



**FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA EN MEDIOAMBIENTE  
MAGÍSTER EN GESTIÓN AMBIENTAL**

---

**EVALUACIÓN AMBIENTAL DEL ESTERO  
CURAUMA A TRAVÉS DE ÍNDICES ECOLÓGICOS Y  
PARÁMETROS FÍSICOS Y QUÍMICOS: COMO BASE  
PARA SU CONSERVACIÓN**

**TRABAJO FINAL PARA OPTAR AL GRADO DE MAGÍSTER EN  
GESTIÓN AMBIENTAL**

**AUTOR: Franco Salgado Gutiérrez  
PROFESOR GUÍA: Dr. Hernán Gaete Olivares**

---

Valparaíso, Diciembre 2023

## RESUMEN

Se carece de información sobre el estado ecológico y ambiental de la microcuenca del estero Curauma, sin la cual no se puede avanzar en planes de conservación de su biodiversidad, tomando en cuenta que esta microcuenca está considerada dentro de la Estrategia Regional para la Conservación de la Biodiversidad.

Este estudio se basó en una evaluación integral de la calidad ambiental del estero Curauma, tomando en cuenta la vegetación, fauna presente y otros aspectos físicos y químicos del ambiente, generando una base para la propuesta de estrategias tendientes a la conservación y/o preservación de dicha microcuenca.

Para la protección de los ecosistemas acuáticos se han establecidos normas de calidad de aguas. Para ello, se determinan las mediciones de agentes químicos por medio de métodos analíticos. Sin embargo, estas mediciones no son suficientes ya que no incorpora la dinámica de los factores bióticos y abióticos presentes en zonas acuáticas y terrestres del medio.

La realización de este trabajo se hizo en seis estaciones de muestreo durante la temporada de finales de invierno y comienzos de primavera del año 2023, mediante la medición de parámetros físicos y químicos del agua, como también con la aplicación de los índices de Hábitat Fluvial (IHF), Calidad de Bosque de Ribera (QBR) y ChBMWP de macroinvertebrados.

Se determinaron que parámetros físicos y químicos tales como el fósforo, nitrito, nitrato, cobre, conductividad y sólidos disueltos totales excedieron los límites establecidos en diferentes normativas asociada a las Normas Secundarias de Calidad Ambiental para la protección de Aguas Continentales Superficiales.

El IHF arrojó una calidad entre regular a mala. El índice de QBR varió desde una buena a una pésima calidad ecológica y el índice biótico ChBMWP varió desde aguas moderadamente contaminadas hacia aguas fuertemente contaminadas.

Se evidenció también una correlación significativa entre parámetros físicos y químicos con los tres índices de calidad ecológica empleados, lo que indica una relación directa entre dichas variables. De igual manera, se determinó una correlación significativa entre los índices ecológicos mencionados, indicando que existe una estrecha relación entre los factores ambientales y los biológicos.

Se observó que todos los índices siguieron la misma tendencia; generándose un deterioro de la calidad ambiental aproximándose hacia la desembocadura del estero con el mar, que corresponde al tramo con mayor intervención antrópica. De este modo, a partir de este estudio, se podría generar una propuesta integral de plan de gestión ambiental de la microcuenca del estero Curauma.

## ÍNDICE

|   |                                  |    |
|---|----------------------------------|----|
| 1 | INTRODUCCIÓN .....               | 1  |
| 2 | PROBLEMA .....                   | 4  |
| 3 | OBJETIVOS .....                  | 5  |
| 4 | MARCO TEÓRICO .....              | 6  |
| 5 | METODOLOGÍA .....                | 15 |
| 6 | RESULTADOS.....                  | 24 |
| 7 | DISCUSIÓN.....                   | 43 |
| 8 | CONCLUSIONES .....               | 49 |
| 9 | REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS ..... | 51 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| 1. Zonas del curso hídrico de una cuenca hidrográfica  | 6  |
| 2. Elementos de un río   | 7  |
| 3. Área de estudio y localización de las estaciones de muestreo en el estero Curauma   | 16 |
| 4. Distribución del origen de las especies de la cubierta vegetal en las estaciones de muestreo  | 27 |
| 5. Distribución de las especies de la cubierta vegetal según su forma de vida en las estaciones de muestreo                              | 28 |
| 6. Distribución de las categorías de conservación de las especies de la cubierta vegetal en las estaciones de muestreo                   | 29 |
| 7. Dendograma de las estaciones de muestreo del estero Curauma en base a los índices IHF y QBR   | 36 |
| 8. Dendograma de las estaciones de muestreo del estero Curauma en base al índice biótico ChBMWP  | 37 |
| 9. Dendograma de las estaciones de muestreo del estero Curauma en base a los parámetros físicos y químicos                               | 38 |
| 10. Análisis de componentes principales asociados a los parámetros bióticos y abióticos de las estaciones de muestreo del estero Curauma | 40 |
| 11. Mapa de calidad ambiental en base al Índice de Hábitat Fluvial (IHF) del estero Curauma  | 41 |
| 12. Mapa de calidad ambiental en base al Índice de Calidad de Bosque de Ribera (QBR) del estero Curauma                                  | 41 |
| 13. Mapa de calidad ambiental en base al Índice ChBMWP del estero Curauma  | 42 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|   |    |
|---|----|
| 1. Requisitos generales de aguas destinadas a vida acuática.....  | 9  |
| 2. Coordenadas UTM de las estaciones de muestreo del estero Curauma<br>.....  | 17 |
| 3. Rangos de calidad según Índice de Calidad de Bosque de Ribera (QBR)<br>.....   | 20 |
| 4. Rangos de calidad según Índice de Hábitat Fluvial<br>(IHF).....  | 21 |
| 5. Rangos de calidad de aguas según Índice ChBMWP.....  | 22 |
| 6. Lista de especies de plantas vasculares, macrófitas y algas verdes<br>presente en el estero Curauma.....                                     | 24 |
| 7. Puntuación de cada bloque de la aplicación del índice IHF en las<br>diferentes estaciones de muestreo.....                                   | 30 |
| 8. Puntuación de cada bloque de la aplicación del índice QBR en las<br>diferentes estaciones de muestreo.....                                   | 31 |
| 9. Familias de macroinvertebrados registradas en el estero Curauma en las<br>diferentes estaciones de muestreo.....                             | 32 |
| 10. Puntuación de la aplicación del índice ChBMWP en las diferentes<br>estaciones de muestreo.....  | 33 |
| 11. Clasificación de la calidad ambiental por medio de los índices IHF, QBR y<br>ChBMWP para las estaciones de muestreo del estero Curauma..... | 34 |
| 12. Características físicas y químicas de las aguas en las diferentes<br>estaciones de muestreo del estero Curauma.....                         | 35 |
| 13. Correlaciones significativas (con valor $P < 0,05$ ) entre las variables<br>físicas, químicas y biológicas.....                             | 39 |

# 1 INTRODUCCIÓN

Desde los inicios de la historia de la humanidad los cursos de agua han sido de vital importancia para su existencia, los que han provisto de recursos y servicios múltiples para las diversas actividades que ha desarrollado la humanidad en el tiempo. Asimismo, en base a estos cursos de agua se constituyen hábitats y corredores únicos para la preservación de la biodiversidad y del equilibrio ecológico (MMA, 2022).

Otra función relevante es la mantención de las condiciones físicas de los ecosistemas, donde por medio de la vegetación existente se permite la regulación de la temperatura y se condiciona la cantidad de luz que incide sobre las masas de agua. Existe también una relación directa entre la calidad ambiental de los cuerpos de agua y estos factores abióticos, entiendo esta calidad como la propiedad o el conjunto de propiedades que permiten juzgar el valor del medio para alguna función en particular (MMA, 2017), como, por ejemplo, que a medida que el oxígeno disuelto disminuye, aumenta la temperatura, lo que propicia el inicio de procesos biológicos que pueden conducir a la muerte de la fauna acuática (De la Barrera et al., 2009).

Existe también la función hidráulica, la que se asocia con la normal esorrentía que permite drenar las aguas de forma superficial en función de la gravedad del territorio. Adicionalmente, está la función de depuración de las aguas, donde actúa la bioretención de nutrientes y contaminantes, ayudando a controlar los procesos de eutrofización en los medios acuáticos.

Es relevante considerar la importancia que existe en el límite que hay entre un cuerpo de agua y el ecosistema terrestre colindante, a lo cual se le conoce como borde de ribera, lo que genera un papel fundamental dentro de los sistemas naturales, reportando beneficios o perjuicios tanto al ecosistema terrestre como al acuático ligado.

Dentro de los componentes de ribera, el elemento vegetal es uno de los más importantes, ya que este es la base de la circulación de la materia. La vegetación es la estabilizadora de los

márgenes; retarda o impide los procesos erosivos naturales y de origen antrópico; contribuye con la calidad y cantidad de las aguas que circulan por el cauce; como también propicia hábitats y ecosistemas con microclimas localizados.

Para la protección de los ecosistemas acuáticos se han establecidos normas de calidad de aguas (Figueroa et al., 2007), para lo cual se desarrollan estudios de los aspectos físicos y químicos para determinar la calidad de un cuerpo de agua por medio de métodos analíticos. Sin embargo, es relevante también considerar los estudios en base a las comunidades o la biota que habitan estos ecosistemas, ya que, por medio del estudio de las características abióticas, los impactos presentes se reflejarían de manera puntual y no revelarían en profundidad sobre la evolución de una carga contaminante y la capacidad resiliente y amortiguadora de un ecosistema acuático. Por lo que, como una alternativa a estos procedimientos ya estandarizados, se han generado conocimientos y desarrollado técnicas de biomonitoreo basadas en indicadores biológicos, a través de la evaluación de reacciones e índices de sensibilidad de organismos vivos ante la presencia de elementos contaminantes (MMA, 2023). Lo cual se ha contemplado, como, por ejemplo, en el Programa de Medición y Control de la Calidad Ambiental del Agua de la Norma Secundarias de Calidad Ambiental para la Protección de las Aguas Continentales Superficiales de la Cuenca del Río Aconcagua D.S. MMA N°41/23, como una herramienta complementaria para determinar los efectos de la calidad del agua en los ecosistemas acuáticos.

