velocidad de la corriente,

profundidad) y a fuentes de estrés potenciales (e.g., contaminantes acuáticos) (Bis *et al.*, 2000; Nerbonne y Vondracek, 2001; Liljaniemi *et al.*, 2002).

Cuerpos de aguas con gran interés biológicos son los humedales, los cuales corresponden a extensiones de marismas, pantanos y turberas, o superficies cubiertas de aguas, de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas, incluidas las extensiones de agua marina cuya profundidad en marea baja no exceda de 6 m y se ubiquen en territorio continental (UNESCO, 1971) y se caracterizan por alojar una diversidad biológica particular, con un nivel de endemismo alto, tanto de especies animales como vegetales (MMA (Ministerio del Medio Ambiente), 2017), siendo algunos identificados como *hot-spot* de biodiversidad (Humedales Chile, 2021). Además de poseer la capacidad de controlar inundaciones, depurar agua, reponer las aguas subterráneas, lugares de recreación y turismo que proporcionan redes o corredores de seguridad frente al cambio climático, entre otras (Ministerio de Agricultura y Corporación Nacional Forestal, 2006). Lamentablemente, estos ecosistemas son vulnerables y por esta razón en los últimos años, se ha sido testigo de cómo algunos de los humedales han sufrido las consecuencias del cambio climático, sequía, pérdida de hábitat para la flora y fauna, entre otros problemas graves (MMA, 2018). A partir de los múltiples beneficios que prestan estos ecosistemas es que su evaluación de manera acabada permite tomar mejores medidas de control para enfrentar su deterioro.

2. Objetivos

2.1. General

Relacionar la calidad del agua clasificada según normas chilenas y variables comunitarias de insectos acuáticos en cuerpos lacustres de la Región Metropolitana.

2.2. Específicos

- Clasificar la calidad del agua en los cuerpos lacustres de estudio mediante normas nacionales.
- Relacionar la calidad del agua obtenida mediante variables fisicoquímicas y comunitarias de insectos acuáticos.
- Establecer un índice de calidad de agua basado en las variables estudiadas.

3. Materiales y Métodos

3.1. Materiales

3.1.1. Áreas de estudios a nivel de cuencas y sus estaciones de muestreo

En primera instancia se delimitó la zona de estudio a nivel de cuenca. Ésta corresponde al territorio definido por los límites de la zona de escurrimiento de las aguas superficiales que convergen hacia un mismo cauce. Asimismo, una cuenca, sus recursos, y habitantes, poseen determinadas condiciones físicas, biológicas, económicas, sociales y culturales, las que les confieren características comunes (MIDEPLAN, 1998).

A partir de la definición anterior, se seleccionaron cuatro cuerpos de agua ubicados en la cuenca del Río Maipo: Humedal de Batuco, Laguna Carén, Tranque Chada y Estero Coyanco.

En términos específicos, el cuerpo de agua Humedal de Batuco se localiza en la Subsubcuenca del Estero Lampa, Tiltil y Colina (Figura 1), que corresponde a una fosa de carácter endorreico, alimentada principalmente por las quebradas del sector oriente de la comuna de Lampa. Posee una baja pendiente, y ésta se manifiesta de forma suave hacia el sur y en dirección este-oeste (Sotomayor, 1964).

Carén, situado en la Subsubcuenca del Estero Lampa, Colina y Río Mapocho (Figura 1), se origina a partir de Estero Carén que trae los cauces que bajan en dirección norte-sur de las Subcuencas de Lipangue y Noviciado y de la Subcuenca de Lo Aguirre desde el poniente. Estas aguas son contenidas artificialmente para formar la laguna desde una salida controlada hacia el estero Colina. Mientras tanto, el Estero Colina con una dirección norte-sur reúne las aguas de las subcuencas de Lampa, Colina y Las Cruces, para posteriormente unirse al río Mapocho (Velásquez, 2020). Esta laguna es artificial y fue construida para el transporte de relaves mineros desde 1982 (De Miguel, 2006), por lo que cuenta con un muro de tierra compactada de aproximadamente 100 m de longitud y 6 m de altura que represa el agua,

formando la laguna. En el muro posee un vertedero de seis compuertas que descargan al estero Lampa, en el sector más oriente.

En el caso del cuerpo de agua Tranque Chada, se ubica en la Subcuenca del Río Maipo Medio (Figura 1) y forma parte de la red hidrográfica del Estero Paine. Este cuerpo de agua, a diferencia de los tres restantes, es el único de carácter antropogénico y tiene un objetivo definido que es el almacenamiento del recurso hídrico con fines agrícolas.

Por último, el Estero Coyanco (Figura 1) se ubica en Río Maipo Alto, el cual se origina a partir del Río Volcán y el Río Colorado, perteneciente a la zona denominada cajón de Río Maipo. El río homónimo es el principal aportante de la cueca y es la fuente más relevante de agua de la Región Metropolitana.

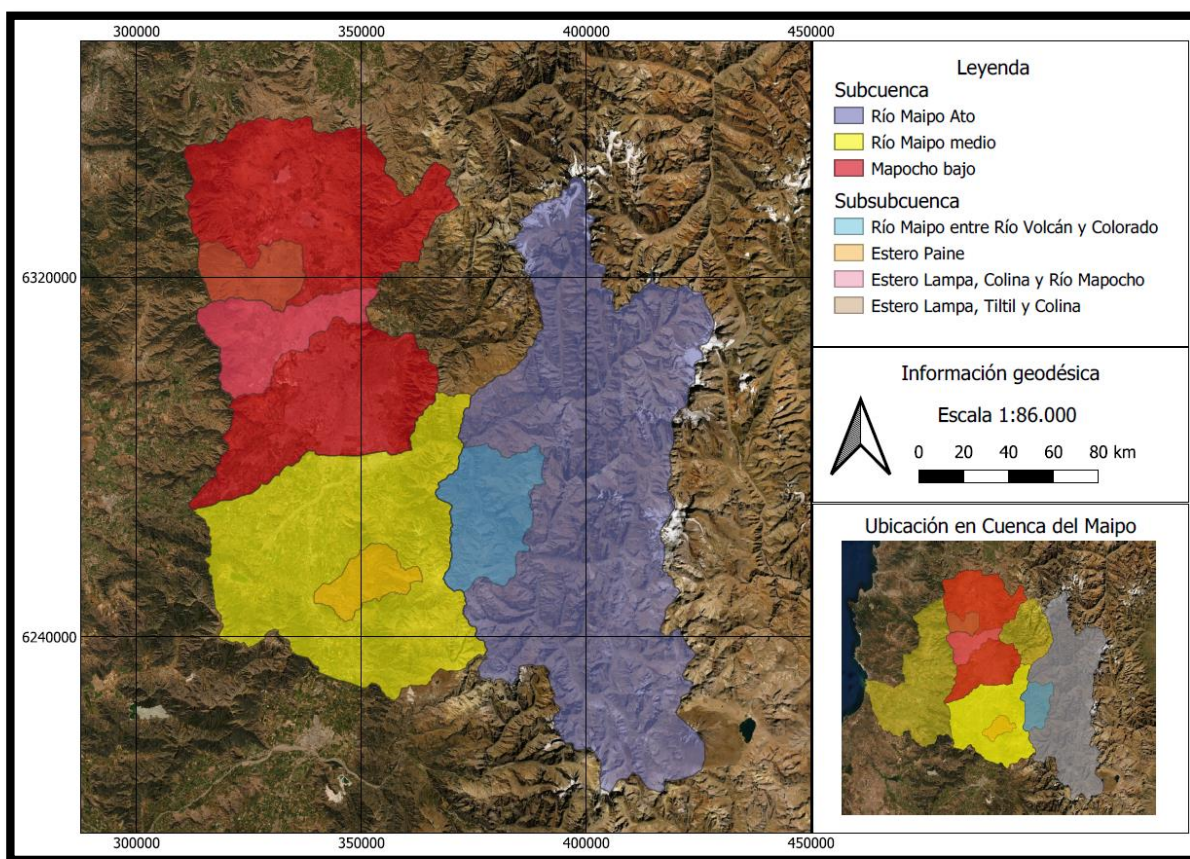


Figura 1. Cuenca, subcuenca y subsubcuenca a la cual pertenecen los cuerpos de agua analizados. Elaboración propia a partir de Infraestructura de Datos Espaciales (IDE) Chile (2016).

Una vez identificada de manera macro el área de estudio, se presentan los cuatro cuerpos de agua en forma detallada en la Tabla 1, donde se especifica la ubicación, superficie total y altitud.

Tabla 1. Antecedentes geográficos de los cuerpos de agua de estudio, coordenadas, área total y altitud, consultados con el programa Google Earth Pro TM versión 7.1.5.1557 (Google, 2016).

ID	Cuerpo de agua	Localidad	Provincia	Comuna	Coordenadas (UTM H19S)		Área total (ha)	Altitud (msnm)
1	Humedal de Batuco	Batuco	Chacabuco	Lampa	6324157 N	330098 E	275,0	481
2	Laguna Carén	Carén	Santiago	Pudahuel	6298748 N	329360 E	28,7	460
3	Tranque Chada	Chada	Maipo	Paine	6247458 N	347622 E	13,2	430
4	Estero Coyanco	Coyanco	De Cordillera	San José de Maipo	6272167 N	375238 E	20,0	1.080

En la Figura 2 se presenta la ubicación geoespacial de los cuatro cuerpos de agua en relación con la región de estudio.

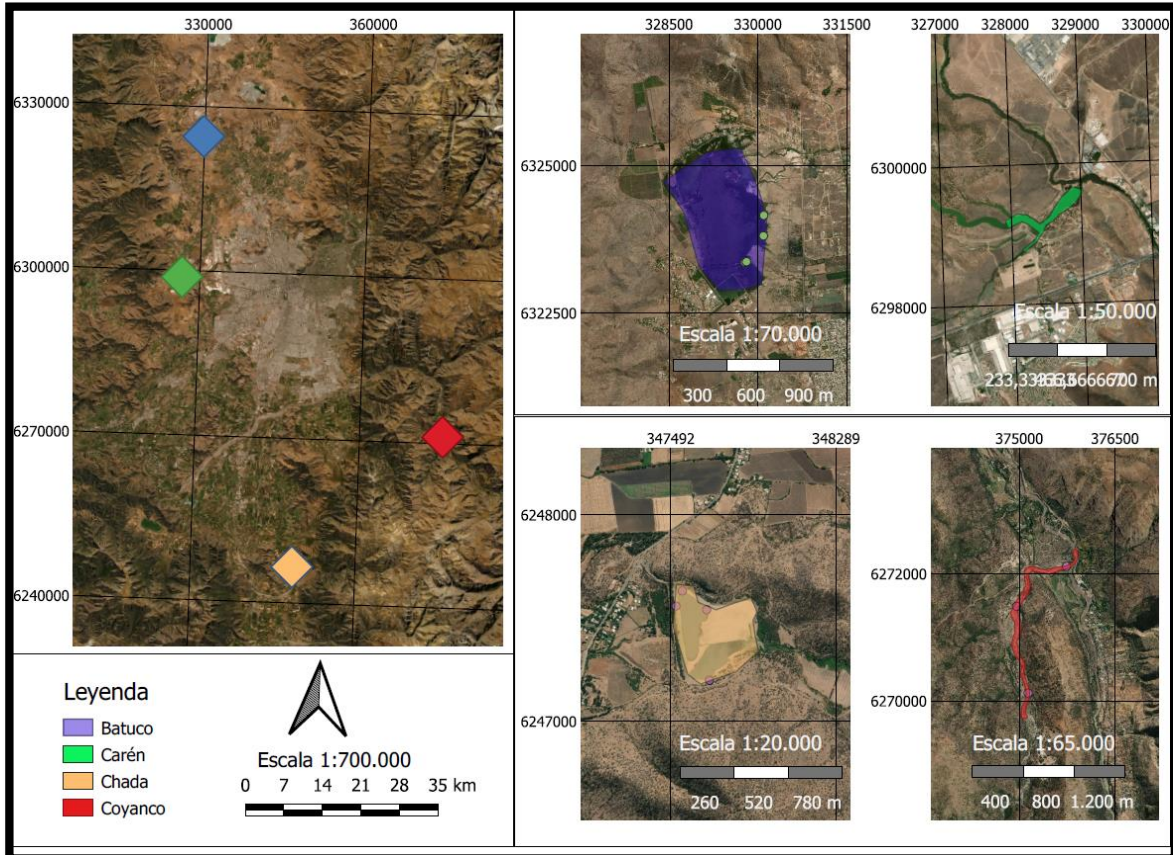


Figura 2. Ubicación geoespacial de los cuatro cuerpos de agua en estudio ubicados en la Región Metropolitana. Cartografía generada a partir de Qgis Desktop 3.16.2. QuickMapServices versión 0.19.11.1.

En conformidad a NCh-ISO 5667/4:2016, Guía para la toma de muestras de lagos naturales y artificiales (INN Chile, 2016), se establecieron al azar Estaciones de Muestreo (EM) representativas de las diferencias ambientales de cada cuerpo de agua (Figura 3).

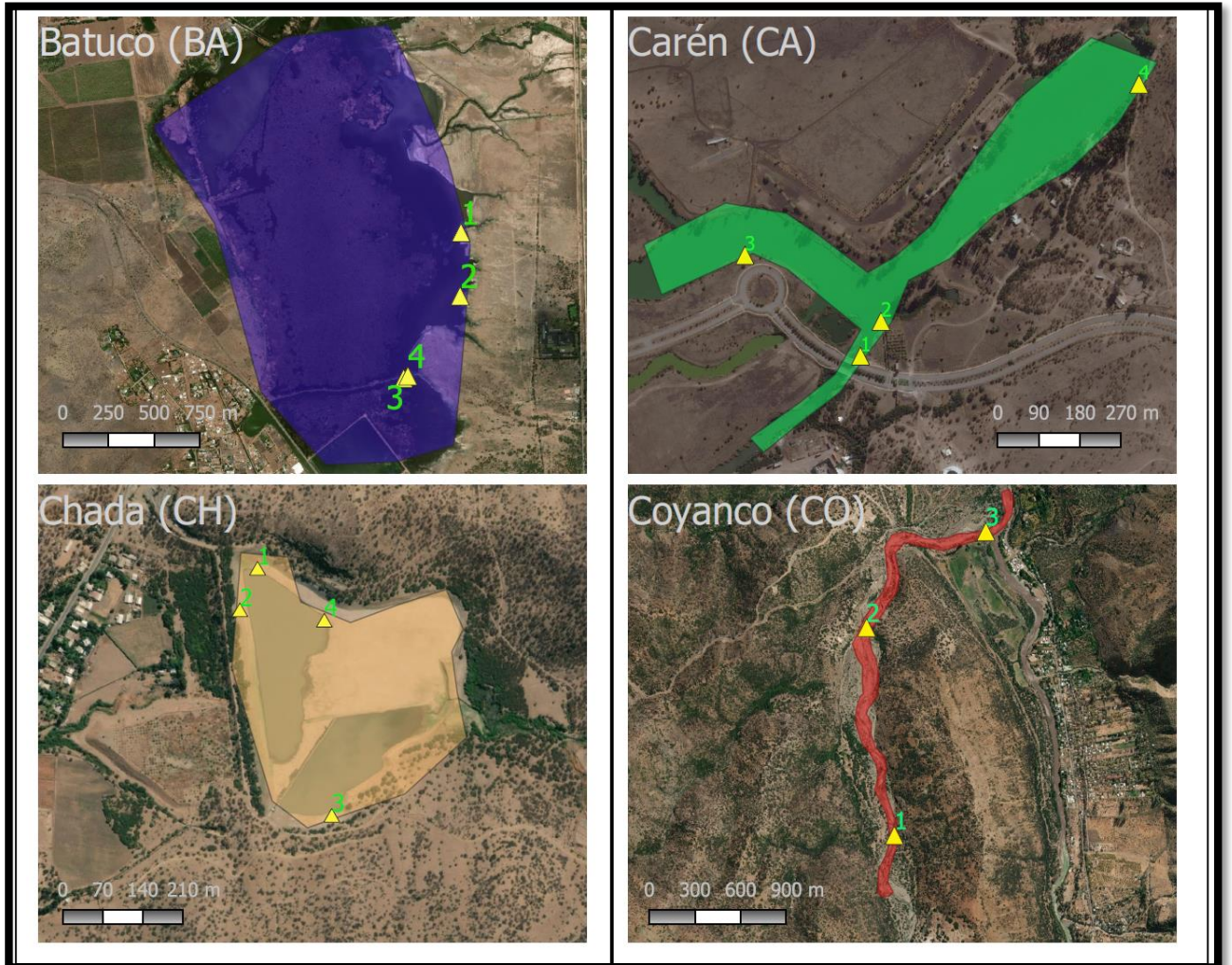


Figura 3. Estaciones de muestreo (EM) de cada cuerpo de agua. Cartografía generada a partir de Cartografía generada a partir de Qgis Desktop 3.16.2. QuickMapServices versión 0.19.11.1.

