UNIVERSIDAD DE CHILE

UNIVERSIDAD DE CHILE

Facultad de Ciencias Forestales y de la Conservación de la Naturaleza

Magíster en Áreas Silvestres y Conservación de la Naturaleza

INSECTOS ACUÁTICOS COMO INDICADORES DE CALIDAD DEL AGUA EN TRANQUE CHADA, HUMEDAL DE BATUCO Y LAGUNA CARÉN, REGIÓN METROPOLITANA, CHILE

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

SEBASTIÁN RODRÍGUEZ TOBAR

Biólogo

SANTIAGO - CHILE

2019

HOJA DE APROBACIÓN DE PROYECTO DE GRADO

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 Amanda Huerta Fuentes

Nota

Firma

Profesor Consejero

Nombre

Nota

Firma

Profesor Consejero

Nombre

Nota

Firma

Profesor Consejero

Nombre

Nota

Firma

ÍNDICE

RESUMEN

ABSTRACT Págs.

1. INTRODUCCIÓN 1

Calidad de agua 1

Insectos como bioindicadores 2

Índices biológicos 4

Índice Biótico de Familias 5

Biological Monitoring Working Party 5

Situación actual en Chile 5

2. MATERIALES Y MÉTODOS 9

2.1 Materiales 9

2.2 Métodos 10

3. RESULTADOS 14

3.1 Descripción de las zonas de estudio 14

3.2 Abundancia y riqueza de familia de insectos según la estación de muestreo y temporada 20

3.2.1 Abundancia 20

3.2.2 Riqueza de familias 24

3.3 Composición de fauna entomológica 27

3.4 Índices bióticos 32

3.5 Evaluación de la calidad del agua a partir de parámetros físico-químicos 36

3.6 Análisis de correspondencia canónica de familias entre temporadas 47

4. DISCUSIÓN 52

5. CONCLUSIONES 56

6. BIBLIOGRAFÍA 58

ANEXOS 64

APÉNDICES 65

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Antecedentes de los cuerpos de agua estudiados. 9

Cuadro 2. Clases de calidad a partir del Indice Biótico de Familias (IBF)..... 12

Cuadro 3. Clases de calidad a partir del
Biological Monitoring Working Party (BMWP)..... 12

Cuadro 4. Descripción de las estaciones de muestreo (EM)
Embalse Chada. 15

Cuadro 5. Descripción de las estaciones de muestreo (EM)
Humedal de Batuco..... 17

Cuadro 6. Descripción de las estaciones de muestreo (EM)
Laguna Carén. 19

Cuadro 7. Composición de la fauna entomológica
y abundancia absoluta..... 27

Cuadro 8. Valores de IBF y BMWP a partir de insectos
Embalse Chada.. 32

Cuadro 9. Valores de IBF y BMWP a partir de insectos
Humedal Batuco. 33

Cuadro 10. Valores de IBF y BMWP a partir de insectos
Laguna Carén. 35

Cuadro 11. Parámetros físico-químicos evaluados en Embalse Chada y valores máximos y mínimos aceptables de cada parámetro para el desarrollo de vida acuática..... 37

Cuadro 12. Clasificación de parámetros físico-químicos
Embalse Chada, primavera 2015. 38

Cuadro 13. Clasificación de parámetros físico-químicos
Embalse Chada, otoño 2016. 39

Cuadro 14. Parámetros físico-químicos evaluados en Humedal de Batuco y valores máximos y mínimos aceptables de cada parámetro para el desarrollo de vida acuática. 41

Cuadro 15. Clasificación de parámetros físico-químicos
Humedal de Batuco, primavera 2015. 42

Cuadro 16. Clasificación de parámetros físico-químicos
Humedal de Batuco, otoño 2016 43

Cuadro 17. Parámetros físico-químicos evaluados por EM en Laguna Carén y valores máximos y mínimos aceptables de cada parámetro para el desarrollo de vida acuática 44

Cuadro 18. Clasificación de parámetros físico-químicos
Laguna Carén, primavera 2015 45

Cuadro 19. Clasificación de parámetros físico-químicos
Laguna Carén, otoño 2016. 46

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estaciones de muestreo (EM) en Tranque Chada, Paine 10

Figura 2. Abundancia de insectos acuáticos en Embalse Chada 21

Figura 3. Abundancia de insectos acuáticos en Humedal Batuco 22

Figura 4. Abundancia de insectos acuáticos en Laguna Carén 23

Figura 5. Riqueza de insectos acuáticos en Embalse Chada 24

Figura 6. Riqueza de insectos acuáticos en Humedal Batuco. 25

Figura 7. Riqueza de insectos acuáticos en Laguna Carén 26

Figura 8. Familias de insectos identificadas: Corixidae e Hydrophilidae. 29

Figura 9. Familias de insectos identificadas: Dytiscidae y Baetidae 30

Figura 10. Familias de insectos identificadas: Culicidae, Chironomidae, Aeshnidae y Coenagrionidae 31

Figura 11. Mapa del análisis de correspondencia canónica de la abundancia de familias de insectos acuáticos respecto a parámetros físico-químicos en Embalse Chada 48

Figura 12. Mapa del análisis de correspondencia canónica de la abundancia de familias de insectos acuáticos respecto a parámetros físico-químicos en Humedal de Batuco 50

Figura 13. Mapa del análisis de correspondencia canónica de la abundancia de familias de insectos acuáticos respecto a parámetros físico-químicos en Laguna Carén 51

INSECTOS ACUÁTICOS COMO INDICADORES DE CALIDAD DEL AGUA EN TRANQUE CHADA, HUMEDAL DE BATUCO Y LAGUNA CARÉN, REGIÓN METROPOLITANA, CHILE

RESUMEN

El concepto de calidad de agua está condicionado al uso otorgable a un cuerpo y/o curso de agua según parámetros físicos-químicos y escasamente en Chile, biológicos. Este estudio consistió en utilizar a los insectos acuáticos como modelo de bioindicadores para determinar calidades del agua en dos temporadas desde distintas estaciones de muestreo de tres cuerpos de agua de la Región Metropolitana: Embalse Chada (Provincia de Chacabuco), Humedal de Batuco (Provincia de Lampa) y Laguna Carén (Provincia de Santiago). Se identificaron todos los insectos a nivel de familia para determinar, tanto la abundancia de insectos, como la riqueza de familias. A partir de esta información, se determinaron las calidades de agua en cada estación de muestreo utilizando el Índice Biótico de Familia (IBF) y el índice "Biological Monitoring Working Party" (BMWP). Se relacionaron las calidades del agua resultantes en las distintas estaciones de muestreo con las calidades de agua utilizadas tradicionalmente a partir de los valores de parámetros físicos-químicos del agua, en base a la norma de calidad de agua vigente y a la guía de clasificación establecida por CONAMA (Comisión Nacional del Medio Ambiente), otrora autoridad ambiental. Finalmente, se realizó un Análisis de Correspondencia Canónica (ACC) para cada temporada de cada cuerpo de agua, con el fin de determinar cercanía o correlación entre estaciones de muestreo, parámetros físicos-químicos y familias de insectos. En los tres cuerpos de agua, la familia más frecuente de insectos fue Corixidae, seguida por Chironomidae. En general, los cuerpos determinaron calidades que fluctuaron entre "mala" (Batuco y Carén, principalmente) a "regular" (Chada) a partir de IBF y predominantemente "muy mala" con BMWP. En cuanto a los parámetros físicos-químicos, los valores de pH determinados en Laguna Carén establecieron calidad no apta para la vida acuática, lo que no coincidió con los resultados del IBF, resaltando una estación de calidad "regular". De los dos índices utilizados, solamente el IBF resultó más cercano en sus valores con las clases de calidad establecidas por los parámetros físico-químicos.

Palabras clave: calidad de agua, insectos acuáticos, Índice Biótico de Familias (IBF), *Biological Monitoring Working Party* (BMWP).

AQUATIC INSECTS AS WATER QUALITY INDICATORS IN TRANQUE CHADA, HUMEDAL BATUCO & CARÉN LAGOON, METROPOLITAN REGION, CHILE

ABSTRACT

“Water quality” concept is associated to the use that can be granted to a body of water or water course according to physical-chemical parameters and, scarcely in Chile, biological parameters. This study consisted of using aquatic insects as a model of bioindicators to determine water qualities, in two different seasons, in different sampling stations from three bodies of water from Metropolitan Region: Embalse Chada (reservoir, Chacabuco Province), Humedal de Batuco (wetland, Lampa Province) and Laguna Carén (lagoon, Santiago Province). All insects were identified at family level to determine, both the abundance of insects, and families richness. From this information, water qualities were determined for each sampling station using the “Familiy level Biotic Index” (FBI) and “Biological Monitoring Working Party” (BMWP). Resulting water qualities in sampling stations were related to the water qualities traditionally used from physical-chemical parameters values, based on the current water quality standard and classification guide established by CONAMA (*Comisión Nacional del Medio Ambiente*), formerly environmental authority. Finally, a Canonical Correspondence Analysis (CCA) was carried out for each season of each body of water, in order to determine proximity or correlation between sampling stations, physical-chemical parameters and insect families. In the three bodies of water, the most frequent family of insects was Corixidae, followed by Chironomidae. In general, the bodies determined qualities that fluctuated between "bad" (Batuco and Carén, mainly) to "regular" (Chada) from IBF and predominantly "very bad" with BMWP. Regarding the physical-chemical parameters, pH values determined in Laguna Carén established quality not suitable for aquatic life, which did not coincide with IBF results, in which water quality was mainly “regular”. From both indexes used, only IBF was closer in its values with the quality classes established by the physical-chemical parameters.

Keywords: water quality, aquatic insects, *Family level Biotic Index* (IBF), *Biological Monitoring Working Party* (BMWP).

1. INTRODUCCIÓN

En Chile, la zona mediterránea es una de las más pobladas y de actividades industriales y agrícolas intensas que ejercen una fuerte presión sobre el uso del suelo y el recurso hídrico. Para controlar y regular estos impactos en el país, se han establecido normativas aplicables de manera experimental. Actualmente, se continúa usando la "Norma de Calidad para la Protección de las Aguas Continentales Superficiales", documento guía de la otrora autoridad ambiental (CONAMA (Comisión Nacional del Medio Ambiente), 2004), que ha favorecido la protección de los recursos acuáticos chilenos. En este documento, se define a las aguas continentales superficiales como "aquellas que se encuentran naturalmente a la vista del hombre y que pueden ser corrientes (que escurren por cauces naturales o artificiales) o detenidas (que se acumulan en depósitos naturales o artificiales, tales como lagos, lagunas y embalses)". Esta definición excluye a las aguas minerales y las de cauces que no constituyen bienes nacionales de uso público.

Calidad de agua

Tradicionalmente, la "calidad" del agua se puede establecer en base a las características físicas y químicas que posee una muestra de agua, con estándares de calidad de agua cuyas normas se basan en gran parte en niveles de toxicidad científicamente aceptables para humanos y organismos acuáticos (ONU-DAES, 2014). 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". A partir de esto, se establece una tipificación del agua en diferentes clases de calidad, según rangos de valores por cada compuesto o elemento. Las normas secundarias derivadas de ésta, consideran al menos cuatro clases de calidad de agua para cada compuesto o elemento, donde la mejor calidad es llamada "calidad excepcional"; de gran pureza y adecuada para la vida acuática. Las siguientes clases (1, 2 y 3) comienzan gradualmente a perder su calidad y por lo tanto, a restringirse sus usos (muy buena, buena y regular, respectivamente). Existe también una clase 4 (mala calidad), la

cual no es considerada, ya que al exceder los límites de valor por cada compuesto o elemento de la clase 3, no es apta para conservación de comunidades acuáticas ni para usos prioritarios. Otro documento ampliamente utilizado a nivel nacional para determinar calidades de agua corresponde a la Norma Chilena Oficial NCh1333.Of78 “Requisitos de calidad de agua para diferentes usos” (INN (Instituto Nacional de Normalización) Chile, 1987), la cual 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”. Esta norma es aplicable a diferentes usos de agua: consumo humano, consumo de animales, riego, recreación y estética y vida acuática. Si bien esta norma no establece clases de calidad basadas en rangos de valores para cada compuesto o elemento, sí exige requisitos de valores mínimo y máximo para cada parámetro según el uso que se le otorgue al agua.

Por lo tanto, estas normas condicionan el concepto de calidad de agua según sus parámetros físicos y químicos (oxígeno disuelto, pH, temperatura, etc.) aplicable a un uso para un fin particular, por ejemplo, la vida acuática o riego. Estas definiciones de calidad de agua de acuerdo a sus usos es tradicional (Chapman, 1992) y lejos de ser un concepto absoluto, es totalmente relativo a cuál es el destino final requerido para este recurso (Figueroa, 2004). Sin intervención antrópica, existen diversos factores que podrían determinar la calidad de agua, como la erosión del sustrato mineral, la lixiviación de nutrientes del suelo por procesos hidrológicos, procesos atmosféricos como la evapotranspiración y sedimentación y los procesos biológicos que pueden afectar la composición físico-química del agua (ONU-DAES, 2014).

En Chile, las normas secundarias de calidad ambiental para aguas continentales superficiales permiten la utilización de bioindicadores, complementando a los parámetros físicos y químicos, para determinar los impactos producidos sobre las comunidades acuáticas, los usos prioritarios y/o el estado trófico de los cuerpos de agua considerados dentro de estas normas (CONAMA, 2004).

Insectos como bioindicadores

Los bioindicadores corresponden a los grupos taxonómicos o especies capaces de reflejar el estado de conservación, diversidad, endemismo y grado de perturbación de un ecosistema

(Brown, 1991; Coddington *et al*., 1991; Colwell y Coddington, 1994). Estos organismos poseen una biología bien conocida, que los hace fácilmente manipulables e identificables en laboratorio y terreno. Dentro de un ecosistema, los bioindicadores deben ser estables, preferiblemente sedentarios y bien diversificados, idealmente con ciclos de vida cortos y sensibilidad alta y fidelidad ecológica (Brown, 1991; Pearson, 1994). Uno de los grupos de organismos más usados como bioindicadores son los macroinvertebrados (Figueroa, 2004). Este grupo incluye moluscos, algunas especies de gusanos (nemátodos, planarias, anélidos) y artrópodos: ácaros, crustáceos e insectos (larvas y adultos) (Hahn-vonHessberg *et al*., 2009; González *et al*., 2014). Para aplicar macroinvertebrados en índices biológicos, basta con reconocer los grupos taxonómicos más sencillos (generalmente, no es necesario identificarlos a nivel de especie) y para esto, lo necesario es una lupa de diez aumentos y una guía de macroinvertebrados, herramientas para identificarlos, con los conocimientos necesarios, en forma precisa (Puig, 1999).

El grupo de macroinvertebrados más estudiado son los artrópodos, dada su diversificación; es posible encontrarlos en la mayoría de los ambientes, con una riqueza y abundancia superior a otros grupos y resultan fáciles de colectar, preservar y estudiar. Su exoesqueleto rígido permite su preservación durante un largo período de tiempo. Además forman parte sustancial de muchas cadenas tróficas de diferentes ambientes y contienen especies estrechamente ligadas a determinadas condiciones ambientales (Rivera y Foster, 1997). Dentro de los artrópodos, los insectos resultan importantes como bioindicadores debido a su gran abundancia y diversidad ecológica (Solervicens, 1995; Morrone y Ruggiero, 2001). Presentan además, cinco aspectos fundamentales: alta riqueza y diversidad de especies, fácil manipulación, fidelidad ecológica, fragilidad frente a perturbaciones mínimas y corta temporalidad generacional (Andrade, 1998). Además, son muy utilizados como indicadores de calidad del agua debido a que se encuentran en casi todos los hábitats, con un rango amplio de respuesta frente a perturbaciones como la contaminación y hábitos sedentarios que permiten establecer consideraciones sobre el estado de salud de un sistema acuático (Sandoval y Molina, 2000). Entre los insectos acuáticos que se utilizan para este fin, los más importantes son las larvas y ninfas de efemerópteros, odonatos, plecópteros, neurópteros, hemípteros, coleópteros, tricópteros, lepidópteros y dípteros (Margalef, 1983; Roldán, 1992).

Índices biológicos

Los métodos biológicos, aplicados principalmente en la determinación de la calidad de los cuerpos de agua, están relacionados con la riqueza específica, abundancia de especies, la relación entre ambas variables y las características propias de los tipos de agua asociados a estas variables, donde la sensibilidad depende de la aproximación a la realidad de la zona estudiada y a los procesos de adaptación. La mayoría de los índices estudiados y propuestos son más bien modificaciones de otros preexistentes en base a retroalimentación de ajustes de diversos investigadores, potenciando su utilidad (Figueroa, 2004). Los índices numéricos aplicados con macroinvertebrados que permiten determinar el estado de calidad de agua, han sido agrupados en tres tipos: bióticos, de diversidad y de similitud (Welch 1992; Figueroa *et al.*, 2016).

Los índices de diversidad y similitud para estudios de calidad de agua se han restringido, ya que al utilizar sólo la riqueza y abundancia de especies no considera factores importantes de los organismos como sus rangos de tolerancia, sensibilidad y capacidad de adaptación a cambios ambientales. Otro problema del uso directo de estos índices está en el consenso taxonómico de los organismos; habitualmente en los macroinvertebrados no se suelen determinar todos los géneros y/o especies en algunos grupos y la mezcla de diferentes taxa no ofrece garantía en la utilización del índice; dependiendo del taxón aplicado, estos índices pueden entregar valores muy variables (Prat *et al*., 2009).

Los índices bióticos trabajan sobre la premisa que el nivel de respuesta o tolerancia de los organismos cambia según el tipo o concentración del contaminante que los afecta (Figueroa, 2004; Figueroa *et al*., 2016). Aunque el grado de tolerancia sea una particularidad de un taxón, se puede evaluar a nivel de comunidad, a partir de la presencia y ausencia de algunos grupos de organismos, el número o proporción respecto al total de los taxa o alguna medida de abundancia que conduzca a un puntaje individual que permita indicar si las condiciones físicas o químicas están fuera de sus límites naturales (Rosenberg y Resh, 1993).

Índice Biótico de Familias

Uno de los índices bióticos más utilizados para determinar la calidad del agua a partir de bioindicadores es el Índice Biótico de Familias (IBF), desarrollado por Chutter (1972) para ríos de Sudáfrica, modificado por Hilsenhoff (1988) para aguas de climas templados de Norteamérica y adaptado a Chile por Figueroa (Figueroa *et al.,* 2007). Este índice requiere una aproximación cuantitativa de las familias y asignación de un valor de tolerancia para cada una de ellas. El valor obtenido de este índice se asocia a una clase de calidad; originalmente considera siete clases de calidad, sin embargo, desde los trabajos en Chile de estos últimos autores se redujeron a 5, por medio de una ampliación de las clases en igual proporción, con el fin de hacerlo comparable con los otros índices bióticos.

Biological Monitoring Working Party

Otro método empleado para determinar calidad de agua a partir de la presencia de invertebrados indicadores es el índice "Biological Monitoring Working Party" (BMWP). Por cada punto de muestreo, se obtiene el grado de contaminación a partir de la suma de los valores obtenidos para cada familia; a mayor valor de esta suma, menor es la contaminación del punto estudiado (Hurtado, 2008), aunque pueden darse valores altos con muchas familias de puntuación intermedia (Prat *et al.,* 2009). Esta escala originalmente consta de 10 clases de calidad de agua (Alba-Tercedor y Sánchez, 1988), sin embargo, también fue modificada por Figueroa *et al.* (2007) para Chile, reduciendo las clases a 5, donde 1 corresponde a buena calidad (aguas muy limpias) y 5 a calidad muy crítica (aguas fuertemente contaminadas). A cada clase se le otorga además un color para su representación cartográfica.

Situación actual en Chile

En las últimas tres décadas, se han estudiado los ecosistemas acuáticos continentales chilenos de manera general (e.g., Campos *et al*., 1984; Arenas, 1995; Habit *et al*., 1998; Figueroa *et al*., 2000; Figueroa *et al*., 2006). Esto evidencia una primera problemática; la escasa experiencia en el país sobre el uso de variables biológicas. Por ello se hace necesaria una mayor recopilación de información y estandarización de métodos de evaluación y monitoreo (Figueroa *et al.*, 2007).