El uso de bioindicadores como los macroinvertebrados acuáticos, ofrece múltiples ventajas tales como: su presencia en la mayoría de los sistemas acuáticos continentales; su naturaleza sedentaria, la que permite un análisis espacial de los efectos de las perturbaciones en el ambiente; la simplicidad metodológica y una alta confiabilidad (Figueroa et al., 2003). Lo que hace de estos métodos una herramienta idónea para la vigilancia rutinaria del estado ecológico en las cuencas y ríos en general (Córdova et al., 2009).

El estero Curauma de la región de Valparaíso está catalogado como sitio de prioridad uno según la Estrategia Regional para la Conservación de la Biodiversidad (CONAMA y PNUD, 2005), es por esto por lo que el presente trabajo busca evaluar la calidad ambiental de un tramo del estero Curauma por medio de la aplicación del Índice de Hábitat Fluvial (IHF), Índice de Calidad de Bosque de Ribera (QBR), índice biótico basado en macroinvertebrados y por parámetros físicos y químicos.

## 2 PROBLEMA

Las cuencas hidrográficas cumplen diferentes funciones y usos, siendo la base de diversas actividades de desarrollo humano, dejando muchas veces expuestas a la biodiversidad y al recurso hídrico a la degradación y/o reducción de su calidad ambiental (Correa-Araneda et al., 2010).

Es relevante conocer la calidad ambiental de los ecosistemas presentes en los cuerpos de agua continentales de la zona central de Chile, que actualmente se ven enfrentados a diversos factores estresantes tales como la presencia de especies exóticas invasoras como también de diversos tipos de residuos que alteran las condiciones del medio, donde por lo general no existe un cuerpo normativo adecuado que contemple la protección y conservación de estos cuerpos de agua (Fierro et al., 2019).

La microcuenca del estero Curauma, ubicada en la región de Valparaíso, está catalogada como sitio de prioridad uno según la Estrategia Regional para la Conservación de la Biodiversidad (CONAMA y PNUD, 2005), la cual está dentro también del corredor biológico de la Reserva de la Biósfera “La Campana-Peñuelas”, albergando una combinación singular de ecosistemas de distribución restringida y situación vulnerable propios de la zona central de nuestro país. Actualmente se carece de información sobre el estado ambiental de esta microcuenca desde una mirada integral que considere aspectos ecológicos, bióticos, físicos y químicos, sin la cual no se puede avanzar en la realización de planes de conservación de su biodiversidad.

### **3 OBJETIVOS**

#### **3.1 OBJETIVO GENERAL**

Evaluar la calidad ambiental del estero Curauma mediante índices de calidad ecológica y parámetros físicos y químicos.

#### **3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Caracterizar la calidad ambiental del estero Curauma por medio de los índices de Hábitat Fluvial, Calidad de Bosque de Ribera, uso de macroinvertebrados acuáticos y por parámetros físicos y químicos.
- Establecer la relación entre los parámetros abióticos y bióticos de los índices empleados.
- Generar mapas de calidad ambiental para la microcuenca del estero Curauma a modo de facilitar la toma de decisiones en la gestión de este cuerpo de agua.

## 4 MARCO TEÓRICO

### 4.1 Cuenca Hidrográfica

Las cuencas hidrográficas son unidades territoriales delimitadas por las altas cumbres desde donde se origina un curso de agua hasta su desembocadura, llevándose a cabo diversos procesos, tanto como flujos de materia y de energía. En esta área geográfica se desarrollan diferentes formas de vida y sus múltiples interacciones entre sí desde la parte alta hasta la zona baja, funcionando como un sistema complejo, tal como se refleja en la figura N° 1. Desde el interior de las cuencas se pueden delimitar subcuencas o cuencas de orden inferior (MMA, 2017).

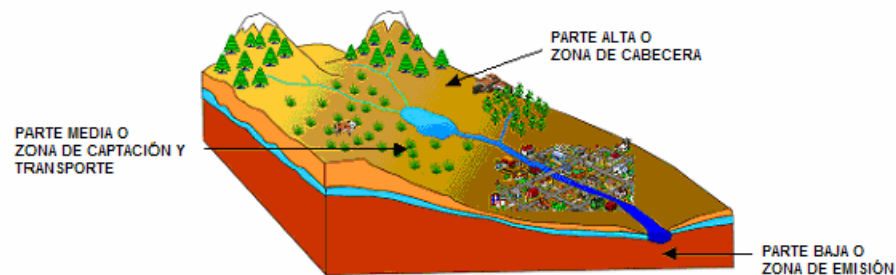


Figura N°1: Zonas del curso hídrico de una cuenca hidrográfica (Bustos y Valencia, 2006).

Dentro de las diversas funciones presentes en una cuenca son, por ejemplo, la formación de variados cuerpos de agua de tipo subterráneos y superficiales, la mantención de los ecosistemas, la regulación de los ciclos biogeoquímicos, la provisión de los recursos naturales como también el sustento de diferentes servicios ecosistémicos para la sociedad y cultura humana, entre otras funciones.

Los ecosistemas existentes en base a ríos y esteros se denominan de tipo fluvial, los cuales poseen cursos de agua permanentes o temporales que recorren la superficie terrestre conforme a la pendiente existente en la morfología del suelo, desembocando en el mar o en

cuerpo de agua de carácter léntico como, por ejemplo, un lago, lo que está ilustrado en la siguiente figura N° 2.



Figura N°2: Elementos de un río (Bustos y Valencia, 2006).

Los ríos en general se caracterizan en tres zonas:

- Crenón: zona correspondiente a los tramos de nacimiento, riachuelos y arroyos de cabecera, donde las aguas son frías durante todo el año, con oscilaciones térmicas muy pequeñas y los cauces de anchura menor de dos metros.
- Ritrón: zona que posee un bajo caudal, gran pendiente y alta velocidad de corriente, además el fondo del río se encuentra formado por grandes piedras, bloques y sus aguas son heladas, turbulentas y con un alto contenido de oxígeno. Estas zonas son llamadas zonas altas de los ríos.
- Potamón: zona que presenta mayores caudales, baja pendiente y baja velocidad de corriente, sus aguas presentan una mayor temperatura promedio que el ritrón, y finalmente arrastran una gran cantidad de sedimentos, además el sustrato del fondo del río se encuentra constituido por material fino como materia orgánica o fango. Corresponden a las zonas bajas de los ríos.

Los ríos son ecosistemas que entre otras funciones regulan el balance hídrico de las cuencas, hábitat de especies de peces, macroinvertebrados y vegetación acuática, entre otros. Por otra parte, proveen de servicios tales como energía hidroeléctrica, agua para diversos usos (consumo humano, riego agrícola, industrial), actividades recreativas, conservación de la biodiversidad (Aranda de la Fuente et al., 2014). Sin embargo, debido a la creciente presión que ejercen las actividades antrópicas, la conservación de la biodiversidad acuática se ha visto afectada negativamente por usos incompatibles que deterioran la calidad del agua y el hábitat de las especies que habitan estos ecosistemas (Fierro et al., 2019).

## **4.2 Marco Legal**

Para la protección de los ecosistemas acuáticos se han establecidos normas de calidad de aguas (Figuerola et al., 2007). Para ello, se determinan las concentraciones de agentes químicos por medio de métodos analíticos. Sin embargo, esta aproximación no es suficiente ya que no incorpora la dinámica de los factores bióticos y abióticos presentes en zonas acuáticas y terrestres del medio. De esta forma dichos métodos convencionales sólo proporcionan un resultado puntual que carece de la influencia del componente biota (Aranda de la Fuente et al., 2014).

También existe la Ley N°21.202 del MMA publicada en el año 2020, que modifica diversos cuerpos legales con el objetivo de proteger los humedales urbanos, definiéndolos como: “Todas aquellas extensiones de marismas, pantanos y turberas, o superficies cubiertas de agua, sean éstas de régimen natural o artificial, permanente o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas, incluidas las extensiones de agua marina, cuya profundidad en marea baja no exceda los seis metros y que se encuentren total o parcialmente dentro del límite urbano”.

Esta Ley tiene por objetivo regular de manera específica los ecosistemas de humedales dentro de áreas urbanas e introducir en la legislación nacional el concepto de humedales urbanos, considerando lo que significan estos ecosistemas para las ciudades; como áreas verdes,

espacios para la recreación, control de inundaciones, mitigación al cambio climático, entre otros; y las fuertes amenazas bajo las cuales se encuentran (MMA, 2020).