3.1.2. Caracterización física de las áreas de estudio

3.1.2.1. Humedal de Batuco

El Humedal de Batuco se alimenta principalmente de las aguas provenientes de las quebradas del sector oriente de la comuna de Lampa, de aguas de rebalse de riego y de los aportes indirectos provenientes de la Planta de Tratamiento La Cadellada que llegan por el canal Sin Nombre, afluente principal de la Laguna (The Nature Conservancy, 2018).

Es considerado el más importante de la región (CONAMA, 2004) y se encuentra contenido dentro del sitio prioritario para la conservación de la Biodiversidad Humedal de Batuco, dado que posee una alta capacidad para albergar vida silvestre; además de proveer un hábitat físico, como de alimento y refugio para el desarrollo de distintas especies vivas, especialmente avifauna. Los registros bibliográficos informan de una riqueza cercana a 125 especies de aves (Jaramillo *et al.*, 2005), mientras que fuentes de información en línea informan una riqueza de 144 especies (ebird, 2012), entre las cuales se incluyen especies listadas en distintas categorías de conservación. Respecto a la flora y la vegetación, el Humedal se ubica dentro de la Región del Matorral y del Bosque Esclerófilo, y en particular, en la Sub-Región del Matorral y del Bosque Espinoso (Gajardo, 1994). Se registra en el sector una diversidad de especies endémicas de Chile, algunas con distribución restringida y/o poco conocidas, junto con especies típicas de Bosque Esclerófilo, que tienen una amplia distribución en la zona central de Chile.

El cuerpo de agua se divide en cinco sublagunas (laguna norte, oriente, poniente, central y sur) separadas por pretilos artificiales. La superficie y el volumen de agua varían en función de las estaciones del año, aumentando en temporada invernal debido a la influencia pluvial (The Nature Conservancy, 2018). Tiene una profundidad media, es levemente alcalina, y con conductividad eléctrica alta, y es considerado como un sistema hipertrófico, asociado a concentraciones de nutrientes altas, especialmente de fósforo, nitrógeno y clorofila, indicando una alta productividad primaria del ecosistema acuático. Sin embargo, es importante destacar que existe una alta concentración de oxígeno disuelto y una cobertura de macrófitas acuáticas que no se condice con un sistema hipertrófico (Gesam Consultores Ambientales, 2018).

Tiene una extensión aproximada de 250-350 ha (33°10'S, 70°53'W, 480 m). Dependiendo de la pluviosidad, de aguas someras y salinas (CONAMA, 1998) y régimen temporal, se sitúa en la depresión intermedia de la cuenca de Santiago, bajo la influencia de un clima mediterráneo semiárido (Di Castri y Hajek, 1976; Amigo y Ramírez, 1998). Allí se encuentra en una sub-cuenca limitada al norte por los cerros

Altos de Polpaico, al este por los cerros del Manzano y sus prolongaciones cerro Leiva y cerro Lircay, al oeste por el cerro Chape, en tanto que, hacia el sur, está cerrada al drenaje superficial por sedimentos depositados por los esteros Lampa y Colina (Castillo y Falcón, 1961) (Figura 4).



Figura 4. Cuerpo de agua Humedal de Batuco. Imagen capturada el 29 de abril de 2016 a las 11:56 h. Cortesía del Prefecto Perito en Ecología Ing. en Recursos Naturales Álvaro Palma Muñoz, Policía de Investigaciones (PDI), Chile.

Cabe destacar que recientemente, el miércoles 7 de abril de 2021 (MMA, 2021), este humedal se convirtió en Santuario de la Naturaleza bajo la Ley N°21.202, siendo previamente evaluado por el Consejo de Monumentos Nacionales (CMN) y aprobado por el MMA. Con ello se logra regular de manera específica este humedal dentro de áreas urbanas (humedales total o parcialmente dentro del límite urbano) y se introduce en la legislación nacional, el concepto de humedales urbanos, en virtud de la gran relevancia que estos ecosistemas tienen para las ciudades, como áreas verdes, espacios para la recreación, control de inundaciones, mitigación al cambio climático, entre otros; y las fuertes amenazas bajo las cuales se encuentran (MMA, 2020).

3.1.2.2. Laguna Carén

La Laguna Carén forma parte del “Parque Científico Tecnológico Laguna Carén” de la Universidad de Chile. Corresponde a una laguna artificial creada para depósitos de relaves mineros a partir de 1982 con una superficie de 10 ha y una profundidad de 8 m (Edu-Red, 2017).

En términos de vegetación, la zona se encuentra dentro de la Región del Matorral y Bosques Esclerófilos y a la Subregión del Matorral Espinoso del Secano Costero (Gajardo, 1994). Existen aproximadamente 28 especies de flora, entre ellas están las agrupaciones: espino (*Acacia caven*) - algarrobo (*Prosopis chilensis*) en la planicie y espino (*Acacia caven*) - huañil (*Proustia cuenifolia*) en laderas. Además, de tralhuén (*Talguenea quinquinervia*), quisco (*Echinopsis chiloensis*), chagual (*Puya berteroniana*), entre otras. Mientras las especies acuáticas existentes en la laguna son: totora (*Typha angustifolia*), junco (*Scirpus lacustris*), caña (*Phragmites australis*) y sombrerito de agua (*Hydrocotyle ranuncoloides*).

Dentro de la biodiversidad del reino animal que habita el sector se encuentran al menos 83 especies diferentes entre mamíferos, aves, reptiles y anfibios, conformando un ecosistema complejo entre el medio acuático, terrestre y aéreo (Figura 5). Entre las especies presentes están: coipos (*Myocastor coipus*), garza grande (*Casmerodius alba*), garza chica (*Egretta thula*), garza boyera (*Bubulcus ibis*), huairavo (*Nycticorax nycticorax*), gaviota (*Larus dominicanus*), churrete (*Cicloides fuscus*), churrete chico (*Cinclodes oustaleti*), sapo africano (*Xenopus laevis*), iguana chilena (*Callopistes maculatus*) y rana chilena (*Calyptocephalella gayi*). Esta última especie está en estado vulnerable según la UICN (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza), mientras el sapo africano ha mantenido un efecto negativo en la biodiversidad dado que es una plaga introducida al país, conduciendo al desplazamiento de la rana chilena de su hábitat (Velásquez, 2020).



Figura 5. Imagen de Laguna Carén, tomada en abril de 2016. Gentileza del Prefecto Perito en Ecología Ing. en Recursos Naturales Álvaro Palma Muñoz, PDI.

3.1.2.3. Tranque Chada

Este tranque artificial se habilitó gracias a los trabajos realizados bajo el Plan de Construcción y Rehabilitación de Pequeños Embalses, posee un volumen de almacenamiento de 700.000 m³ del cual se estima que más de 2.000 habitantes de Paine y sus alrededores se benefician de este tranque, especialmente agricultores, entregando una superficie de riego de 500 ha de producción agrícola a plantaciones frutales y de hortalizas (Gobernación Provincial de Maipo, 2015) (Figura 6).



Figura 6. Embalse Chada, imagen capturada en abril de 2018. Gentileza del Prefecto Perito en Ecología Ing. en Recursos Naturales Álvaro Palma Muñoz, PDI, Chile.

3.1.2.4. Estero Coyanco

A diferencia de los cuerpos de aguas anteriores, el Estero Coyanco (Figura 7) corresponde a un curso de agua de régimen lótico, ubicado a unos 60 km de la ciudad de Santiago por sobre los 1.020 m.s.n.m. Este curso de agua nace en la Cordillera de los Andes y es un aportante del Río Maipo. Se estima un caudal promedio de 9,4 m³/s (Antipán, 2014).

La vegetación predominante corresponde al bosque Esclerófilo Mediterráneo Andino de *Quillaja saponaria* y *Lithrea caustica* (Luebert y Pliscoff, 2006), el cual se caracteriza por la dominancia de *Lithraea caustica*, *Quillaja saponaria*, y *Kageneckia oblonga*; en tanto que *Cryptocarya alba* es localmente abundante en los sectores de mayor humedad. La estrata arbustiva es muy diversa, destacando la presencia de *Escallonia pulverulenta*, *Proustia cuneifolia*, *Colliguaja odorifera*, *Satureja gilliessii* y *Teucrium bicolor*. La estrata herbácea también es diversa, con importante presencia de geófitas, como *Alstroemeria haemantha*, *Pasithea coerulea* y *Solenomelus pedunculatus*. Las laderas rocosas de exposición norte generalmente presentan un matorral dominado por *Colliguaja odorifera*, *Puya berteroniana*

y *Echinopsis chilensis*, con presencia de individuos aislados de *Quillaja saponaria* o *Lithraea caustica*. En algunas zonas costeras este bosque se encuentra asociado con *Jubaea chilensis*. La exposición juega un rol importante en la distribución ecológica de la vegetación, en laderas de exposición sur y oeste se desarrollan bosques densos, dominado por *Quillaja saponaria* y *Cryptocaria alba*; en laderas de exposición norte y este, la vegetación es más baja, conformándose un matorral abierto dominado por *Lithraea caustica*, *Trevoa quinquenervia* y *Kageneckia oblonga* (Muñoz- Schick *et al.*, 2000).



Figura 7. Estero Coyanco, septiembre 2018. Fotografía del Prefecto Perito en Ecología Ing. en Recursos Naturales Álvaro Palma Muñoz, PDI.

3.2. Método

3.2.1. Medición de variables físico-químicas

Entre la primavera de 2017 y la primavera de 2019 se realizaron mediciones de variables fisicoquímicas de los distintos cuerpos de agua. En cada una de las estaciones de muestreo (EM) se determinó de manera *in situ* mediante un equipo multi-paramétrico (WTW Multi 340i) las siguientes variables del agua: Temperatura (T), Conductividad Eléctrica (CE), Oxígeno Disuelto (OD), pH y Sólidos Suspendidos Totales (S.S.T).

A su vez, en cada EM se realizó un muestreo (50 mL) por triplicado para determinar de manera *ex situ* los parámetros de Nitrógeno y Fósforo, cuyas muestras fueron trasladadas al Laboratorio de Criminalística Central, de la Policía de Investigaciones de Chile, en Santiago, para su posterior análisis.

A partir de los valores obtenidos se realizó una clasificación en conformidad a los requisitos para aguas destinadas a la vida acuática de la Norma Chilena (NCh) 1.333 (INN Chile, 1987) y la “Guía para el establecimiento de las normas secundarias de calidad ambiental para aguas continentales superficiales y marinas” (CONAMA, 2004).

En la Tabla 2 se presenta un resumen de lo anterior, indicando las variables a medir, y los valores o rangos máximos permitidos de acuerdo con la NCh 1.333 (INN Chile, 1987) y las cuatro clases que comprende la guía CONAMA (2004).

Tabla 2. Valores o rangos máximos permisibles por la norma NCh 1.333 (INN Chile, 1987) para riego y vida acuática y la guía (CONAMA, 2004), según variable físico-química analizada *In situ*.

Variable	Valores o rangos máximos permisibles				
	NCh 1.333	Guía CONAMA			
		Clase I	Clase II	Clase III	Excepción
C.E. ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	<650	750	1500	2250	<600
O.D. (mg/L)	>5,0	7,5	5,5	5,0	>7,5
pH (unidades)	6,0 – 9,0	6,5 - 8,5	6,5 - 8,5	6,5 - 8,5	6,5 - 8,5
S.S.T. (mg/L)	<500	500	1000	1500	<400
T ($^{\circ}\text{C}$)	V.P.* ± 3	V.P. $\Delta T^{\circ}\text{C} < 1,5$	V.P. $\Delta T^{\circ}\text{C} < 1,5$	V.P. $\Delta T^{\circ}\text{C} < 3,0$	V.P. $\Delta T^{\circ}\text{C} < 0,5$

(*) Valor Promedio: media aritmética de las mediciones realizadas en la misma temporada y hora del día (medio día).

La temperatura cambia naturalmente dependiendo de las horas luz (día y noche), de la estación del año y de las condiciones climáticas, esto hace que sea difícil normar dicha variable, por lo que se estableció estandarizar dicha variable comparando la misma estación y horario del día.

El registro histórico de los datos y el número de Estaciones de Muestreo (EM) por cuerpo de agua se presentan en la Tabla 3.

Tabla 3. Temporadas de muestreo y número de estaciones de muestreo (EM) por cuerpo de agua estudiado.

ID	Cuerpo de Agua	Temporadas de muestreo	Nº de EM
1	Humedal de Batuco	Primavera 2017, otoño 2018, primavera 2018	4
2	Laguna Carén	Primavera 2017, otoño 2018, primavera 2018	4
3	Tranque Chada	Primavera 2017, otoño 2018, primavera 2018	4
4	Estero Coyanco	Primavera 2019	3

3.2.2. Metodología de colecta e identificación de insectos acuáticos y evaluación mediante Índice Biótico de Familia (IBF)

El muestreo de los insectos acuáticos se realizó por triplicado mediante el uso de frascos de Polipropileno (PP) de 1 L de capacidad, que fueron sumergidos íntegramente hasta completar su capacidad para luego ser cerrados mediante tapa rosca y llevados al Laboratorio de Entomología Forestal (Departamento de Silvicultura y Conservación de la Naturaleza, Universidad de Chile) en Santiago. Allí se realizó el filtrado de las aguas mediante un tamiz de tul superpuesto en un colador plástico, mediante esta maniobra se logró retener los insectos para luego ser fijados en etanol al 70%. Luego, se procedió con el reconocimiento y la clasificación mediante el uso de claves de taxonómicas. Por último, se llevó el conteo para determinar la riqueza y abundancia.

Una vez identificadas y clasificadas las familias de insectos acuáticos se procedió a determinar la calidad de aguas mediante el Índice Biótico de Familia (IBF) (Hilsenhoff, 1988). Este corresponde a un índice cuantitativo que trabaja tanto a nivel lénico, como lótico, asignando un puntaje en función al grado de la contaminación orgánica y el número de morfoespecies existentes, permitiendo clasificar desde Clase I (Muy buena) a Clase V (Muy mala) (Tabla 4)

Tabla 4. Clases de calidad de agua a partir de los valores de IBF, modificado de MOP DGA (2010).

Clase	IBF	Calidad
I	0-3,75	Muy buena
II	3,76-4,63	Buena
III	4,64-6,12	Regular
IV	6,13-7,25	Mala
V	7,26-10	Muy mala

La fórmula empleada para clasificar las características ambientales es:

$$IBF = \sum \frac{n_i * t_i}{N}$$

Donde n_i corresponde al número de morfoespecies en una familia, t_i el puntaje de tolerancia (Anexo I) de cada familia y N , el número total de individuos en el sitio del muestreo. Se utiliza este índice ya que tiene la ventaja de ser fácil de usar y necesita para su evaluación reconocimiento taxonómico de los macroinvertebrados solamente hasta nivel de familia (Wais, 1983; Figueroa, 2004).

3.2.3. Evaluación de vegetación de ribera y hábitat fluvial mediante Índice de Calidad del Bosque de Ribera (QBR)

Para la evaluación de la vegetación ribereña asociada a cada cuerpo de agua se realizó una visita a terreno en primavera 2018. Se utilizó el Índice de Calidad del Bosque de Ribera (QBR), propuestos por Munné *et al.* (1998; 2003), el cual consta de cuatro métricas que recogen distintos componentes y atributos de las riberas, tales como: Grado de cubierta de la zona de ribera, estructura de la cubierta, calidad de la cubierta y grado de naturalidad del canal fluvial. De esta forma se logra evaluar cualquier cambio en la estructura de esta vegetación, ya que ésta tiene consecuencias importantes para la comunidad biológica que se encuentra en los sistemas acuáticos (Thompson y Townsend, 2004; Oscoz *et al.*, 2006), modificando la calidad de sus recursos, haciendo complejo independizar este factor de otras presiones antrópicas.

Los valores del QBR se distribuyen en cinco rangos, desde una muy buena calidad que indica un bosque de ribera sin alteraciones a una muy mala, que señala degradación extrema de la ribera (Tabla 5).

Tabla 5. Niveles de calidad de la vegetación de ribera y sus rangos a partir del Índice de Calidad del Bosque de Ribera (QBR).