Los estudios acerca de bioindicadores de calidad del agua en el país se han enfocado principalmente a los ríos de la zona centro-sur, como la cuenca del Río Damas, en la Región de Los Lagos (Figueroa et al., 2003) y como el Estero Nonguén y el Río Chillán en la Región de Ñuble (Figueroa *et al.*, 2005; Figueroa *et al.*, 2007) donde se evaluaron distintos índices bióticos para la calidad del agua, con mayor uso del IBF. En la zona central de Chile, se han realizado estudios entre los cuales destacan los realizados en el Río Maipo, Región Metropolitana, utilizando diatomeas y macroinvertebrados como bioindicadores (Toro et al., 2003) y en el Estero Limache de la Región de Valparaíso (Córdova *et al*., 2009), en el cual se realizaron distintos bioensayos con una especie de microalga y se determinaron calidades del agua mediante el IBF. Estudios posteriores se hicieron en otras regiones, como las cuencas de ríos Limarí y Mataquito (regiones de Coquimbo y del Maule, respectivamente), donde se trabajó con los índices IBF, BMWP y SIGNAL con el fin de establecer una propuesta de utilización de parámetros biológicos que contribuyan a la evaluación de calidad de agua para objetivos de fiscalización (MOP DGA (Ministerio de Obras Públicas Dirección General de Aguas), 2010).

Humedal Batuco

El humedal natural más importante de la Región Metropolitana de Santiago corresponde al Humedal de Batuco (Comuna de Lampa, Provincia de Chacabuco), el cual destaca por su avifauna acuática residente y migratoria. En este sitio habitan alrededor de 70 especies de aves, representando casi un 20% de su riqueza en Chile. Dentro de las principales amenazas se pueden mencionar la fuerte perturbación antrópica: drenajes de la laguna para fines inmobiliarios e industriales, caza ilegal, recepción de desechos domiciliarios e industriales, construcción de diques, extracción de suelos y aguas subterráneas, entre otras (CONAMA, 2005).

Tranque Chada

En la Comuna de Paine, Provincia de Maipo, Región Metropolitana, se encuentra el Tranque Chada. Este tranque se habilitó gracias a los trabajos realizados bajo el Plan de Construcción y Rehabilitación de Pequeños Embalses. Se estima que más de 2.000 habitantes de esta localidad se benefician de este tranque, especialmente agricultores de la zona, entregando una

superficie de riego de 500 ha de producción agrícola; principalmente plantaciones frutales y hortalizas (Gobernación Provincial de Maipo, 2015).

Laguna Carén

Dentro de la Región Metropolitana, en la zona semiárida llamada Valle de Lo Aguirre, en la Comuna de Pudahuel, Provincia de Santiago, se ubica el parque “Laguna Carén”. La laguna que forma parte de este lugar se conforma como un cuerpo de agua superficial suburbano con una extensión de 2.500 m de longitud por 90 m de ancho, y una profundidad máxima de 5 m con una superficie cercana a 10 ha. Esta laguna ha sufrido de eventos de contaminación agroindustriales esporádicos (Aguilera, 2005). Sin embargo, existen documentos que confirman la descarga de materia orgánica hacia la laguna, excediéndose considerablemente en el valor mínimo aceptado de emisión de coliformes fecales (Superintendencia de Servicios Sanitarios, 2013). En un tramo de su recorrido se desprenden dos brazos y además presenta una serie de pequeños esteros que fluyen hacia la laguna desde el poniente y sur en forma de abanico. El parque posee un paisaje formado por eucaliptos, espinos y maitenes entre otras especies vegetales, junto a una gran diversidad de aves. Sus elementos naturales hacen que el parque genere un entorno atractivo para la creación de empresas e institutos de investigación (Aguilera, 2005). En la actualidad se está construyendo el Centro Tecnológico para la Innovación Alimentaria (CeTA) en los terrenos que bordean a la laguna y que constituyen el “Parque Carén”, sector perteneciente a la Universidad de Chile y que pretende ser el centro más importante de tecnología de los alimentos en el país (Universidad de Chile, 2017)

El presente proyecto de grado consiste en una evaluación de parámetros biológicos para establecer calidades del agua en distintas estaciones de muestreo en estos tres cuerpos de agua presentados, utilizando a los insectos acuáticos como modelo de bioindicadores. Una de las innovaciones de este estudio exploratorio reside en obtener calidades del agua en distintas estaciones de muestreo de estas tres lagunas sólo con parámetros biológicos (insectos). Para ello, contempla determinar la abundancia y riqueza de estos organismos en dos temporadas y la aplicación de los índices IBF y BMWP. Finalmente, plantea relacionar los resultados de las calidades del agua en las distintas estaciones de muestreo a partir de estos criterios (IBF y BMWP) con parámetros físico-químicos del agua, con el propósito de contribuir al conocimiento de los insectos acuáticos como bioindicadores.

Objetivo General:

Utilizar a los insectos acuáticos como indicadores de calidad del agua en Tranque Chada, Humedal de Batuco y Laguna Carén, Región Metropolitana, Chile.

Objetivos Específicos:

Determinar la abundancia y riqueza de insectos acuáticos en cada estación de muestreo (EM) por cuerpo de agua.

Establecer diferentes calidades del agua a partir de los insectos acuáticos como bioindicadores, utilizando el Índice Biótico de Familias (IBF) y el índice “Biological Monitoring Working Party” (BMWP) para los insectos detectados en cada EM por cuerpo de agua.

Relacionar los valores de puntaje de IBF y BMWP por EM con parámetros físico-químicos del agua por cuerpo de agua.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Materiales

Áreas de estudio

Las áreas de estudio para este trabajo corresponden a tres cuerpos lacustres ubicados en la Región Metropolitana de Chile: Tranque Chada, Humedal Batuco y Laguna Carén (**Cuadro 1**).

Cuadro 1. Antecedentes de los cuerpos de agua estudiados en la Región Metropolitana.

Cuerpo de agua	Comuna	Provincia	Altitud media (msnm)	Ubicación (coordenadas UTM)*	Superficie cuerpo de agua (ha)*
Tranque Chada	Paine	Maipo	598	19 H 347707 E – 6247419 N	13,2
Humedal Batuco	Lampa	Chacabuco	481	19 H 329375 E – 6324095 N	275,0
Laguna Carén	Pudahuel	Santiago	470	19 H 328236 E - 6299211 N	28,7

* Coordenadas y superficies de cuerpos de agua consultadas con el programa Google Earth Pro ™ versión 7.1.5.1557 (Google, 2016). Las coordenadas corresponden al punto central de cada cuerpo de agua.

2.2 Métodos

2.2.1 *Muestreo e identificación de insectos*

Los muestreos de insectos acuáticos se realizaron en dos temporadas: primavera de 2015 y otoño de 2016. Para primavera, los muestreos se realizaron en tres días independientes de 2015: 16 de noviembre en Embalse Chada, 30 de noviembre en Humedal de Batuco y 07 de diciembre en Laguna Carén. Posteriormente, los muestreos de otoño se llevaron a cabo en las siguientes fechas de 2016: 04 de abril en Embalse Chada, 11 de abril en Laguna Carén y 29 de abril en Humedal de Batuco.

En cada cuerpo de agua, se escogieron al azar cuatro estaciones diferentes (EM), representativas de su diversidad, las cuales fueron georreferenciadas mediante GPS, donde se tomaron tres muestras de insectos acuáticos por cada EM. A modo de ejemplo se presenta el Tranque Chada (**Figura 1**).

Figura 1. Estaciones de muestreo (EM) en Tranque Chada, Paine. *E: Estación.* Imagen modificada a partir del programa Google Earth Pro ™ versión 7.1.5.1557 (Google, 2016).

El muestreo de los insectos acuáticos en cada EM, consistió en sumergir en el cuerpo de agua un frasco estéril de polipropileno de volumen 1 L, el cual se retiró en forma inmediata. A continuación, el contenido de cada uno de estos recipientes se filtró con un trozo de género tul adherido a un colador plástico y el material sólido retenido fue traspasado a otro frasco de polipropileno de volumen 250 ml con etanol al 70%. Luego, las muestras se trasladaron al Laboratorio de Invertebrados en la Facultad de Ciencias de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, donde nuevamente se filtraron con un tamiz de 250 µm de abertura de malla. A continuación, se realizó la limpieza, separación e identificación de las muestras en placas de Petri, con la ayuda de una lupa estereoscópica y pinzas de disección, junto a claves actualizadas de identificación de las principales familias de insectos acuáticos. A partir de los insectos ya identificados, se determinó tanto la riqueza (número de familias) como la abundancia (número de individuos de cada familia) para cada EM por temporada, en los tres cuerpos de agua. A fin de detectar diferencias significativas de la abundancia de familias de insectos entre las EM, se realizó una comprobación de los supuestos de normalidad y homocedasticidad en cada temporada, tanto para la abundancia de insectos, como para la riqueza de familias. Debido a que el supuesto de normalidad no se cumplió, para comprobar diferencias estadísticas entre las EM (considerando abundancia y riqueza de familias) se utilizó la prueba estadística no paramétrica de Kruskal-Wallis (H'), seguida por pruebas de Dunn de comparaciones múltiples para identificar las diferencias ($p < 0,05$). Finalmente, entre temporadas se utilizó la prueba de Mann-Whitney (U'). Ambas pruebas se realizaron con el programa para análisis estadístico InfoStat (2008).

2.2.2 *Cálculo de calidades de agua a partir del Índice Biótico de Familias* (IBF) y del *Biological Monitoring Working Party* (BMWP)

Cada EM de los tres cuerpos de agua, por temporada, se clasificó según su calidad de acuerdo al Índice Biótico de Familias (IBF) y al Biological Monitoring Working Party (BMWP) adaptados para Chile por Figueroa (2004).

Para el IBF, el valor de calidad de agua resulta de la razón: $IBF = 1/N \Sigma n_i t_i$, donde n_i corresponde al número de individuos en una familia; t_i al puntaje de tolerancia de cada familia y N al número total de individuos en la muestra (estación de muestreo). El valor resultante por

estación de muestreo de esta fórmula se ubicó en una de las cinco clases de calidad de agua (**Cuadro 2**).

Cuadro 2. Clases de calidad a partir de los valores de IBF, modificado de MOP DGA (2010).

Clase	IBF	Calidad
I	0,00 – 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

En el caso del BMWP, se sumaron los valores de tolerancia para cada una de las familias y su resultado se clasificó en una de las cinco clases de calidad de agua (**Cuadro 3**). En ambos casos, existe una adaptación de estos índices para Chile por Figueroa (2004), ya que en sus versiones anteriores, ambos índices contemplaban más de cinco clases de calidad de agua.

Cuadro 3. Clases de calidad a partir de los valores de BMWP, modificado de MOP DGA (2010).

Clase	BMWP	Calidad	Color asignado
I	>100	Muy Buena	**Azul**
II	61 – 100	Buena	**Verde**
III	36 – 60	Regular	**Amarillo**
IV	16 – 35	Mala	**Naranjo**
V	<15	Muy mala	**Rojo**

2.2.3 *Medición de parámetros físico-químicos del agua*

Paralelamente con el muestreo de insectos se determinaron parámetros físico-químicos del agua en las EM de las tres lagunas y temporada. En cada EM se determinó a partir de un muestra de volumen 1 L, los parámetros físico-químicos in situ con un medidor multiparámetro (WTW Multi 340i) que entrega resultados instantáneos (pH, conductividad eléctrica, salinidad, temperatura y oxígeno disuelto). Por cada estación, a su vez, se obtuvo tres submuestras en tubos tipo Falcon de volumen 50 mL que se transportaron a una temperatura de 4°C en una heladera para un posterior análisis en laboratorio de los siguientes criterios: fosfatos, nitratos, color (Platino-Cobalto) y grado de turbidez, de acuerdo a los métodos indicados en la Norma Chilena Oficial de Calidad de Agua NCh 411/1-4 del Instituto Nacional de Normalización (INN Chile, 1996) y cuyos valores se compararon con aquellos establecidos en la "Guía para el Establecimiento de las Normas Secundarias de Calidad Ambiental para Aguas Continentales Superficiales y Marinas" de la CONAMA (2004) y la Norma Chilena Oficial NCh 1333.Of78 "Requisitos de Calidad de Aguas para distintos Usos (INN Chile, 1987). Estos últimos análisis se llevaron a cabo en el Laboratorio de Criminalística Central (LACRIM), Sección Ecología y Medioambiente, de la Policía de Investigaciones de Chile (PDI).

2.2.4 *Relación entre el IBF y parámetros físico-químicos del agua*

Se relacionaron, además, en forma independiente, parámetros físico-químicos del agua con las calidades del agua calculadas a partir del IBF obtenidas de cada EM mediante análisis de correlación canónica, con ayuda del programa "Past" versión 2.17c (Hammer *et al*., 2001).

3. RESULTADOS

3.1 Descripción de las zonas de estudio

3.1.1 Embalse Chada

Entre las temporadas de primavera de 2015 y otoño de 2016, se registraron importantes cambios en la zona de estudio. En primavera de 2015, se pudo apreciar un pequeño cuerpo de agua irregular de aproximadamente 15 ha, con agua cristalina en las cuatro estaciones de muestreo. Sin embargo, al realizar el segundo muestreo en otoño de 2016, el embalse se encontró dividido en dos pequeños cuerpos de agua, donde uno de ellos se encontraba con el agua estancada, aunque sin presencia de malos olores. El cuerpo de agua correspondiente a las EM3 y EM4 se encontró con agua cristalina. Tanto en primavera de 2015, como en otoño de 2016 se registraron aves, como tiuques (*Milvago chimango*), garza (*Ardea alba*) y en otoño se pudo apreciar un ejemplar solitario de garza cuca (*Ardea cocoi*). En el cuerpo de agua, se observó un cardumen de gambusia (*Gambusia affinis*) en la EM2 y EM3 en primavera y en la EM2 en otoño 2016 (**Cuadro 4**).

En el Cuadro 4, se observan las principales características presentes en cada estación de muestreo (EM), tanto en primavera de 2015 como en otoño de 2016.

Cuadro 4. Descripción de las estaciones de muestreo (EM) en la temporada de primavera de 2015 y otoño 2016 (sólo las características que cambiaron entre una estación y otra) en Embalse Chada.

CARACTERÍSTICAS	**Estaciones de muestreo**			
	EM1	**EM2**	**EM3**	**EM4**
	Primavera 2015			
Vegetación	· Espino (*Acacia caven*) · Manzanilla (*Chamomilla suaveolens*) · Clonqui (*Xanthium cavanillesii*)	· Espino (*A. caven*) · Manzanilla (*C. suaveolens*) · Sauce chileno (*Salix humboldtiana*) · Clonqui (*X. cavanillesii*)	· Espino (*A. caven*) · Salvia macho (*Eupatorium salvium*) · Sauce chileno (*S. humboldtiana*)	· Espino (*A. caven*) · Zarzamora (*Rubius ulmifolium*)
Fondo del cuerpo de agua	Rocoso	Rocoso	Rocoso	Lodoso
Corriente del agua	Ausente	Ausente	Presente	Presente
Olores	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Microalgas	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Espuma, aceites y/o grasas	Ausente	Ausente	Ausente	Presente
Avistamiento de peces y/o aves acuáticas	Ausente	Presente	Presente	Ausente
Resuspensión de sedimento	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
CARACTERÍSTICAS	**Otoño 2016**			
Corriente del agua	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Espuma, aceites y/o grasas	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Avistamiento de peces y/o aves acuáticas	Ausente	Ausente	Presente	Presente
Resuspensión de sedimento	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente

3.1.2 Humedal Batuco

Durante la temporada de otoño aumentó considerablemente el área del espejo de agua del humedal y una mayor cantidad de algas que le otorgaron turbidez a gran parte de las muestras tomadas. Una de las especies destacadas dentro de la vegetación del humedal fue *Frankenia salina* (hierba del salitre), planta endémica de la zona y halófita, es decir, que posee adaptaciones morfológicas y fisiológicas que le permiten habitar zonas con alta concentración de sales (**Cuadro 5**) (Mellado, 2008).

Si bien, tanto en primavera como en otoño hubo presencia de malos olores, se percibió una disminución de mal olor en otoño con respecto a primavera. En las dos temporadas, se observó un número importante de aves y peces. Se apreciaron ejemplares de queltehue (*Milvago chimango*), perrito (*Himantopus melanurus*) bordeando el cuerpo de agua, tiuques alrededor del humedal (*Milvago chimango*) y se pudo observar al “siete colores” (*Tachuris rubrigastra*) volando a través de las totoras cercanas a las EM3 y EM4. En estas últimas estaciones, destacó la presencia de crustáceos; principalmente dafnias (*Daphnia* sp.) y en menor cantidad copépodos (**Cuadro 5**).

En el Cuadro 5, se observan las principales características presentes en cada estación de muestreo (EM), tanto en primavera de 2015 como en otoño de 2016.

Cuadro 5. Descripción de las estaciones de muestreo (EM) en la temporada de primavera de 2015 y otoño 2016 (sólo las características que cambiaron entre una estación y otra) en Humedal de Batuco.

CARACTERÍSTICAS	Estaciones de muestreo			
	EM1	EM2	EM3	EM4
	Primavera 2015			
Vegetación	· Teatina (*Avena barbatta* Pott ex Link) · Retamo (*Cressa truxillensis*) · Hierba del salitre (*Frankenia salina*)	· Teatina (*A. barbata*) · Quinguilla (*Chenopodium glaucum*) · Botón de oro (*Cotula coronopifolia L.*) · Grama salada (*Distichlis spicata*) · Tulillo (*Eleocharis macrostachya*) · Alfilerillo (*Erodium botrys* (Cav.) Bertol) · Hierba del salitre (*F. salina*) · Puccinellia (*Puccinellia glaucescens*) (Phil.) · Totorilla (*Scirpus californicus*) · Totora (*Typha angustifolia*)	· Pasto cenizo (*Atriplex philippi*) · Teatina (*A. barbatta*) · Tulillo (*E. macrostachya*) · Alfilerillo (*E. botrys* · Alfalfa del secano (*Medicago polymorpha* L.) · Cola de zorro (*Polypogon monspeliensis*) · Huañil (*Proustia cuneifolia* D. Don) · Puccinellia (*P. glaucescens*) · Totorilla (*S. californicus*) · Totora (*T. angustifolia*)	· Pasto cenizo (*Atriplex philippi*) · Teatina (*A. barbatta*) · Tulillo (*E. macrostachya*) · Alfilerillo (*E. botrys)* · Alfalfa del secano (*Medicago polymorpha* L.) · Cola de zorro (*Polypogon monspeliensis*) · Huañil (*Proustia cuneifolia* D. Don) · Puccinellia (*P. glaucescens*) · Totorilla (*S. californicus*) · Totora (*T. angustifolia*)
Fondo del cuerpo de agua	Pantanoso	Pantanoso	Pantanoso	Pantanoso
Corriente del agua	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Olores	Presente	Presente	Presente	Presente
Microalgas	Presente	Ausente	Ausente	Ausente
Espuma, aceites y/o grasas	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Avistamiento de peces y/o aves acuáticas	Presente	Presente	Presente	Presente
Resuspensión de sedimento	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
CARACTERÍSTICAS	**Otoño 2016**			
Corriente del agua	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Microalgas	Ausente	Presente	Ausente	Ausente
Espuma, aceites y/o grasas	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Avistamiento de peces y/o aves acuáticas	Presente	Presente	Presente	Presente
Resuspensión de sedimento	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente

3.1.3 Laguna Carén

Entre las dos temporadas (primavera 2015 y otoño 2016), no existió gran variación en cuanto a la flora identificada ni la textura del fondo de cada estación de muestreo en el cuerpo de agua. Donde se apreciaron más cambios fue en la disminución de corrientes de agua y en el aumento de microalgas y en la presencia de espuma y otros sobrenadantes en otoño (**Cuadro 6**).

En las cuatro estaciones muestreadas, se presentó un descenso del nivel de la laguna. Entre las especies de fauna encontradas destacan, dentro de las aves, el queltehue (*Vanellus chilensis*) alrededor de las EM1 y EM2, el huala (*Podiceps major*) cercano a las EM2 y EM3, visible también desde las otras EM. En las primeras dos estaciones, se pudo apreciar, dentro de los peces, a la carpa (*Ciprynus carpio*) (**Cuadro 6**).

En general, las aguas se observaron turbias, con sedimentos resuspendidos en gran parte de la laguna y presencia de malos olores, principalmente en la EM4, correspondiente a la zona de picnic y actividades deportivas (mayormente remo) (**Cuadro 6**).

En el Cuadro 6, se observan las principales características presentes en cada estación de muestreo (EM), tanto en primavera de 2015 como en otoño de 2016.

Cuadro 6. Descripción de las estaciones de muestreo (EM) en la temporada de primavera de 2015 y otoño 2016 (sólo las características que cambiaron entre una estación y otra) en Laguna Carén.