Por otro lado, en Chile existe la norma NCh N° 1.333 que fija un criterio de calidad del agua de acuerdo con requerimientos científicos referidos a aspectos físicos, químicos y biológicos, según el uso determinado, ya sea para consumo humano, agua para animales, riego, recreación y estética y vida acuática, con la finalidad de proteger y preservar la calidad de las aguas de la degradación producida por diversos tipos de residuos. Como ejemplo, se presenta la siguiente tabla N° 1:

Tabla N° 1: Requisitos generales de aguas destinadas a vida acuática (NCh N° 1.333/78).

| Características                                     | Requisito  |
|---|--|
| Oxígeno disuelto, mg/l                              | 5 mínimo   |
| pH  | 6,0 a 9,0  |
| Alcalinidad total, mg/l de CaCO <sub>3</sub>        | 20 mínimo  |
| Turbiedad debido a descarga, unidades Escala Sílice | No debe aumentar el valor natural en más de 30 unidades.   |
| Temperatura   | En flujos de agua corriente, no debe aumentar el valor natural en más de 3 °C.   |
| Color   | Ausencia de colorantes artificiales  |
| Sólidos flotantes visibles y espumas no naturales   | Ausentes   |
| Sólidos sedimentables                               | No deben exceder del valor natural   |
| Petróleo o cualquier tipo de hidrocarburo           | No debe haber detección visual.<br>No debe haber cubrimiento de fondo, orilla o ribera.<br>No debe haber olor perceptible. |

#### 4.2.1 Normas Secundarias de Calidad Ambiental (NSCA)

El marco jurídico de las NSCA se compone de dos regulaciones principales, primero conforme a la LBGMA N° 19.300, donde se refiere a su promulgación, sus revisiones y como también sobre la responsabilidad del daño ambiental si existiese infracción a dichas normas. Y el Decreto Supremo N° 38 del año 2012 del MMA, sobre el Reglamento para la dictación de Normas de Calidad Ambiental y de Emisión (MMA, 2017).

Los valores para considerar para la elaboración de las normas secundarias de calidad ambiental como instrumento de gestión ambiental tendrán por objetivo proteger, mantener o recuperar la calidad de las aguas continentales superficiales de manera de salvaguardar el aprovechamiento del recurso, la protección y conservación de las comunidades acuáticas maximizando los beneficios sociales, económicos y ambientales (CONAMA, 2004).

De este modo, existe la “Guía para la elaboración de normas secundarias de calidad ambiental en aguas continentales y marinas”, elaborada por el MMA el año 2017, la cual permite aplicar una metodología general de la elaboración de dichas normas, reconociendo las singularidades de cada tipo de ecosistema y las adaptaciones temporales necesarias, de acuerdo con la información ambiental disponible. Para esto, se requiere primero generar un análisis integral que considere, por ejemplo, aspectos físicos y químicos, información biológica, ecotoxicológica, hidrométrica, hidromorfológica, y como también las observaciones de impactos sobre la biodiversidad presente (MMA, 2017).

Conforme al área de aplicación de las NSCA, se destaca la importancia de proteger ríos, lagos y aguas marinas que evidencien muy poca intervención antrópica y un alto valor real o potencial en biodiversidad. Dentro de estos ecosistemas se encuentran los estuarios, los que corresponden a cuerpos de agua costeros semi-cerrados, donde el agua continental se mezcla con el agua marina, lo que determina la existencia de gradientes de salinidad, temperatura y densidad. Lo anterior, sumado al fenómeno de marea, hace que los procesos de mezcla en estuarios sean más complejos que los asociados a ríos, siendo una parte importante de la cuenca a la que pertenecen, considerando que albergan una abundante y diversa vida silvestre. (MMA, 2017).

#### **4.3 Calidad de las Aguas por medio de Índices Bióticos**

La evaluación del recurso hídrico tradicionalmente se ha basado en los análisis físicos y químicos, pero en la actualidad se ha complementado con biomonitoreos, el cual utiliza una entidad biológica como indicador de contaminantes y su respuesta como una herramienta que

permite detectar condiciones ambientales específicas. Con respecto a esto, Jara (2002) señala que las comunidades de macroinvertebrados encontrados en las aguas de un determinado ecosistema fluvial pueden presentar cambios conforme a las características típicas del agua, por lo que pueden constituirse como potenciales indicadores de su calidad.

#### **4.3.1 Índice de Hábitat Fluvial (IHF)**

El índice de hábitat fluvial tiene como objetivo valorar la capacidad del hábitat físico para albergar a una fauna determinada. A una mayor heterogeneidad y diversidad de estructuras físicas del hábitat le corresponde una mayor diversidad de las comunidades biológicas que lo ocupan.

La heterogeneidad del hábitat fluvial se considera actualmente como uno de los principales factores de influencia de la riqueza de especies de invertebrados acuáticos (Voelz y McArthur, 2000). Conforme con esto, se han desarrollado técnicas y métodos de muestreo en ríos para evaluar la calidad biológica en función de los macroinvertebrados, y en los cuales se contempla el muestreo de los hábitats fluviales existentes para obtener listados de las especies presentes (Pardo et al., 2002).

La evaluación consta de siete bloques en los que se valora de manera independiente la presencia de distintos componentes en el cauce fluvial, tomando en cuenta los siguientes parámetros: inclusión de rápidos/pozas, frecuencia de rápidos, composición del sustrato, regímenes de velocidad/profundidad, porcentaje de sombra del cauce, elementos de heterogeneidad y cobertura de vegetación acuática (Silva y Arancibia, 2015).

#### **4.3.2 Índice de Calidad de Bosque de Ribera (QBR)**

La importancia de las riberas radica en su elevada riqueza y diversidad florística y faunística, incidiendo directamente sobre la calidad ambiental del ecosistema acuático en donde se

encuentran. Constituyen la entrada de nutrientes y materiales orgánicos externos y participan en la retención y atenuación de los efectos destructores de las avenidas de agua.

La calidad del bosque de ribera es un elemento clave para la calificación del estado ecológico, basándose en la cubierta vegetal, estructura de la vegetación, naturalidad y complejidad del bosque y el grado de alteración del canal fluvial.

Este índice ha sido muy utilizado para evaluar la calidad ambiental de las riberas, por su aplicación rápida y sencilla, bajo costo y porque permite integrar aspectos biológicos y morfológicos del lecho del río y la zona inundable (Silva y Arancibia, 2015).

### **4.3.3 Organismos bioindicadores**

Los bioindicadores son utilizados para medir la salud de un ecosistema acuático y también para determinar el impacto potencial por la actividad humana. Corresponden a organismos seleccionados por el grado de sensibilidad o tolerancia frente a diversos tipos de contaminación o sus efectos. Cabe considerar, que el uso de bioindicadores tiene ciertas limitaciones tales como el grado al cual pueden ser detectados ciertos impactos, la falta de herramientas de diagnóstico para la determinación de las causas del impacto observado y que no se posee de una expresión numérica precisa en comparación con los análisis físicos y químicos (De la Lanza et al., 2000).

Por lo general el uso de estos métodos se ha ocupado como una herramienta analítica para otorgar información de la estructura y función de las comunidades biológicas o sobre el cambio de las condiciones pasadas de un determinado lugar (De la Lanza et al., 2000).

De este modo, se emplea el método de bioindicadores para medir la calidad del agua, que se basa en la presencia o ausencia de ciertos organismos que se encuentran asociados a un determinado tipo de contaminación (MMA, 2017).

Este método se puede usar desde los taxones superiores hasta nivel de especie, pero usualmente existen dificultades para determinar el nivel más específico debido a la falta de especialistas del área o por su deterioro y pérdida de características físicas por su manejo (De la Lanza et al., 2000).

Entre los beneficios del uso de bioindicadores se encuentran:

- Son fácilmente accesibles.
- La información se puede usar tanto cualitativamente como cuantitativamente.
- Las comunidades biológicas reflejan las condiciones del sistema (física, química, biológica y ecológica).
- La información resultante puede expresarse a través de índices bióticos los cuales pueden indicar la calidad del agua mediante escalas numéricas.

#### **4.3.3.1 Índice Biótico con Macroinvertebrados**

Los macroinvertebrados que habitan en el fondo de los ríos tienen una gran importancia, ya que su biomasa es con frecuencia la principal componente animal del ecosistema acuático. Su actividad biológica es imprescindible para comprender el funcionamiento del río (MMA, 2017).

Los índices más utilizados para la evaluación de la calidad del agua con macroinvertebrados bentónicos son el Sistema Saprobio; BMWP (Biological Monitoring Working Party), desarrollado para Gran Bretaña y IBMWP adaptado a la península Ibérica; e IBF (Índice Biótico de Familias) utilizado en Estados Unidos.

Las ventajas de la mayoría de estos índices, es que para su utilización sólo se necesita conocer a nivel de familia cada uno de los grupos presentes en el sistema acuático. En España la Directiva Marco del Agua (2000/60/CE) obliga a mantener o lograr un buen estado ecológico en todos los ecosistemas acuáticos que pertenecen a los estados miembros de la comunidad europea, y para cumplir este objetivo, el uso de los bioindicadores es uno de sus métodos de evaluación esencial, desarrollando métodos de evaluación integrada entre índices biológicos y químicos (Araya et al., 2003).

#### **4.3.3.1.1 Índice ChBMWP**

Este índice se utiliza para determinar la calidad de las aguas a través de las comunidades de macroinvertebrados, en función del tipo de familias presentes en un tramo de un río, asignando un puntaje a cada familia en función a su sensibilidad a la contaminación.

Este índice biótico es una variante del índice IBMWP, y elimina aquellas familias que no se encuentran en Chile, así como incorporando otras asignando puntajes de tolerancia de acuerdo con datos de otros estudios.

## 5 METODOLOGÍA

### 5.1 Área de estudio

La microcuenca del estero Curauma se encuentra ubicada entre las localidades de Laguna Verde, Curauma y Quintay, y presenta un clima de tipo mediterráneo-templado. El estero Curauma corresponde a un cuerpo de agua de régimen netamente pluvial el cual desemboca en la playa Las Docas, la que corresponde a una bahía cerrada donde se congrega un alto flujo de personas durante todo el año y con mayor nivel durante el periodo estival.