Nivel de calidad	Rango de calidad	Color representativo
Bosque de ribera sin alteraciones, muy buena calidad	>95	Azul
Bosque ligeramente perturbado, buena calidad	71-95	Verde
Inicio de alteración importante, calidad regular	46-70	Amarillo
Alteración fuerte, mala calidad	21-45	Naranja
Degradación extrema, muy mala calidad	≤20	Rojo

Cabe destacar que el índice QBR no está sujeto a una variabilidad estacional puesto que utiliza como indicador biológico la vegetación arbórea, arbustiva y el matorral perenne. En el Anexo II se encuentra la ficha de terreno para aplicación de QBR.

3.2.4. Análisis de correlación de variables

A partir de los resultados anteriores, se realizó un análisis de correlación de las siete variables fisicoquímicas de calidad de agua (Temperatura, pH, Fósforo, Conductividad Eléctrica, Sólidos Suspendidos Totales, Nitrógeno y Oxígeno Disuelto) y dos variables biológicas (Índice de Calidad de Bosque de Ribera e Índice Biótico de Familia), mediante una matriz de correlación de Pearson para los cuerpos de agua de Batuco, Carén y Chada, descartando Coyanco ya que solo se contó con un muestreo. Previamente se comprobó la distribución normal de las variables estudiadas. Para efecto gráficos y mejor presentación de resultados se utilizó la librería Corrplot versión 0.90 del programa Rstudio versión 1.4.1106 (R Core Team, 2016). Se utilizó un nivel de confianza del 95% en todos los análisis estadísticos.

3.2.5. Análisis de datos e Índice de Calidad de Agua (ICA)

Con el fin de determinar las variables que mejor explican las características de cada cuerpo de agua se aplicó un Análisis de Componentes Principales (ACP) con todos los datos para los cuatro cuerpos de agua. Para este se utilizó la librería FactoMineR, del programa Rstudio versión 1.4.1106 (R Core Team, 2016).

El APC consta de tres pasos a) preparación de una matriz de correlación, b) extracción de los componentes principales y c) rotación de estos componentes para obtener una solución final.

En el primer paso, las variables fueron estandarizadas, de tal forma que presentaron una media con valor cero y una varianza con valor de uno, lo anterior para no afectar la escala de las variables.

En el segundo, se extrajeron el número de componentes necesarios para representar en forma adecuada la información contenida en el conjunto de variables utilizadas. El criterio para seleccionar los componentes fue el 60% de la variación total basado en Kaiser (1958).

El último paso consistió en la presentación de datos mediante rotación ortogonal (Kaiser, 1958; Lie y Keller, 1970).

A partir de lo anterior, se estableció el Índice de Calidad del Agua (ICA) para las EM en los cuatro cuerpos de agua, la puntuación más alta (interpretada como la más prístina) calculada en este conjunto de datos se consideró superior a +4, mientras que la puntuación más baja fue cercana a 0, se interpretó como la más degradada (Chow-Fraser, 2006). Para facilitar la interpretación, se dividió la escala en seis categorías (Tabla 6).

Tabla 6. Categorías de calidad de agua en base al puntaje obtenido a través del Índice de Calidad del Agua (ICA).

Puntaje ICA	Categoría
3,5-4,0	Excelente
2,5-3,5	Muy buena
1,5-2,5	Buena
1,0-1,5	Moderadamente degradada
0,5-1,0	Degradada
0,0-0,5	Muy degradada

4. Resultados

4.1. Evaluación de calidad de agua mediante variables fisicoquímicas

En la Tabla 7 se presentan los resultados obtenidos de las variables fisicoquímicas de los cuatro cuerpos de agua para las temporadas descritas anteriormente y su evaluación en conformidad a la Norma Chilena 1.333 (INN Chile, 1987).

Tabla 7. Variables fisicoquímicas evaluadas en los cuerpos de agua por temporada y estación de muestreo (EM), y su evaluación en conformidad a los criterios señalados en la NCh. 1333 (INN Chile, 1987) de agua destinada para la vida acuática según Tabla 4. En verde, cumple, y en rojo, no cumple.

Variable	Batuco											
	EM 1			EM 2			EM 3			EM 4		
	P 2017	O 2018	P 2018	P 2017	O 2018	P 2018	P 2017	O 2018	P 2018	P 2017	O 2018	P 2018
Temperatura (°C)	18,2	18,2	18,2	18,2	21,4	21,2	25,4	21,3	22,2	19,5	18,2	21,4
Conductividad Eléctrica (µs/cm)	3.200	2.010	3.400	3.300	1.917	3.300	3.700	1.974	3.800	3.180	2.300	3.410
Ox. disuelto (mg/L)	8,6	7,8	8,8	7,6	7,2	7,8	8,7	5,7	8,4	5,3	6,2	6,2
pH	8,6	8,7	8,8	8,6	8,9	8,7	8,7	8,4	8,9	8,0	8,3	8,3
Sólidos Suspendidos Totales (mg/L)	3.200	2.020	2.380	3.360	1.921	2.310	3.810	1.960	2.660	3.210	2.500	2.387
Variable	Carén											
	EM 1			EM 2			EM 3			EM 4		
	P 2017	O 2018	P 2018	P 2017	O 2018	P 2018	P 2017	O 2018	P 2018	P 2017	O 2018	P 2018
Temperatura (°C)	26,4	11,6	25,8	24,2	9,6	24,3	29,2	9,3	25,1	23,1	9,5	27,3
Conductividad Eléctrica (µs/cm)	857	1.147	1.035	819	1.225	1.040	811	1.232	1.048	855	1.223	1.036
Ox. disuelto (mg/L)	8,4	1,2	8,1	8,5	10,4	6,4	8,2	11,2	9,7	8,2	13,1	10,5
pH	9,1	7,7	11,7	9,4	7,9	8,7	8,9	8,4	9,1	9,2	8,2	9,4
Sólidos Suspendidos Totales (mg/L)	802,3	802,9	724,5	801,7	857,5	728,0	799,4	862,4	733,6	844,0	856,1	725,2
Variable	Chada											
	EM 1			EM 2			EM 3			EM 4		
	P 2017	O 2018	P 2018	P 2017	O 2018	P 2018	P 2017	O 2018	P 2018	P 2017	O 2018	P 2018
Temperatura (°C)	25,5	14,8	27	24,7	14,8	22,9	24,2	14,6	31,6	16,1	14,8	32,3
Conductividad Eléctrica (µs/cm)	117,0	218,0	194,0	117,7	219,0	117,7	118,0	206,0	277,0	190,0	218,0	335,0
Ox. disuelto (mg/L)	3,4	8,7	4,4	6,3	7	5,8	4,8	8,5	5,0	4,0	7,3	4,0
pH	7,3	8,5	7,9	7,2	7,9	8,1	7,2	8,2	8,8	9,2	7,4	9,2
Sólidos Suspendidos Totales (mg/L)	82,1	152,6	133,0	82,4	153,3	81,9	82,6	144,2	184,0	225,0	152,6	228,0
Estero Coyanco Primavera 2019												
Variable	EM 1			EM 2			EM 3					
Temperatura (°C)	15,0			16,7			22,4					
Conductividad Eléctrica (µs/cm)	144,0			144,7			145,3					

Oxígeno Disuelto (mg/L)	8,9	10,3	11,3
pH	8,3	8,0	7,2
Sólidos Suspendidos Totales (mg/L)	100,8	99,8	98,3

En la Tabla 8 se presenta la categorización de calidad de agua por cuerpo de agua, temporada y estación de muestreo en conformidad a la guía CONAMA (2004).

Tabla 8. Evaluación de los cuerpos de agua por temporada y estación de muestreo (EM), mediante variables fisicoquímicas de acuerdo con los criterios señalados en la guía CONAMA (2004).

Variable	Batuco											
	EM 1			EM 2			EM 3			EM 4		
	P 2017	O 2018	P 2018	P 2017	O 2018	P 2018	P 2017	O 2018	P 2018	P 2017	O 2018	P 2018
Temperatura (°C)	Excepción	Excepción	Clase I	Excepción	Clase III	Excepción	Clase III	Clase I	Excepción	Clase I	Excepción	Clase III
Conductividad Eléctrica (µs/cm)	Clase III	Clase II	Clase III	Clase III	Clase II	Clase III	Clase III	Clase II	Clase III	Clase III	Clase III	Clase III
Ox. disuelto (mg/L)	Excepción	Excepción	Excepción	Excepción	Clase I	Excepción	Excepción	Clase II	Excepción	Clase II	Clase I	Clase I
pH	Excepción	Excepción	Clase III	Excepción	Excepción	Clase II	Excepción	Excepción	Excepción	Excepción	Excepción	Excepción
Sólidos Suspendidos Totales (mg/L)	Clase III	Clase III	Clase III	Clase III	Clase III	Clase III	Clase III	Clase III	Clase III	Clase III	Clase III	Clase III
Variable	Carén											
	EM 1			EM 2			EM 3			EM 4		
	P 2017	O 2018	P 2018	P 2017	O 2018	P 2018	P 2017	O 2018	P 2018	P 2017	O 2018	P 2018
Temperatura (°C)	Clase III	Clase III	Clase III	Clase III	Clase III	Clase III	Clase III	Clase III	Clase III	Clase III	Clase III	Clase III
Conductividad Eléctrica (µs/cm)	Clase II	Clase II	Clase II	Clase II	Excepción	Excepción	Clase II	Clase II	Clase II	Clase II	Clase II	Clase II
Ox. disuelto (mg/L)	Clase III	Excepción	Excepción	Excepción	Excepción	Clase I	Excepción	Excepción	Excepción	Excepción	Excepción	Excepción
pH	Excepción	Excepción	Excepción	Excepción	Clase I	Excepción	Excepción	Excepción	Excepción	Excepción	Excepción	Excepción

Sólidos Suspendedos Totales (mg/L)	Clase I	Clase I	Clase I	Clase I	Excepción	Excepción	Clase I	Clase I	Clase I	Clase I	Clase I	Clase I
Variable	Chada											
	EM 1			EM 2			EM 3			EM 4		
	P 2017	O 2018	P 2018	P 2017	O 2018	P 2018	P 2017	O 2018	P 2018	P 2017	O 2018	P 2018
Temperatura (°C)	clase III	Clase III	Clase III	clase III	Clase III	Clase III	Clase III	Clase III	Clase III	Clase III	Clase III	Clase III
Conductividad Eléctrica (µs/cm)	Excepción	Excepción	Excepción	Excepción	Excepción	Excepción	Excepción	Excepción	Excepción	Excepción	Excepción	Excepción
Ox. disuelto (mg/L)	Excepción	Clase III	Clase III	Clase I	Excepción	Clase I	Excepción	Clase III	Clase II	Clase I	Clase III	Clase III
pH	Excepción	Clase I	Excepción	Excepción	Clase I	Excepción	Excepción	Clase I	Excepción	Clase I	Excepción	Excepción
Sólidos Suspendedos Totales (mg/L)	Excepción	Excepción	Excepción	Excepción	Excepción	Excepción	Excepción	Excepción	Excepción	Excepción	Excepción	Excepción
Estero Coyanco Primavera 2019												
Variable	EM 1			EM 2			EM 3					
Temperatura (°C)	Clase I			Clase I			Clase I					
Conductividad Eléctrica (µs/cm)	Clase III			Clase III			Clase III					
Oxígeno Disuelto (mg/L)	Excepción			Excepción			Excepción					
pH	Excepción			Excepción			Excepción					
Sólidos Suspendedos Totales (mg/L)	Excepción			Excepción			Excepción					

Calidad según guía CONAMA (2004)	Excepción	Clase I	Clase II	Clase III
----------------------------------	-----------	---------	----------	-----------

Dado que las normas anteriormente mencionadas no establecen límites de calidad para las variables nitrógeno ni fósforo, en la Tabla 9 se presentan los valores obtenidos para cada EM en los periodos señalados anteriormente.

Tabla 9. Resultados de nitrógeno y fósforo totales, evaluados en los cuerpos de agua por temporada y EM.

Variable	Batuco											
	EM 1			EM 2			EM 3			EM 4		
	P 2017	O 2018	P 2018	P 2017	O 2018	P 2018	P 2017	O 2018	P 2018	P 2017	O 2018	P 2018
Nitrógeno Total (mg/L)	2,86	2,50	2,35	1,34	1,30	1,45	1,89	1,70	1,98	1,65	1,60	1,75
Fósforo Total (mg/L)	<0,50	<0,50	<0,50	1,20	1,10	1,20	<0,50	<0,50	1,00	1,00	<0,50	1,10

Variable	Carén											
	EM 1			EM 2			EM 3			EM 4		
	P 2017	O 2018	P 2018	P 2017	O 2018	P 2018	P 2017	O 2018	P 2018	P 2017	O 2018	P 2018
Nitrógeno Total (mg/L)	1,10	1,10	1,00	0,50	0,70	0,70	0,60	1,00	0,90	0,30	<0,50	<0,50
Fósforo Total (mg/L)	0,50	0,50	<0,50	0,40	<0,50	<0,60	0,10	0,40	<0,70	1,50	0,30	<0,80
Variable	Chada											
	EM 1			EM 2			EM 3			EM 4		
	P 2017	O 2018	P 2018	P 2017	O 2018	P 2018	P 2017	O 2018	P 2018	P 2017	O 2018	P 2018
Nitrógeno Total (mg/L)	1,20	1,60	0,90	1,10	1,20	<0,50	<0,50	0,70	0,70	0,80	1,50	<0,50
Fósforo Total (mg/L)	0,60	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	0,70	0,60	<0,50	0,60
Coyanco primavera 2019												
Variable	EM 1			EM 2			EM 3					
Nitrógeno Total (mg/L)	0,30			0,20			0,10					
Fósforo Total (mg/L)	8,00			5,00			8,50					

Basado en los resultados obtenidos de las variables fisicoquímicas, comparados con la Norma Chilena 1333 (INN, 1987) (Tabla 7) y la guía CONAMA (2004) (Tabla 8), que utilizan la legislación vigente para clasificar la calidad de agua, se establece que la variable temperatura en el Humedal de Batuco se mantiene constante en torno a los 21°C, tanto en primavera como en verano, lo que resulta bastante inusual dado que las temperaturas varían entre estaciones del año. Esto podría indicar una condición isotermal entre temporadas, situación que sugiere movimientos de masa de agua, obteniéndose una mayor productividad primaria característica de los lagos tropicales (Wetzel, 1975) o algún otro tipo de fenómeno climático.

El cuerpo de agua Laguna Carén es el que presenta mayor incumplimiento de temperaturas en ambas normas, especialmente en primavera por las altas que se alcanzó en la EM 3 (Tabla 7). Esto sugiere alguna intervención antrópica, entre otras razones.

El Tranque Chada también presenta incumplimientos para esta variable, especialmente por las altas temperaturas alcanzadas en las EM 3 y EM 4 del periodo otoño 2018, por sobre los 30°C (Tabla 7).

En el caso del cuerpo de agua Estero Coyanco, solo la EM 3 estuvo sobre la media, la cual se ubica aguas abajo de las restantes EM.

Con respecto al oxígeno disuelto (O.D.) todos los cuerpos de agua presentaron valores promedios superiores a 5 mg/L, clasificándose según la normativa chilena, como aguas de buena calidad (Tabla 7), dicha variable está estrechamente relacionada con la cantidad de nutrientes como el fósforo y el nitrógeno. La medición de esta variable en la NCh 1333 (INN, 1987) establece que cada autoridad competente se debe pronunciar en cada caso específico, no estableciendo límites máximos de concentración. En cambio, la guía CONAMA (2004) establece en su Tabla 2 el valor de 20 µg/L como límite en estado mesotrófico para el fósforo y 400 µg/L en el mismo estado para el nitrógeno. En este caso los cuatro cuerpos de agua superaron esta

norma siendo catalogados como hipertróficos, con una importante carga de nutrientes, pero que no incidieron sobre la variable oxígeno disuelto.

En relación con los S.S.T., los cuerpos de agua que presentaron mayor concentración fueron el Humedal de Batuco y la Laguna Carén, promediando valores entre 3.000 y 800 mg/L, respectivamente; esto se condice con la relación entre la C.E., ya que el Humedal de Batuco, fue el cuerpo de agua que presentó mayor nivel de conductividad, con una media de 3.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para todas las EM. Esto puede deberse a que los suelos presentan baja permeabilidad y alta salinidad (The Nature Conservancy, 2018). La Laguna Carén, por su parte, presentó valores de C.E. en torno a 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en las cuatro EM. Ambos cuerpos superan por amplio margen los 300 $\mu\text{S}/\text{cm}$ recomendados por ambas normas. En cambio, los valores para el Tranque Chada y el Estero Coyanco son del rango aceptable para la vida acuática y promedian 150 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en ambos casos (Tabla 7).

El pH presentó una diferencia leve entre el Humedal de Batuco, el Tranque Chada y el Estero Coyanco, los cuales registraron valores entre los 7 y 9 para las tres temporadas. El único que tuvo valores alcalinos por sobre la norma (>9) correspondió a la Laguna Carén, con valores en torno a los 10.