CARACTERÍSTICAS	**Estaciones de muestreo**			
	EM1	**EM2**	**EM3**	**EM4**
	Primavera 2015			
Vegetación	· Espino (*A. caven*) · Yuyo (*Brassica rapa oleífera*) · Cardo penquero (*Cynara cardunculus*) · Cardo negro (*C. pycnocephalus*) · Zarzamora (*Rubus ulmifolius*) · Mostacilla (*Sisymbrium officinale*) · Galega (*Galega officinalis*)	· Espino (*A. caven*) · Yuyo (*Brassica rapa oleífera*) · Cardo penquero (*C. cardunculus*) · Mostacilla (*S. officinale*) · Romerillo (*Baccharis linearis*)	· Algarrobo (*Prosopis chilensis*) · Espino (*A. caven*) · Maitén (*Maytenus boaria*) · Yuyo (*B. rapa oleífera*) · Cardo penquero (C. *cardunculus*) · Cardo negro (*C. pycnocephalus*) · Manzanilla (*C. suaveolens*) · Totora (*Tipa angustifolia*) · Junco (*Scirpus sp.*) · Quilo (*Muehlenbeckia hastulata*)	· Eucalipto (*Eucalyptus globulus*) · Algarrobo (*P. chilensis*) · Maitén (*M. boaria*) · Yuyo (*B. rapa oleifera*) · Totora (*T. angustifolia*) · Junco (*Scirpus sp.*) · Romerillo (*B. linearis*) · Quilo (*M. hastulata*) · Galega (*G. officinalis*)
Fondo del cuerpo de agua	Rocoso	Rocoso	Rocoso	Lodoso
Corriente del agua	Presente	Presente	Presente	Ausente
Olores	Ausente	Ausente	Ausente	Presente
Microalgas	Ausente	Ausente	Ausente	Presente
Espuma, aceites y/o grasas	Ausente	Ausente	Ausente	Presente
Avistamiento de peces y/o aves acuáticas	Presente	Presente	Presente	Presente
Resuspensión de sedimento	Ausente	Presente	Ausente	Presente
CARACTERÍSTICAS	**Otoño 2016**			
Corriente del agua	Ausente	Ausente	Presente	Ausente
Microalgas	Presente	Presente	Ausente	Presente
Espuma, aceites y/o grasas	Ausente	Presente	Ausente	Presente
Avistamiento de peces y/o aves acuáticas	Presente	Presente	Presente	Presente
Resuspensión de sedimento	Presente	Presente	Ausente	Presente

3.2 Abundancia y riqueza de familia de insectos según la estación de muestreo y temporada

3.2.1 Abundancia

Embalse Chada

En la EM1, tanto en primavera como otoño, no se encontraron insectos. Respecto a las otras estaciones de muestreo, en la temporada de primavera, la EM2 registró una abundancia mayor que las otras estaciones (H'=8,42; p<0,05). En la temporada de otoño, tampoco se registraron insectos en la EM4. Sin embargo, dentro de las dos estaciones donde se encontraron insectos, la EM3 registró una abundancia significativamente mayor de insectos que la EM2 (H'=6,58; p<0,05) (**Figura 2**). Entre estaciones, sin considerar temporadas, las diferencias fueron altamente significativas, destacando la abundancia de insectos en la EM3 (H'=7,99; p<0,05).

Entre temporadas, no se encontraron diferencias significativas en las estaciones de muestreo. Esto se evidencia en la EM1, ya que tanto en primavera como en otoño, no se registraron insectos. Tampoco hubo diferencias significativas entre temporadas en las EM restantes; EM2 (U'=6; p=0,1), EM3 (U'=15; p=0,1) y EM4 (U'=6; p=0, 1). Al observar el gráfico, resulta difícil evidenciar que no existan diferencias significativas entre temporadas en EM2 y EM3 (principalmente en EM3, donde se aprecia un cambio considerable en el promedio de individuos por litro entre primavera y otoño). Sin embargo, estos promedios de individuos se realizaron a partir de sólo tres muestras por EM en cada temporada. Por lo tanto, para cada análisis estadístico de abundancia entre temporadas, el total de muestras fueron solamente 6 (tres muestras para primavera y tres muestras para otoño, por cada EM). El número bajo de muestras por análisis no permite determinar diferencias significativas entre temporadas mediante la prueba estadística de Mann-Whitney. De la misma forma, al comparar la abundancia obtenida entre las temporadas de primavera y otoño **sin diferenciar las EM**, la temporada de otoño presentó una abundancia mayor que primavera (U'=134,5; p=0,34), sin embargo, esta diferencia tampoco es estadísticamente significativa (**Figura 2, Anexo IV**).

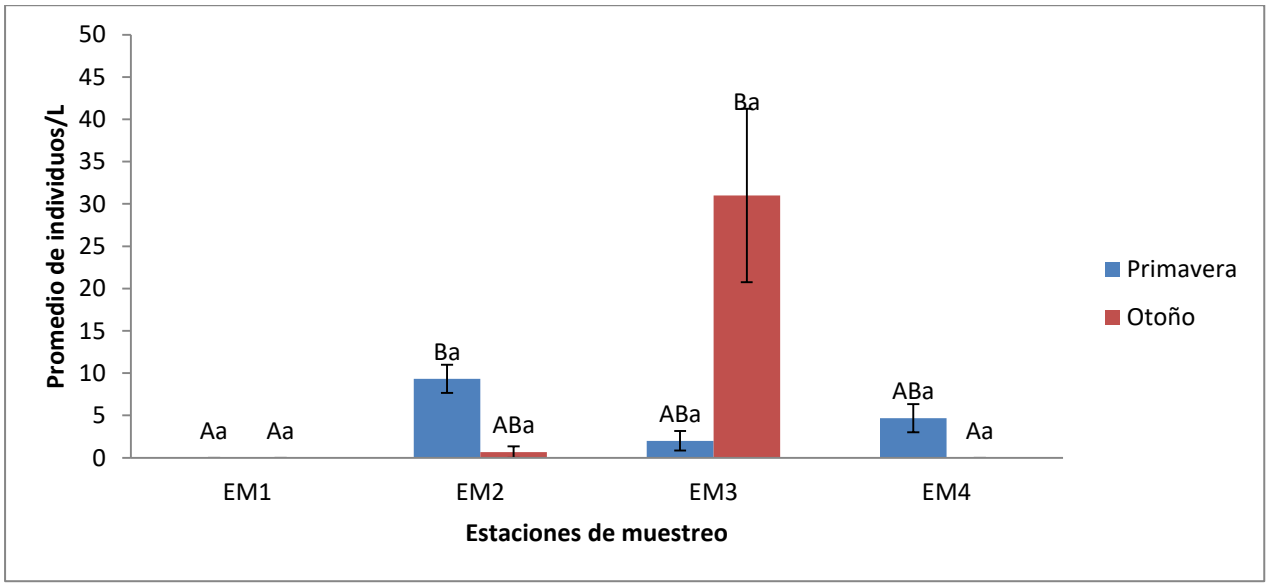

Figura 2. Abundancia de insectos acuáticos (promedio de individuos/L ± E.E) durante las temporadas de primavera de 2015 y otoño de 2016 en Embalse Chada por estación de muestreo. Letras mayúsculas y minúsculas diferentes indican diferencias significativas entre estaciones de muestreo y temporadas, respectivamente (p<0,05).

Humedal Batuco

En la temporada primavera, la EM2 fue la que registró la menor abundancia de insectos, significativamente inferior que las otras tres estaciones (H'=9,51; p<0,05). En la temporada de otoño, las diferencias de abundancia entre estaciones fueron más significativas que en primavera. La EM4 fue la que registró mayor abundancia, con diferencias significativas respecto a las otras estaciones (H´=9,97; p<0,05). A nivel general, sin considerar las temporadas, se presentaron diferencias significativas entre las cuatro estaciones de muestreo (H'=14,29; p<0,01) (**Figura 3**).

Al igual que en el caso de Embase Chada, en ninguna de las estaciones de muestreo se encontraron diferencias significativas entre las temporadas de primavera y otoño; EM1 (U'=6; p=0,1), EM2 (U'=15; p=0,1), EM3 (U'=6; p=0,1) y EM4 (U'=11,5; p=0,8). La única EM que permite evidenciar la ausencia de diferencias significativas es la EM4. Tanto en EM1, EM2 y EM3, en el gráfico se distinguen diferencias muy notorias de la abundancia entre temporadas que parecen no concordar con los datos estadísticos. La explicación de esta aparente discordancia, al igual que en la situación en Embalse Chada, reside en el hecho de considerar solamente las tres muestras colectadas por cada EM en las dos temporadas, realizando el

análisis estadístico con sólo seis muestras; cantidad tan baja que no permite explicar estadísticamente las diferencias en la abundancia de cada EM. En general, las diferencias en la abundancia presentada entre temporadas de primavera y otoño, no lograron ser significativas (U'=133; p=0,33) (**Figura 3, Anexo IV**).

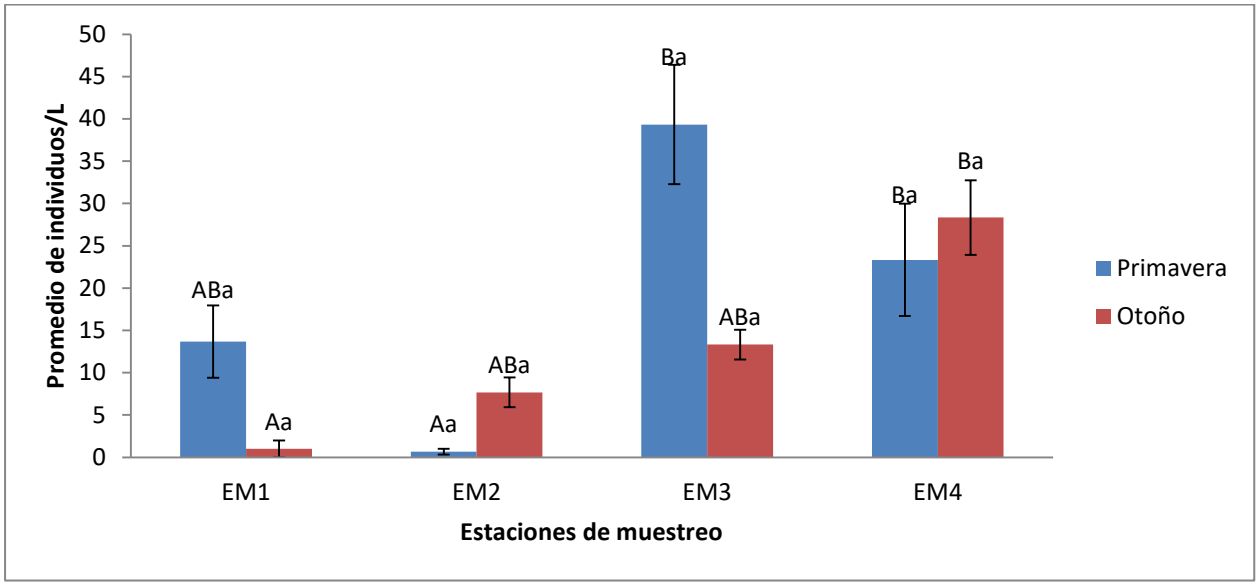

Figura 3. Abundancia de insectos acuáticos (promedio de individuos/L ± E.E) durante las temporadas de primavera de 2015 y otoño de 2016 en Humedal Batuco por estación de muestreo. Letras mayúsculas y minúsculas diferentes indican diferencias significativas entre estaciones de muestreo y temporadas, respectivamente (p<0,05).

Laguna Carén

En la temporada de primavera, no se encontraron insectos en la EM2. En las estaciones restantes, la EM3 fue la estación que registró la menor abundancia con diferencias significativas (H'=9,09; p<0,05). En la temporada de otoño, no se encontraron insectos en la EM1 y dentro de las estaciones restantes, la EM4 presentó mayor abundancia, pero estas diferencias no resultaron significativas (H=6,69; p≥ 0,05) (**Figura 4**). Entre estaciones de muestreo, descartando las temporadas, la EM4 presentó la mayor abundancia, sin embargo, estas diferencias no fueron significativas (H=5,74; p≥ 0,05).

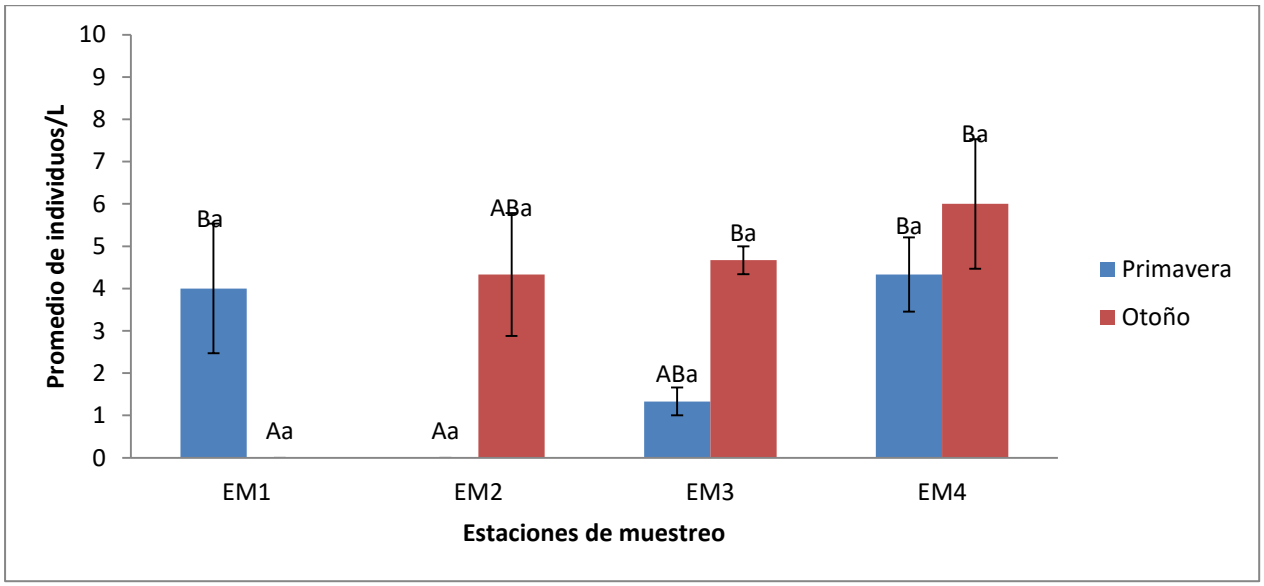

Figura 4. Abundancia de insectos acuáticos (promedio de individuos/L ± E.E) durante las temporadas de primavera de 2015 y otoño de 2016 en la Laguna Carén por estación de muestreo. Letras mayúsculas y minúsculas diferentes indican diferencias significativas entre estaciones de muestreo y temporadas, respectivamente (p<0,05).

Las diferencias en la abundancia de cada estación de muestreo entre temporadas no fue significativa en ninguna EM. La EM1 no registró insectos en otoño, mientras que la EM2 no registró insectos en primavera, por lo que no se pueden establecer diferencias en estas estaciones de muestreo. Si bien, en las estaciones EM3 y EM4 se encontraron insectos tanto en primavera como en otoño, las diferencias en la abundancia entre estaciones no lograron ser significativas. EM3 (U'=15; p=0,1) y EM4 (U'=12,5; p=0,5). Tampoco se lograron establecer diferencias significativas entre temporadas incluyendo todas las estaciones de muestreo (U'=170,5; p=0,23) (**Figura 4**).

3.2.2 Riqueza de familias

Embalse Chada

Tanto en la temporada de primavera como en otoño, no se registraron insectos en la EM1, por lo que no se logró determinar un valor promedio de riqueza de familias en dicha estación. En primavera, las diferencias entre los valores de riqueza de las estaciones no fue significativo (H'=6; p=0,09), aunque la EM2 registró en promedio una riqueza de familias mayor que la EM3 y la EM4. Durante el otoño, las diferencias entre los valores de riqueza de las estaciones sí fueron significativas (H'=6,21; p=0,03), aunque tampoco se encontraron insectos en la EM4 **(Figura 5).**

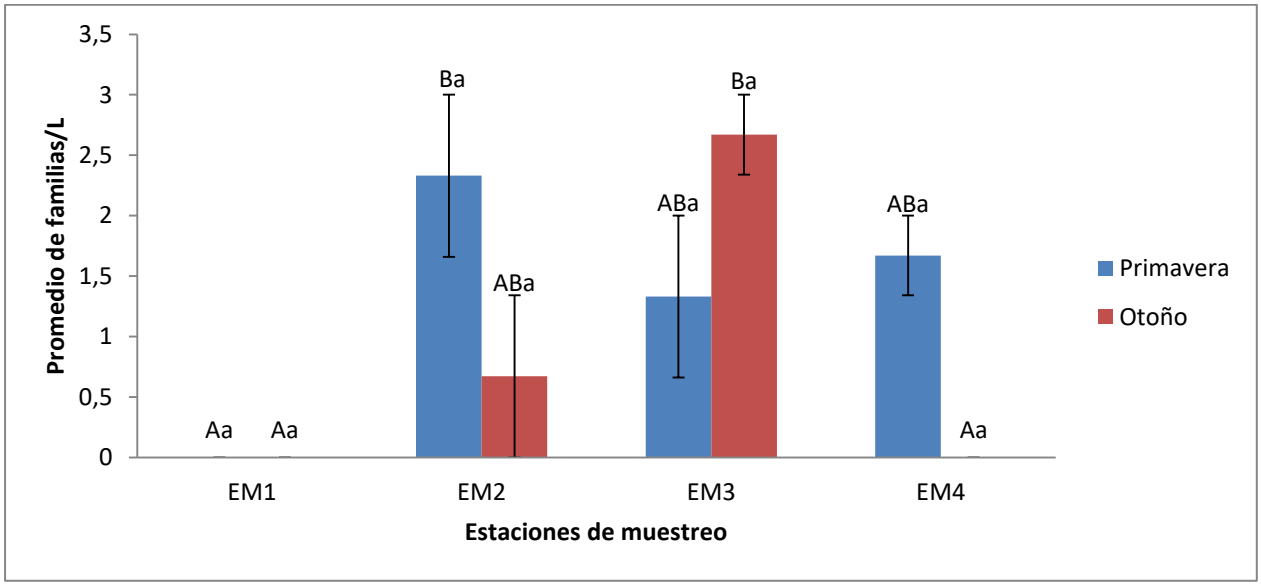

Figura 5. Riqueza de insectos acuáticos (promedio de familias/L ± EE) durante las temporadas de primavera de 2015 y otoño de 2016 en Embalse Chada por estación de muestreo. Letras mayúsculas y minúsculas diferentes indican diferencias significativas entre estaciones de muestreo y temporadas, respectivamente.

Las diferencias en la abundancia de cada estación de muestreo entre temporadas no fue significativa en ninguna EM.

Humedal Batuco

En la temporada de primavera, las EM3 y EM4 presentaron el mismo valor promedio de familias por litro, significativamente superior a los valores en la EM1 y EM2 (H'= 7,19; p=0,0447). En cambio, en la temporada de verano la EM2 y EM3 presentaron el mismo valor, que superó a EM1 y EM4, las cuales también presentaron el mismo valor promedio de familias por litro. Sin embargo, las diferencias durante el otoño no fueron significativas (H'=5,86; p=0,04) **(Figura 6).**

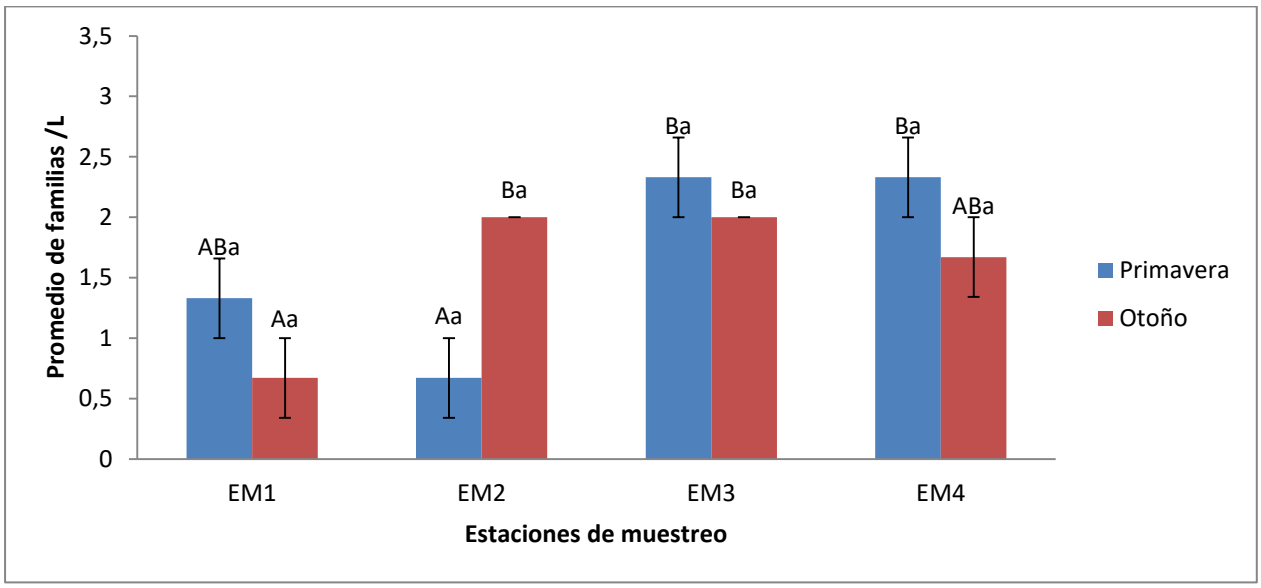

Figura 6. Riqueza de insectos acuáticos (promedio de familias/L ± EE) durante las temporadas de primavera de 2015 y otoño de 2016 en el Humedal Batuco por estación de muestreo. Letras mayúsculas y minúsculas diferentes indican diferencias significativas entre estaciones de muestreo y temporadas, respectivamente.