En términos generales, el hábitat del objeto de estudio del estero Curauma ha sido definido como un estuario de Barra Cerrada (Contreras-Lopez et al., 2021), el cual se forma en su desembocadura y está desconectado del mar por un banco de arena que se abre esporádicamente dependiendo de la intensidad del oleaje y/o por fuertes lluvias.

De esta manera, las estaciones de muestreo se representan en la siguiente figura N° 3, las cuales se dividieron en dos partes. Primero la parte baja que da con la desembocadura donde se encuentran las primeras tres estaciones, de esta manera la primera estación conecta directamente con el mar. Aquí existe el mayor volumen de agua del estero, la menor abundancia de especies vegetales y la mayor cantidad de residuos de origen humano ya que se encuentran más cerca a la playa que es donde está la mayor actividad antrópica por recreación.

Posteriormente está la parte alta desde la estación 4 a la 6 donde se conectan unas caídas de agua desde las laderas. Aquí se presenta una mayor abundancia de especies vegetales, la cual también se caracteriza por tener un mayor número de especies endémicas/nativas. Otras características de estas últimas estaciones es que se encuentran en un estado más limpio de residuos, con menor exposición a la luz solar y con zonas de mayor velocidad de corriente, pero de menor volumen de agua que las primeras tres estaciones.



Figura N°3. Área de estudio y localización de las estaciones de muestreo en el estero Curauma.

Para delimitar el área de estudio primero se realizó una prospección del terreno, y de esta forma se logró identificar los posibles puntos de muestreo considerando su accesibilidad, de tal modo poder proceder con la aplicación de los diferentes índices propuestos

La temporada de estudio y análisis de la toma de muestras fue de agosto a octubre del año 2023 realizando un total de cuatro tomas de muestras y datos.

Luego de recorrer el estero se definieron seis estaciones de muestreo identificando las áreas más representativas en función a la diversidad de hábitats, la hidromorfología del cauce y de los posibles impactos antrópicos presentes.

En cada punto se realizó su codificación junto con la determinación de su ubicación con la toma de coordenadas geográficas UTM por medio de un dispositivo GPS Garmin Etrex 10, las cuales se detallan en la siguiente tabla N° 1.

Tabla N° 2: Coordenadas UTM de las estaciones de muestreo del estero Curauma.

| ESTACIONES | COORDENADAS UTM WGS84 19H |        | Altitud |
|------------|---------------------------|--------|---------|
|            | N                         | E      | msnm    |
| E1         | 6329912                   | 247623 | 29      |
| E2         | 6329876                   | 247794 | 45      |
| E3         | 6329854                   | 248040 | 56      |
| E4         | 6329941                   | 248174 | 65      |
| E5         | 6330095                   | 248286 | 74      |
| E6         | 6329930                   | 248586 | 91      |

La superficie de muestreo se definió en función de los registros visuales de las crecidas del estero con una dirección opuesta al flujo del caudal, estableciéndose en promedio una franja de 10 metros de ancho en cada ribera.

## 5.2 Parámetros físicos y químicos

En cada estación se midieron in situ y de manera triplicada los parámetros pH, temperatura, conductividad y sólidos disueltos totales (SDT) del agua con un equipo Multiparámetro marca Hanna Instruments modelo HI 98130, en tanto que el oxígeno disuelto (OD) se midió con un oxigenómetro Hanna Instruments HI 98193. El caudal se estimó por medio del producto del área de la sección transversal del estero y la velocidad de la corriente registrada en ese tramo por medio de un correntímetro contando las vueltas durante 15 segundos. Además, se recolectaron muestras de aguas, donde primero se homogeneizaron los envases con el agua del estero tres veces y luego las muestras se tomaron en profundidad para después hacer los análisis en triplicado en el laboratorio de la Escuela de Ingeniería en Medioambiente, de los

parámetros nitrato, nitrito, fosfato, fósforo y cobre por medio del espectrofotómetro marca Hanna Instruments modelo HI 83209.

Los valores obtenidos de las variables físicas y químicas analizadas se compararon con los rangos que se establecen en la normativa asociada con las Normas Secundarias de Calidad Ambiental para la protección de las Aguas Continentales, tales como la Guía para el desarrollo de dichas normas de la CONAMA (2004) y las normas de la Cuenca del Río Aconcagua y la de la Cuenca del Río Maipo, D.S. MMA N°41/23 y D.S. MMA N°53/14 respectivamente.

### **5.3 Índice de Calidad de Bosque de Ribera (QBR)**

Para llevar a cabo la aplicación del Índice de Calidad de Bosque de Ribera se completó un formulario en cada estación de muestreo considerando los siguientes aspectos: cubierta vegetal, estructura de la vegetación, naturalidad y complejidad del bosque ribereño y grado de alteración del canal fluvial.

Antes de calcular el índice, se diferenció entre el cauce principal y la zona de llanura de inundación. El índice oscila entre una puntuación total de 0 y 100, la cual resulta de la suma de los cuatro aspectos que considera. Cada bloque se ponderó inicialmente con uno de estos cuatro valores: 0, 5, 10 o 25, luego, esta puntuación se ajustó en función de criterios adicionales establecidos.

Las cuatro secciones evaluadas fueron las siguientes:

a) Grado de cobertura de la ribera:

Se estimó el porcentaje de cobertura de toda la vegetación, exceptuando las plantas de crecimiento anual. Se considera la conectividad entre el bosque de ribera y el ecosistema forestal adyacente.

b) Estructura de la cobertura:

Sólo se consideraron las zonas donde había cobertura de vegetación, no sobre la totalidad de las riberas, tomando en cuenta la complejidad de la vegetación presente, de tal modo que elementos como monocultivos u organismos individuales que no cubrían de manera uniforme descontaron la puntuación, mientras que la presencia de comunidades de helófitos y la interconexión entre árboles y arbustos en la ribera la aumentaron.

c) Calidad de la cobertura:

Primero se determinó el tipo geomorfológico del cauce, según si correspondía a una ribera cerrada de suelo rocoso, de tramos medios o bajos de riberas extensas. Posteriormente, se realizó el listado de las especies de plantas vasculares, macrófitas y algas verdes presentes en ambas riberas del cauce como una sola unidad mediante observación directa, identificándolas de manera taxonómica a nivel de especie con el apoyo del estudio de Rodríguez et al. (2018), y clasificándolas por su origen, forma de vida y estado de conservación por medio del Reglamento para Clasificar Especies Silvestres, conforme al D.S. MMA N°29/12.






Al existir un mayor nivel de endemismo hacía aumentar la puntuación, y viceversa, al haber especies introducidas la disminuía. Por otro lado, la existencia de vertidos de residuos y construcciones de origen antrópico hacían bajar también la calificación.

d) Grado de naturalidad del canal fluvial:

Se evaluó si el canal del estero fue modificado de manera antrópica, tomando en consideración también la presencia de cualquier tipo de estructura artificial dentro del lecho del cauce. De esta forma, mientras mayores alteraciones tuviese el tramo, menor puntuación obtendría.

Finalmente se clasifican las estaciones conforme a cinco clases de calidad del hábitat ribereño, reflejado en la tabla N°2, que corresponden en líneas generales a las sugeridas en la Directiva Marco del Agua.

Tabla N°3: Rangos de calidad según Índice de Calidad de Bosque de Ribera (QBR) (Silva y Arancibia, 2015).

| Interpretación   | Puntuación | Color   |
|--|------------|---|
| Bosque de ribera sin alteraciones, calidad muy buena, estado natural | > 95       |  |
| Bosque ligeramente perturbado, calidad buena                         | 75-90      |  |
| Inicio de alteración importante, calidad intermedia                  | 55-70      |  |
| Alteración fuerte, mala calidad                                      | 30-50      |  |
| Degradación extrema, calidad pésima                                  | < 25       |  |

## 5.4 Índice de Hábitat Fluvial (IHF)

Este índice considera parámetros tales como: frecuencia de rápidos, sustrato, velocidad, sombra, heterogeneidad y cobertura del cauce fluvial, junto con el grado de inclusión y sedimentación en pozas.

La evaluación de cada bloque toma las siguientes características:

a) Inclusión en rápidos - sedimentación en pozas:

Aquí se contabilizó el grado de deposición de las partículas y también las que se encontraron fijadas al sustrato.

b) Frecuencia de rápidos:

Se estimó el promedio de la aparición de rápidos en relación con la presencia de zonas más remansadas, determinando la heterogeneidad de diversidad de hábitats en el curso del estero.

c) Composición del sustrato:

Por medio de una estimación visual, se obtuvo el aproximado de la composición media de sustratos tales como: bloques y piedras, cantos y gravas, arenas, limo y arcilla.

d) Regímenes de velocidad/profundidad:

Para la evaluación de este bloque, se registraron las velocidades del curso del estero y profundidades en cada una de las estaciones, teniendo en cuenta que se considera como rápidos a velocidades superiores de 0,3 m/s y sectores de mayor profundidad desde los 0,5 m.

e) Porcentaje de sombra en el cauce:

Su estimación se realizó de manera visual, en donde se tomó en cuenta la proyección de sombra por la vegetación ribereña, determinando la cantidad de luz que llega al canal del estero, influyendo en el desarrollo de productores primarios.

f) Elementos de heterogeneidad:



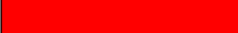
Se estimó la presencia de elementos tales como: hojas, ramas, troncos y/o raíces en el lecho del estero, los cuales proporcionan hábitats físicos para la presencia de organismos acuáticos.

g) Cobertura de vegetación acuática:

Se estimó la presencia de cobertura de la vegetación acuática en el cauce fluvial por medio de la observación visual, lo cual también es un indicador de la disponibilidad de hábitats y de fuentes de alimento para la biodiversidad presente.