4.3. Indicadores biológicos de calidad de agua

En los cuerpos de agua estudiados se registraron siete familias de insectos acuáticos, en su mayoría en estados inmaduros. En términos generales, los ejemplares de Corixidae (Hemiptera) fueron los más abundantes, siendo colectados mayormente en otoño. En segundo lugar, se ubicó la familia Chironomidae (Diptera), la cual tuvo un comportamiento opuesto a la anterior, ya que su captura fue mayor en primavera y en todos los cuerpos de agua. Por último, se ubicó la familia Baetidae (Ephemeroptera), la cual solo fue posible encontrar en primavera (Tabla 10).

Tabla 10. Composición de fauna entomológica acuática y suma de ejemplares colectados por cuerpo de agua y temporada (O= Otoño; P= Primavera).

Orden	Familia	Humedal de Batuco			Laguna Carén			Tranque Chada			Estero Coyanco	
		2017	2018		2017	2018		2017	2018		2019	
		P	O	P	P	O	P	P	O	P	O	P
Coleoptera	Dytiscidae	1	4	0	0	0	0	0	0	0	0	2
	Hydrophilidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
Ephemeroptera	Baetidae	10	0	32	1	0	3	2	0	3	0	3
Diptera	Chironomidae	33	12	75	1	0	2	1	0	0	2	25
	Culicidae	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1
Hemiptera	Guerridae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4
	Corixidae	12	151	51	3	5	11	6	15	11	1	0
Total		56	168	158	5	5	16	9	16	14	5	35

De manera específica, el Humedal de Batuco tuvo la mayor abundancia de insectos acuáticos de los cuatro cuerpos de agua, siendo posible la colecta de 56 y 158 individuos en primavera de 2017 y 2018, respectivamente, y 168 en otoño de 2018. De éstos, la que presentó mayor abundancia fue la familia Corixidae, la cual tuvo una evidente alza en otoño de 2018, además de presentar un aumento (de 12 a 51) en primavera de 2018 respecto de 2017 (Tabla 10).

En segundo lugar, se ubica la familia Chironomidae (Diptera), la cual presenta mayor abundancia en primavera que en otoño, doblando su abundancia relativa entre cada temporada (primavera 2017-2018). La dominancia de esta familia se puede deber a sus múltiples estrategias de alimentación (Merritt *et al.*, 2008), por estar adaptada a diferentes factores ambientales o de estrés (Domínguez y Fernández, 2009), lo que le ha permitido ser considerada como indicadora de contaminación por materia orgánica (Roldán, 1996). Además de ser capaces de habitar por extensos periodos en aguas con concentraciones de oxígeno muy bajas (Beavan *et al.* 2001; Kay *et al.* 2001; Newall y Tiller, 2002).

En tercer lugar, se ubica la familia Baetidae (Ephemeroptera), con 10 y 32 ejemplares en primavera de 2017 y 2018, respectivamente. La abundancia de esta familia indica un buen estado del agua, con poca alteración por la actividad antrópica (Jara, 2002).

En términos de riqueza, fueron cuatro las familias colectadas, principalmente en 2018 (otoño y verano). La familia Dytiscidae, se considera ocasional ya que únicamente se encontró un ejemplar en primavera de 2017 y cuatro en otoño de 2018 (Tabla 10). Esto se condice con los niveles de S.S.T. (Tabla 7), los cuales fueron elevados, pudiendo ejercer un efecto limitante para la presencia de esta especie. Con respecto a la abundancia hubo un notable descenso en la captura de ejemplares de Chironomidae en otoño, desde 109 en 2016 a 12 en 2018, obtenidos en el presente trabajo (Tabla 10).

En la Laguna Carén, la abundancia total fue de 26 ejemplares, observando un alza entre las temporadas de primavera de 2017 a 2018 de 5 a 16 individuos. La familia más abundante fue Corixidae. En términos de riqueza fue posible encontrar sólo tres familias, siendo destacable la ausencia en otoño de Baetidae y Chironomidae. En el Tranque Chada, se colectaron 11 ejemplares de la familia Corixidae en primavera de 2018. En este cuerpo de agua cabe destacar la presencia de un ejemplar

de Culicidae (Diptera) en otoño de 2018, lo cual indica agua estancada y de baja calidad (Alonso *et al.*, 2002; Domínguez y Fernández, 2009).

En el caso de Estero Coyanco, al igual que en los otros cuerpos de agua, la mayor cantidad de ejemplares se colectó en primavera, con una abundancia de 35 ejemplares y 5 en otoño (Tabla 10). Este cuerpo de agua tuvo una clara predominancia de la familia Chironomidae, lo que refleja agua pobre en oxígeno (Alonso *et al.*, 2002) lo que se contrapone con los niveles de O.D. en el cuerpo de agua y los niveles de vegetación en el lugar.

Los resultados del IBF para cada estación de muestreo y temporada se muestran en la Tabla 11.

Tabla 11. Calidad del agua según Índice Biótico de Familias (IBF) en los distintos cuerpos de agua estudiados por estación de muestreo y temporada.

Cuerpo de Agua	Temporada	Estaciones de muestreo			
		Batuco 1	Batuco 2	Batuco 3	Batuco 4
Humedal Batuco	Primavera 2017	6,9	5,5	6,1	5,1
	Otoño 2018	6,3	5,4	6,8	4,7
	Primavera 2018	6,8	5,4	6,0	6,1
		Carén 1	Carén 2	Carén 3	Carén 4
Laguna Carén	Primavera 2017	6,0	7,0	6,5	7,0
	Otoño 2018	6,2	6,0	5,5	6,2
	Primavera 2018	6,0	6,1	4,0	6,0
		Chada 1	Chada 2	Chada 3	Chada 4
Tranque Chada	Primavera 2017	6,6	6,5	6,0	6,3
	Otoño 2018	6,6	6,6	6,7	6,7
	Primavera 2018	5,9	6,3	6,5	4,5
		Coyanco 1	Coyanco 2	Coyanco 3	
Estero Coyanco	Otoño 2019	6,8	6,9	8,4	
	Primavera 2019	8,0	5,0	8,5	

Calidad según IBF	Muy buena	Buena	Regular	Mala	Muy mala
-------------------	-----------	-------	---------	------	----------

De los resultados de la aplicación del IBF realizados se determinó que las aguas con mejor calidad fueron:

En Batuco, la EM 2 y EM 4 con un valor promedio de 5, catalogado como “regular”, siendo recolectados insectos de las familias Chironomidae, Baetidae y Corixidae (Tabla 10). Las colectas en este cuerpo de agua determinaron una menor riqueza de familias, pero una mayor abundancia, lo que no permitió establecer aguas de calidad “buena”. Esto se podía explicar porque las familias Corixidae y Baetidae tienen cada una un puntaje que no aporta calidad de agua a cada estación de muestreo, por muchos individuos que existan de estas familias (Figueroa, 2004).

En segundo lugar, el cuerpo de agua Laguna Carén promedia un valor de 6,5, el cual se estableció como “malo” para las cuatro EM, en este se capturaron las mismas familias que en el Humedal de Batuco, pero en menor abundancia (Tabla 10). Cabe mencionar que en este humedal se observaron especies de fauna íctica, como carpas (*Cyprinus carpio*), las cuales presentan una mayor movilidad que los insectos acuáticos y pueden desplazarse de una estación de muestreo a otra, pero que no son buenos bioindicadores como los insectos, dado que los estados de larvas, ninfas y adultos de los insectos no presentan gran capacidad de desplazamiento y optan por quedarse en las mejores condiciones ambientales, considerando las variables fisicoquímicas críticos como: pH, temperatura, oxígeno disuelto y conductividad eléctrica (Comunicación personal, Álvaro Palma, Ing. en Recursos Naturales, Perito en Ecología, Laboratorio Criminalística Central, Policía de Investigaciones de Chile, comunicación personal, diciembre 2020).

En tercer lugar, se ubicó el cuerpo de agua Tranque Chada, con valores en torno al 5, calificada como “mala”, en este no se encontró ningún insecto en EM 1 y EM 4, las cuales corresponden a las estaciones con mayor intervención antrópica. Aunque las variables fisicoquímicas determinaron buena calidad en estas estaciones, se debe considerar que este cuerpo de agua es un embalse artificial, donde regulan cada cierto tiempo la cantidad de agua que es vaciada al embalse (Rodríguez, 2019). Con respecto a las temporadas restantes, en primavera hubo una mayor riqueza de especies que en otoño, predominando la familia Corixidae. La familia Baetidae, encontrada en la temporada de primavera determina calidades de agua aptas

para la vida acuática en las estaciones en las que está presente y coinciden con las clases de calidad de agua “buenas”, determinadas por las variables fisicoquímicas en la Norma Chilena 1333 (INN, 1987) (Tabla 7) y Guía CONAMA (2004) (Tabla 8). Por último, se ubica el Estero Coyanco con valores cercanos a 8 en las EM 1 y EM 3, catalogado como “muy malo”. En este caso se esperaba hallar en la parte alta (altitud 1.500 m.s.n.m.), efemerópteros, plecópteros y trichópteros de baja tolerancia (Roldán y Pérez, 2003). Sin embargo, se encontraron en las dos temporadas efemerópteros (Baetidae) y Chironomidae, y un individuo Culicidae, lo cual indica un mal estado ecológico del Estero. Sólo dominaron taxa de gran tolerancia a la contaminación, como Diptera (Chironomidae), capaces de habitar por extensos periodos en aguas con concentraciones muy bajas de oxígeno (Beavan *et al.*, 2001; Kay *et al.*, 2001; Newall y Tiller, 2002) (Tabla 10).

4.2. Evaluación de los cuerpos de agua según Índice de Calidad de Bosque de Ribera (QBR)

La vegetación de riberas en el Humedal de Batuco se presenta en distintos grados de cobertura, con sectores dominados por juncos de las especies *Schoenoplectus californicus* y *Typha angustifolia*, cuya altura varía entre 1,5 y 3,0 m (Apéndice I).

En Laguna Carén las principales formaciones de vegetación se encuentran en las EM 1 y EM 2, siendo parches poco abundantes y con alta intervención antrópica, destacando *Acacia caven*, *Maytenus boaria*, *Cynara cardunculus* y *Rubus ulmifolius* (Apéndice I).

Las especies dominantes en el Estero Coyanco fueron *Lithraea caustica* y *Kageneckia oblonga*. Estas especies, ambas arbóreas, disminuyen su presencia a medida que se avanza aguas abajo, dando paso a especies arbustivas como *Colliguaja odorifera* y una mayor presencia de herbáceas como *Nasella chilensis* y *Centaurea solstitialis* (Apéndice I).

En la Tabla 12 se presenta la evaluación en cada cuerpo de agua por EM y temporada, de acuerdo con el Índice de Calidad de Bosque de Ribera (QBR).

Tabla 12. Evaluación de los cuerpos de agua por temporada y estación de muestreo según el Índice de Calidad del Bosque de Ribera (QBR).

Cuerpo de Agua	Temporada	Estaciones de muestreo			
		1	2	3	4
Batuco	Primavera 2017	55	48	53	50
	Otoño 2018	53	45	50	48
	Primavera 2018	56	47	54	50
Carén	Primavera 2017	1	2	3	4
	Otoño 2018	22	19	14	20
	Primavera 2018	25	20	15	23
Chada	Primavera 2017	27	21	17	24
	Otoño 2018	1	2	3	4
	Primavera 2018	15	15	20	14
Coyanco	Otoño 2018	20	19	20	15
	Primavera 2018	20	18	19	15
		1	2	3	-

	Primavera 2019	70	72	75	-
--	-------------------	----	----	----	---

Calidad según Índice QBR	Muy buena	Buena	Regular	Mala	Muy mala
--------------------------	-----------	-------	---------	------	----------

Estos resultados demostraron que el cuerpo de agua que posee un mayor grado de perturbación corresponde al cuerpo de agua Laguna Carén, especialmente en la EM 3, seguida por el Tranque Chada con valores de alteración fuerte, vale decir, mala calidad. Esto puede deberse a que el primero está más próximo a asentamientos humanos e infraestructura caminera, y el segundo, presenta uso de suelo con fines productivos los cuales causan modificación y fragmentación de los hábitats ribereños, resultando bajas calificaciones de QBR (Tüzün y Albaryrak, 2005).

En tercer lugar, se ubica el cuerpo de agua Humedal de Batuco con valores cercanos a 45, que indica un inicio de alteración importante y una calidad regular en la vegetación ribereña, este cuerpo de agua también se inserta en una zona altamente urbanizada lo que puede atribuirse la mala puntuación.

Por último, el cuerpo de agua con mejor calidad de vegetación asociada corresponde al Estero Coyanco, con valores en torno a los 70, lo que indica un bosque ligeramente perturbado, de buena calidad (Tabla 12).

En relación con la baja puntuación QBR de los cuerpos de agua, Laguna Carén, Tranque Chada y Humedal de Batuco, puede obedecer a las múltiples intervenciones antrópicas existentes en los ecosistemas ribereños, entre los que destacan la habilitación de terrenos para la agricultura, la abundancia de especies exóticas invasoras y la proximidad a centros poblados y/o actividades industriales, entre otras (Tabla 12).

4.2. Análisis de correlación de variables

4.2.1. Humedal de Batuco

En el cuerpo de agua Humedal de Batuco la correlación más clara se da entre la variable sólidos suspendidos totales (S.S.T.) y conductividad eléctrica (C.E.), donde se observa una correlación positiva perfecta (+1) y un grado de confiabilidad mayor al 95% ($p=0,01$). Lo anterior se condice con lo propuesto por Fipps (2003), donde señala esta estrecha relación, ya que la C.E. determina la cantidad de iones, sales y metales, es decir, parte de los sólidos suspendidos en el agua (Figura 8).

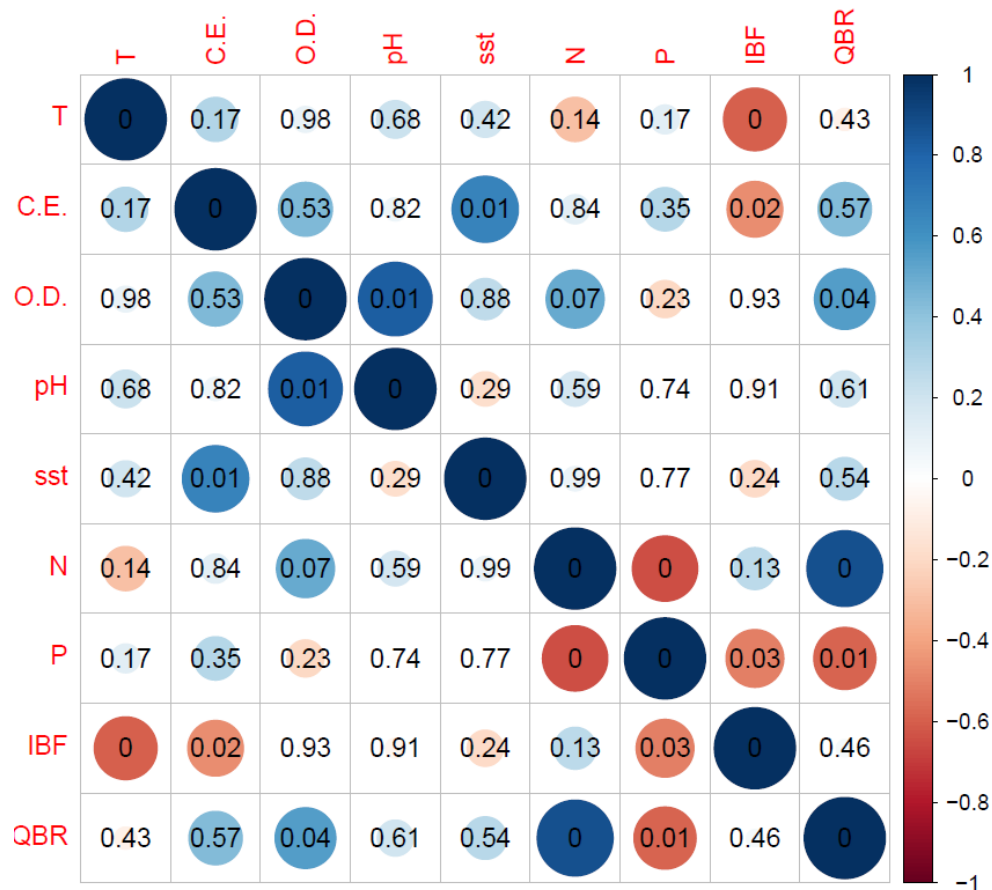


Figura 8. Análisis de correlación de Pearson para las variables medidas y los índices estimados en el cuerpo de agua del Humedal de Batuco. Se observa el grado de relación de variables (tamaño y color de las esferas desde -1(rojo oscuro) a 1 (azul oscuro) y el porcentaje de confiabilidad (p -value valor numérico en el interior de la esfera).