En ninguna de las EM se presentaron diferencias significativas entre temporadas en relación a los promedios de familias por litro.

Laguna Carén

En la temporada de primavera, la EM2 no presentó insectos. En las estaciones de muestreo restantes, la EM4 tuvo una riqueza significativamente superior que las otras tres estaciones, en particular la EM3 (la que tuvo menos) (H'=9,46; p=0,01). En cambio, en la temporada de otoño, la estación que no presentó insectos fue la EM1. De las restantes, la que presentó mayor riqueza fue la EM3, seguida de EM4 y EM1, con diferencias considerablemente significativas (H'=8,65; p=0,02) **(Figura 7).**

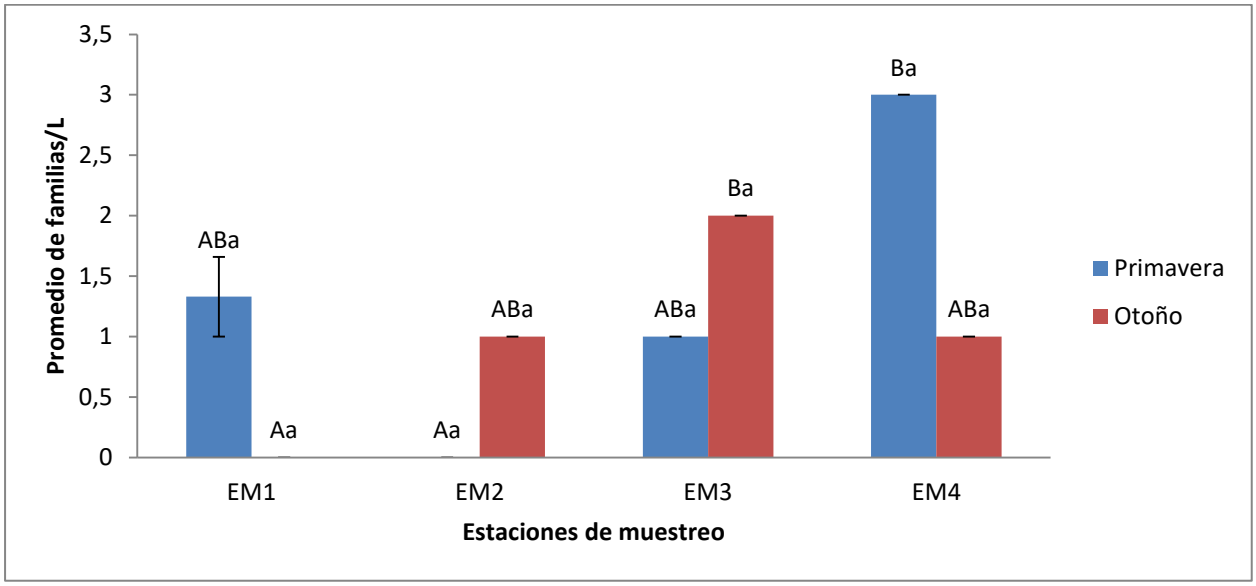

Figura 7. Riqueza de insectos acuáticos (promedio de familias/L ± EE) durante las temporadas de primavera de 2015 y otoño de 2016 en la Laguna Carén por estación de muestreo. Letras mayúsculas y minúsculas diferentes indican diferencias significativas entre estaciones de muestreo y temporadas, respectivamente.

Las diferencias en la abundancia de cada estación de muestreo entre temporadas no fue significativa en ninguna EM, ya que al igual que en los otros cuerpos de agua, los valores consideraron los promedios de familias por litro.

3.3 Composición de fauna entomológica

La familia de insectos más frecuente y presente en los tres cuerpos de agua resultó ser la familia CORIXIDAE (Orden Hemiptera, **figura 8a**), con un total de 299 ejemplares que se lograron identificar dentro del género *Sigara*, considerando tanto primavera como otoño. La segunda familia más frecuente correspondió a CHIRONOMIDAE (Orden Diptera, **figura 10b**), con un total de 244 insectos. Si bien esta familia se encontró en los tres cuerpos de agua, en el Embalse Chada se observó exclusivamente en otoño. Debido a que la mayoría de los registros se encontraron en estado de pupa, solamente se identificó el nivel de familia CHIRONOMIDAE, sin embargo, este taxón es suficiente para establecer valores de calidad de agua mediante diferentes índices bióticos (**Cuadro 7**).

Cuadro 7. Composición de la fauna entomológica y su abundancia absoluta por cuerpo de agua y temporada (P: Primavera 2015; O: Otoño 2016).

Orden	**Familia /especie, si corresponde.**	E. Chada		H. Batuco		L. Carén	
		P	O	P	O	P	O
ODONATA	Aeshnidae	0	0	0	0	**3**	0
	Coenagrionidae	0	0	0	0	**4**	0
EPHEMEROPTERA	Baetidae (*Andesiops peruvianus*)	**6**	**32**	0	0	0	0
DIPTERA	Chironomidae	0	**12**	**75**	**109**	**10**	**38**
	Culicidae	0	0	**1**	0	0	0
HEMIPTERA	Corixidae (*Sigara sp*.)	**36**	**51**	**151**	**42**	**12**	**7**
COLEOPTERA	Dytiscidae	**4**	0	**4**	0	0	0
	Hydrophilidae	**2**	0	0	0	0	0

En el Embalse Chada, tanto en primavera como otoño, se encontraron ejemplares juveniles (ninfas) de *Andesiops peruvianus* (Ephemeroptera: Baetidae, **figuras 9c y 9d**), aunque en otoño se encontró una mayor abundancia de éstos. En primavera, sin embargo, se observaron ejemplares de dos familias de coleópteros acuáticos: DYTISCIDAE (**figuras 9a y 9b**) e HYDROPHILIDAE (**figura 8b**), exclusivas en este cuerpo de agua. La mayor abundancia de ejemplares estuvo dada por *Sigara* sp. (Hemiptera: Corixidae) (**Cuadro 7**).

El Humedal Batuco presentó una gran abundancia de insectos acuáticos, pero baja riqueza de familia. Los ejemplares de *Sigara* sp. fueron los más frecuentes (mayor abundancia de éstos en otoño que en primavera), seguidos por los ejemplares de la familia CHIRONOMIDAE (mayor abundancia de éstos en primavera que en otoño). Exclusivamente en primavera, se encontró una larva de culícido (Diptera: Culicidae) y sólo cuatro ejemplares de la familia DYTISCIDAE (**Cuadro 7**). También, se encontró un solo ejemplar (larva) de la familia CULICIDAE (Orden Diptera, **figura 10a**).

En la Laguna Carén, se encontró en general una menor abundancia de insectos acuáticos. Sin embargo, solamente en primavera se encontraron ejemplares de familias exclusivas de la laguna, ambas pertenecientes al Orden Odonata: cuatro ejemplares de la familia AESHNIDAE (Suborden Anisoptera, **figura 10c**) y tres ejemplares de la familia COENAGRIONIDAE (Suborden Zygoptera, **figura 10b**) (**Cuadro 7**).

En las páginas siguientes, se pueden apreciar ilustraciones de algunos representantes de las familias de insectos encontradas en los tres cuerpos de agua, destacando las características morfológicas que permitieron su identificación. Junto a cada ilustración, se incluye una escala gráfica como referencia de tamaño de estos ejemplares (**Figuras 8, 9 y 10**).

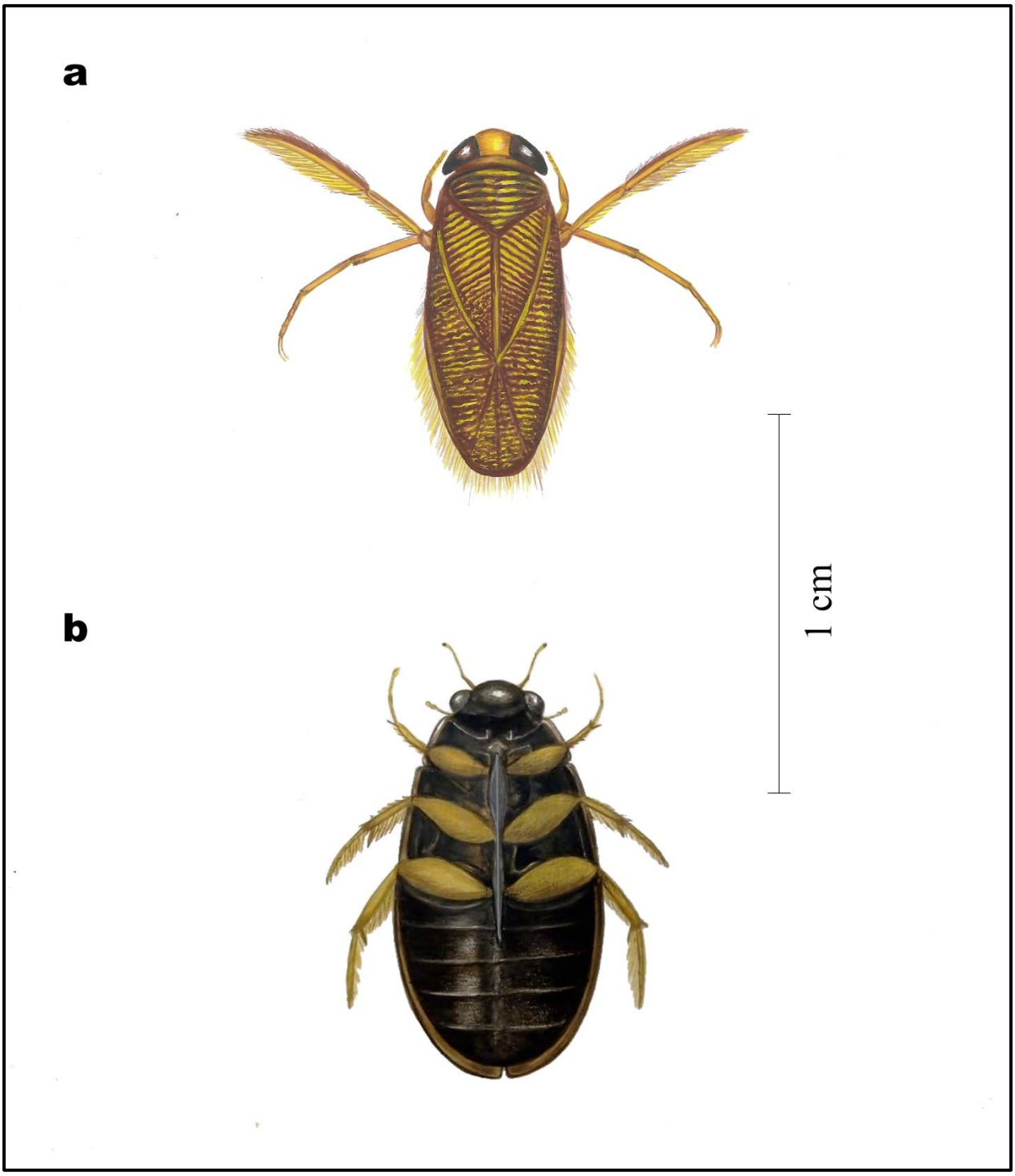

Figura 8. Familias de insectos identificadas en los tres cuerpos de agua. a: Corixidae, vista dorsal; b: Hydrophilidae, vista ventral. Gentileza de Carmen Tobar M., dibujante científica.

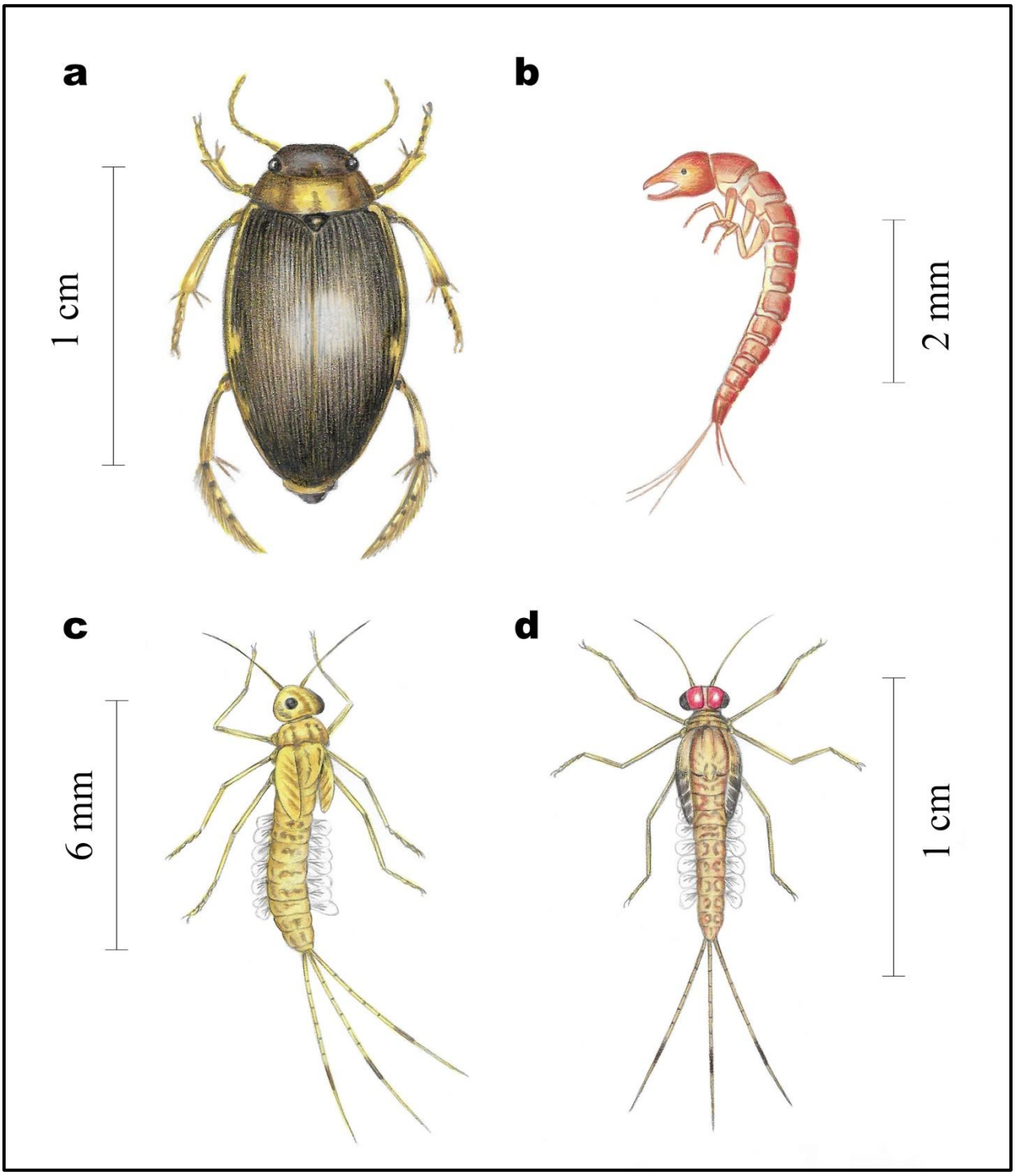

Figura 9. Familias de insectos identificadas en los tres cuerpos de agua. a: Dytiscidae (adulto), vista dorsal; b: Dytiscidae (larva), vista lateral; c: Baetidae (ninfa), vista dorsolateral; d: Baetidae (ninfa), vista dorsal. Gentileza de Carmen Tobar M., dibujante científica.

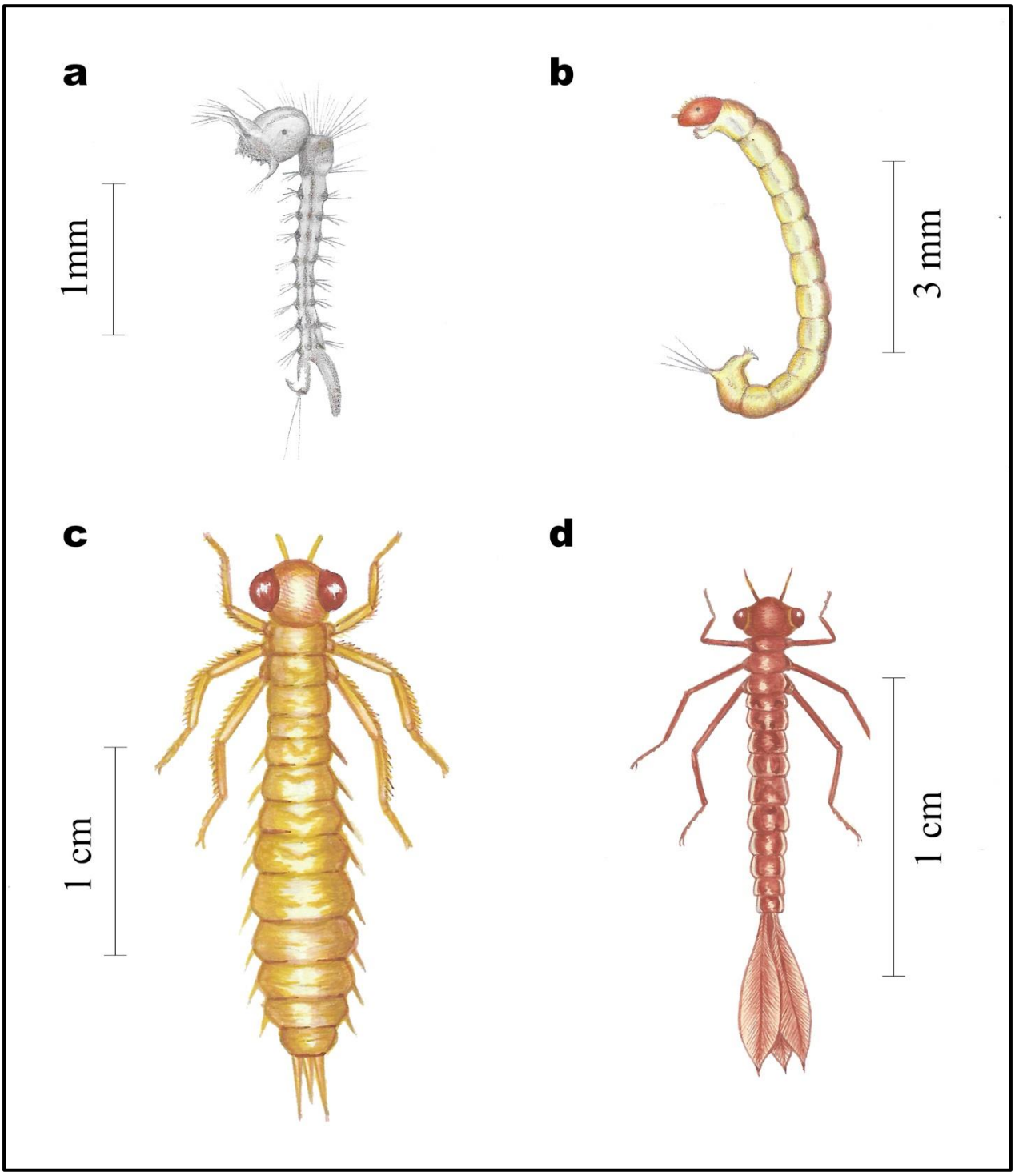

Figura 10. Familias de insectos identificadas en los tres cuerpos de agua. a: Culicidae (larva), vista dorsolateral; b: Chironomidae (larva), vista lateral; c: Aeshnidae (ninfa), vista dorsal; d: Coenagrionidae (ninfa), vista dorsal. Gentileza de Carmen Tobar M., dibujante científica.

3.4 Índices bióticos

3.4.1 Embalse Chada

Indice Biótico de Familias

Debido a que en la EM1 no se encontraron insectos, fue imposible determinar el IBF, al igual que en otoño de la EM4. En la EM2, en primavera, se obtuvo un valor de 5,36, equivalente a clase de agua “regular”. En esta misma estación, en otoño, se determinó un puntaje de 6,5, clasificando en calidad de agua “mala”, lo que muestra una bajada en calidad de agua entre una estación y otra. En la EM3, se obtuvo un valor de IBF de 6,67 (calidad de agua “mala”) durante primavera y en otoño, el valor disminuyó a 4,05 (calidad de agua “buena”). Esto representa una mejoría considerable en la calidad de agua en esta estación de muestreo. En la EM4, sólo se determinó la calidad en primavera con un puntaje de 4,71, lo que representa una calidad de agua “regular”, casi al límite del puntaje requerido para calidad de agua “buena” (**Cuadro 8**).