La puntuación final del índice es el resultado de la suma de la puntuación obtenida en cada uno de los bloques y nunca puede ser mayor que 100, estableciendo tres rangos de calidad, como se indica en la siguiente tabla N° 3, de acuerdo con las indicaciones de la Directiva Marco del Agua.

Tabla N°4: Rangos de calidad según Índice de Hábitat Fluvial (IHF) (Pardo et al., 2002).

| <b>Interpretación</b> | <b>Puntuación</b> | <b>Color</b>  |
|-----------------------|-------------------|---|
| Optima                | 70 – 100          |  |
| Regular               | 40 – 60           |  |
| Mala                  | 0 -30             |  |

## 5.5 Índice de Macroinvertebrados Bentónicos

La estimación de la fauna bentónica se realizó mediante el recuento directo por medio de redes chinguillos tipo D. En cada estación de muestreo se realizaron cinco esfuerzos de captura

en los sectores asociados a los diferentes tipos de vegetación acuática, a contracorriente y removiendo el sustrato durante unos cinco minutos.

Las muestras de macroinvertebrados colectadas fueron almacenadas en bolsas plásticas y etiquetadas con la identificación de cada estación de muestreo, para posteriormente realizar el proceso de identificación en laboratorio bajo una lupa estereoscópica Zeiss Stemi y con el apoyo de literatura especializada (Roldán, 2012; Correa-Araneda et al., 2010; Figueroa et al., 2007) hasta el nivel taxonómico de familia, de esta forma se determinó la riqueza de macroinvertebrados presente en cada estación de muestreo.

Para aplicar el índice biótico de ChBMWP se asignaron los valores de tolerancia correspondientes a cada familia de macroinvertebrados encontrada y luego se sumaron estos valores para determinar la clasificación de cada estación de muestreo. Los valores de este índice se expresan en cinco clases de calidad ambiental, correspondiente a una escala de condición biológica como lo indica la siguiente tabla N° 4.

Tabla N°5: Rangos de calidad de aguas según Índice ChBMWP.

| Clase | Calidad     | ChBMWP  | Significado  |
|-------|-------------|---------|--|
| 1a    | Muy Buena   | 150     | Aguas muy limpias no contaminadas o poco alteradas |
| 1b    |             | 101-120 |  |
| 2     | Aceptable   | 61-100  | Aguas ligeramente contaminadas                     |
| 3     | Dudosa      | 36-60   | Aguas moderadamente contaminadas                   |
| 4     | Crítica     | 16-35   | Aguas muy contaminadas                             |
| 5     | Muy crítica | ≤ 15    | Aguas fuertemente contaminadas                     |

## 5.6 Relación entre los índices empleados

Para el análisis de los resultados primero estos se estandarizaron y luego por medio del software Statgraphics 19 se utilizaron las técnicas de análisis de componentes principales (ACP) y de Clúster o conglomerados. Para correlacionar las variables físicas, químicas y biológicas se

realizaron análisis de correlación de Pearson para poder identificar algún grado de asociación entre los índices ecológicos utilizados y los parámetros físicos y químicos del agua.

## **5.7 Mapas de calidad ambiental del estero**

La determinación de los mapas de calidad ambiental es un proceso de ordenación territorial que consiste en sectorizar la superficie del área de estudio en zonas que son clasificadas por su calidad ambiental, la cual fue provista por el análisis de las características bióticas y abióticas de cada estación de muestreo, con el fin de realizar una evaluación de la condición actual del territorio con miras hacia la definición de, por ejemplo, estrategias de conservación y/o planes de gestión ambiental, de tal modo poder hacer un correcto uso de sus servicios ecosistémicos.

Estos mapas de calidad ambiental se realizaron a través de las imágenes satelitales del programa de información geográfica Google Earth, en base a la caracterización de las diferentes estaciones de muestreo por medio de las clasificaciones asignadas por los índices IHF, QBR y CHBMWP.

## 6 RESULTADOS

### 6.1 Caracterización de las estaciones de muestreo:

La riqueza total de especies de plantas vasculares, macrófitas y algas verdes registradas para el área de estudio fue de 47 especies, las que pertenecen a las cuatro divisiones Pinophyta, Chlorophyta, Pteridophyta y Magnoliophyta. La clase mejor representada es la Magnoliopsida con 23 familias y 34 especies, siendo la familia Asteraceae la más diversa. A continuación, y para la determinación de la calidad de la cubierta de la ribera del estero, se presenta en la siguiente tabla N° 5 el listado de especies presentes en cada estación de muestreo.

Tabla N° 6: Lista de especies de plantas vasculares, macrófitas y algas verdes presente en el estero Curauma.

| Familia   | Nombre científico            | Nombre vulgar       | Origen | F. V. | E. C. | Estación de Muestreo |    |    |    |    |    |
|---|------------------------------|---------------------|--------|-------|-------|----------------------|----|----|----|----|----|
|   |                              |                     |        |       |       | E1                   | E2 | E3 | E4 | E5 | E6 |
| <b>División Pteridophyta: Clase Filicopsida</b> |                              |                     |        |       |       |                      |    |    |    |    |    |
| Adiantaceae                                     | <i>Adiantum chilense</i>     | Palito negro        | N      | He    | LC    |                      |    |    | *  |    |    |
| Blechnaceae                                     | <i>Parablechnum chilense</i> | Costilla de vaca    | N      | He    | LC    |                      |    |    |    | *  | *  |
| <b>División Chlorophyta: Clase Ulvophyceae</b>  |                              |                     |        |       |       |                      |    |    |    |    |    |
| Cladophoraceae                                  | <i>Cladophora perpusilla</i> | Lama                | N      | Ta    | DD    |                      |    |    |    | *  | *  |
| <b>División Pinophyta: Clase Pinopsida</b>      |                              |                     |        |       |       |                      |    |    |    |    |    |
| Cupressaceae                                    | <i>Cupressus macrocarpa</i>  | Ciprés de Monterrey | A      | Me    | NA    |                      |    | *  |    |    |    |
| Pinaceae  | <i>Pinus pinea</i>           | Pino piñonero       | A      | Me    | NA    |                      |    |    | *  |    |    |
| <b>División: Magnoliophyta</b>                  |                              |                     |        |       |       |                      |    |    |    |    |    |
| <b>Clase: Magnoliopsida</b>                     |                              |                     |        |       |       |                      |    |    |    |    |    |
| Anacardiaceae                                   | <i>Lithraea caustica</i>     | Litre               | E      | Me    | FP    |                      |    | *  |    | *  | *  |
| Anacardiaceae                                   | <i>Schinus latifolius</i>    | Molle               | E      | Mi    | FP    |                      |    |    |    |    | *  |
| Apiaceae  | <i>Apio nodiflorum</i>       | Apio                | A      | Hi    | NA    |                      | *  | *  |    |    |    |
| Araliaceae                                      | <i>Hydrocotyle vulgaris</i>  | Sombrecillo de agua | A      | He    | NA    |                      |    |    |    | *  |    |
| Asteraceae                                      | <i>Aristeguietia salvia</i>  | Salvia macho        | E      | Na    | FP    |                      |    |    |    | *  | *  |

| Familia         | Nombre científico              | Nombre vulgar      | Origen | F. V. | E. C. | Estación de Muestreo |    |    |    |    |    |
|-----------------|--------------------------------|--------------------|--------|-------|-------|----------------------|----|----|----|----|----|
|                 |                                |                    |        |       |       | E1                   | E2 | E3 | E4 | E5 | E6 |
| Asteraceae      | <i>Haplopappus glutinosus</i>  | Hierba del chivato | N      | Na    | FP    |                      |    | *  |    |    |    |
| Asteraceae      | <i>Hypochaeris scorzonerae</i> | Hierba del chancho | E      | He    | FP    | *                    | *  | *  |    |    |    |
| Asteraceae      | <i>Ambrosia chamissonis</i>    | Clonqui            | A      | He    | NA    | *                    |    |    |    |    |    |
| Asteraceae      | <i>Cladanthus mixtus</i>       | Manzanillón        | A      | Te    | NA    |                      | *  | *  |    |    |    |
| Asteraceae      | <i>Cotula coronopifolia</i>    | Botón de oro       | A      | He    | NA    |                      | *  | *  |    |    |    |
| Cactaceae       | <i>Eriogyne subgibbosa</i>     | Quisquito          | E      | S     | LC    |                      |    | *  |    |    |    |
| Cactaceae       | <i>Echinopsis chiloensis</i>   | Quisco             | E      | S     | NT    |                      |    | *  |    | *  | *  |
| Caryophyllaceae | <i>Silene gallica</i>          | Carmelitilla       | A      | He    | NA    | *                    | *  |    |    |    |    |
| Celastraceae    | <i>Maytenus boaria</i>         | Maitén             | N      | Mi    | FP    |                      |    |    | *  |    |    |
| Euphorbiaceae   | <i>Colliguaja odorifera</i>    | Colliguay          | E      | Na    | FP    |                      |    |    |    |    | *  |
| Fabaceae        | <i>Genista monspessulana</i>   | Retamilla          | A      | Na    | NA    |                      |    | *  | *  |    | *  |
| Fabaceae        | <i>Acacia dealbata</i>         | Acacia dealbata    | A      | Me    | NA    |                      |    |    | *  |    |    |
| Fabaceae        | <i>Lupinus arboreus</i>        | Altramuz           | A      | Na    | NA    |                      |    |    |    |    | *  |
| Fumariaceae     | <i>Fumaria capreolata</i>      | Flor de la culebra | A      | Te    | NA    |                      | *  |    |    |    |    |
| Gunneraceae     | <i>Gunnera tinctoria</i>       | Nalca              | N      | He    | LC    |                      |    |    |    | *  | *  |
| Haloragaceae    | <i>Myriophyllum aquaticum</i>  | Pinito de agua     | N      | Hi    | FP    |                      |    |    |    | *  | *  |
| Lamiaceae       | <i>Mentha aquatica</i>         | Menta acuática     | A      | Hi    | NA    |                      |    |    |    |    | *  |
| Lamiaceae       | <i>Sphacele salviae</i>        | Salvia blanca      | E      | Na    | FP    |                      |    | *  |    |    | *  |
| Lamiaceae       | <i>Stachys bullata</i>         | Ortiga sureña      | A      | He    | NA    |                      |    | *  |    |    |    |
| Loasaceae       | <i>Loasa tricolor</i>          | Ortiga Caballuna   | N      | He    | LC    |                      | *  |    |    |    |    |
| Monimiaceae     | <i>Peumus boldus</i>           | Boldo              | E      | Mi    | FP    |                      |    |    |    | *  | *  |
| Myrtaceae       | <i>Myrceugenia lanceolata</i>  | Arrayancillo       | E      | Na    | FP    |                      |    | *  | *  | *  | *  |
| Onagraceae      | <i>Fuchsia lycioides</i>       | Palo de yegua      | E      | Na    | DD    |                      | *  |    |    |    |    |
| Oxalidaceae     | <i>Oxalis megalorrhiza</i>     | Vinagrillo         | N      | He    | FP    |                      |    | *  |    |    |    |