Tal como se señaló anteriormente, la temperatura (T) varía entre cada estación, por lo que solo es comparable en la misma estación del año, en este caso primavera.

Hubo una correlación negativa de la T con el IBF con un alto grado de confiabilidad ($p=0,01$), esto se traduce que a mayor T menor IBF y viceversa (Figura 8).

Con respecto al Oxígeno Disuelto (O.D.), el mayor grado de correlación se dio con la variable pH, esta última está en sincronía con los ciclos estacionales de la concentración de clorofila-a y temperatura superficial del cuerpo de agua (Chávez y Messié, 2009), ligándola principalmente con la productividad primaria y el afloramiento, respectivamente (Takahashi *et al.*, 1993). Esto se observa en otros sistemas de afloramiento en el mundo, no solo con relación al pH sino a otras variables de carbono como la alcalinidad total y la presión parcial de CO_2 (Takahashi *et al.*, 2014) (Figura 8).

En relación con los nutrientes, se observa una correlación negativa entre el Fósforo (P) y el Nitrógeno (N) (Figura 8), existiendo una mayor concentración de este último. El Nitrógeno también está fuertemente relacionado con la vegetación ribereña (QBR), siendo un indicio de que ésta se está alimentando del nitrato disponible en el agua, por lo tanto, mejorando su condición, lo que no ocurre con el Fósforo (Figura 8).

El Índice Biótico de Familia en este cuerpo de agua presentan una correlación negativa con la Temperatura ($-0,8$; $p=0,01$), la C.E. ($-0,7$, $p=0,02$) y el fósforo ($0,6$; $p=0,03$) (Figura 8).

4.2.2. Laguna Carén

La Figura 9 presenta la correlación de variables en el cuerpo de agua Laguna Carén, en este se observa el mayor grado de relación negativa entre la T y la C.E. (y por ende los S.S.T.) y de correlación positiva entre la T y el pH. Esto último debido a que con un mayor aumento de T las vibraciones moleculares aumentan, lo que se traduce en una mayor capacidad de ionización del agua y por ende mayor formación de iones hidrogeno generando un descenso en el pH.



Figura 9. Análisis de correlación de Pearson para las variables medidas y los índices estimados en el cuerpo de agua de Laguna Carén. Se observa el grado de relación de variables (tamaño y color de las esferas desde -1(rojo oscuro) a 1 (azul oscuro) y el porcentaje de confiabilidad (p-value valor numérico en el interior de la esfera).

En este cuerpo de agua también se observa una relación inversa entre el O.D. y de Fósforo, lo que da indicios de un proceso de eutrofización dado principalmente por este nutriente. Esto dado que a medida que aumenta este nutriente en el cuerpo de agua, mayor será la productividad primaria y la biomasa vegetal, lo que se traduce en una reducción de la cantidad de oxígeno disponible (O.D.) (Figura 9).

En relación con las variables biológicas se observa una correlación negativa entre el IBF y el Nitrógeno (-0,6; $p=0,04$), y en menor medida con la C.E. (-0,5; $p=0,2$). Esto último, es similar a lo que ocurrió en el Humedal de Batuco. En términos de relaciones directas, este IBF se asocia positivamente a los SST y a la cantidad de

Fósforo en agua, relación opuesta a lo ocurrido en el Humedad de Batuco (Figura 9).

4.2.3. Tranque Chada

Para el caso de Chada, los resultados expuestos en la Figura 10 señalan una correlación positiva entre las variables C.E., pH y S.S.T. y una correlación negativa entre el O.D. y el fósforo, lo que indica un grado de eutrofización del sistema.



Figura 10. Análisis de correlación de Pearson para las variables medidas y los índices estimados en el cuerpo de agua del Tranque Chada. Se observa el grado de relación de variables (tamaño y color de las esferas desde -1(rojo oscuro) a 1 (azul oscuro) y el porcentaje de confiabilidad (p-value valor numérico en el interior de la esfera).

En términos biológicos, el IBF presenta una correlación positiva (0,70; $p=0,01$) con la vegetación ribereña, lo que indica que la masa vegetal aledaña al cuerpo de agua actúa como hábitat de insectos acuáticos que son bioindicadores de mala calidad (Corixidae), promoviendo su desarrollo. Otra relación positiva, aunque en menor

medida, se observa con la cantidad de O.D. (0,4; $p=0,32$) (Figura 10). La vegetación de ribera (QBR) se relaciona negativamente con la cantidad de fósforo (-0,60; $p=0,04$) (Figura 10)

4.3. Análisis de componentes principales e índice de calidad de agua

En el presente apartado se estudia la correlación entre variables mediante un análisis de componentes principales (ACP), en este se introdujeron las nueve variables de las diferentes estaciones de muestreo para los periodos señalados. Los resultados se presentan en las Figuras 11 y 12.

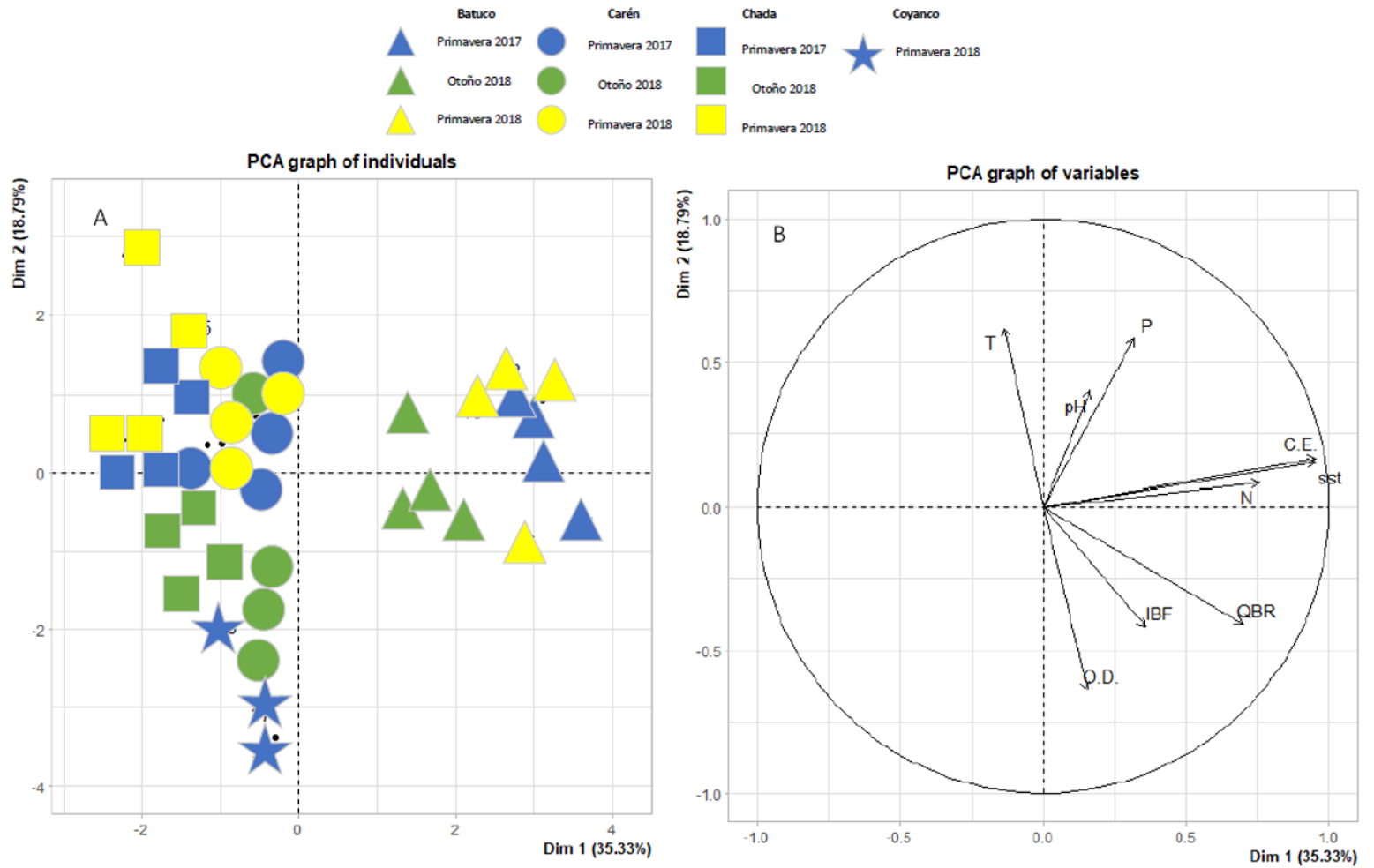


Figura 11. Análisis de componentes principales (Dim 2 vs Dim 1) para los cuatro cuerpos de agua con sus EM en las diferentes temporadas de monitoreo. A. Gráfico de individuos. B. Gráfico de variables. Variables: T= Temperatura, P=Fósforo, C.E.: Conductividad Eléctrica, SST=Sólidos Suspendidos Totales, N=Nitrógeno, QBR= Índice de Calidad de Bosque de Ribera, IBF=Índice Biótico de Familia, O.D.=Oxígeno Disuelto.

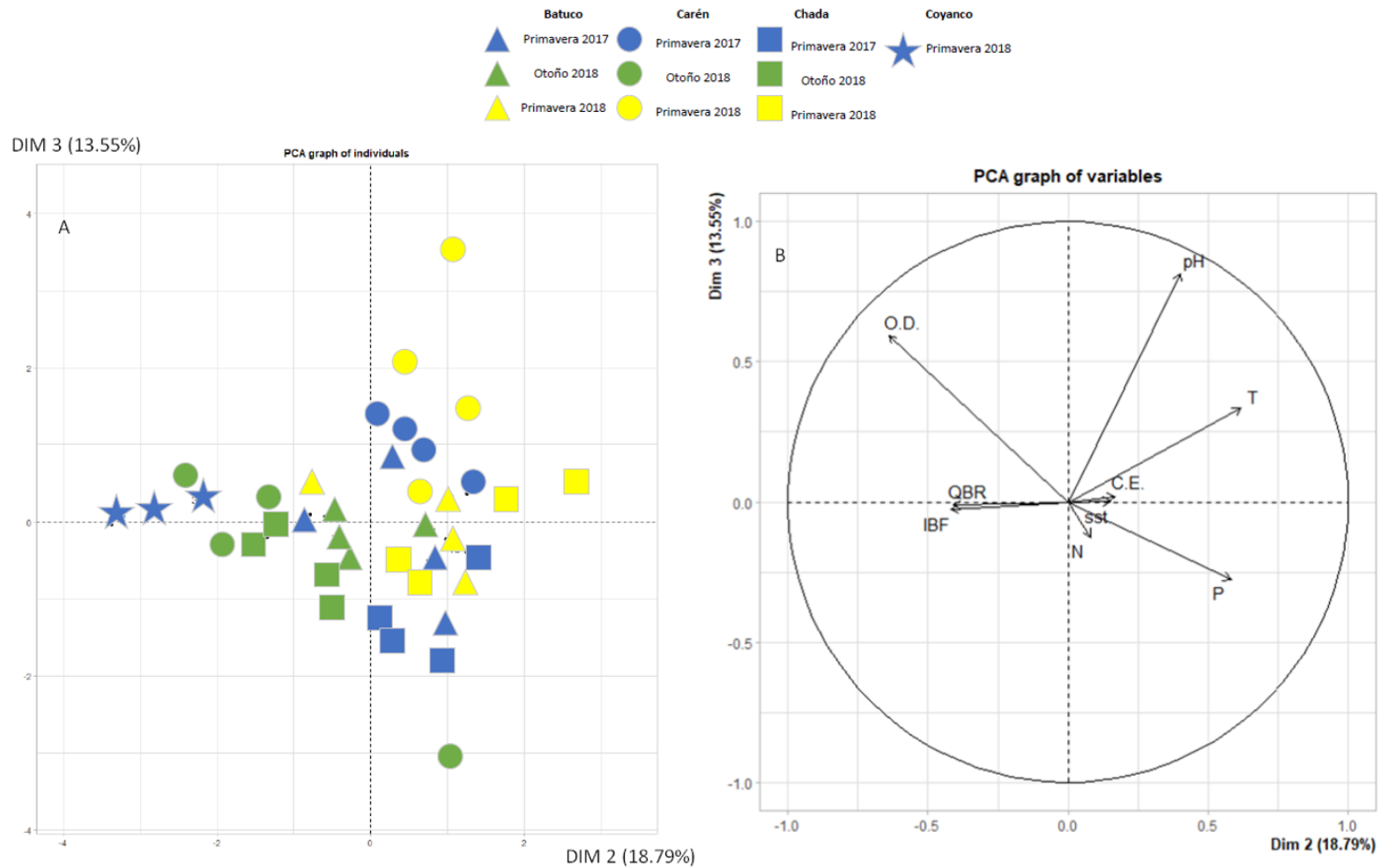


Figura 12. Análisis de componentes principales (Dim 2 vs Dim 3) para los cuatro cuerpos de agua con sus EM en las diferentes temporadas de monitoreo. A. Gráfico de individuos. B. Gráfico de variables. Variables: T= Temperatura, P=Fósforo, C.E.: Conductividad Eléctrica, SST=Sólidos Suspendidos Totales, N=Nitrógeno, QBR= Índice de Calidad de Bosque de Ribera, IBF=Índice Biótico de Familia, O.D.=Oxígeno Disuelto.

Aunque el ACP define tantos ejes como variables, los tres primeros ejes explicaron el 67,67% de toda la variación del conjunto de datos, tal como se presenta en la Tabla 13.

Tabla 13. Resumen de los valores propios producidos por el ACP utilizando los valores estandarizados de 9 variables de calidad del agua para las tres temporadas estudiadas.

Eje de CP	Valor propio	% de la varianza explicado	% acumulado explicado
1	3,18	35,3	35,3
2	1,69	18,8	54,1
3	1,22	13,5	67,7
4	1,07	11,9	79,6
5	0,83	9,3	88,9
6	0,48	5,3	94,2
7	0,33	3,7	97,9
8	0,16	1,8	99,7
9	0,28	0,3	100,0

El primer componente comprendió el 35,33% de la variabilidad total, agrupando por sus coeficientes más altos a los S.S.T. (0,95), la C.E. (0,95), el nitrógeno (0,758) y la vegetación de ribera (QBR) (0,70). El segundo componente (18,80%) agrupó a la temperatura (0,61) y el fósforo (0,58). Por último, el tercer componente (13,5%) agrupó al pH (0,81) y el O.D. (0,59) (Tabla 14).

Tabla 14. Resumen de los coeficientes de correlación entre las puntuaciones de los componentes principales (PC) y las cargas de cada variable en los respectivos ejes de los PC.

Componente principal	Varianza explicada (%)	Variables ambientales	Ponderación	Valor-p
PC1	35,3	S.S.T	0,953	$9,73 \cdot 10^{-21}$
		C.E.	0,952	$9,06 \cdot 10^{-21}$
		N	0,758	$2,17 \cdot 10^{-8}$
		QBR	0,700	$7,03 \cdot 10^{-7}$
		IBF	0,357	$2,55 \cdot 10^{-2}$
		P	0,317	$4,87 \cdot 10^{-2}$
PC2	18,8	T	0,617	$2,82 \cdot 10^{-5}$
		P	0,582	$9,95 \cdot 10^{-5}$
		pH	0,401	$1,13 \cdot 10^{-2}$
		QBR	-0,409	$9,72 \cdot 10^{-3}$
		IBF	-0,418	$7,95 \cdot 10^{-3}$
		O.D.	-0,639	$1,18 \cdot 10^{-5}$
PC3	13,6	PH	0,813	$3,01 \cdot 10^{-10}$
		O.D.	0,593	$6,77 \cdot 10^{-5}$
		T	0,333	$3,82 \cdot 10^{-2}$
Acumulado	62,7			

La Tabla 14 que contiene los componentes principales para los periodos primavera 2017, otoño 2018 y primavera 2018 es una buena forma de mostrar la ordenación de los resultados. En este caso, el cuerpo de agua con mayor cantidad de S.S.T., C.E. y concentración de nitrógeno fue el Humedal de Batuco, mientras que los cuerpos de agua con una menor cantidad de S.S.T., baja cantidad de nutrientes y C.E., correspondieron a la Laguna Carén, Tranque Chada y Estero Coyanco (Figura 11.A.)