Cuadro 8. Valores de *Índice Biótico de Familias* (IBF) y *Biological Monitoring Working Party* (BMWP) a partir de los insectos encontrados en las cuatro EM en Embalse Chada. Primavera de 2015 (P) y otoño de 2016 (O). En ambos índices, se indica la clase y calidad de agua correspondiente a cada valor.

Índices bióticos		Estaciones de muestreo							
		EM1		EM2		EM3		EM4	
		P	O	P	O	P	O	P	O
IBF	Valor	Ind.	Ind.	5,36	6,50	6,67	4,05	4,71	Ind.
	Clase	Ind.	Ind.	III	IV	IV	II	III	Ind.
	Calidad	Ind.	Ind.	Regular	Mala	Mala	Buena	Regular	Ind.
BMWP	Valor	Ind.	Ind.	15,00	7,00	6,00	15,00	11,00	Ind.
	Clase	Ind.	Ind.	IV	V	V	IV	V	Ind.
	Calidad	Ind.	Ind.	Mala	Muy mala	Muy mala	Mala	Muy mala	Ind.

*Ind. : indeterminado.

Indice BMWP

En las dos temporadas de la EM1, así como en otoño de la EM4 no se encontraron insectos, por lo que no se determinaron clases de calidad de agua a partir del índice BMWP. En la EM2, el valor determinado en primavera (15) estableció a la estación en la clase de agua “mala”, mientras que en verano, el valor (7) clasificó dentro de la clase de calidad “muy mala”, por lo

que bajó la calidad de agua entre primavera y otoño en la EM2. Por el contrario, en la EM3 hubo una mejoría de clase de calidad de agua, ya que en primavera, el valor obtenido (6) corresponde a clase “muy mala” y el valor de otoño (15) corresponde a clase “mala”. En la EM4, en primavera, el valor establece al cuerpo de agua con una calidad “muy mala” de agua (**Cuadro 8**).

3.4.2 Humedal Batuco

Índice Biótico de Familias

A pesar de las diferencias en la abundancia de insectos presente en este cuerpo de agua, no se presentaron grandes diferencias en cuanto a la calidad de las aguas determinadas por el IBF en las estaciones. Sólo la EM1 presentó una mejoría de calidad entre primavera y otoño (de 6,98 a 6,33). Sin embargo, la clase de calidad resultó ser la misma (clase “mala”). En las otras tres estaciones, la calidad de agua empeoró, manteniéndose en su mayoría en clase de calidad de agua “mala”, con excepción de la EM3, que en primavera alcanzó un puntaje de clase de agua “regular” (**Cuadro 9**).

Cuadro 9. Valores de *Índice Biótico de Familias* (IBF) y *Biological Monitoring Working Party* (BMWP) a partir de los insectos encontrados en las cuatro EM en Humedal Batuco. Primavera de 2015 (P) y otoño de 2016 (O). En ambos índices, se indica la clase y calidad de agua correspondiente a cada valor.

índices bióticos		**Estaciones de muestreo**							
		EM1		**EM2**		**EM3**		**EM4**	
		P	**O**	**P**	**O**	**P**	**O**	**P**	**O**
IBF	Valor	6,98	6,33	6,50	6,57	6,10	6,83	6,30	6,73
	Clase	IV	IV	IV	IV	III	IV	IV	IV
	Calidad	Mala	Mala	Mala	Mala	Regular	Mala	Mala	Mala
BMWP	Valor	7,00	7,00	7,00	7,00	15,00	7,00	11,00	7,00
	Clase	V	V	V	V	IV	V	V	V
	Calidad	Muy mala	Muy mala	Muy mala	Muy mala	Mala	Muy mala	Muy mala	Muy mala

Indice BMWP

En general, debido a que los valores obtenidos se encuentran bajo 15, la clase de calidad de agua que predomina en las cuatro estaciones de muestreo es clase “muy mala”, excepto en primavera de la EM3, donde se obtuvo un valor de 15, correspondiente a “mala”. En las estaciones de muestreo 1 y 2, no hubo cambios en el valor de BMWP, por lo que no hubo variaciones de clase de calidad de agua. En las estaciones 3 y 4, bajó la calidad de agua. Sin embargo, en la EM3 hubo una bajada considerable de calidad, llegando a cambiar de clase “mala” a “muy mala” entre primavera y otoño (**Cuadro 9**).

3.4.3 Laguna Carén

Índice Biótico de Familias

Tanto en otoño en la EM1 como en primavera en la EM2, no se encontraron insectos, por lo que no se pudieron clases de calidad de agua. En primavera de la EM1, el valor obtenido fue de 6,17, que oficialmente se ubica dentro de la clase de agua “mala”, sin embargo se ubica al límite de la clase de agua “regular” (valor límite de 6,12). Lo mismo ocurrió en primavera de la EM4 (con un valor obtenido de 6,15). En la EM2, en otoño, se obtuvo un valor de 7 (calidad de agua “mala”) y en las estaciones de muestreo 3 y 4, las calidades de agua bajaron entre primavera y otoño; en la EM3 el aumento de valor de IBF fue tan considerable que la calidad de agua bajó de clase “regular” a “mala” entre temporadas (**Cuadro 10**).

Cuadro 10. Valores de *Índice Biótico de Familias* (IBF) y *Biological Monitoring Working Party* (BMWP) a partir de los insectos encontrados en las cuatro EM en Laguna Carén. Primavera de 2015 (P) y otoño de 2016 (O). En ambos índices, se indica la clase y calidad de agua correspondiente a cada valor.

		Estaciones de muestreo							
índices bióticos		**EM1**		**EM2**		**EM3**		**EM4**	
		P	**O**	**P**	**O**	**P**	**O**	**P**	**O**
IBF	Valor	6,17	Ind.	Ind.	7,00	5,50	6,50	6,15	7,00
	Clase	IV	Ind.	Ind.	IV	III	IV	IV	IV
	Calidad	Mala	Ind.	Ind.	Mala	Regular	Mala	Mala	Mala
BMWP	Valor	7,00	Ind.	Ind.	4,00	10,00	7,00	11,00	4,00
	Clase	V	Ind.	Ind.	V	V	V	V	V
	Calidad	Muy mala	Ind.	Ind.	Muy mala	Muy mala	Muy mala	Muy mala	Muy mala

*ind. : indeterminado.

Indice BMWP

Finalmente, en Laguna Carén, tanto en primavera de la EM1 como en otoño de la EM2, no se encontraron insectos, por lo que no se determinaron valores a partir del índice BMWP en estas estaciones de muestreo. En la EM1, en primavera, el valor entregado por BMWP (7) se encuentra dentro de la clase de calidad de agua “muy mala”, al igual que el valor obtenido en la EM2 (4). En las estaciones restantes, los valores obtenidos en otoño representaron una disminución de calidad de agua, sin embargo, las clases de calidad se mantuvieron como clase “muy mala” (**Cuadro 10**).

3.5 Evaluación de la calidad del agua a partir de parámetros físico-químicos

A partir de los valores de los parámetros físico-químicos obtenidos en los tres cuerpos de agua (Embalse Chada, Humedal Batuco y Laguna Carén), tanto *in situ* como en laboratorio, se elaboraron tablas de clasificación de calidad de agua por cada estación de muestreo, considerando el cumplimiento de la Norma Chilena 1333 (INN Chile, 1987) y la "Guía para el establecimiento de las normas secundarias de calidad ambiental para aguas continentales superficiales y marinas" (CONAMA, 2004).

La evaluación y clasificación de la calidad de agua en las cuatro EM, tanto en primavera de 2015 como otoño de 2016 se basó principalmente en los parámetros físico-químicos que son considerados como críticos al ser fundamentales para el desarrollo de la vida acuática y encontrarse interrelacionados entre sí, tales como: temperatura del agua (C°), oxígeno disuelto (mg/L), pH y conductividad eléctrica (S/cm). Esta sugerencia fue aportada por Alejandro Palma, investigador en el Laboratorio de Biodiversidad del Centro Nacional del Medioambiente (CENMA) y aplicada en una investigación sobre diversidad de coleópteros epigeos en Laguna Carén (Alvarado-Orellana *et al*., 2018).

3.5.1. Embalse Chada

El **Cuadro 11** presenta los valores obtenidos en el análisis de los parámetros físico-químicos para cada una de las estaciones de muestreo en las temporadas de primavera de 2015 y otoño de 2016 en Embalse Chada. A partir de estos valores, se establecieron las estaciones de muestreo dentro de las clases de calidad de agua sugeridas por la guía de CONAMA (2004), considerando los rangos establecidos tanto por la guía de CONAMA, como por la Norma Chilena 1333 (INN Chile, 1987).

Cuadro 11. Parámetros físico-químicos evaluados por EM en Embalse Chada, primavera 2015 y otoño 2016, junto a los valores máximos y mínimos aceptables de cada parámetro para el desarrollo de vida acuática, de acuerdo a los criterios señalados en la NCh. 1333 (INN Chile, 1987) y la Guía de CONAMA (2004).

Parámetros	PRIMAVERA				OTOÑO				Valores máximos y mínimos	
	EM1	**EM2**	**EM3**	**EM4**	**EM1**	**EM2**	**EM3**	**EM4**	**NCh 1333[1]**	**CONAMA[2]**
Temperatura (°C)	19,30	23,10	24,70	23,60	20,10	21,50	23,20	25,20	VN[3]+3,0°C	-
ΔT° (°C)[4]	3,40	0,40	2,00	0,90	2,40	1,00	0,70	2,70	-	<0,5 - 3
Oxígeno disuelto (mg/L)	8,10	8,30	8,10	8,10	5,67	6,74	6,60	5,91	>5	>5
pH	7,30	8,60	8,50	8,20	8,27	7,91	8,77	8,30	6,0 - 9,0	6,5 - 8,5
Conductividad eléctrica (µS/cm)	107,00	103,30	106,10	141,00	176,00	170,40	209,00	164,40	-	<600 - 2250
Salinidad (%)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-	-
STD (mg/L)[5]	99,51	102,20	103,90	143,20	163,00	169,00	204,00	166,00	-	<400 - 1500
Color (Pt-Co)	45,00	24,00	24,00	14,00	628,00	1120,00	39,00	1052,00	S.C.A.[6]	<16 - 100
Turbiedad (FAU)[7]	2,00	2,00	2,00	1,00	62,00	106,00	16,00	103,00	VN[3]+30 unid.	-
Fósforo Total (mg/L)	0,80	1,00	0,50	0,80	0,80	1,00	0,50	0,80	-	<7,5 - 30
Nitrógeno Total (mg/L)	0,50	0,20	0,30	0,40	0,50	0,20	0,30	0,40	-	<300 - 750

[1]Norma Chilena Oficial de Requisitos de calidad del agua para diferentes usos NCh 1333.Of.78 (Modificada en 1987) del Instituto Nacional de Normalización, específicamente Requisito para vida acuática (INN Chile, 1978); [2]Guía para el Establecimiento de las Normas Secundarias de Calidad Ambiental para Aguas Continentales Superficiales y Marinas de la Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA, 2004); [3]VN: Valor natural; [4]Diferencia de temperatura entre la zona analizada y la temperatura natural del agua; [5]STD: Sólidos totales disueltos; [6]Sin presencia de colorantes artificiales; [7]Unidades de Atenuación de Formazin.

Temporada primavera 2015

Todas las estaciones en general presentaron valores en sus parámetros que se encontraban en calidades de agua buenas, salvo algunas excepciones; en la EM1 el valor de la temperatura se encontró bajo la Clase 3 (valores mínimos aceptados por la Guía de CONAMA), por lo que se le asignó la Clase 4. Debido a que en la EM1 los valores en los otros parámetros críticos se encuentran en la Clase excepción y además las concentraciones de fósforo y nitrógeno indican un estado oligotrófico, pero la temperatura presenta un valor que se encuentra en la Clase 4, la EM1 fue clasificada en la Clase 1. En la EM2, todos los parámetros críticos se encontraron en la Clase excepción, por lo que fue clasificada como Clase excepción. La EM3 presenta una situación similar a la EM1, por lo que fue clasificada también dentro de la Clase 1. En la EM4, al ser todos los parámetros indicadores de calidades buenas (gran parte de los parámetros en calidad excepcional), con excepción de la temperatura (Clase 1), se clasificó a la estación en Clase excepción (**Cuadro 12**)

Cuadro 12. Clasificación de parámetros físico-químicos según los criterios señalados en la NCh. 1333 (INN Chile, 1987) y la Guía de CONAMA (2004), en la temporada de primavera 2015 en Embalse Chada.

	Estaciones de muestreo							
Parámetros	**EM1 NCh. 1333**	**CONAMA**	**EM2 NCh. 1333**	**CONAMA**	**EM3 NCh. 1333**	**CONAMA**	**EM4 NCh. 1333**	**CONAMA**
Temperatura (°C)	✓	Clase 4	✓	Clase excepción	✓	Clase 3	✓	Clase 1
OD* (mg/L)	✓	Clase excepción	✓	Clase excepción	✓	Clase excepción	✓	Clase excepción
pH	✓		✓		✓		✓	
CE** (µS/cm)		Clase excepción		Clase excepción		Clase excepción		Clase excepción
STD*** (mg/L)		Clase excepción		Clase excepción		Clase excepción		Clase excepción
Color (Pt-Co)		Clase 2		Clase 2		Clase 2		Clase excepción
Fósforo total (mg/L)		Ultra oligotrófico		Ultra oligotrófico		Ultra oligotrófico		Ultra oligotrófico
Nitrógeno total (mg/L)		Ultra oligotrófico		Ultra oligotrófico		Ultra oligotrófico		Ultra oligotrófico

✓: Cumple; ×: No cumple.

Temporada otoño 2016

En las cuatro estaciones, la mayoría de los parámetros presentó valores que se encontraban dentro de buenas calidades de agua, destacando los sólidos totales disueltos, cuyo valor se encontró dentro de la clase excepción en las cuatro estaciones de muestreo. En general, la clase 1 fue la dominante dentro de los parámetros físico-químicos considerados como críticos. La EM1 fue clasificada dentro de la clase 2, ya que algunos de sus parámetros se encuentran en categorías de buena calidad (conductividad eléctrica y sólidos totales disueltos), sin embargo, los parámetros críticos se encuentran en clases de menor calidad de agua; por ejemplo, la temperatura se ubica en la clase 3 y el valor de oxígeno disuelto dentro de la clase 2. En el caso de la EM2, ésta fue clasificada dentro de la clase 1, ya que es la clase dominante en la mayoría de los parámetros críticos. La EM3 presenta valores similares a la EM2, por lo que igualmente se clasificó dentro de la clase 2. Finalmente, la EM4 presentó valores similares a la EM1, por lo que fue clasificada en la clase 2 (**Cuadro 13**).

Cuadro 13. Clasificación de parámetros físico-químicos según los criterios señalados en la NCh. 1333 (INN Chile, 1987) y la Guía de CONAMA (2004), en la temporada de otoño 2016 en Embalse Chada.

Parámetros	**Estaciones de muestreo**							
	EM1		**EM2**		**EM3**		**EM4**	
	NCh. 1333	**CONAMA**	**NCh. 1333**	**CONAMA**	**NCh. 1333**	**CONAMA**	**NCh. 1333**	**CONAMA**
Temperatura (°C)	✓	Clase 3	✓	Clase 1	✓	Clase 1	✓	Clase 3
OD* (mg/L)	✓	Clase 2	✓	Clase 1	✓	Clase 1	✓	Clase 2
pH	✓		✓		✓		✓	
CE** (µS/cm)		Clase excepción		Clase excepción		Clase excepción		Clase excepción
STD*** (mg/L)		Clase excepción		Clase excepción		Clase excepción		Clase excepción
Color (Pt-Co)		Clase 3		Clase 3		Clase 1		Clase 3
Fósforo total (mg/L)		Ultra oligotrófico		Ultra oligotrófico		Ultra oligotrófico		Ultra oligotrófico
Nitrógeno total (mg/L)		Ultra oligotrófico		Ultra oligotrófico		Ultra oligotrófico		Ultra oligotrófico

3.5.2 Humedal Batuco

Temporada primavera 2015

El **Cuadro 14** presenta los valores obtenidos en el análisis de los parámetros físico-químicos para cada una de las estaciones de muestreo en la temporada de primavera de 2015 en Humedal Batuco.

En primavera de 2015, la EM1 presentó un nivel de oxígeno disuelto, uno de los parámetros críticos, ubicado dentro de la Clase excepción. Sin embargo, los parámetros restantes están dentro de calidades de agua clasificadas como malas o muy malas, llegando incluso a encontrarse en un estado eutrófico al considerar la concentración de fósforo total. La EM2 también fue clasificada como Clase 3, ya que los parámetros críticos se ubican entre las clases 1 y 4, predominando la temperatura en clase 3. Tanto la EM3 como la EM4 presentaron parámetros críticos cuyos valores se establecieron en situaciones similares a la EM1 y EM2, por lo que ambas estaciones de muestreo fueron clasificadas dentro de la Clase 3 (**Cuadro 15**).

En primavera de 2015, la EM1 presentó un nivel de oxígeno disuelto, uno de los parámetros críticos, ubicado dentro de la Clase excepción. Sin embargo, los parámetros restantes están dentro de calidades de agua clasificadas como malas o muy malas, llegando incluso a encontrarse en un estado eutrófico al considerar la concentración de fósforo total. La EM2 también fue clasificada como Clase 3, ya que los parámetros críticos se ubican entre las clases 1 y 4, predominando la temperatura en clase 3. Tanto la EM3 como la EM4 presentaron parámetros críticos cuyos valores se establecieron en situaciones similares a la EM1 y EM2, por lo que ambas estaciones de muestreo fueron clasificadas dentro de la Clase 3 (**Cuadro 15**).

Cuadro 14. Parámetros físico-químicos evaluados por EM en Humedal de Batuco, primavera 2015 y otoño 2016, junto a los valores máximos y mínimos aceptables de cada parámetro para el desarrollo de vida acuática, de acuerdo a los criterios señalados en la NCh. 1333 (INN Chile, 1987) y la Guía de CONAMA (2004).

Parámetros	PRIMAVERA				OTOÑO				**Valores máximos y mínimos**	
	EM1	**EM2**	**EM3**	**EM4**	**EM1**	**EM2**	**EM3**	**EM4**	**NCh 1333[1]**	**CONAMA[2]**
Temperatura (°C)	27,50	31,80	31,00	27,40	20,30	20,50	18,70	19,60	VN[3]+3,0°C	-
ΔT° (°C)[4]	1,90	2,40	1,60	2,00	0,50	0,70	1,10	0,20	-	<0,5 - 3
Oxígeno disuelto (mg/L)	8,60	7,50	8,60	5,30	7,80	7,20	5,76	6,20	>5	>5
pH	8,60	8,60	8,70	8,00	8,70	8,90	8,40	8,30	6,0 - 9,0	6,5 - 8,5
Conductividad eléctrica (µS/cm)	3200,00	3300,00	3700,00	3180,00	2010,00	1917,00	1974,00	2300,00	-	<600 - 2250
Salinidad (%)	1,70	1,80	2,00	1,70	1,00	0,90	1,00	1,00	-	-
STD (mg/L)[5]	3200,00	3360,00	3810,00	3210,00	2020,00	1921,00	1960,00	2500,00	-	<400 - 1500
Color (Pt-Co)	101,00	100,00	82,00	119,00	852,00	418,00	400,00	281,00	S.C.A.[6]	<16 - 100
Turbiedad (FAU)[7]	5,00	4,00	3,00	5,00	75,00	34,00	32,00	21,00	VN[3]+30 unid.	-
Fósforo Total (mg/L)	2500,00	1300,00	1700,00	1600,00	2500,00	1300,00	1700,00	1600,00	-	<7,5 - 30
Nitrógeno Total (mg/L)	<500	1100,00	<500	<500	<500,00	1100,00	<500,00	<500,00	-	<300 - 750

[1]Norma Chilena Oficial de Requisitos de calidad del agua para diferentes usos NCh 1333.Of.78 (Modificada en 1987) del Instituto Nacional de Normalización, específicamente Requisito para vida acuática (INN Chile, 1978); [2]Guía para el Establecimiento de las Normas Secundarias de Calidad Ambiental para Aguas Continentales Superficiales y Marinas de la Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA, 2004); [3]VN: Valor natural; [4]Diferencia de temperatura entre la zona analizada y la temperatura natural del agua; [5]STD: Sólidos totales disueltos; [6]Sin presencia de colorantes artificiales; [7]Unidades de Atenuación de Formazin.

Cuadro 15. Clasificación de parámetros físico-químicos según los criterios señalados en la NCh. 1333 (INN Chile, 1987) y la Guía de CONAMA (2004), en la temporada de primavera 2015 en Humedal de Batuco.