| Familia                        | Nombre científico               | Nombre vulgar         | Origen | F. V. | E. C. | Estación de Muestreo |           |           |           |           |           |
|--------------------------------|---------------------------------|-----------------------|--------|-------|-------|----------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|                                |                                 |                       |        |       |       | E1                   | E2        | E3        | E4        | E5        | E6        |
| Papaveraceae                   | <i>Eschscholzia californica</i> | Amapola de California | A      | He    | NA    | *                    | *         |           |           |           |           |
| Plantaginaceae                 | <i>Plantago lanceolata</i>      | Siete venas           | A      | He    | NA    |                      |           |           |           | *         |           |
| Portulacaceae                  | <i>Cistanthe grandiflora</i>    | Pata de guanaco       | E      | Ge    | FP    | *                    | *         |           |           |           |           |
| Rosaceae                       | <i>Rubus constrictus</i>        | Zarzamora             | A      | Na    | NA    | *                    |           | *         | *         |           | *         |
| Solanaceae                     | <i>Cestrum parqui</i>           | Palqui                | N      | Na    | FP    |                      |           | *         | *         |           |           |
| <b>División: Magnoliophyta</b> |                                 |                       |        |       |       |                      |           |           |           |           |           |
| <b>Clase: Liliopsida</b>       |                                 |                       |        |       |       |                      |           |           |           |           |           |
| Alismataceae                   | <i>Alisma lanceolatum</i>       | Llantén de agua       | A      | Hi    | NA    |                      |           |           |           |           | *         |
| Araceae                        | <i>Lemna minúscula</i>          | Lenteja de agua       | A      | Hi    | NA    |                      |           |           |           | *         | *         |
| Bromeliaceae                   | <i>Puya chilensis</i>           | Chagual               | E      | He    | LC    |                      | *         | *         |           | *         | *         |
| Cyperaceae                     | <i>Bolboschoenus maritimus</i>  | Junco marítimo        | A      | Hel   | NA    | *                    |           |           |           |           |           |
| Juncaceae                      | <i>Juncus balticus</i>          | Junquillo             | N      | Hel   | FP    |                      |           |           | *         | *         | *         |
| Poaceae                        | <i>Stenotaphrum secundatum</i>  | Pasto de San Agustín  | A      | He    | NA    |                      |           |           | *         |           | *         |
| Poaceae                        | <i>Chusquea cumingii</i>        | Quila chica           | E      | Na    | FP    |                      |           |           | *         | *         | *         |
| Poaceae                        | <i>Cortaderia radiuscula</i>    | Cola de zorro         | N      | He    | FP    |                      |           | *         |           |           |           |
| <b>Riqueza total</b>           |                                 |                       |        |       |       | <b>7</b>             | <b>11</b> | <b>18</b> | <b>11</b> | <b>14</b> | <b>21</b> |

**Origen:** E: Endémico, N: Nativo, A: Adventicio.

**Forma de Vida (F.V.):** Me: Mesofanerófitos, Mi: Microfanerófitos, Na: Nanofanerófitos, S: Suculentas,

He: Hemicriptófitos, Ge: Geófitos, Hel: Helófitos, Hi: Hidrófitos, Te: Terófitos, Ta: Talófitas

**Estados de Conservación (E.C.):** EX: Extinta, EW: Extinta en Estado Silvestre, CR: En Peligro Crítico, EN: En Peligro, VU: Vulnerable, R: Rara, NT: Casi Amenazada, LC: Preocupación Menor, DD: Datos insuficientes, IC: Insuficientemente Conocida FP: Fuera de Peligro. NA: No aplica.

A continuación, se muestra la figura N° 4 que refleja la distribución fitogeográfica de las especies registradas de la cubierta vegetal en las diferentes estaciones de muestreo. Al respecto, se puede observar que existe un mayor porcentaje de especies adventicias, las cuales se encontraron mayoritariamente en las tres primeras estaciones (E1, E2 y E3). Por otro lado, las especies endémicas y nativas se encontraron en mayor número en las últimas dos estaciones (E5 y E6).

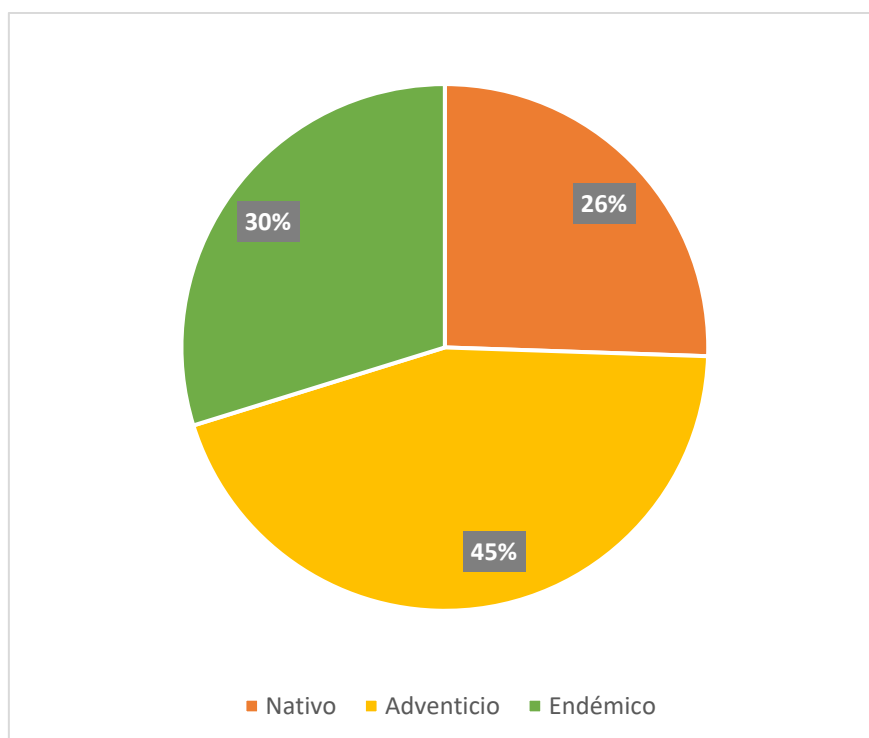


Figura N°4: Distribución del origen de las especies de la cubierta vegetal en las estaciones de muestreo.

En la siguiente figura N° 5 se presenta la distribución de la cubierta vegetal según las diferentes formas de vida registradas en las estaciones de muestreo. Se puede ver que el mayor número de especies registradas correspondieron a hemicriptófitas, las que corresponden a hierbas perennes con yemas perdurantes a ras del suelo. Estas especies se registraron con una riqueza mayor en las primeras tres estaciones (E1, E2 y E3).



Figura N°5: Distribución de las especies de la cubierta vegetal según su forma de vida en las estaciones de muestreo.

La siguiente figura N° 6 representa la distribución de los estados de conservación de las especies de la cubierta vegetal, donde el mayor número equivale a especies de la categoría “fuera de peligro”, seguido por “preocupación menor”. Adicionalmente se registró una especie catalogada como “casi amenazada” en las estaciones de muestreo E3, E5 y E6.