Una vez realizado el ACP, identificadas aquellas variables de mayor significancia y determinada la ponderación de cada una en el análisis, se procedió a la elaboración del índice, el cual estableció que el cuerpo de agua con una mejor calidad de agua correspondió al Humedal de Batuco en las tres temporadas con resultados en torno a 3,5 (Muy buena), seguido por la Laguna Carén con valores en torno al 1 (Degradada), y por último, los cuerpos de agua Tranque Chada y Estero Coyanco que presentaron la peor calidad con valores en cercanos al 0,15, los cuales se catalogaron como “Muy degradados” (Figura 13).

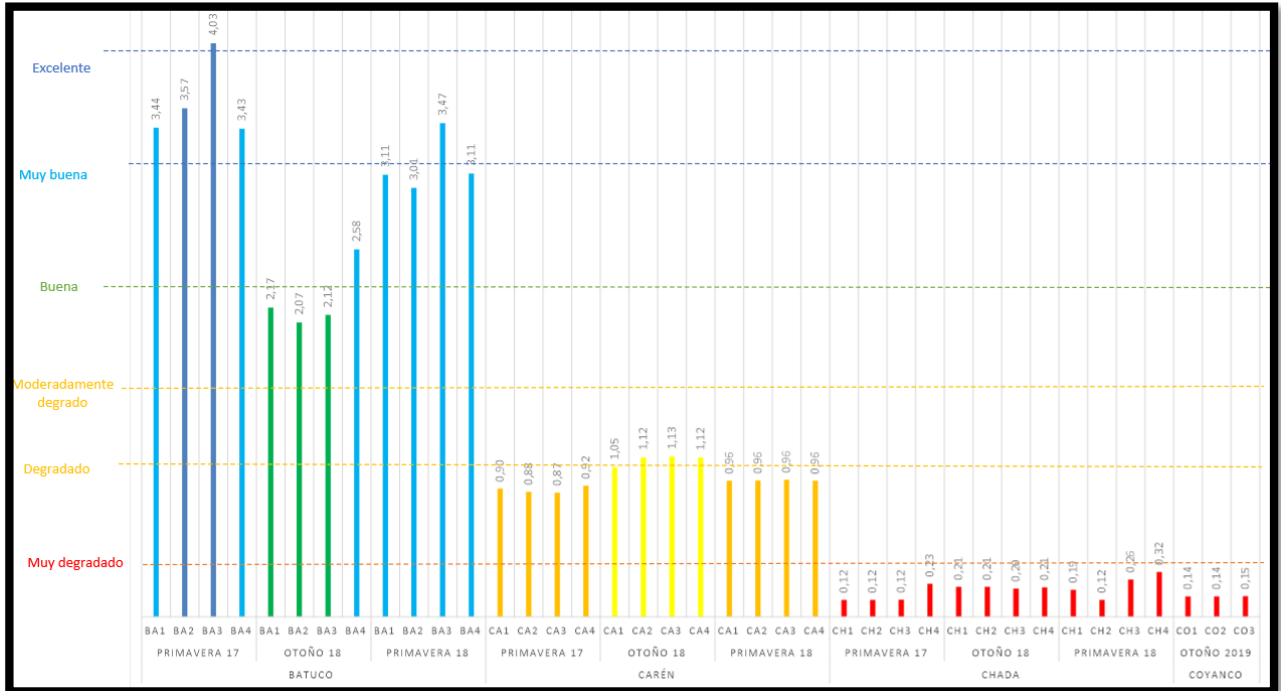


Figura 13. Calidad de agua a partir del Índice de Calidad del Agua (ICA) según estaciones de muestreo de cada cuerpo de agua y temporada.

El Humedal de Batuco fue el cuerpo de agua con mejor índice según el modelo, esto puede deberse a que corresponde a un cuerpo de agua aeróbico y la columna de agua no presenta estratificación para las variables temperatura, O.D., pH y C.E.; no obstante, dada su ubicación y al desarrollo urbano e industrial de sus alrededores ha experimentado una serie de alteraciones que han modificado su estado natural (Mellado, 2008).

En segundo lugar, se ubicó el cuerpo de agua Laguna Carén (Figura 13), siendo catalogado como “Degradado” para los periodos de primavera y otoño de 2017 y 2018, y “Moderadamente degradado” en otoño de 2018 (Figura 13).

En el Tranque Chada, el resultado del modelo lo catalogó como “Muy degradado”, presentando valores en torno al 0,15 (Figura 13). Esto podría explicarse porque este cuerpo de agua es embalsado, que al llenarse de manera repentina debido a la apertura de la bocatoma aguas arriba, aumenta el volumen con carga de materia orgánica y de metales en el agua, debido a la acumulación de tierra, arenas y restos de vegetación que entran al lago a través de los cauces naturales (Kurosawa, 2003). Otras de las posibles causas es que se encuentra en un entorno agrícola donde

ingresan de manera difusa fertilizantes y plaguicidas a las aguas, lo que deteriora su calidad.

El Estero Coyanco, al igual que el Tranque Chada, fue catalogado en condición “Muy degradada” (Figura 13), lo cual se condice con los resultados obtenidos a partir del IBF, ya que la presencia de insectos de la familia de Culicidae y Chironomidae (Diptera) (Tabla 10), indican baja calidad de recurso hídrico (McGavin, 2001). La explicación puede estar dada también por el turismo intensivo que se desarrolla en la zona (Buscaglia, 2006) o la actividad minera que se extiende aguas arriba del lugar.

En relación con esta evaluación, se observan resultados similares a los obtenidos por MOP y DGA en el 2020 (MOP, 2020), donde se estableció como criterio de evaluación el objetivo 6 de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), el cual no solo pretende garantizar un agua potable segura y a un precio asequible para la ciudadanía, sino que también proteger y conservar los ecosistemas relacionados con el agua, como son los humedales.

5. Discusión

La evaluación de la calidad del agua a partir de variables fisicoquímicas de los cuerpos de aguas estudiados presentados en las Tablas 7 y 8, (NCh 1333 (INN, 1987); guía CONAMA (2004)), muestran que los cuerpos de agua con mayor grado de cumplimiento correspondieron al Tranque Chada y el Estero Coyanco, seguido por el Humedal de Batuco y Laguna Carén, lo que no significa que tuvieran mejor calidad de agua con fines de conservación.

El Tranque Chada, si bien tuvo un alto grado de cumplimiento en las variables de C.E., O.D., pH y S.S.T., no lo tuvo en la temperatura. Esta última, influye de forma muy significativa en las especies de insectos acuáticos y en el estado del cuerpo de agua, determinando su metabolismo, la productividad primaria, la respiración y descomposición de materia orgánica; además que está estrechamente relacionada con la solubilidad del oxígeno disuelto, ya que a mayor temperatura disminuye la solubilidad de este elemento, lo que afecta negativamente la calidad del agua (Posada *et al.*, 2013). Por otra parte, el oxígeno disuelto (O.D.), por debajo del límite permitido, dificulta la presencia de vida acuática, siendo un indicador de contaminación por materia orgánica (Fernández, 2010), tal como se evidenció en la EM 1 en primavera 2017 y 2018 y EM 4 en primavera 2018 (Tabla 7).

La variable pH se mantuvo entre los 6,5 y 7 en el Humedal de Batuco, el Tranque Chada y el Estero Coyanco; sin embargo, el único cuerpo de agua que presentó valores por sobre la norma fue la Laguna Carén (Tabla 7). Esto se puede deber a un aumento en la cantidad de fitoplancton, y por ende, de la tasa fotosintética, ya que existe una relación directa entre los niveles de clorofila y pH, producto de que las algas consumen anhídrido carbónico durante la fotosíntesis, lo que desplaza el equilibrio de los carbonatos, tal como lo señala Fernández (2010).

La C.E. (estrechamente relacionada con los S.S.T.) presentó los mayores niveles en la Laguna Carén y el Humedal de Batuco. Al respecto, Ward (1992) mencionó que los niveles altos de material suspendido en el agua reducen la visión y alteran los hábitos depredadores de organismos acuáticos, lo que podría explicar en parte los valores obtenidos en este estudio.

Con respecto a los nutrientes en el agua, el cuerpo de agua con mayor cantidad de Nitrógeno fue el Humedal de Batuco, seguido por Laguna Carén, Tranque Chada y Estero Coyanco (Tabla 9). Tal como se presentó en el análisis de correlación, los nutrientes están fuertemente influenciados con la vegetación ribereña, ya que existe absorción de estos elementos por plantas y por ende, una desnitrificación del agua, este proceso exporta el nitrógeno del agua hacia el aire bajo condiciones anaeróbicas (suelos saturados, con bajo potencial redox, y alta disponibilidad de C orgánico), y las plantas lo fijan (mientras estén en crecimiento) siempre y cuando las raíces (< 2mm de diámetro) estén en contacto con la solución, de ahí la importancia del tiempo de retención del agua en el horizonte orgánico del suelo (Dhondt *et al.*, 2006; Hill, 1996), tal como se observa en Batuco. Con respecto a la relación inversa que existe entre el fósforo y la vegetación ribereña (Figura 8) varios de los estudios realizados indican que la tasa de retención de fósforo por la zona ripariana es baja, siendo menos efectiva si el buffer no es continuo ni uniforme, incluso, puede aumentar el contenido de fósforo disuelto por desorción (Uusi kämppä *et al.*, 1997; Reed y Carpenter, 2002).

En relación con la abundancia de familias de insectos en los cuerpos de agua, destaca la presencia de Corixidae en todos los cuerpos de agua (Tabla 10). Estos son bioindicadores de mala calidad de agua, sin embargo, juegan un papel fundamental en la estructura de los ecosistemas acuáticos, ya que son altamente benéficos para el hombre al ser depredadores de diferentes larvas de mosquitos transmisores de enfermedades y a la vez éstos son alimentos de algunas especies de peces (Domínguez y Fernández, 2009; Mazzucconi *et al.*, 2009).

Al igual que Corixidae, las familias Baetidae y Chironomidae se encontraron en los cuatro cuerpos de agua (Tabla 10). La familia Chironomidae, según Artimage *et al.* (1995), tiene una amplia adaptación a distintas condiciones del medio acuático debido a su alta fecundidad, ciclos de vida cortos y emergencia continua, lo que les permite tolerar variadas perturbaciones; además, este grupo es más eficiente en su dispersión y colonización que otros, lo que determina su importancia en la resiliencia y estabilidad del ecosistema (García *et al.*, 2008). Tanto Baetidae, como Chironomidae, en contraste con otras familias menos tolerantes, permiten inferir sobre el estado de conservación del hábitat fluvial; además, estas familias presentan una amplia variabilidad en cuanto a la preferencia por los hábitats acuáticos (Domínguez y Fernández, 2009), y algunas especies pueden presentar tolerancia a las condiciones de baja concentración de oxígeno y enriquecimiento de nutrientes (Collier y Quinn, 2003; Gallardo-Mayenco, 2003).

Otra de las particularidades común a los cuatro cuerpos de agua, fue la diferencia entre primavera-otoño, lo que puede deberse a que al aumentar la vegetación existe una mayor disponibilidad de refugios y alimento, que se traduce en que los insectos depredadores tengan más recursos para cubrir sus necesidades (Ramírez *et al.*, 2017).

De manera específica, en el Humedal de Batuco y el Estero Coyanco se capturaron ejemplares de la familia Dytiscidae, lo que Leech (1948) registró como indicadores de "aguas limpias". En comparación con los resultados obtenidos en 2016 por Rodríguez (2019) en este mismo cuerpo de agua y con la misma metodología, en el presente trabajo no hubo colecta de la familia Hydrophilidae (Coleoptera), esto puede deberse a los argumentos señalados por Ward (1992).

Cabe destacar la ausencia en los cuatro cuerpos de agua del orden Odonata (al cual pertenecen Anisoptera y Zygoptera), que sí fue detectado por Rodríguez (2019). Este orden es considerado un agente útil para el monitoreo ambiental debido

principalmente a que muchas especies muestran respuesta específica a alteraciones ambientales (Clavijo y Cázares, 2016). Además, que la presencia de Anisoptera en estados de larvas y adultos son muestra de un ecosistema acuático sano; cuando están ausentes es un indicio de que el medio está contaminado, debido a que las larvas requieren buen oxígeno y agua sin contaminación para desarrollarse, junto con desempeñar un papel vital en la ecología de sistemas de aguas en movimiento, ya que procesan la materia orgánica y promueven el flujo de alimento a otros organismos (Gil-Palacio, 2007).

El análisis de correlación de los datos obtenidos en el Humedal de Batuco indica que el IBF de estos insectos acuáticos no presenta correlación positiva con ninguna variable fisicoquímica, mientras que tiene correlación negativa con temperatura, la C.E. y el fósforo (Figura 8), esto quiere decir que ambas variables afectan la entomofauna acuática del cuerpo de agua. En Laguna Carén se repite el mismo patrón, ya que los resultados indican una escasa correlación positiva entre las variables fisicoquímicas. De manera negativa existe una relación entre la C.E. (igual que en el Humedal de Batuco) y el nitrógeno (Figura 9). Esta última variable contribuye al aumento de nutrientes en el lugar, por lo que, a mayor cantidad de nitrógeno, menor IBF, lo que determina una mejor calidad de agua. En el Tranque Chada se evidenció una estrecha relación entre los índices biológicos (IBF y QBR), estableciendo que a mejor calidad de agua (mediante bioindicadores) menor índice de vegetación. En términos de correlación negativa, se repite nuevamente la C.E. en este cuerpo de agua (Figura 10) lo que indica que esta variable facilita el desarrollo y establecimiento de los insectos acuáticos.

En relación con el ACP, las variables con mayor grado de significancia para el modelo fueron los S.S.T., seguido por la C.E., nitrógeno y Q.B.R. En comparación con el análisis de Pearson, el cual establece una correlación inversa entre los S.S.T y los IBF, se puede inferir que el ACP incluye de manera indirecta los índices bióticos. En este caso el cuerpo de agua con mejor calidad fue el Humedal de Batuco, seguido por Laguna Carén, el cual fue catalogado como degradado, una de las causas

principales por la que este cuerpo de agua puede ver deteriorada su calidad está relacionada con la presencia de varios metales pesados en sus sedimentos debido al alto grado de impacto que la actividad minera cuprífera ejerció en la zona durante 30 años. Este tipo de agentes contaminantes podrían explicar el episodio de mortandad de peces y aves para otros cursos o cuerpos de agua de baja profundidad y lento flujo, que reciben diariamente una alta carga contaminante, puntual o difusa, donde se conjugan ecosistemas acuáticos y una elevada concentración de metales pesados en los sedimentos (Pizarro *et al.*, 2009). Seguido por el Tranque Chada y el Estero Coyanco, los cuales fueron catalogados como muy degradados.

Este trabajo constituyó una aproximación macro, que permitió identificar el grado de conservación de los humedales a través del ICA, que evalúa variables fisicoquímicas y biológicas del agua. De modo que entrega una visión de gestión y podría ser una herramienta de evaluación integrada del estado actual y de medidas que se tomen en términos de restauración y/o protección de estas microcuencas urbanas, las cuales en general, presentan una pobre calidad de sus aguas debido a procesos de eutrofización (Wahl *et al.*, 1997; Dorioz *et al.*, 1998; Wernick *et al.*, 1998) y la contaminación ambiental de una variedad de fuentes (Holland *et al.*, 1995; Fisher *et al.*, 1999; Lee y Bang, 2000), inclusive aquellos bajo figuras de protección. Es probable que se requiera un ajuste a la diversidad de humedales, infraestructura y usos humanos, siendo este estudio una aproximación.

6. Conclusiones

Las evaluaciones fisicoquímicas realizadas en estos cuerpos de agua mostraron una mala calidad para el establecimiento y el desarrollo de la vida acuática, especialmente por las variables C.E. y S.S.T.; no obstante, el concepto de calidad para estos fines no es único y establecer límites resulta solo una aproximación, dado que son múltiples variables que inciden en la determinación del estado de calidad y los fines a los cuales se pretende destinar.

Basado en la cantidad de incumplimiento de las variables fisicoquímicas del agua mediante la NCh 1333 y la Guía CONAMA, el Humedad de Batuco y Laguna Carén fueron los de peor calidad, seguido del Tranque Chada y Estero Coyanco, respectivamente.

Las familias de insectos acuáticos más abundantes en las temporadas estudiadas fueron Corixidae (Hemiptera) (54%), Chironomidae (Diptera) (31%) y Baetidae (Ephemeroptera) (11%), siendo, según los puntajes del Índice Biótico de Familia (IBF), las dos primeras, bioindicadoras de mala calidad de agua, en cambio, la última, Baetidae, de buena calidad. Estas tres familias se presentan en todos los cuerpos de agua.