	Estaciones de muestreo							
Parámetros	**EM1 NCh. 1333**	**CONAMA**	**EM2 NCh. 1333**	**CONAMA**	**EM3 NCh. 1333**	**CONAMA**	**EM4 NCh. 1333**	**CONAMA**
Temperatura (°C)	✓	Clase 3	✓	Clase 3	✓	Clase 3	✓	Clase 3
OD* (mg/L)	✓	Clase excepción	✓	Clase 1	✓	Clase excepción	✓	Clase 2
pH	✓		✓		✓		✓	
CE** (µS/cm)		Clase 4		Clase 4		Clase 4		Clase 4
STD*** (mg/L)		Clase 4		Clase 4		Clase 4		Clase 4
Color (Pt-Co)		Clase 3		Clase 2		Clase 2		Clase 3
Fósforo total (mg/L)		Eutrófico		Eutrófico		Eutrófico		Eutrófico
Nitrógeno total (mg/L)		Oligotrófico		Eutrófico		Oligotrófico		Oligotrófico

Temporada otoño 2016

En la EM1, dos de los parámetros físico-químicos críticos (temperatura y agua), presentaron valores que se incluyen dentro de la clase excepción. Sin embargo, el resto de los valores presentaron menor calidad de agua, por lo que la estación de muestreo fue clasificada dentro de la Clase 2. En la EM2, dos de los parámetros críticos presentaron valores ubicados en la Clase 1 y los otros dos parámetros críticos en la Clase 3, por lo que la estación completa fue tipificada dentro de la Clase 2. En la EM3, dos de los parámetros críticos presentan valores que están incluidos dentro de la Clase 2 y los otros dos parámetros críticos en la Clase 3, motivo por el cual esta estación se clasificó como Clase 3. Finalmente, la EM 4 presentó una situación similar a la EM1, por lo tanto, nuevamente se incluyó dentro de la Clase 2. El humedal presentó un cuerpo de agua muy poco profundo, por lo que la temperatura del agua es altamente dependiente de la temperatura del aire y varía de acuerdo a la hora del día y estación del año de manera considerable (Mellado, 2008) (**Cuadro 16**).

Cuadro 16. Clasificación de parámetros físico-químicos según los criterios señalados en la NCh. 1333 y la Guía de CONAMA, en la temporada de otoño 2016 en Humedal de Batuco.

Parámetros	Estaciones de muestreo							
	EM1 NCh. 1333	**CONAMA**	**EM2 NCh. 1333**	**CONAMA**	**EM3 NCh. 1333**	**CONAMA**	**EM4 NCh. 1333**	**CONAMA**
Temperatura (°C)	✓	Clase excepción	✓	Clase 1	✓	Clase 2	✓	Clase excepción
OD* (mg/L)	✓	Clase excepción	✓	Clase 1	✓	Clase 2	✓	Clase 2
pH	✓		✓		✓		✓	
CE** (µS/cm)		Clase 3		Clase 3		Clase 3		Clase 3
STD*** (mg/L)		Clase 3		Clase 3		Clase 3		Clase 3
Color (Pt-Co)		Clase 3		Clase 3		Clase 3		Clase 3
Fósforo total (mg/L)		Eutrófico		Eutrófico		Eutrófico		Eutrófico
Nitrógeno total (mg/L)		Oligotrófico		Eutrófico		Oligotrófico		Oligotrófico

En ambas temporadas, las concentraciones de oxígeno se encuentran dentro de calidades aceptables para el desarrollo de la vida acuática en la NCh 1333. A partir de esta norma, los valores de pH también se encuentran dentro del rango válido. En la temporada de otoño 2016, por cada EM, los valores de conductividad eléctrica disminuyeron considerablemente, en todos los casos cambiando la calidad de agua en este parámetro. En general, se puede establecer que el Humedal presentó en otoño una mejor calidad de agua, debido en gran parte a la disminución de la concentración de sales, mejorando en todos los casos la calidad de agua.

3.5.3 Laguna Carén

El **Cuadro 17** presenta los valores obtenidos en el análisis de los parámetros físico-químicos para cada una de las estaciones de muestreo en la temporada de primavera de 2015 en Laguna Carén.

Cuadro 17. Parámetros físico-químicos evaluados por EM en Laguna Carén, primavera 2015 y otoño 2016, junto a los valores máximos y mínimos aceptables de cada parámetro para el desarrollo de vida acuática, de acuerdo a los criterios señalados en la NCh. 1333 (INN Chile, 1987) y la Guía de CONAMA (2004).

Parámetros	PRIMAVERA				OTOÑO				**Valores máximos y mínimos**	
	EM1	**EM2**	**EM3**	**EM4**	**EM1**	**EM2**	**EM3**	**EM4**	**NCh 1333[1]**	**CONAMA[2]**
Temperatura (°C)	28,40	25,20	24,30	24,90	19,50	22,10	20,00	20,90	VN[3]+3,0°C	-
ΔT° (°C)[4]	2,70	0,50	1,40	0,80	1,10	1,50	0,60	0,30	-	<0,5 - 3
Oxígeno disuelto (mg/L)	8,40	8,40	8,10	8,50	2,39	5,39	5,80	8,12	>5	>5
pH	9,20	9,30	9,12	9,20	7,40	8,40	9,20	8,60	6,0 - 9,0	6,5 - 8,5
Conductividad eléctrica (µS/cm)	828,00	824,00	813,00	835,00	921,00	1222,00	1271,00	1340,00	-	<600 - 2250
Salinidad (%)	0,30	0,30	0,30	0,30	0,60	0,60	0,60	0,60	-	-
STD (mg/L)[5]	832,00	826,00	824,00	834,00	832,00	1240,00	1272,00	1344,00	-	<400 - 1500
Color (Pt-Co)	179,00	182,00	157,00	97,00	88,00	200,00	240,00	142,00	S.C.A.[6]	<16 - 100
Turbiedad (FAU)[7]	14,00	17,00	12,00	7,00	8,00	23,00	25,00	13,00	VN[3]+30 unid.	-
Fósforo Total (mg/L)	1000,00	600,00	200,00	300,00	1200,00	700,00	400,00	300,00	-	<7,5 - 30
Nitrógeno Total (mg/L)	400,00	200,00	400,00	1300,00	500,00	200,00	< 500,00	1500,00	-	<300 - 750

[1]Norma Chilena Oficial de Requisitos de calidad del agua para diferentes usos NCh 1333.Of.78 (Modificada en 1987) del Instituto Nacional de Normalización, específicamente Requisito para vida acuática (INN Chile, 1978); [2]Guía para el Establecimiento de las Normas Secundarias de Calidad Ambiental para Aguas Continentales Superficiales y Marinas de la Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA, 2004); [3]VN: Valor natural; [4]Diferencia de temperatura entre la zona analizada y la temperatura natural del agua; [5]STD: Sólidos totales disueltos; [6]Sin presencia de colorantes artificiales; [7]Unidades de Atenuación de Formazin.

Temporada primavera 2015

A partir tanto de las observaciones realizadas en terreno, como de los valores los parámetros físico-químicos considerados como críticos y las concentraciones de fósforo y nitrógeno, se clasificó a la EM1 dentro de la Clase 3. A pesar de tener valores considerados dentro de la Clase de Excepción, presentó parámetros cuyos valores no cumplieron con la NCh. 1.333 y/o la Guía de CONAMA, lo cual bajó de categoría su calidad de agua. Aunque el valor de nitrógeno clasifica a la estación como oligotrófica, se determinó un alto nivel de fósforo total, por lo que se considera a la EM1 como eutrófica. En la EM2, dos de los cuatro parámetros críticos se encontraron dentro de la Clase excepción y la cantidad de nitrógeno indicó un estado oligotrófico. Sin embargo, el alto nivel de fósforo total determinó una eutrofización del cuerpo de agua, por lo que la estación fue catalogada en la Clase 2. La EM3 presentó valores que se encontraron en clases similares a la EM2, por lo que la estación completa fue también considerada como Clase 2. La estación EM4 presentó una condición similar a la EM1, aunque con una concentración mayor de nitrógeno total. De igual manera, se estableció esta estación dentro de la Clase 3 (**Cuadro 18**).

Cuadro 18. Clasificación de parámetros físico-químicos según los criterios señalados en la NCh. 1333 y la Guía de CONAMA, en la temporada de primavera 2015 en Laguna Carén.

Parámetros	**Estaciones de muestreo**							
	EM1 NCh. 1333	**CONAMA**	**EM2 NCh. 1333**	**CONAMA**	**EM3 NCh. 1333**	**CONAMA**	**EM4 NCh. 1333**	**CONAMA**
Temperatura (°C)	✓	Clase 3	✓	Clase excepción	✓	Clase 1	✓	Clase 1
OD* (mg/L)	✓	Clase excepción	✓	Clase excepción	✓	Clase excepción	✓	Clase excepción
pH	×	×	×	×	×	×	×	×
CE** (µS/cm)		Clase 2		Clase 2		Clase 2		Clase 2
STD*** (mg/L)		Clase 2		Clase 2		Clase 2		Clase 2
Color (Pt-Co)		Clase 3		Clase 3		Clase 3		Clase 2
Fósforo total (mg/L)		Eutrófico		Eutrófico		Eutrófico		Eutrófico
Nitrógeno total (mg/L)		Oligotrófico		Ultra Oligotrófico		Oligotrófico		Eutrófico

Temporada otoño 2016

En la temporada de otoño, en la EM1 algunos valores están dentro de clases de buena calidad de agua. Sin embargo, se encontraron parámetros críticos que no cumplen con la NCh. 1333 y/o la Guía de CONAMA, por lo que la calidad de agua disminuye considerablemente. La concentración de oxígeno disuelto es tan baja que puede ser considerada como agua hipóxica. Destaca también la alta concentración de fósforo total, al igual que en primavera en esta misma estación. Considerando todos estos factores, la EM1 fue clasificada dentro de la Clase 3. A partir de los mismos criterios de clasificación, en la EM2 la mayoría de los parámetros críticos cumplieron con la NCh. 1333 y la concentración de nitrógeno total clasificó dentro de lo sugerido por la guía de CONAMA, la concentración de fósforo total fue demasiado alta; sobre los rangos permitidos. Por este motivo, la estación fue ubicada dentro de la Clase 2. En la EM3, dos de los parámetros críticos presentaron valores que cumplieron dentro de la NCh 1333 y de la Guía CONAMA. Sin embargo, la concentración de fósforo total también excedió el máximo establecido en la Guía. Esta situación permitió clasificar a la EM3 dentro de la Clase 3. Finalmente, la EM4 fue clasificada en la Clase 3, por presentar una situación similar a la EM3, con una alta concentración de nitrógeno total al igual que en primavera 2015 (**Cuadro 19**).

Cuadro 19. Clasificación de parámetros físico-químicos según los criterios señalados en la NCh. 1333 y la Guía de CONAMA, en la temporada de otoño 2016 en Laguna Carén.

Parámetros	**Estaciones de muestreo**							
	EM1 NCh. 1333	**CONAMA**	**EM2 NCh. 1333**	**CONAMA**	**EM3 NCh. 1333**	**CONAMA**	**EM4 NCh. 1333**	**CONAMA**
Temperatura (°C)	✓	Clase 1	✓	Clase 1	✓	Clase 1	✓	Clase excepción
OD* (mg/L)	×	**Clase 4**	✓	Clase 3	✓	Clase 2	✓	Clase excepción
pH	✓		✓		×		✓	
CE** (µS/cm)		Clase 2		Clase 2		Clase 2		Clase 2
STD*** (mg/L)		Clase 2		Clase 3		Clase 3		Clase 3
Color (Pt-Co)		Clase 2		Clase 3		Clase 3		Clase 3
Fósforo total (mg/L)		Eutrófico		Eutrófico		Eutrófico		Eutrófico
Nitrógeno total (mg/L)		Oligotrófico		Ultra Oligotrófico		Oligotrófico		Eutrófico

3.6 Análisis de correspondencia canónica de familias entre temporadas

3.6.1 Embalse Chada

Las variables físico-químicas correspondientes a temperatura, pH, oxígeno disuelto y conductividad eléctrica, determinan una relación entre estos parámetros y las estaciones de muestreo (EM), donde se encuentran las diferentes familias de insectos acuáticos. En primavera, la varianza explicada fue de 81,72%. La EM2 se encontró principalmente relacionada con la conductividad, el nivel de oxígeno disuelto y el contenido de fósforo. Estos parámetros presentaron una relación cercana con la familia Corixidae y en menor grado con Baetidae, presente en esta estación. La EM4 tuvo una relación con la conductividad. Sin embargo, no se encontró asociada a familias puntuales de insectos. Las estaciones restantes, EM1 y EM3, no presentaron relación cercana con los parámetros fisico-químicos, ni con las familias de insectos identificados (**Figura 11 A**).

En otoño, la EM3 presentó una relación estrecha con el parámetro de temperatura, también con el valor de pH, conductividad y oxígeno disuelto, tanto las familias Corixidae como Baetidae, estuvieron asociadas a los parámetros presentes en esta estación. Las otras tres estaciones, no presentaron relación cercana con los parámetros físico-químicos ni con las otras familias de insectos acuáticos presentes. En este caso, tanto los niveles de fósforo como de nitrógeno no se asociaron a los parámetros físico-químicos ni a los insectos encontrados en este cuerpo de agua durante otoño. La varianza explicada en esta temporada fue de 99,76% (**Figura 11 B**).

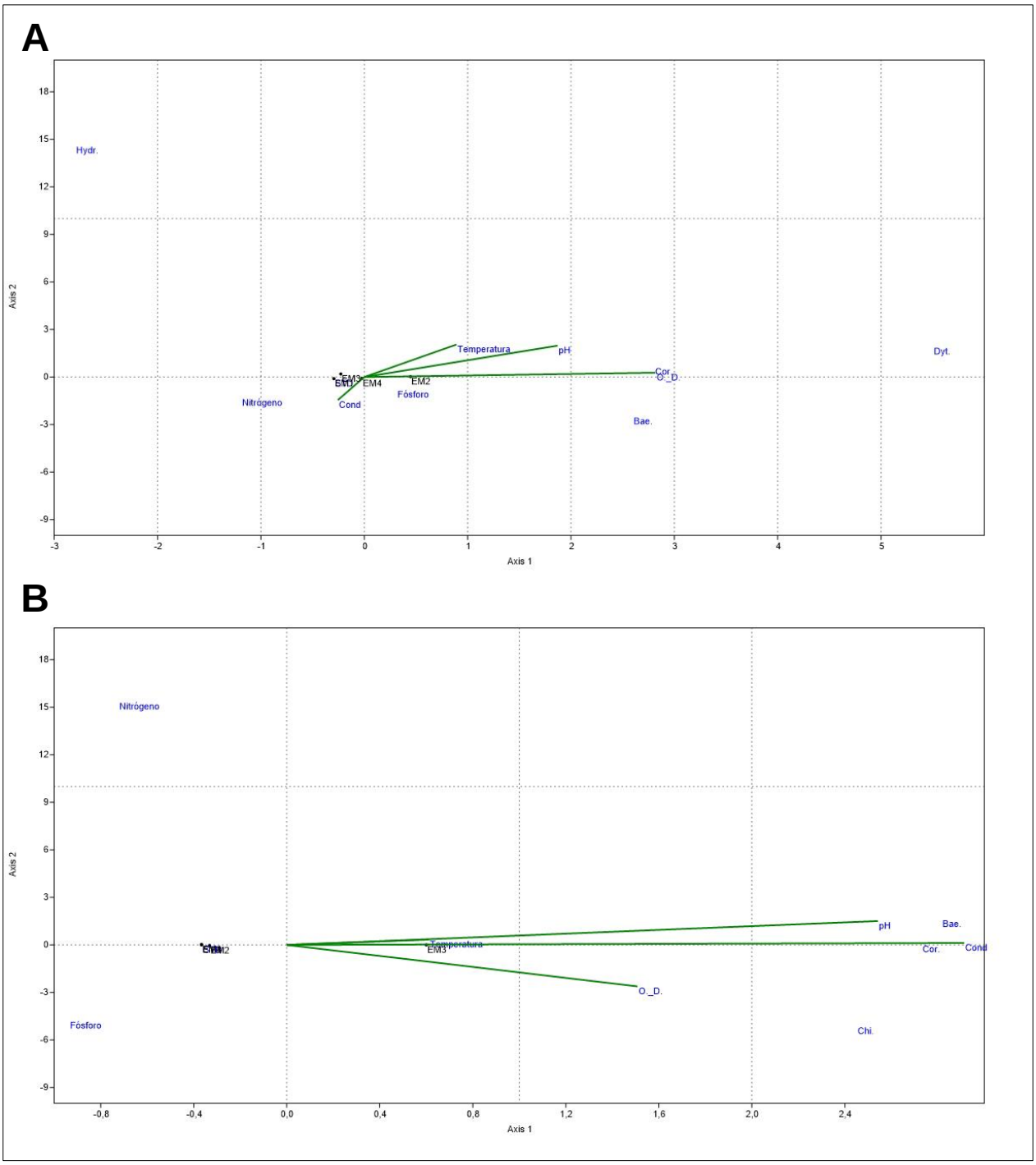

Figura 11. Mapa del análisis de correspondencia canónica de la abundancia de familias de insectos acuáticos respecto a parámetros físico-químicos, registradas en las EM por temporada en Embalse Chada. A: Primavera 2015, B: Otoño 2016.

3.6.2 Humedal Batuco

En primavera, las únicas estaciones de muestreo relativamente cercanas a algunos parámetros físico-químicos resultaron ser EM3 y EM4, relacionadas principalmente con la conductividad y junto con estas estaciones, la familia Corixidae estuvo más relacionada. Las familias restantes no presentaron relación con los parámetros físico-químicos del humedal. En esta temporada, la varianza explicada fue de 75,22% (**Figura 12 A**).

En otoño, ninguna de las estaciones de muestreo presentó una relación directa con alguno de los parámetros físico-químicos, excepto la conductividad, que se encontró en relación directa con la EM4. Tanto la familia Corixidae como Chironomidae, no se encontraron relacionadas con ninguna de las estaciones de muestreo. La varianza explicada fue de 94,19% (**Figura 12 B**).

3.6.3 Laguna Carén

En primavera, el único parámetro que mostró relación directa con las EM fue la temperatura. Las estaciones de muestreo no presentan relaciones con los parámetros físico-químicos restantes. Los niveles de fósforo y nitrógeno tampoco estuvieron relacionados con las nuevas familias de insectos acuáticos encontrados en este cuerpo de agua. La varianza explicada fue de 60,81% (**Figura 13 A**).

En otoño, todas las estaciones de muestreo presentaron relaciones con los parámetros físico-químicos considerados como críticos: pH, temperatura, oxígeno disuelto y conductividad, sin embargo, no se logró establecer una proximidad con los niveles de fósforo y nitrógeno. Las familias de insectos nuevamente no se relacionan con las estaciones de muestreo y las estaciones no se encuentran asociadas con alguno de los parámetros de manera puntual. La variana explicada en esta temporada fue de 63,76% (**Figura 13 B**).