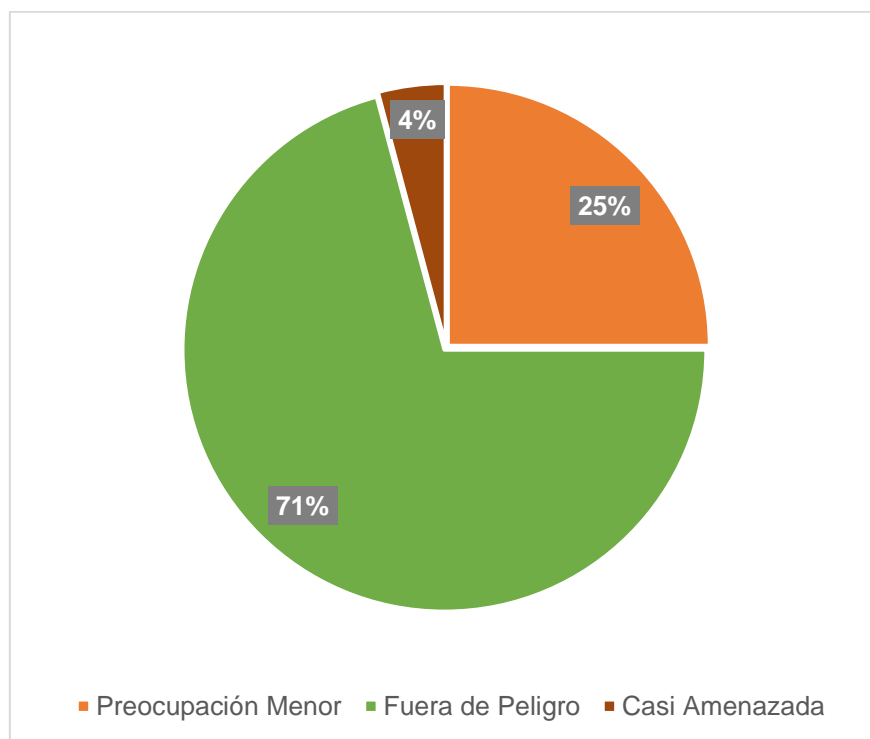


Figura N°6: Distribución de las categorías de conservación de las especies de la cubierta vegetal en las estaciones de muestreo.

## 6.2 Análisis de los índices IHF, QBR y CHBMWP:

Las tablas N° 6 y 7 muestran la puntuación obtenida para cada estación de muestreo después de la aplicación de los índices IHF y QBR respectivamente.

En la siguiente tabla N° 6 se muestran los resultados de la aplicación del Índice de Hábitat Fluvial, donde para la parte baja predominan las zonas de potamón; de baja velocidad de la corriente del agua, generando el efecto de pozas y de esta manera predominando una mayor

sedimentación, a diferencia de la parte alta donde se aprecia una inclusión de zonas de ritrón, es decir, zonas de alta velocidad de la corriente del agua.

Conforme a la composición del sustrato la parte alta posee una mayor diversidad a diferencia de la parte baja, junto con una mayor cobertura de vegetación acuática.

Tabla N° 7: Puntuación de cada bloque de la aplicación del índice IHF en las diferentes estaciones de muestreo.

| Evaluación Hábitat Fluvial – IHF         | E1         | E2        | E3        | E4         | E5        | E6        |
|--|------------|-----------|-----------|------------|-----------|-----------|
|  | PARTE BAJA |           |           | PARTE ALTA |           |           |
| 1. Inclusión rápidos-sedimentación pozas | 0          | 5         | 5         | 10         | 10        | 5         |
| 2. Frecuencia de rápidos                 | 2          | 4         | 2         | 2          | 10        | 10        |
| 3. Composición del sustrato              | 5          | 7         | 7         | 10         | 7         | 9         |
| 4. Régimen de velocidad / profundidad    | 6          | 4         | 6         | 6          | 6         | 4         |
| 5. Porcentaje de sombra                  | 3          | 3         | 5         | 5          | 5         | 5         |
| 6. Elementos heterogeneidad              | 4          | 4         | 6         | 4          | 6         | 8         |
| 7. Cobertura de vegetación acuática      | 5          | 20        | 10        | 15         | 15        | 15        |
| <b>Puntuación total</b>                  | <b>25</b>  | <b>47</b> | <b>41</b> | <b>52</b>  | <b>59</b> | <b>56</b> |

En la siguiente tabla N° 7 se reflejan los resultados de la aplicación del índice de Calidad de Bosque de Ribera, donde se puede ver que ambas zonas comparten el grado de naturalidad del canal fluvial, ya que no hay signos de que este haya sido modificado artificialmente. En relación con el grado, estructura y calidad de la cubierta en base a la vegetación presente se evidencia un mayor nivel en la parte alta.

Tabla N° 8: Puntuación de cada bloque de la aplicación del índice QBR en las diferentes estaciones de muestreo.

| Calidad Bosque Ribera - QBR                   | E1         | E2        | E3        | E4         | E5        | E6        |
|---|------------|-----------|-----------|------------|-----------|-----------|
|   | PARTE BAJA |           |           | PARTE ALTA |           |           |
| QBR1 - Grado Cubierta zona ribera             | 0          | 10        | 15        | 20         | 25        | 25        |
| QBR2 - Estructura de vegetación zona ribera   | 0          | 5         | 10        | 10         | 15        | 15        |
| QBR3 - Calidad de la cubierta                 | 0          | 10        | 15        | 15         | 20        | 25        |
| QBR4 - Grado de naturalidad del canal fluvial | 25         | 25        | 25        | 25         | 25        | 25        |
| <b>Puntuación total</b>                       | <b>25</b>  | <b>50</b> | <b>65</b> | <b>70</b>  | <b>85</b> | <b>90</b> |

A continuación, se presenta la tabla N° 8 que evidencia las familias de macroinvertebrados encontradas en las diferentes estaciones de muestreo.

En la estación E1 no se encontraron macroinvertebrados para evaluar con el índice ChBMWP.

Tabla N° 9: Familias de macroinvertebrados registradas en el estero Curauma en las diferentes estaciones de muestreo.

| PHYLLUM    | CLASE      | ORDEN          | FAMILIA         | ESTACIONES DE MUESTREO |          |          |          |          |          |           |
|------------|------------|----------------|-----------------|------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|
|            |            |                |                 | E1                     | E2       | E3       | E4       | E5       | E6       |           |
| Mollusca   | Gastropoda | Basommatophora | Physidae        | -                      |          | *        | *        | *        |          |           |
| Arthropoda | Crustacea  | Amphipoda      | Hyalellidae     | -                      | *        | *        | *        | *        | *        |           |
|            | Insecta    | Hemiptera      | Belostomatidae  | -                      | *        |          | *        |          | *        |           |
|            |            |                | Gerridae        | -                      |          |          |          | *        | *        |           |
|            |            |                | Corixidae       | -                      | *        | *        | *        | *        |          |           |
|            |            | Plecoptera     | Perlidae        | -                      |          |          |          |          | *        |           |
|            |            | Odonata        | Gomphidae       | -                      |          |          |          | *        | *        |           |
|            |            |                | Coenagrionidae  | -                      |          |          |          |          | *        |           |
|            |            |                | Lestidae        | -                      |          |          |          |          | *        |           |
|            |            | Coleoptera     | Hydrophilidae   | -                      | *        |          |          | *        |          |           |
|            |            |                | Hydraenidae     |                        |          |          |          |          |          |           |
|            |            |                | Dytiscidae      | -                      | *        | *        |          |          |          |           |
|            |            | Diptera        | Ephydriidae     | -                      |          |          |          |          | *        |           |
|            |            |                | Chironomidae    | -                      |          |          |          |          | *        |           |
|            |            |                | Ceratopogonidae | -                      |          |          | *        |          | *        |           |
|            |            |                |                 | <b>Riqueza Total</b>   | <b>0</b> | <b>5</b> | <b>4</b> | <b>5</b> | <b>6</b> | <b>10</b> |

En la siguiente tabla N° 9 se muestran las diferentes puntuaciones conforme a la aplicación del índice biótico ChBMWP respecto con la presencia de las familias de macroinvertebrados en base a sus valores de tolerancia.

Tabla N° 10: Puntuación de la aplicación del índice ChBMWP en las diferentes estaciones de muestreo.

| FAMILIA                 | VALOR DE TOLERANCIA | ESTACIONES DE MUESTREO |           |          |            |           |           |
|-------------------------|---------------------|------------------------|-----------|----------|------------|-----------|-----------|
|                         | ChBMWP              | E1                     | E2        | E3       | E4         | E5        | E6        |
|                         |                     | PARTE BAJA             |           |          | PARTE ALTA |           |           |
| Physidae                | 3                   | -                      |           | 3        | 3          | 3         |           |
| Belostomatidae          | 4                   | -                      | 4         |          | 4          |           | 4         |
| Corixidae               | 3                   | -                      | 3         | 3        | 3          | 3         |           |
| Perlidae                | 10                  | -                      |           |          |            |           | 10        |
| Gerridae                | 3                   | -                      |           |          |            | 3         | 3         |
| Hydraenidae             | 5                   | -                      |           |          | 5          | 5         |           |
| Gomphidae               | 8                   | -                      |           |          |            | 8         | 8         |
| Coenagrionidae          | 6                   | -                      |           |          |            |           | 6         |
| Lestidae                | 7                   | -                      |           |          |            | 7         | 7         |
| Hydrophilidae           | 3                   | -                      | 3         |          | 3          | 3         | 3         |
| Dytiscidae              | 3                   | -                      | 3         | 3        |            |           |           |
| Ephydriidae             | 2                   | -                      |           |          |            |           | 2         |
| Chironomidae            | 2                   | -                      |           |          |            |           | 2         |
| Ceratopogonidae         | 6                   | -                      |           |          | 6          |           | 6         |
| <b>Puntuación total</b> |                     | <b>0</b>               | <b>13</b> | <b>9</b> | <b>24</b>  | <b>32</b> | <b>51</b> |

A continuación, se presenta la tabla N° 10 que muestra las clasificaciones de los índices IHF, QBR y ChBMWP empleados para cada estación de muestreo. Se puede observar que todos los índices siguen la misma tendencia, generándose un aumento de la calidad desde la estación 1 a la 6.