El mayor grado de correlación entre variables fisicoquímicas y biológicas estuvo dado por el IBF y la C.E., siendo ésta de carácter negativo, lo que se traduce en que, a mayor cantidad de iones disueltos en agua, menor será el IBF, por ende, mejor calidad de agua. Una muestra de lo anterior es la alta presencia de Chironomidae, los cuales habitan diferentes tipos de hábitat, particularmente en aquellos con escasa concentración de oxígeno disuelto y mayor cantidad de partículas en suspensión, condiciones que se incrementan en corrientes de agua que tienen áreas ribereñas desprotegidas. Esto se evidenció en Batuco, principalmente por la abundancia de la familia Baetidae, la cual determina una mejor calidad de agua, sin

embargo, esto es solo una aproximación. El Índice de Calidad de Bosque de Rivera (QBR) tuvo relaciones variables y dependió de cada cuerpo de agua estudiado.

A partir del ACP fue posible construir un índice de calidad de agua (ICA), el cual estableció que el cuerpo de agua con mejor calidad fue el Humedal de Batuco (dado principalmente por la C.E. y los S.S.T), seguido por Laguna Carén, Tranque Chada y Estero Coyanco. Este ACP determinó que las variables de mayor significancia en el modelo fueran los S.S.T. y la C.E., las cuales tuvieron una correlación inversa con los IBF.

Como medida de manejo se sugiere el reforzamiento de acciones de preservación y conservación de estos ecosistemas, restringiendo la descarga de contaminantes hacia los cursos de agua superficiales, como el acceso a estos lugares con fines recreativos, junto a la mejora de las normas de construcción de asentamientos humanos a su alrededor.

7. Bibliografía

- Alvarado, A.; Huerta, A. y Palma, A. 2018. Variación estacional de la diversidad de coleópteros epigeos en la Laguna Carén (Santiago, Chile). *Revista Colombiana Entomología* 44 (2): 266-272.
- Alonso, A.; De la Puente, M. y Camargo, J.A. 2002. Valoración de los efectos de la contaminación orgánica sobre la comunidad de macroinvertebrados bentónicos en la cabecera del río Henares (Guadalajara, España). XI Congreso de la Asociación Española de Limnología y III Congreso Ibérico de Limnología. Madrid 17-21 Junio.
- Amigo, J. y Ramírez, C. 1998. A bioclimatic classification of Chile: woodland communities in the temperate zone. *Pl. Ecol.* 136: 9-26.
- Antipán, P. 2014. Estudio de factibilidad de conexión de pequeñas centrales Hidráulicas de pasadas al Sistema Interconectado Central (SIC). Memoria Ingeniero Civil Electricista. Universidad de Chile. Santiago, Chile.
- Artimage, P.; P. Craston y L. Pinter. 1995. *The Chironomidae: Biology and ecology of Non-Biting Midges*. Chapman & Hall. London. 572 p.
- Beavan, L.; Sadler, J. y Pinder, C. 2001. The invertebrate fauna of a physically modified urban river. *Hydrobiologia* 445: 97-108.
- Bis, B.; Zdanowicz, A. y Zalewski, M. 2000. Effects of catchment properties on hydrochemistry, habitat complexity and invertebrate community structure in a lowland river. *Hydrobiologia* 422: 369-387.
- Buscaglia, A. 2006. Zonificación de las áreas naturales de uso público según impactos ambientales del uso recreativo. Comuna de San José de Maipo Región Metropolitana, Memoria Geógrafo. Universidad de Chile. Santiago, Chile.
- Callisto, M.; M. Moreno y F. Barbosa. 1999. Habitat diversity and benthic functional trophic groups at Serra Do Cipó southeast Brazil. *Biol. Brazil*, 61(2): 259-266.

Castillo, O. y Falcón, E. 1961. Informe preliminar sobre las condiciones geohidrológicas de las zonas de Colina, Batuco y Lampa. Instituto de Investigaciones Geológicas, Santiago.

Chávez, F. y Messié, M. 2009. "Seasonal regulation of primary production in eastern boundary upwelling systems." *Progress in Oceanography* 134: 1-18.

Chow-Fraser, P. 2006. Development of the Water Quality Index (WQI) to assess effects of basin-wide land-use alteration on coastal marshes of the Laurentian Great Lakes. pp. 137-166. In: Simon, TP; Stewart, PM (eds). *Coastal Wetlands of the Laurentian Great Lakes: Health, Habitat, and Indicators*. Authorhouse, Bloomington.

Clavijo, C. y Cázares, E. 2016. Odonatos como bioindicadoras de calidad de agua en Surutato, Sinaloa. Sinaloa, México. *Boletín de la Sociedad Mexicana de Entomología* Vol:2, p. 1-15

Coddington, J.; Griswold, C.; Silva, D.; Peñaranda, E. y Scott, S. 1991. Designing and testing samplings protocols to estimate biodiversity in tropical ecosystems. Pp. 44-60. In: *The unity of evolutionary biology: Proceedings of the Fourth International Congress of Systematic and Evolutionary Biology* (ed. E.C. Dudley). Portland, Oregon: Discorides Press.

Collier, K. y J. Quinn. 2003. Land-use influences macroinvertebrate community response following a pulse disturbance. *Freshwater Biology* 48: 1462-1481.

CONAMA (Comisión Nacional del Medio Ambiente). 1998. Análisis de la contaminación de aguas subterráneas en la Región Metropolitana por aguas servidas. Estudio N° 22-0023, Comisión Nacional de Medio Ambiente, Santiago de Chile.

CONAMA. 2004. Guía para el desarrollo de Normas para la Protección de las Aguas Continentales Superficiales. CONAMA, Gobierno de Chile, Santiago, Chile. 23 p.

De Miguel, A. 2006. Desarrollo de un sistema de pago por servicios ambientales en la Laguna Carén. Trabajo de titulación Ingeniero de Ejecución en Ambiente. Universidad de Santiago de Chile. Santiago, Chile.

Dhondt, K.; Boeck, P.; Verhost, N.; Hofman, G y Van Cleemput, O. 2006. Assessment of temporal and spatial variation of nitrate removal in riparian zones. *Environmental Monitoring and Assessment* 166: 197-215.

Di Castri, F. y Hajek, E. 1976. *Bioclimatología de Chile*. Vicerrectoría Académica, Universidad Católica de Chile, Santiago.

Domínguez, E. y Fernández, H. R. 2009. *Macroinvertebrados Bentónicos Sudamericanos. Sistemática y Biología*. Tucumán, Argentina. Fundación Miguel Lillo.

Dorioz, J.M.; Casell, E.A.;Orand, A. y Eisenman, K.G. 1998. Phosphorus storage, transport and export dynamics in the Foron River Watershed. *Hydrological Processes* 12:285-309.

eBIRD. 2012. eBird: Una base de datos en línea para la abundancia y distribución de las aves [aplicación de internet]. eBird, Ithaca, New York. Disponible: <http://www.ebird.org>. Accedido: 2 de julio 2020.

EduRed. 2017. Laguna Carén. Disponible en línea: https://www.ecured.cu/Laguna_Car%C3%A9n. Acceso el 04 de febrero de 2021.

Fernández, O. 2010. *Uso de macroinvertebrados bentónicos para la caracterización ambiental de la Quebrada de La Plata, Región*. Memoria Ingeniero Forestal. Universidad de Chile. Santiago, Chile.

Figuroa, R. 2004. *Calidad ambiental de la cuenca hidrográfica del río Chillán, VIII Región, Chile*. Tesis doctoral. Universidad de Málaga, Departamento de Ecología y Geología, Málaga. 260 p.

Figuroa, R.; Soria, M.; Beltrán, M. y Correa-Araneda, J. 2016. Estudio de comunidades biológicas como bioindicadores de calidad de agua. pp. 23-34. Chatata B., Talavera C., Villasante F. (Eds). *Estudio de comunidades biológicas como bioindicadores de calidad de agua*. 1ª Edición Publisher: Universidad Nacional de San Agustín-CONCYTEC. Arequipa, Perú.

Fipps, G. 2003. *Standards and Salinity Management and Salinity Management Water Analysis*. The Texas A&M University System. Texas.

Fisher, T.S.; Hayward, D.G.; Stephens, R.D. y Stentrom, M.K. 1999. Dioxins and furans in urban runoff. *Journal of Environmental Engineering* 125:185-191.

Fox, O.G. 2011. Proyecto de restauración ecológica del humedal laguna de Batuco, Región Metropolitana de Santiago, Chile. Tesis Magíster en Asentamientos Humanos y Medio Ambiente. Pontificia Universidad Católica de Chile, Facultad de Arquitectura, diseño y estudios urbanos, Instituto de estudios urbanos y territoriales. Santiago de Chile. 106 p.

Gajardo, R. 1994. La vegetación natural de Chile. Clasificación y distribución geográfica. Editorial Universitaria, Santiago.

Gallardo-Mayenco, A. 2003. Distribución espacial de los efemerópteros (Insecta: Ephemeroptera) en dos cuencas mediterráneas a diferentes altitudes. *Zoología Baetica* 13-14: 93-110.

García, L.; C. Delgado y I. Pardo. 2008. Seasonal changes of benthic communities in a temporary stream of Ibiza (Balearic Island). *Limnetica* 27(2): 259-272.

Gesam Consultores Ambientales. 2018. Conservación, Monitoreo y Manejo para el Humedal de Batuco, Línea de Base Ambiental. Santiago, Chile.

Gil-Palacio, Z. 2007. Las libélulas y su rol en el ecosistema de la zona cafetera. *Cenicafe*, 357: 1-8.

Gobernación Provincial de Maipo. 2015. Tranque de Chada, riego y vida para la zona. Disponible en: <http://www.gobernacionmaipo.gov.cl/noticias/tranque-de-chada-riego-y-vida-para-la-zona/>. Acceso en: 17 mayo 2020.

Gómez, M. 2005. Estudio sobre la eutroficación y medidas de conservación en la laguna chica de San Pedro de la Paz, Concepción. Memoria Ingeniero Civil. Universidad de Chile. Santiago, Chile.

Google. 2016. Google Earth Pro (Version 7.1.5.1557) [programa gratuito]. Disponible en: <http://www.google.com/intl/es/earth/download/gep/agree.html>. Acceso en: 25 de enero 2021.

Heink, U. y Kowarik, I. 2010. What are indicators? On the definition of indicators in ecology and environmental planning. *Ecological Indicators* 10: 584-593.

Hellawell, J.M. 1986. *Biological indicators of freshwater pollution and environmental management*. Elsevier, London. 546 pp.

Hill, A. 1996. Nitrate Removal in Stream Riparian Zones. *Journal Environment Quality*, 25:743-755.

Hinselhoff, W.L. 1988. Rapid field assessment of organic pollution with a family-level biotic index. *Journal of the North American Benthological Society* 7: 65-68.

Holland, C.C.; Honea, J.; Gwin, S.E. y Kentula, M.E. 1995. Wetland degradation and loss in the rapidly urbanizing area of Portland, Oregon. *Wetlands* 15, 336-345.

Humedales Chile, Ministerio del Medio Ambiente. 2021. Humedales de Chile. Disponible en: <https://humedaleschile.mma.gob.cl/ecosistemas/humedales/>. Acceso en: 02 de noviembre de 2020.

Infraestructura de Datos Espaciales IDE Chile. 2016. (shapefile gratuito) Límites cuencas. Disponible en: <https://www.ide.cl/index.php/medio-ambiente/item/1678-limites-cuencas>. Acceso en: 15 de noviembre del 2020.

INN Chile (Instituto Nacional de Normalización). 2016. Guía para la toma de muestras de lagos naturales y artificiales NCh 5667/4:2016. Santiago, Chile.

INN Chile. 1987. Norma Chilena Oficial 1333.Of 78. Modificada en 1987. Requisitos de Calidad del Agua para Diferentes Usos. Santiago, Chile. 9 p.

Jara, C. 2002. Evaluación de la existencia de insectos bioindicadores de la calidad del agua en zonas ritrónicas y potámicas de tres ríos de la zona semiárida de Chile. Santiago, Chile: Universidad de Chile, Facultad de Ciencias.

Jaramillo A.; Burke, P. y Beadle, D. 2005. *Aves de Chile*. Ingoprint SA, Barcelona, España. 240 pp.

Kaiser, H.F. 1958. The varimax criterion for analytic rotation in factio analysis. *Psychometrika* 23: 187-200.

Kay, W.R.; Halse, S.A.; Scanlon, M.D. y Smith, M.J. 2001. Distribution and environmental tolerances of aquatic macroinvertebrate families in the agricultural zone of southwestern Australia. *Journal of the North American Benthological Society* 20: 182-199.

Kurosawa, J. 2003. Informe Técnico "Mejoramiento de calidad de aguas de riego". Disponible en: <http://bibliotecadigital.ci-en.cl/bitstream/handle/123456789/10030/CNR-0342.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acceso 25 marzo 2021.

Lee, J.H. y Bang, K.W. 2000. Characterization of urban stormwater runoff. *Water Research* 34:1773-1780.

Leech, H.B. 1948. Contributions toward a knowledge of the insect fauna of Lower California. No. 11, Coleoptera: Haliplidae, Dysticidae, Gyrinidae, Hydrophilidae, Limnebiidae. *Proceeding California Academy Science* 24: 375-484.

Lie, V. y Keler, J. 1970. Benthic in fauna communities of the coast of Washington and in Puget Sound: identification and distribution of the communities. *J. Fish. Res. Bd. Can.* 27: 621-651

Liljaniemil, P.; Vuori K.M.; Ilyashuk, B. y Luotonen, H. 2002. Habitat characteristics and macroinvertebrate assemblages in boreal forest streams: relations to catchment silvicultural activities. *Hydrobiologia* 474: 239-251.

Luebert, F. y Pliscoff, P..2006. Sinopsis bioclimática y vegetacional de Chile. Santiago de Chile: Editorial Universitaria.

Mazzucconi, S., López, M., y Bachmann. 2009. Hemiptera, Capítulo 6, pp 167-231. En: Domínguez, E. y Fernández, H. 2009. Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos, sistemática y biología. Fundación Miguel Lillo. Tucumán, Argentina.

McGavin, G. 2001. Entomología Esencial. Editorial Ariel ciencia. Barcelona, España. 355 p.

Mellado, C. 2008. Caracterización hídrica y gestión ambiental del Humedal Batuco. Tesis Magister en Ciencias de la Ingeniería, Mención Recursos y Medio Ambiente Hídrico. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Departamento de Ingeniería Civil. Santiago de Chile. 280 p.

Merritt R. W., Cummins K.W. y Berg M.B. 2008. An Introduction to the Aquatic Insects of North America. Kendall/Hunt: Fourth Edition.

Metzel, R. G. 1975. Limnology. W. B. Saunders Co. Philadelphia PA 743 p.

MIDEPLAN. 1998. Cuencas Hidrográficas en Chile: Diagnósticos y Proyectos. Programa de Preinversión MIDEPLAN-BID. Santiago, Chile.

MINAGRI (Ministerio de Agricultura) y CONAF (Corporación Nacional Forestal). 2006. Los humedales y la importancia de conservarlos. Santiago, Chile.

MMA (Ministerio del Medio Ambiente). 2017. Estrategia Nacional de Biodiversidad 2017-2030. Santiago, Chile.

MMA (Ministerio del Medio Ambiente). 2018. Plan Nacional de Protección de Humedales 2018-2022. Santiago, Chile.

MMA (Ministerio del Medio Ambiente). 2020. Ley de Humedales Urbanos 21.202 y su Reglamento. Disponible en línea: <https://humedaleschile.mma.gob.cl/humedales-urbanos/#:~:text=La%20Ley%20N%C2%BA21.202%2C%20que,legislaci%C3%B3n%20nacional%2C%20el%20concepto%20de>. Acceso 01 marzo del 2021.

MMA (Ministerio del Medio Ambiente). 2021. Laguna Batuco es declarada Santuario de la Naturaleza por el consejo de ministros para la sustentabilidad. Disponible en línea: <https://mma.gob.cl/laguna-de-batuco-es-declarada-santuario-de-la-naturaleza-por-el-consejo-de-ministros-para-la-sustentabilidad/>. Acceso el 3 de enero del 2021.

MOP (Ministerio de Obras Públicas)- DGA (Dirección General de Aguas). 2020. Atlas calidad de agua, Chile 2020. Santiago, Chile.

Munné, A.; Solà, C. y Prat, N. 1998. QBR: Un índice rápido para la evaluación de la calidad de los ecosistemas de ribera. *Tecnología del Agua* 175: 20-37.

Munné, A.; Solà C.; Prat, N.; Bonada, N., y Rieradevall M. 2003. A simple field method for assesing the ecological quality of riparian habitat in rivers and streams. QBR index. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 13: 147-164.

Muñoz-Schick, M.; Moreira, A.; Villagrán, C. y Luebert, F. 2000. Caracterización florística y pisos de vegetación en los Andes de Santiago, Chile Central. *Boletín del Museo Nacional de Historia Natural, Chile*, 49: 9-50.