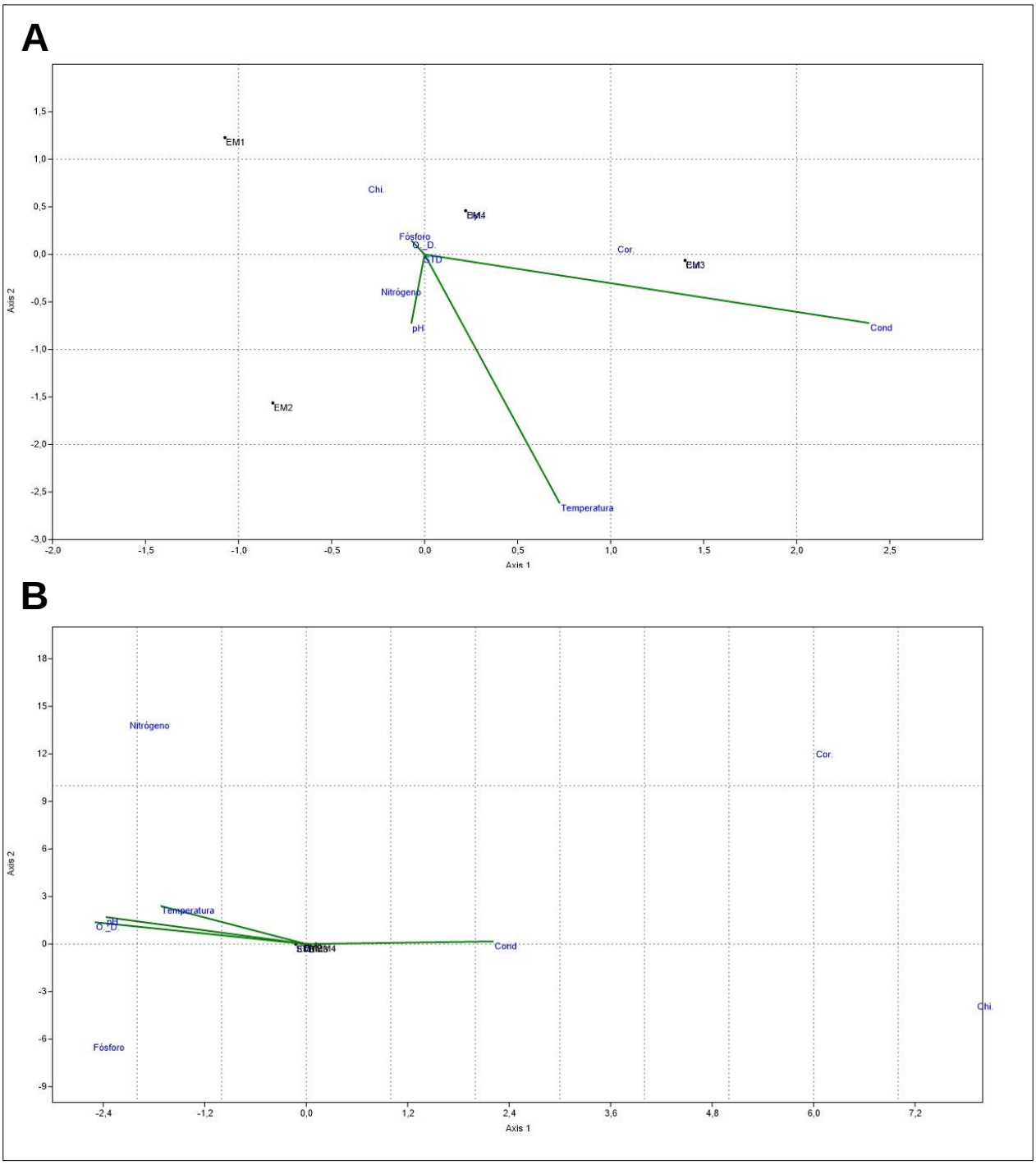

Figura 12. Mapa del análisis de correspondencia canónica de la abundancia de familias de insectos acuáticos respecto a parámetros físico-químicos, registradas en las EM por temporada en Humedal de Batuco. A: Primavera 2015, B: Otoño 2016.

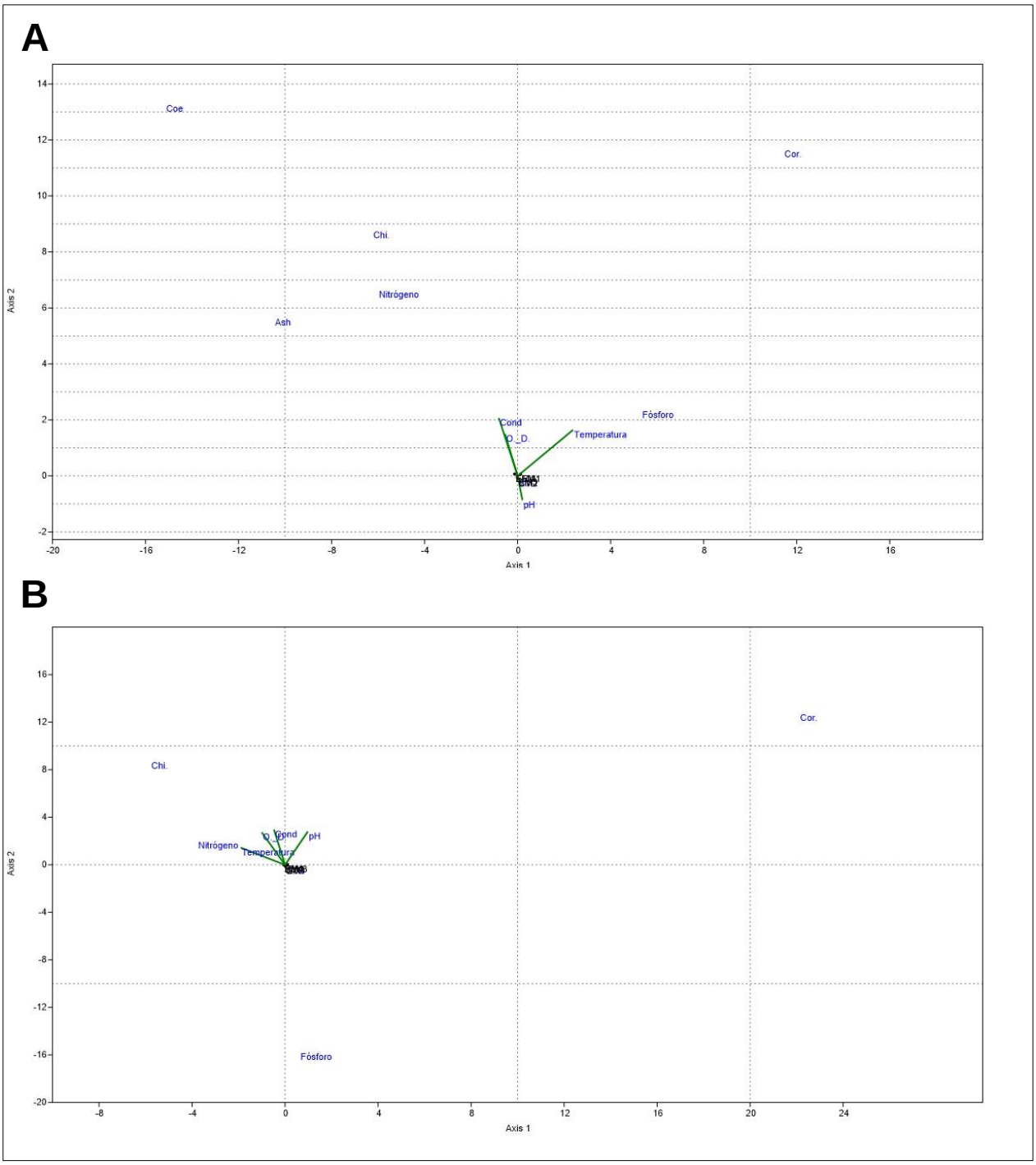

Figura 13. Mapa del análisis de correspondencia canónica de la abundancia de familias de insectos acuáticos respecto a parámetros físico-químicos, registradas en las EM por temporada en Laguna Carén. A: Primavera 2015, B: Otoño 2016.

4. DISCUSIÓN

Tanto la abundancia como la riqueza de familias de los insectos fueron fundamentales para determinar las diferentes clases de calidad de agua a partir de índices bióticos. Si se considera, de manera separada, la abundancia de insectos y riqueza de familias, se puede comprender de forma más clara, las clases de calidad obtenidas en los tres cuerpos de agua.

En el Embalse Chada se observaron cambios considerables respecto a la abundancia de insectos, no tanto así con la riqueza de familias. Respecto a los análisis estadísticos de abundancia de insectos, se lograron establecer diferencias significativas entre estaciones de muestreo, sin embargo, no se encontraron diferencias significativas entre las temporadas de primavera 2015 y otoño 2016. Al apreciar el gráfico de abundancia (Figura 3), se observaron diferencias aparentemente significativas entre temporadas por EM que no concuerdan con los análisis estadísticos, cuyos resultados mostraron ausencia de diferencias significativas. Cabe mencionar que las muestras fueron solamente tres por cada EM en cada temporada, por lo tanto, el análisis estadístico de abundancia entre temporadas, solamente se realizó en base a 6 muestras (3 en primavera y 3 en otoño) para cada EM. A partir de esto, se sugiere realizar más muestras por cada EM en los próximos estudios, con el fin de robustecer los análisis estadísticos que generen una menor discordancia entre diferencias aparentes y diferencias significativas reales.

Existieron EM en los que no se encontró ningún insecto (EM1 en primavera y otoño, EM4 en otoño), por lo que en esos casos no se pudo establecer alguna clase de calidad de agua con los índices IBF y BMWP (sí se determinaron clases de calidad de agua a partir de los parámetros físico-químicos). Estas estaciones fueron las que presentaron mayor intervención antrópica; la EM1 se encontraba en la entrada principal del embalse y la EM4, muy cercana a la EM1 (Figura 1). Esto tendría una explicación si los valores obtenidos a partir de los parámetros físico-químicos entregaran clases de calidad de agua de regulares a mala, sin embargo, en primavera, las clases de calidad de agua resultaron ser Clase 1 (muy buena) para la EM1 y Clase Excepción (la mejor de todas) para la EM4. La explicación más plausible para justificar que las clases de calidad en estos puntos resultaran tan buenas sin la presencia de insectos acuáticos, es el hecho de que este cuerpo de agua sea un embalse totalmente artificial, donde regulan cada cierto tiempo, el agua que abastece al Embalse Chada, vaciando el agua para distribuir a los cultivos cercanos y volviendo a rellenar el embalse con el agua proveniente de la

Quebrada el Molino, Paine. Esta zona de estudio fue visitada en temporadas posteriores a otoño de 2016 (cuando el embalse se encontró con menor cantidad de agua, llegando a fragmentarse en dos cuerpos de agua) y el embalse nuevamente se encontró con una superficie del espejo de agua similar a primavera de 2015 (Álvaro Palma, Ing. en Recursos Naturales, Perito en Ecología, Laboratorio Criminalística Central, Policía de Investigaciones de Chile, comunicación personal, mayo 2019).

Dentro de las estaciones restantes, en primavera hubo una mayor riqueza de especies que en otoño, existiendo sólo dos familias que coincidieron en las dos temporadas: Baetidae y Corixidae, esta última resultando ser la única familia presente en las dos temporadas de los tres cuerpos de agua muestreados. La familia Baetidae, que se encuentra en las dos temporadas de muestreo en Embalse Chada y únicamente en este embalse, tiene su importancia en cuanto al puntaje asignado por los dos índices bióticos, ya que en ambos casos determinan 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 los parámetros físico-químicos en la guía CONAMA (2004) y la Norma Chilena 1333 (INN, 1987). Otra familia exclusiva de las identificadas en el Embalse Chada resultó ser la familia de coleópteros Hydrophilidae, presente, junto con la familia Dytiscidae, sólo en primavera de 2015. Cabe destacar que los índices bióticos trabajan tanto con ejemplares adultos como juveniles de los insectos acuáticos y en este cuerpo de agua se encontraron ejemplares juveniles (larvas) y adultos de la familia Dytiscidae. Estas familias presentes exclusivamente en este cuerpo de agua, son las que más contribuyen a que las clases de calidad de agua resulten “regulares” o “buenas” en ciertas EM, a partir de los índices bióticos.

El Humedal Batuco fue el cuerpo de agua que tuvo menos variaciones en cuanto a riqueza y abundancia entre temporadas, donde las familias más abundantes fueron Corixidae y Chironomidae (también presentes en el Embalse Chada y la Laguna Carén). Si bien Batuco fue el cuerpo de agua que presentó menor riqueza de familias, también fue el que tuvo mayor abundancia de insectos, aunque esto no contribuyó a que las clases de calidad de agua resultaran “buenas” a partir de los índices bióticos; en la mayoría de las EM, las clases de calidad correspondieron a “malas” con el IBF y “muy mala” con BMWP. Esto ocurre porque las familias Corixidae y Chironomidae tienen cada una, en ambos índices bióticos, un puntaje que no aporta calidad de agua a cada estación de muestreo en Batuco, por muchos individuos que existan de estas familias (Figueroa, 2004).

Al igual que en el caso del Embalse Chada, los análisis estadísticos para determinar diferencias de abundancia entre temporadas por cada EM del Humedal Batuco, determinaron **ausencia de diferencias significativas** que sí parecían estar presentes en el gráfico (Figura 4), generando la misma discordancia entre los resultados sin análisis estadístico y lo entregado por el análisis estadístico. La explicación es la misma que en el caso anterior; el análisis ocupado para determinar diferencias entre temporadas por EM se realizó con un muy bajo número de muestras, lo que no logró determinar diferencias significativas. Frente a esto, se vuelve a evidenciar la necesidad de colectar más muestras por EM que permitan apreciar una concordancia entre las diferencias estadísticas de los datos y las diferencias aparentes para los próximos estudios.

En la Laguna Carén se capturaron dos familias de insectos del orden Odonata que poseen puntajes en ambos índices biológicos que contribuyen a clases de calidad de agua compatibles con vida acuática, pero lo más destacable en este cuerpo de agua fueron los parámetros físico-químicos y principalmente el pH, que en muchos de las EM tuvieron un valor cercano a 9, lo que representa una incompatibilidad con la vida acuática. En estas EM igualmente se observaron especies de animales acuáticos, como carpas. Sin embargo, los peces presentan una mayor movilidad que los insectos acuáticos y pueden desplazarse de una estación de muestreo a otra. Las larvas, ninfas y adultos de los insectos acuáticos encontrados no presentan gran capacidad de desplazamiento entre EM y optan por quedarse en las EM que presentan las mejores condiciones ambientales, considerando los parámetros físico-químicos críticos: pH, temperatura, oxígeno disuelto y conductividad eléctrica (Álvaro Palma, Ing. en Recursos Naturales, Perito en Ecología, Laboratorio Criminalística Central, Policía de Investigaciones de Chile, comunicación personal, diciembre 2015).

Los valores entregados por los parámetros físico-químicos en los tres cuerpos de agua resultaron variables a partir de la guía CONAMA (2004) y la Norma Chilena 1333 (INN, 1987) presentando clases de calidad entre “Clase Excepcional” (la mejor calidad de agua para vida acuática) y “Clase 4”, que no se encuentra oficialmente en las clases de calidad generadas por CONAMA, pero que fue necesaria crearla, ya que en estos casos los valores de ciertos parámetros se encontraban ya fuera de rango mínimo aceptado para incluirlos en la Clase 3 (la peor calidad de agua establecida por CONAMA). Si bien estos rangos de parámetros están incluidos en el documento de CONAMA a modo de “guía”, son los utilizados **oficialmente** para determinar legalmente la intervención y/o contaminación de distintos cuerpos de agua (Álvaro

Palma, comunicación personal, 2015). La Norma Chilena 1333 (INN, 1987) complementa esta categorización de clases de calidad de agua, sin embargo, es mucho más flexible que la guía establecida por CONAMA y, en vez de establecer clases de calidad de agua para la vida acuática, sólo determina el rango de valores totales de los parámetros físico-químicos y establece que si determinados parámetros (por ejemplo, pH) se ubican dentro de esos rangos totales, se podría desarrollar vida acuática o no es posible.

Finalmente, al evaluar las clases de calidad de agua en los tres cuerpos de agua con los dos índices bióticos, las guías de identificación resultaron muy útiles para determinar familias e incluso géneros de estos insectos acuáticos. Sin embargo, para algunos géneros, la identificación a nivel de especies es muy difícil e incluso imposible, dependiendo del género (Valdovinos, 2008). Por esta razón se utilizaron índices biológicos que trabajan a nivel de familia. En este trabajo, solamente el Índice Biótico de Familias (IBF) resultó más cercano o "comparable" en sus valores con las clases de calidad establecidas por los parámetros físico-químicos. A partir de trabajos realizados con índices biológicos en Chile, principalmente un estudio en el río Chillán donde comparan el uso de diferentes índices bióticos, se ha determinado que el mejor índice aplicable a las especies de insectos en Chile resultó ser el IBF (Figueroa *et al*., 2007). El índice BMWP, en este trabajo, determinó clases de calidades de agua tan bajas e incompatibles con la vida acuática, que no se encuentran a una escala comparable con las clases de calidad resultante a partir de los parámetros físico-químicos.

5. CONCLUSIONES

- En los tres cuerpos de agua muestreados, la familia más frecuente en las dos temporadas fue Corixidae, seguida por Chironomidae. Hubo familias exclusivas de cada cuerpo de agua, como Hydrophilidae y Baetidae en Embalse Chada y Aeshnidae y Coenagrionidae en Laguna Carén. Estos tres cuerpos de agua presentan características que no los hacen comparables entre sí y deben ser analizados como tres casos en forma independiente.

- En el Embalse Chada no se encontró ningún insecto en EM1 en primavera y otoño y en EM4 en otoño; estaciones con mayor intervención antrópica. Aunque los parámetros físico químicos 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. En las estaciones restantes, en primavera hubo una mayor riqueza de especies que en otoño, predominando la familia Corixidae. La familia Baetidae, encontrada en las dos temporadas de muestreo en Embalse Chada y únicamente en este embalse, en los dos índices bióticos, determinan 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 los parámetros físico-químicos en la guía CONAMA (2004) y la Norma Chilena 1333 (INN, 1987). La familia Hydrophilidae también se encontró exclusivamente en Chada y junto con la familia Dytiscidae, sólo se encontraron en primavera de 2015. Las familias Baetidae, Hydrophilidae y Dytiscidae, son las que más contribuyen a que las clases de calidad de agua resulten “regulares” o “buenas” en ciertas EM, a partir de los índices bióticos.

- Las familias más abundantes en el Humedal Batuco fueron Corixidae y Chironomidae. Este cuerpo de agua fue el que presentó menor riqueza de familias y mayor abundancia de insectos. Esto no contribuyó a que los índices bióticos determinaran clases de calidad de agua “buenas”; en la mayoría de las EM, las clases de calidad correspondieron a “malas” con el IBF y “muy mala” con BMWP. Las familias más abundantes tienen en ambos índices bióticos, un puntaje que no aporta calidad de agua a cada estación de muestreo.

- En la Laguna Carén, se capturaron dos familias del orden Odonata que poseen puntajes en ambos índices biológicos que contribuyen a clases de calidad de agua compatibles con vida acuática. Dentro de los parámetros físico-químicos destacó el pH, que en muchos de las EM tuvieron un valor cercano a 9, incompatible con la vida acuática, presentándose igualmente animales en estas EM, no así insectos acuáticos, los cuales no presentan gran capacidad de desplazamiento entre EM y sí se encontraron en las EM con las mejores condiciones ambientales, considerando los parámetros físico-químicos críticos.

- Los valores entregados por los parámetros físico-químicos en los tres cuerpos de agua resultaron variables a partir de la guía CONAMA (2004) y la Norma Chilena 1333 (INN, 1987). Como las clases de calidad están establecidas en la guía por **cada uno** de los parámetros, se llegó a un consenso para establecer la clase de calidad en **cada** cuerpo de agua, considerando todos los parámetros medidos y tomando en cuenta los parámetros físico-químicos críticos: pH, temperatura, oxígeno disuelto y conductividad eléctrica. Aunque las clases establecidas por la guía se ubican entre "Clase Excepcional" (la mejor calidad de agua para vida acuática) y Clase 3 (la peor calidad), fue necesario crear una "Clase 4", ya que se encontraron valores en ciertos parámetros que se situaron fuera del rango mínimo para incluirlos en Clase 3.

- El Índice Biótico de Familias (IBF) resultó más cercano en sus valores con las clases de calidad establecidas por los parámetros físico-químicos, ya que el índice BMWP determinó clases de calidades de agua tan bajas que en ningún caso resultaron comparables con las clases de calidad resultante a partir de los parámetros físico-químicos.

- Se sugiere, para estudios futuros, realizar un mayor número de muestras por cada EM presente en el cuerpo de agua estudiado, con el fin de robustecer los resultados a partir de los análisis estadísticos y establecer, de manera categórica, qué tan significativas resultan las diferencias entre las muestras analizadas.

6. BIBLIOGRAFÍA

AGUILERA, A. 2005. Centro de Investigación y Difusión de Energía Solar. CIDES. Disponible en: http://www.tesis.uchile.cl/tesis/uchile/2005/aguilera_a/html/index-frames.html. Acceso en: 17 mayo 2018.

ALBA-TERCEDOR, J. y SÁNCHEZ, O. 1988. Un método rápido y simple para evaluar la calidad biológica de las aguas corrientes basada en el de Hellawell (1978). Limnética 4: 51-56.

ALVARADO-ORELLANA, A.; HUERTA-FUENTES, A.; PALMA-MUÑOZ, A.; RODRÍGUEZ-TOBAR, S. 2018. Variación estacional de la diversidad de coleópteros epigeos en la Laguna Carén (Santiago, Chile). Revista Colombiana de Entomología 44 (2): 255-261.

ANDRADE, M. 1998. Utilización de las mariposas como bioindicadoras del tipo de hábitat y su biodiversidad en Colombia. Revista Academia Colombiana de Ciencias 22(84): 407-421.

ARENAS, JN. 1995. Composición y distribución del macrozoobentos del curso principal del río Biobío, Chile. Medio Ambiente (Chile) 12: 39-50.

BROWN, K. 1991. Conservation of neotropical environments: Insects as Indicator. pp. 349-404. In: Collins, N. and Thomas, J. (eds.). The Conservation of insects and their habitats. Academic Press. New York.

CAMPOS, H.; ARENAS, J.; JARA, C.; GONSER, T. y PRINS R. 1984. Macrozoobentos y fauna íctica de las aguas limníticas de Chiloé y Aysén continentales (Chile). Medio Ambiente (Chile) 7: 52-64.

CHAPMAN, D.1992. Water quality assessment. Ed D. Chapman. Chapman & Hall, London. 585 p.

CHUTTER, FM. 1972. An empirical biotic index of the quality of water in South African streams and rivers. Water Research 6: 19-30.

CODDINGTON, J.; GRISWOLD, C.; SILVA, D.; PEÑARANDA, E. and SCOTT, S. 1991. Designing and testing samplings protocols to estimate biodiversity in tropical ecosistems. pp. 44-

60. In: Duddley, E. (eds.). The unity of evolutionary Biology: Proceedings of the fourth International Congress of Systematic and Evolutionary Biology. Dioscorides Press. Portland OR., 2 vols. 1048 p.

COLWELL, R. and CODDINGTON, J. 1994. Estimating terrestrial biodiversity through extrapolation. Phil. Trans. R. Soc. Lond. B. 345:101-118.

CONAMA (Comisión Nacional del Medio Ambiente). 2004. Guía para el desarrollo de Normas para la Protección de las Aguas Continentales Superficiales. CONAMA, Gobierno de Chile, Santiago, Chile. 23 p.

CONAMA. 2005. Plan de acción “Humedal Batuco” 2005-2010 para la implementación de la estrategia para la conservación de la Biodiversidad en la Región Metropolitana de Santiago. CONAMA, Gobierno de Chile, Santiago, Chile. 12 p.

CÓRDOVA, S.; GAETE, H.; ARÁNGUIZ, F. y FIGUEROA, R. 2009. Evaluación de la calidad de las aguas del estero Limache (Chile central), mediante bioindicadores y bioensayos. Latin American Journal of Aquatic Research 37(2):199-209.

FIGUEROA, 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.

FIGUEROA, R.; ARAYA, E. y VALDOVINOS, C. 2000. Deriva de macroinvertebrados bentónicos en un sector de ritrón: río Rucue, Chile centro-sur. Boletín de la Sociedad de Biología de Concepción (Chile) 71: 23-32.

FIGUEROA, R.; VALDOVINOS, C.; ARAYA, E. y PARRA, O. 2003. Macroinvertebrados bentónicos como indicadores de calidad de agua de ríos del sur de Chile. Revista Chilena de Historia Natural 76(2): 275-285.

FIGUEROA, R.; RUÍZ, VH.; ENCINA-MONTOYA, F. y PALMA, A. 2005. Simplificación en el uso de macroinvertebrados en la evaluación de la calidad de las aguas en sistemas fluviales. Interciencia 30(12): 770-774.

FIGUEROA, R.; PALMA, A.; RUIZ, V. y NIELL, X. 2007. Análisis comparativo de índices bióticos utilizados en la evaluación de la calidad de las aguas en un río mediterráneo de Chile: río Chillán, VIII Región. Revista Chilena de Historia Natural 80: 225-242.

FIGUEROA, R.; RUIZ, VH.; ARAYA, E.; NIELL, X. and PALMA, A. 2006. Invertebrates colonization patterns in a Mediterranean Chilean stream. Hydrobiologia 571: 409-417.

FIGUEROA, R.; SORIA, M.; BELTRÁN, M. y CORREA, F. 2016. Estudio de comunidades biológicas como bioindicadores de calidad de agua. pp. 23-34. En: Chatata B., Talavera C., Villasante F. (eds). Estudio de comunidades biológicas como bioindicadores de calidad de agua. 1ª Edición, Universidad Nacional de San Agustín-CONCYTEC. Arequipa, Perú.

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 2018.

GONZÁLEZ, N.; SÁNCHEZ, S. y MAIRENA, A. 2014. Macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores de calidad de agua del trópico húmedo en las microcuencas de los alrededores de Bluefields, RAAS. Wani 68: 53-63.

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: 1 abril 2017.

HABIT, E.; BELTRÁN, C.; ARÉVALO, S. and VICTORIANO, P. 1998. Benthonic fauna of the Itata river and irrigation canals (Chile). Irrigation Science 18: 91-99.

HAHN-VONHESSBERG, C. M.; TORO, D. R.; GRAJALES-QUINTERO, A.; DUQUE-QUINTERO, G. M. y SERNA-URIBE, L. 2009. Determinación de la calidad del agua mediante Indicadores Biológicos y Fisicoquímicos, en la Estación Piscícola, Universidad de Caldas, Municipio de Palestina, Colombia. Boletín Científico. Centro de Museos. Museo de Historia Natural 13(2): 89-105.

HAMMER Ø, HARPER DAT, RYAN PD. 2001. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. Palaeontol Electronica 4: 1-9

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

HURTADO ROA, M. 2008. Calidad de las Aguas del Río Itata Usando Bioindicadores, Previo a la Puesta en Marcha del Complejo Forestal Industrial Nueva Aldea. Disponible en http://www.repositorio.uchile.cl/handle/2250/104993. Acceso en: 29 mayo 2018.

INFOSTAT. 2008. Programa InfoStat versión 2008. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba. Córdoba, Argentina.

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

INN Chile (Instituto Nacional de Normalización). 1996. Norma Chilena Oficial de Calidad de Agua NCh 411/1-4. Santiago, Chile.

MELLADO, C. 2008. Caracterización hídrica y gestión ambiental del humedal de Batuco. Memoria Ing. Civil, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile, Santiago, Chile. 280 p

MARGALEF, R. 1983. Limnología. Editorial Omega, Barcelona. 145p.

MOP DGA (Ministerio de Obras Públicas Dirección General de Aguas). 2010. Propuesta de utilización de biocriterios para la implementación y monitoreo de la norma secundaria de calidad ambiental: resultados cuencas de los ríos Limarí y Mataquito. Consultor CENMA. (Chile). Disponible en: http://documentos.dga.cl/CQA5230v2.pdf. Acceso en: 08 julio 2018.

MORRONE, J. y RUGGIERO, A. 2001. Cómo planificar un análisis biogeográfico. Dugesiana 7: 1-8.

ONU-DAES (Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de Naciones Unidas). 2014. Calidad del Agua. Decenio Internacional para la Acción “El agua fuente de vida” 2005-2015. Disponible en: www.un.org/spanish/waterforlifedecade/quality.shtml. Acceso en: 11 mayo 2019.

PEARSON, D. 1994. Selection indicator taxa for the cuantitative assessment of biodiversity. pp. 75-80. In: Hawksworth, D. (eds.). The quantification and estimation of organismal biodiversity. Special volume, Philosophical Transactions of the Royal Society of London. London. 140 p.

PRAT, N., B. RÍOS, R. ACOSTA y M. RIERADEVALL. 2009. Los macroinvertebrados como indicadores de calidad de las aguas, p. 631-654. En: E. Domínguez y H.R. Fernández (eds.). Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos. Sistemática y biología. Fundación Miguel Lillo, Tucumán, Argentina.

PUIG, M. A. 1999. Los Macroinvertebrados de los Ríos Catalanes. Guía Ilustrada. Primera Edición. Edigraf S.A. Barcelona, España. 251p.

RIVERA, I. y FOSTER, G. 1997. El uso de artrópodos como indicadores biológicos. Bol. S.E.A. 20: 265-276.

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

ROSENBERG, D.M. y V.H. RESH. 1993. Introduction to freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates. pp 1-9. In: Rosenberg, D.M and V.H. Resh (eds.). Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates. Chapman and Hall, New York.

SANDOVAL, J. y MOLINA, A. 2000. Insectos. pp. 405-439. En: De la Lanza, E.; Hernández, P. y Carvajal, P. (eds.). Organismos Indicadores de la calidad del agua y de la contaminación (Bioindicadores). Plaza y Valdés. México D.F. 633p.

SUPERINTENDENCIA DE SERVICIOS SANITARIOS. 2013. Suspende cobro tarifario a empresa de servicios sanitarios Lo Prado S.A. (SEPRA), por planta de tratamiento de aguas servidas Jardín Lo Prado. República de Chile. Superintendencia de Servicios Sanitarios. División de Fiscalización. Santiago, Chile. 5p.

SOLERVICENS, J. 1995. Consideraciones generales sobre los insectos, el estado de su conocimiento y las colecciones. pp. 198-210. En: Simonetti, J.; Arroyo, M.; Spotorno, A. y Lozada, E. (eds.). Diversidad Biológica de Chile. CONICYT, Santiago, Chile.

TORO, J.; SCHUSTER, J.; KUROSAWA, J. y ARAYA, E. 2003. Diagnóstico de la calidad de agua en sistemas Lóticos utilizando diatomeas y macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores Rio Maipo (Santiago: Chile). Sociedad Chilena de Ingeniería Hidráulica. Santiago, Chile.

UNIVERSIDAD DE CHILE. 2017. Parque Carén: Pionera planta piloto de alimentos saludables inició su construcción. Disponible en: http://www.uchile.cl/noticias/137460/pionera-planta-piloto-de-alimentos-saludables-inicia-su-construccion. Acceso en: 13 marzo 2019.

WELCH, E.B. 1992. Ecological effects of wastewater. Applied limnology and pollutant effects. 2ª Ed. Chapman & Hall. Norwell, Massachussets, USA. 425 p.

ANEXOS

Anexo I. Valores máximos y mínimos de los parámetros físico-químicos analizados en las EM, de acuerdo a la normativa vigente.

Parámetros	Nch 1.333[2]	Guía CONAMA - Clases[1]				CONAMA - Estados Tróficos[1]			
		Clase excepción	Clase 1	Clase 2	Clase 3	Ultra oligotrófico	Oligotrófico	Mesotrófico	Eutrófico
T(°C)[3]	VN[4] +3,0°C	∆T°C<0,5	∆T°C<1,5	∆T°C<1,5	∆T°C<3	-	-	-	-
O.D. (mg/L)[5]	>5,0	>7,5	7,5	5,5	5	-	-	-	-
pH (Rango)	6,0 - 9,0	6,5 - 8,5	6,5 - 8,5	6,5 - 8,5	6,5 - 8,5	-	-	-	-
Color (Pt-Co)	S.C.A.[6]	<16	20	100	>100	-	-	-	-
Turbiedad (FAU)[7]	VN+30 unid.	-	-	-	-	-	-	-	-
C.E. (µS/cm)[8]	-	<600	750	1.500	2.250	-	-	-	-
S.T.D. (mg/L)[9]	-	<400	500	1.000	1.500	-	-	-	-
P (µg/L)[10]	-	-	-	-	-	<7,5	10	30	>30
N (µg/L)[11]	-	-	-	-	-	<300	450	750	>750

[1]Guía para el Establecimiento de las Normas Secundarias de Calidad Ambiental para Aguas Continentales Superficiales y Marinas de la Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA, 2004); [2]Norma Chilena Oficial de Requisitos de calidad del agua para diferentes usos NCh 1333.Of.78 (Modificada en 1987) del Instituto Nacional de Normalización, específicamente Requisito para vida acuática (INN Chile, 1978); [3] Temperatura del agua; [4]VN: Valor natural; [5]Oxígeno disuelto; [6] Sin presencia de colorantes artificiales; [7]Unidades de Atenuación de Formazin; [8]Conductividad eléctrica; [9]STD: Sólidos totales disueltos; [10]Fósforo; [11]Nitrógeno.

APÉNDICES

Apéndice I. Mapa y coordenadas de las estaciones de muestreo en Embalse Chada, Provincia de Chacabuco, Región Metropolitana.

Mapa de Embalse Chada

Coordenadas de estaciones de muestreo en Embalse Chada,

Estaciones de muestreo	Coordenadas	
	Coordenada Este	Coordenada Sur
EM1	347551.00 m E	6247684.00 m S
EM2	347506.00 m E	6247563.00 m S
EM3	347720.00 m E	6247214.00 m S
EM4	347852.00 m E	6247606.00 m S

*Huso 19

Apéndice II. Mapas y coordenadas de las estaciones de muestreo en las zonas de estudio. **A:** Humedal Batuco; **B:** Laguna Carén. *Tanto la escala gráfica como la orientación son las mismas en ambos cuerpos de agua.

Coordenadas de las estaciones de muestreo en Humedal Batuco, Provincia de Lampa, Región Metropolitana.

Estaciones de muestreo	Coordenadas	
	Coordenada Este	Coordenada Sur
EM1	330098.00 m E	6324157.00 m S
EM2	330093.00 m E	6323810.00 m S
EM3	329784.00 m E	6323359.00 m S
EM4	329807.00 m E	6323372.00 m S

*Huso 19

Coordenadas de las estaciones de muestreo en Laguna Carén, Provincia de Santiago, Región Metropolitana.

Estaciones de muestreo	Coordenadas	
	Coordenada Este	Coordenada Sur
EM1	328384.00 m E	6298965.00 m S
EM2	328429.00 m E	6299041.00 m S
EM3	328131.00 m E	6299186.00 m S
EM4	328994.00 m E	6299561.00 m S

*Huso 19

Apéndice III. Prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis y prueba de Dunn para la abundancia durante la temporada de primavera y otoño.

Embalse Chada

Primavera:

EM	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
EM1	3	0,00	0,00	0	8,42	0,0322
EM2	3	9,33	2,89	11		
EM3	3	2,00	2,00	2		
EM4	3	4,67	2,89	3		

Diferencias significativas a nivel de significancia de 0,05.

Tratamientos	Rango	
EM1	2,50	A
EM3	5,17	AB
EM4	7,67	AB
EM2	10,67	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p>0,05).

Otoño:

EM	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
EM1	3	0,00	0,00	0	6,58	0,0254
EM2	3	0,67	1,15	0		
EM3	3	31,00	17,78	25		
EM4	3	0,00	0,00	0		

Diferencias significativas a nivel de significancia de 0,05.

Tratamientos	Rango	
EM1	4,50	A
EM4	4,50	A
EM2	6,00	AB
EM3	11,00	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p>0,05).

Humedal Batuco

Primavera:

EM	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
EM1	3	13,67	7,37	11	9,51	0,0228
EM2	3	0,67	0,58	1		
EM3	3	39,33	12,22	42		
EM4	3	23,33	11,50	23		

Diferencias significativas a nivel de significancia de 0,05.

Tratamientos	Rango	
EM2	2,00	A
EM1	5,33	AB
EM4	8,00	B
EM3	10,67	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p>0,05).

Otoño:

EM	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
EM1	3	1,00	1,00	1	9,97	0,0188
EM2	3	7,67	3,06	7		
EM3	3	13,33	3,06	14		
EM4	3	28,33	7,64	30		

Diferencias significativas a nivel de significancia de 0,05.

Tratamientos	Rango	
EM1	2,00	A
EM2	5,33	AB
EM3	7,67	AB
EM4	11,00	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p>0,05).

Laguna Carén

Primavera:

EM	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
EM1	3	4,00	2,65	3	9,09	0,0254
EM2	3	0,00	0,00	0		
EM3	3	1,33	0,58	1		
EM4	3	4,33	1,53	4		

Diferencias significativas a nivel de significancia de 0,05.

Tratamientos	Rango	
EM2	2,00	A
EM3	5,17	AB
EM1	9,00	B
EM4	9,83	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p>0,05).

Otoño:

EM	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
EM1	3	0,00	0,00	0	6,69	0,0724
EM2	3	4,33	2,52	4		
EM3	3	4,67	0,58	5		
EM4	3	6,00	2,65	5		

Diferencias significativas a nivel de significancia de 0,05.

Tratamientos	Rango	
EM1	2,00	A
EM2	7,00	AB
EM3	8,00	B
EM4	9,00	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p>0,05).

Apéndice IV. Prueba de Mann-Whitney para la abundancia en cada EM por temporada.

Embalse Chada

EM1:

Temporada	N	Medias	D.E.	U	p
Primavera	3	0	0	0	0
Otoño	3	0	0		

Ausencia de diferencias significativas.

EM2:

Temporada	N	Medias	D.E.	U	p
Primavera	3	9,33	2,89	6	0,1
Otoño	3	0,67	1,15		

Ausencia de diferencias significativas.

EM3:

Temporada	N	Medias	D.E.	U	p
Primavera	3	2,00	2,00	15	0,1
Otoño	3	31,00	17,78		

Ausencia de diferencias significativas.

EM4:

Temporada	N	Medias	D.E.	U	p
Primavera	3	4,67	2,89	6	0,1
Otoño	3	0,00	0,00		

Ausencia de diferencias significativas.

Entre temporadas:

Temporada	N	Medias	D.E.	U	p
Primavera	12	4,00	4,13	134,5	0,3385
Otoño	12	7,92	15,86		

Ausencia de diferencias significativas.

Humedal Batuco

EM1:

Temporada	N	Medias	D.E.	U	p
Primavera	3	13,67	7,37	6	0,1
Otoño	3	1,00	1,73		

Ausencia de diferencias significativas.

EM2:

Temporada	N	Medias	D.E.	U	p
Primavera	3	0,67	0,58	15	0,1
Otoño	3	7,67	3,06		

Ausencia de diferencias significativas.

EM3:

Temporada	N	Medias	D.E.	U	p
Primavera	3	39,33	12,22	6	0,1
Otoño	3	13,33	3,06		

Ausencia de diferencias significativas.

EM4:

Temporada	N	Medias	D.E.	U	p
Primavera	3	23,33	11,50	11,5	0,8
Otoño	3	28,33	7,64		

Ausencia de diferencias significativas.

Entre temporadas:

Temporada	N	Medias	D.E.	U	p
Primavera	12	19,25	16,68	133	0,3256
Otoño	12	12,58	11,20		

Ausencia de diferencias significativas.

Laguna Carén

EM1:

Temporada	N	Medias	D.E.	U	p
Primavera	3	4,00	2,65	6	0,1
Otoño	3	0,00	0,00		

Ausencia de diferencias significativas.

EM2:

Temporada	N	Medias	D.E.	U	p
Primavera	3	0,00	0,00	15	0,1
Otoño	3	4,33	2,52		

Ausencia de diferencias significativas.

EM3:

Temporada	N	Medias	D.E.	U	p
Primavera	3	1,33	0,58	15	0,1
Otoño	3	4,67	0,58		

Ausencia de diferencias significativas.

EM4:

Temporada	N	Medias	D.E.	U	p
Primavera	3	4,33	1,53	12,5	0,5
Otoño	3	6,00	2,65		

Ausencia de diferencias significativas.

Entre temporadas:

Temporada	N	Medias	D.E.	U	p
Primavera	12	2,42	2,31	170,5	0,2308
Otoño	12	3,75	2,83		

Ausencia de diferencias significativas.

Apéndice V: Prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis y Test de Dunn para la riqueza durante la temporada de primavera y otoño.

Embalse Chada

Primavera:

EM	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
EM1	3	0,00	0,00	0	6	0,0897
EM2	3	2,33	1,15	3		
EM3	3	1,33	1,15	2		
EM4	3	1,67	0,58	2		

Diferencias significativas a nivel de significancia de 0,05.

Tratamientos	Rango	
EM1	2,50	A
EM3	6,50	AB
EM4	7,50	AB
EM2	9,50	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p>0,05).

Otoño:

EM	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
EM1	3	0,00	0,00	0	6,21	0,03
EM2	3	0,67	1,15	0		
EM3	3	2,67	0,58	3		
EM4	3	0,00	0,00	0		

Diferencias significativas a nivel de significancia de 0,05.

Tratamientos	Rango	
EM1	4,50	A
EM4	4,50	A
EM2	6,17	AB
EM3	10,83	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p>0,05).

Humedal Batuco

Primavera:

EM	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
EM1	3	1,33	0,58	1	7,19	0,0447
EM2	3	0,67	0,58	1		
EM3	3	2,33	0,58	2		
EM4	3	2,33	0,58	2		

Diferencias significativas a nivel de significancia de 0,05.

Tratamientos	Rango	
EM2	2,67	A
EM1	5,00	AB
EM4	9,17	B
EM3	9,17	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p>0,05).

Otoño:

EM	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
EM1	3	0,67	0,58	1	5,86	0,0374
EM2	3	2,00	0,00	2		
EM3	3	2,00	0,00	2		
EM4	3	1,67	0,58	2		

Diferencias significativas a nivel de significancia de 0,05.

Tratamientos	Rango	
EM1	2,33	A
EM4	6,67	AB
EM3	8,50	B
EM2	8,50	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p>0,05).

Laguna Carén

Primavera:

EM	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
EM1	3	1,33	0,58	1	9,46	0,0148
EM2	3	0,00	0,00	0		
EM3	3	1,00	0,00	1		
EM4	3	3,00	0,00	3		

Diferencias significativas a nivel de significancia de 0,05.

Tratamientos	Rango	
EM2	2,00	A
EM3	6,00	AB
EM1	7,00	AB
EM4	11,00	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p>0,05).

Otoño:

EM	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
EM1	3	0,00	0,00	0	9,35	0,0117
EM2	3	1,00	0,00	1		
EM3	3	2,00	0,00	2		
EM4	3	1,00	0,00	1		

Diferencias significativas a nivel de significancia de 0,05.

Tratamientos	Rango	
EM1	2,00	A
EM2	6,50	AB
EM4	6,50	AB
EM3	11,00	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p>0,05)