Nerbonne, B.A. y Vondracek, B. 2001. Effects of local land use on physical habitat, benthic macroinvertebrates, and fish in the Whitewater River, Minnesota, USA. *Environmental Management* 28: 87-99.

Newall, P. y Tiller, D. 2002. Derivation of nutrient guidelines for streams in Victoria, Australia. *Environmental Monitoring and Assessment* 74: 85- 103.

Norris R. y Hawkins C. 2000. Monitoring riverhealth. *Hydrobiologia* 435: 5-17.

UNESCO (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura). 1971. Convención relativa a los humedales de importancia internacional especialmente como hábitats de aves acuáticas. Oficina de Normas Internacionales y Asuntos Legales. Ramsar, Irán.

Oscoz, J.; Campos, F. y Escala, M.C. 2006. Variación de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos en relación con la calidad de las aguas. *Limníticas* 25: 683-692.

Pizarro J. y Rubio. M. A. 2009. Difussion of Fe, Mn, Mo and Sb in the sediment-water interface of a shallow lake, laguna Carén, Santiago (Chile). *Fresenius Environmental Bulletin* 18 (12): 2336-2344.

Posada, E.; Mojica, D.; Pino, N.; Bustamante, C., y Monzón, A. 2013. Establecimiento de índices de calidad ambiental de ríos con bases en el comportamiento del oxígeno disuelto y de la temperatura. Aplicación al caso del río Medellín, en el Valle de Aburrá en Colombia. *Dyna* 80 (181):192-200.

Qgis Desktop 3.16.2. QuickMapServices versión 0.19.11.1. Descarga gratuita en: <https://qgis.org/es/site/forusers/download.html>

R Core Team. 2016. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponible en: <http://www.R-project.org/>. Acceso en: 14 marzo 2020.

Ramírez, P.; Huerta, A. y Araya, J. E. 2017. Effect of post-harvest forestry residue management practices on the diversity of epigeal coleopterans. *Revista Facultad Nacional de Agronomía* 70 (1): 8069-8075.

Reed, T. y Carpenter, S. 2002. Comparisons of P-Yield, Riparian Buffer Strips, and Land Cover in Six Agricultural Watersheds. *Ecosystems* 5:568-577.

Rodríguez, S. 2019. Insectos acuáticos como indicadores de calidad del agua en Tranque Chada, Humedal de Batuco y Laguna Carén, Región Metropolitana, Chile. Tesis Magíster en Áreas Silvestres y Conservación de la Naturaleza, Universidad de Chile. Santiago, Chile. 75 p.

Román, E. 2017. Laguna Carén: estudio de su hidrodinámica y calidad de agua, a partir de la instalación y operación de una estación de monitoreo ambiental. Memoria Ingeniero Civil. Universidad de Chile. Santiago, Chile. 69 p.

Roldán, G. 1992. Fundamentos de Limnología Neotropical. Colección Ciencia y Tecnología Universidad de Antioquia. Medellín. Vol. 1. 128 p.

Roldán G. 1996. Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del Departamento de Antioquia. Bogotá, Colombia. Pama Editores Ltda.

Roldán, G. y Pérez, G. 2003. La bioindicación de la calidad del agua en Colombia. Editorial Universidad de Antioquia, Medellín. 170p.

Takahashi, T.; J. Olafsson, J. G.; Goddard, D. W.; Chipman y S. C. Sutherland. 1993. "Seasonal variation of CO₂ and nutrients in the high-latitude surface oceans: A comparative study." *Global Biogeochemical Cycles* 7(4): 843-878.

Takahashi, T.; Sutherland, S. C.; Chipman, D. W.; Goddard, J. G.; Ho, C.; Newberger, T.; Sweeney, C. y Munro, D. R. 2014. Climatological distributions of pH, pCO₂, total CO₂, alkalinity, and CaCO₃ saturation in the global surface ocean, and temporal changes at selected locations. *Marine Chemistry* 164: 95-125.

The Nature Conservancy. 2018. Plan de Manejo Laguna de Batuco. Disponible en línea: <https://www.fsancarlos.cl/wp-content/uploads/2021/01/Plan-de-Manejo-Laguna-Batuco.pdf>. Acceso el 2 de noviembre del 2020.

Thompson, R.M. y Townsend, C.R. 2004. Land use influences on New Zealand stream communities: effects on species composition, functional organization, and food web structure. *New Zeal. J. Mar. Freshw. Res.* 38: 595-608.

Tüzün, I. y Albaryrak, I. 2005. The effect of disturbances to habitat quality on Otter (*Lutra lutra*) activity in the river Kizilirmak (Turkey): a case study. *Turkish Journal of Zoology* 29: 327-335.

Uusi-kämpä, J.; Turtola, E.; Hartikainen, H. y Ylärinta, T. 1997. The interactions of buffer zones and phosphorus runoff. En N. Haycock, T. Burt, K. Goulding, & G. Pinnay, *Buffer zones: their processes and potential in water protection. The proceedings of the International Conference on Buffer Zones September 1996* (pág. 334). UK: Haycock Associated Limited.

Sotomayor, R. 1964. Estudio y prospección geofísica de aguas subterráneas en la cuenca de Batuco. Memoria Ingeniero Civil. Universidad de Chile. Santiago, Chile.

Sistema de Información Nacional de Calidad del Aire (SINCA). 2021. Normativa aplicable. Disponible en línea: <https://sinca.mma.gob.cl/index.php/pagina/index/id/norma>. Acceso el 20 de junio del 2021.

Velásquez, K. 2020. Proyecto CICLO en plan Maestro Parque Laguna Carén. Proyecto para optar al título profesional de Arquitectura. Universidad de Chile. Santiago, Chile. 143 p.

Wahl, M.H.; Mckellarr, H.N. y Williams, T.M. 1997. Patterns of nutrient loading in forested and urbanized coastal streams. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 213:111-131.

Wais, I. 1983. *Apuntes de Limnología Práctica. Laboratorio Práctico de Riñihue. Instituto de Zoología. Universidad Austral de Chile. Valdivia. 8p.*

Ward, J. W., 1992. *Aquatic Insect Ecology. I Biology and Habitat. John Wiley Sons. Inc. U. S. A. 483 p.*

Wernick, B.G.; Cook, K.E. y Schreier, H. 1998. Land use and streamwater nitrate-N dynamics in an urban-rural fringe watershed. *Journal of the American Water Resources Association* 34:639-650.

8. Anexos

Anexo I. Puntajes Índice Biótico de Familias (IBF) de macrozoobentos.

Pun- taje	Familia
0	Blephariceridae, Corydalidae, Glossosomatidae, Leuctridae, Odontoceridae, Pteronarcyidae, Rhyacophilidae
1	Brachycentridae, Capriidae, Chloroperlidae, Ephemerellidae, Gomphidae, Lepidostomatidae, Perlidae.
2	Athericidae, Leptophelebiidae, Metretopodidae, Nemouridae, Oligoneuriidae, Perlodidae, Polymitarcyidae, Psychomyiidae, Taeniopterygyidae.
3	Aeshnidae, Baetiscidae, Cordulegastridae, Helicopsychidae, Macromiidae, Philopotamidae, Sericostomatidae, Tipulidae.
4	Baetidae, Dolichopodidae, Elmidae, Ephemeridae, Gammaridae, Heptageniidae, Hydropsychidae, Hydroptilidae, Leptoceridae, Limnephilidae, Phryganidae, Ptomantidae, Psephenidae, Sialidae, Tricorythidae.
5	Calopterygidae, Corduliidae, Dryopidae, Pyralidae.
6	Ceratopogonidae, Chironomidae, Empididae, Ephydriidae, Molannidae, Muscidae, Polycentropodidae, Simuliidae, Tabanidae, Hydrobiidae.
7	Caenidae, Siphonuridae.
8	Asellidae, Talitridae.
9	Coenagrionidae, Lestidae, Libellulidae.
10	Psychodidae, Syrphidae.

Fuente: Hinselhoff (1988).

Anexo II. Puntuación Índice de Calidad de Bosque de Ribera (QBR).

Pun-taje	Descripción				
	Grado de cubierta de la zona de ribera (solo se considera la ribera)				
25	> 80% de la cubierta vegetal de la zona de ribera (las plantas anuales no se contabilizan)				
10	50 -80% de la cubierta vegetal de la zona de ribera				
5	10 -50% de la cubierta vegetal de la zona de ribera				
0	< 10% de la cubierta vegetal de la zona de ribera				
+10	Si la conectividad entre el bosque de ribera y el ecosistema forestal adyacente es total				
+5	Si la conectividad entre el bosque de ribera y el ecosistema forestal adyacente es > 50%				
-5	Si la conectividad entre el bosque de ribera y el ecosistema forestal adyacente es entre 25 y 50%				
-10	Si la conectividad entre el bosque de ribera y el ecosistema forestal adyacente es < 25%				
Estructura de la cubierta (Se contabiliza toda la zona de ribera) Puntuación entre 0 y 25					
25	Cobertura de árboles superior al 75 %				
10	Cobertura de árboles entre el 50 y 75 % o cobertura de árboles entre el 25 y 50 % y en el resto de la cubierta los arbustos superan el 25 %				
5	Cobertura de árboles inferior al 50 % y el resto de la cubierta con arbustos entre 10 y 25 %				
0	Sin árboles y arbustos por debajo del 10 %				
+10	Si en la orilla la concentración de helófitos o arbustos es superior al 50 %				
+5	Si en la orilla la concentración de helófitos o arbustos es entre 25 y 50 %				
+5	Si los árboles tienen un sotobosque arbustivo				
-5	Si hay una distribución regular (linealidad) en los pies de los árboles y el sotobosque es > 50 %				
-5	Si los árboles y arbustos se distribuyen en manchas, sin una continuidad				
-10	Si hay una distribución regular (linealidad) en los pies de los árboles y el sotobosque es < 50 %				
Calidad de la cubierta (depende del tipo geomorfológico de la zona de ribera*) Puntuación entre 0 y 25			Tip o 1	Tip o 2	Tip o 3
25	Número de especies de árboles o arbustos autóctonos		>1	>2	>3
10	Número de especies de árboles o arbustos autóctonos		1	2	3
5	Número de especies de árboles o arbustos autóctonos		-	1	1-2
0	Sin árboles autóctonos				
+10	Si existe una continuidad de la comunidad a lo largo del río uniforme y ocupando >75% de la ribera (en toda su anchura) si existe una continuidad en la comunidad a lo largo del río (entre 50-75 % de la ribera)				
+5					
+5	Si existe una disposición en galería de diferentes comunidades		<2	<3	<4
+5	Si el número diferente de especies de arbustos es:				
-5	Si hay estructuras construidas por el hombre				
-5	Si hay alguna sp. de árbol y/o arbusto alóctono aislada				

-10	Si hay sp. de árboles y/o arbustos alóctonos formando comunidades			
-10	Si hay vertidos de basuras			
Grado de naturalidad del canal fluvial. Puntuación entre 0 y 25				
25	el canal del río no ha estado modificado			
10	modificaciones de las terrazas adyacentes al lecho del cuerpo de agua con reducción del canal			
5	signos de alteración y estructuras rígidas intermitentes que modifican el canal del cuerpo de agua			
0	cuerpo de agua canalizado en la totalidad del tramo			
-10	si existe alguna estructura sólida dentro del cuerpo de agua			
-10	si existe alguna presa u otra infraestructura transversal en el cuerpo de agua			
Puntuación final (Suma de las anteriores puntuaciones)				

Fuente: Munné et al. (1998).

9. Apéndice

Apéndice I. Especies vegetales registradas en los cuerpos de agua estudiados por estación de muestreo (EM).

Humedal Batuco	
EM	Especies vegetales registradas
1	Teatina (<i>Avena barbatta</i> Pott ex Link), Hierba del salitre (<i>Frankenia salina</i>), Quinguilla (<i>Chenopodium glaucum</i>), Cola de zorro (<i>Polypogon monspeliensis</i>),
2	Teatina (<i>A. barbata</i>), Quinguilla (<i>C. glaucum</i>), Botón de oro (<i>Cotula coronopifolia</i> L.), Grama salada (<i>Distichlis spicata</i>), Tulillo (<i>Eleocharis macrostachya</i>), Alfilerillo (<i>Erodium botrys</i> (Cav.) Bertol), Hierba del salitre (<i>F. salina</i>), Puccinellia (<i>Puccinellia glaucescens</i>) (Phil.), Totorilla (<i>Scirpus californicus</i>), Totorilla (<i>TypHa angustifolia</i>)
3	Quinguilla (<i>C. glaucum</i>), Pasto cenizo (<i>Atriplex philippi</i>), Teatina (<i>A. barbatta</i>), Alfalfa del secano (<i>Medicago polymorpha</i> L.), Cola de zorro (<i>P. monspeliensis</i>), Huañil (<i>Proustia cuneifolia</i> D. Don), Totorilla (<i>S. californicus</i>), Totorilla (<i>T. angustifolia</i>)
4	Pasto cenizo (<i>A. philippi</i>), Teatina (<i>A. barbatta</i>), Tulillo (<i>E. macrostachya</i>), Alfilerillo (<i>E. botrys</i>), Alfalfa del secano (<i>Medicago polymorpha</i> L.), Cola de zorro (<i>P. monspeliensis</i>), Huañil (<i>P. cuneifolia</i> D. Don), Puccinellia (<i>P. glaucescens</i>), Totorilla (<i>S. californicus</i>), Totorilla (<i>T. angustifolia</i>)
Laguna Carén	
EM	Especies vegetales registradas
1	Espino (<i>A. caven</i>), Yuyo (<i>Brassica rapa oleifera</i>), Cardo penquero (<i>Cynara cardunculus</i>), Cardo negro (<i>C. pycnocephalus</i>), Zarzamora (<i>R. ulmifolius</i>), Mostacilla (<i>Sisymbrium officinale</i>), Galega (<i>Galega officinalis</i>)
2	Espino (<i>A. caven</i>), Yuyo (<i>B. rapa oleifera</i>), Cardo penquero (<i>C. cardunculus</i>), Mostacilla (<i>S. officinale</i>), Romerillo (<i>Baccharis linearis</i>)
3	Algarrobo (<i>P. chilensis</i>), Espino (<i>A. caven</i>), Maitén (<i>Maytenus boaria</i>), Yuyo (<i>B. rapa oleifera</i>), Cardo penquero (<i>C. cardunculus</i>), Cardo negro (<i>C. pycnocephalus</i>), Manzanilla (<i>C. suaveolens</i>), Totorilla (<i>Tipa angustifolia</i>), Junco (<i>Scirpus</i> sp.), Quilo (<i>Muehlenbeckia hastulata</i>)
4	Eucalipto (<i>Eucalyptus globulus</i>), Algarrobo (<i>P. chilensis</i>), Maitén (<i>M. boaria</i>), Yuyo (<i>B. rapa oleifera</i>), Totorilla (<i>T. angustifolia</i>), Junco (<i>Scirpus</i> sp.), Romerillo (<i>B. linearis</i>), Quilo (<i>M. hastulata</i>), Galega (<i>G. officinalis</i>)
Tranque Chada	
EM	Especies vegetales registradas
1	Espino (<i>A. caven</i>), Manzanilla (<i>Chamomilla suaveolens</i>), Clonqui (<i>Xanthium cavanillesii</i>)
2	Espino (<i>A. caven</i>), Manzanilla (<i>C. suaveolens</i>), Sauce chileno (<i>Salix humboldtiana</i>), Clonqui (<i>X. cavanillesii</i>)
3	Espino (<i>A. caven</i>), Salvia macho (<i>Eupatorium salivum</i>), Sauce chileno (<i>S. humboldtiana</i>)
4	Espino (<i>A. caven</i>), Zarzamora (<i>R. ulmifolium</i>).
Esterio Coyanco	
EM	Especies vegetales registradas
1	Quillay (<i>Q. saponaria</i>), Litre (<i>L. caustica</i>), Bollén (<i>K. oblonga</i>), Colliguay (<i>C. odorifera</i>), Romerillo (<i>Baccharis linearis</i>), Huañil (<i>Proustia cuneifolia</i>), Menta de árbol (<i>Satureja gilliessii</i>)

2	Quillay (<i>Quillaja saponaria</i>), Litre (<i>Lithrea caustica</i>), Madroño o corontillo (<i>E. pulverulenta</i>), Colliguay (<i>C. odorífera</i>), Menta de árbol (<i>Satureja gilliessii</i>), Maicillo (<i>Solenomelus pedunculatus</i>)
3	Madroño o corontillo (<i>E. pulverulenta</i>), Quillay (<i>Q. saponaria</i>), Litre (<i>L. caustica</i>).