Tabla N° 11: Clasificación de la calidad ambiental por medio de los índices IHF, QBR y ChBMWP para las estaciones de muestreo del estero Curauma.

| <b>ESTACIÓN</b> | <b>IHF</b> | <b>QBR</b> | <b>ChBMWP</b>                    |
|-----------------|------------|------------|----------------------------------|
| E1              | Mala       | Pésima     | Aguas fuertemente contaminadas   |
| E2              | Regular    | Mala       | Aguas fuertemente contaminadas   |
| E3              | Regular    | Intermedia | Aguas fuertemente contaminadas   |
| E4              | Regular    | Intermedia | Aguas muy contaminadas           |
| E5              | Regular    | Buena      | Aguas muy contaminadas           |
| E6              | Regular    | Buena      | Aguas moderadamente contaminadas |

### 6.3 Análisis de la caracterización física y química:

En la siguiente tabla N° 11 se muestran los resultados de las mediciones realizadas a las muestras de agua del estero para cada estación de muestreo, en base a los diferentes parámetros físicos y químicos. Al respecto, se puede observar que la conductividad como los sólidos disueltos totales aumentan desde la parte más alta hacia la baja, llegando a la desembocadura del estero con el mar.

Tabla N° 12: Características físicas y químicas de las aguas en las diferentes estaciones de muestreo del estero Curauma. Se incluyen los valores de referencia de las diversas normas relacionadas.

| Estación                 | Conductividad (mS/cm) | pH      | Caudal (m <sup>3</sup> /s) | T (°C) | SDT (mg/L) | OD (mg/L) | Cobre (µg/L) | Fósforo (mg/L) | Fosfato (mg/L) | Nitrito (mg/L) | Nitrato (mg/L) |
|--------------------------|-----------------------|---------|----------------------------|--------|------------|-----------|--------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| E1                       | 13,5                  | 7,6     | 0,7                        | 16,2   | 6700       | 8         | 50,5         | 0,6            | 2,3            | 0,2            | 4,9            |
| E2                       | 11                    | 7,6     | 15,6                       | 17,4   | 5500       | 7,7       | 105,3        | 0,3            | 0,9            | 0,2            | 5,6            |
| E3                       | 8,5                   | 7,9     | 10                         | 17,8   | 4600       | 6,9       | 99,3         | 0,6            | 1,4            | 0,2            | 6,9            |
| E4                       | 4,7                   | 7,9     | 3,9                        | 17,5   | 3900       | 8,3       | 90,4         | 0,2            | 0,6            | 0,2            | 9,2            |
| E5                       | 1,7                   | 8,1     | 9,7                        | 13,7   | 800        | 8,5       | 81           | 0,7            | 2,1            | 0,1            | 11,4           |
| E6                       | 1,3                   | 8,3     | 9,3                        | 13,2   | 600        | 9,6       | 76,5         | 1,1            | 4,4            | 0,1            | 5,4            |
| D.S.<br>MMA<br>N°41      | 0,635                 | 6-9     | -                          | -      | -          | 7,1       | 70           | 0,89           | -              | -              | 3,7            |
| D.S.<br>MMA<br>N°53      | 1,6                   | 6,5-8,7 | -                          | -      | -          | 6         | -            | -              | -              | -              | 8              |
| GUIA<br>CONAMA<br>(2004) | 1,5-2,25              | 6,5-8,5 | -                          | -      | 1000       | > 7,5     | 200          | -              | -              | > 0,06         | -              |

T: Temperatura; SDT: Sólidos Disueltos Totales; OD: Oxígeno Disuelto

## 6.4 Análisis estadístico de los parámetros bióticos y abióticos:

### 6.4.1 Análisis de Clúster:

A continuación, se presenta la figura N° 7 que evidencia las diferentes asociaciones entre las estaciones de muestreo en base a la aplicación de los índices IHF y QBR, para de este modo analizar las similitudes con respecto a la calidad integral del hábitat del estero, considerando aspectos como la heterogeneidad del hábitat (índice IHF) y la calidad ambiental de las riberas (índice QBR).

Al respecto, se puede apreciar que la estación E1 es la más distinta a las demás y que las que más se asemejan entre sí son las estaciones E5 con la E6, las que serían las dos más alejadas a la desembocadura donde hay una menor intervención antrópica.

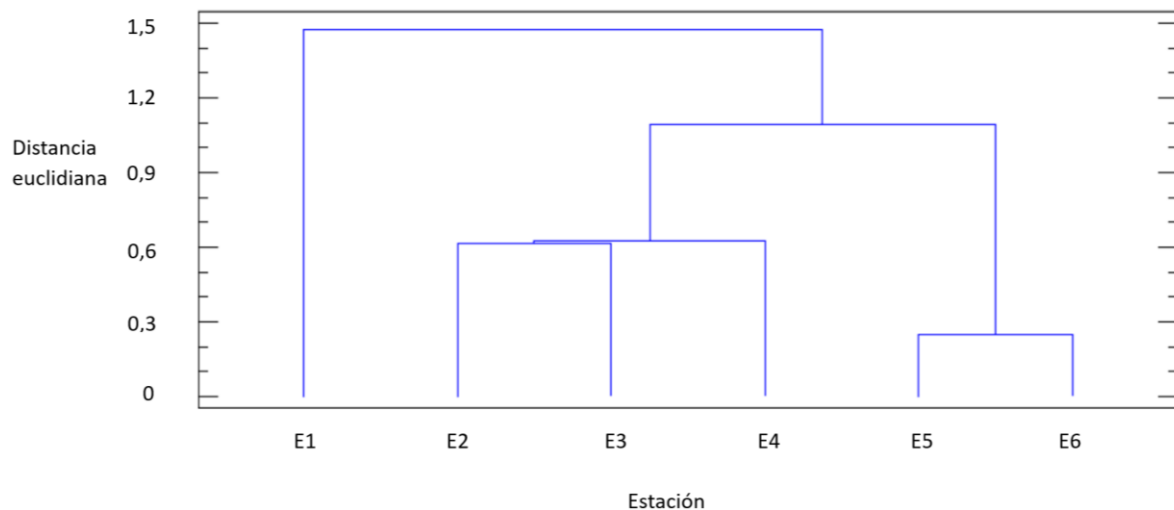


Figura N°7: Dendrograma de las estaciones de muestreo del estero Curauma en base a los índices IHF y QBR.

En la siguiente figura N° 8 se muestran las asociaciones entre las diferentes estaciones de muestreo conforme a sus similitudes, en base a la aplicación del índice biótico ChBMWP.

Al respecto, la estación E6 es la que más se diferencia de las demás, que es la que obtuvo la mayor riqueza de macroinvertebrados, lo que reflejó también la mejor calidad de las aguas entre las estaciones muestreadas.

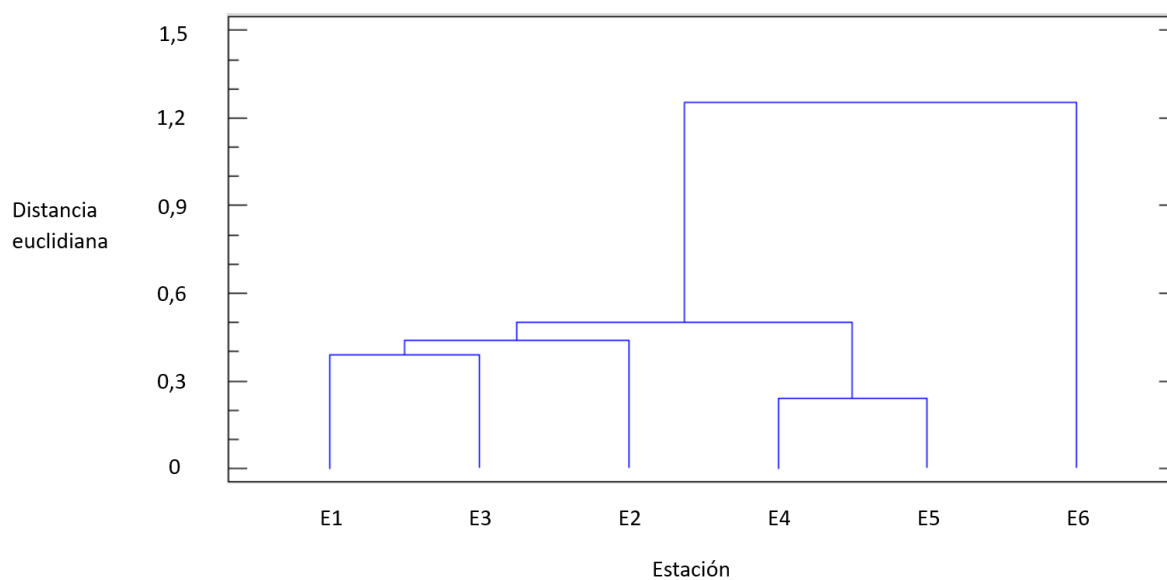


Figura N°8: Dendrograma de las estaciones de muestreo del estero Curauma en base al índice biótico ChBMWP.

En la siguiente figura N° 9 se muestran las asociaciones conforme a las similitudes entre las diferentes estaciones de muestreo en base a los resultados obtenidos de los muestreos de los parámetros físicos y químicos del agua del estero.

Aquí se puede observar que la estación E1 es la que más se diferencia de las demás, la cual corresponde al tramo de desembocadura que conecta el estero con el mar, generándose la mezcla del agua dulce con la salada, lo que hace aumentar la conductividad.

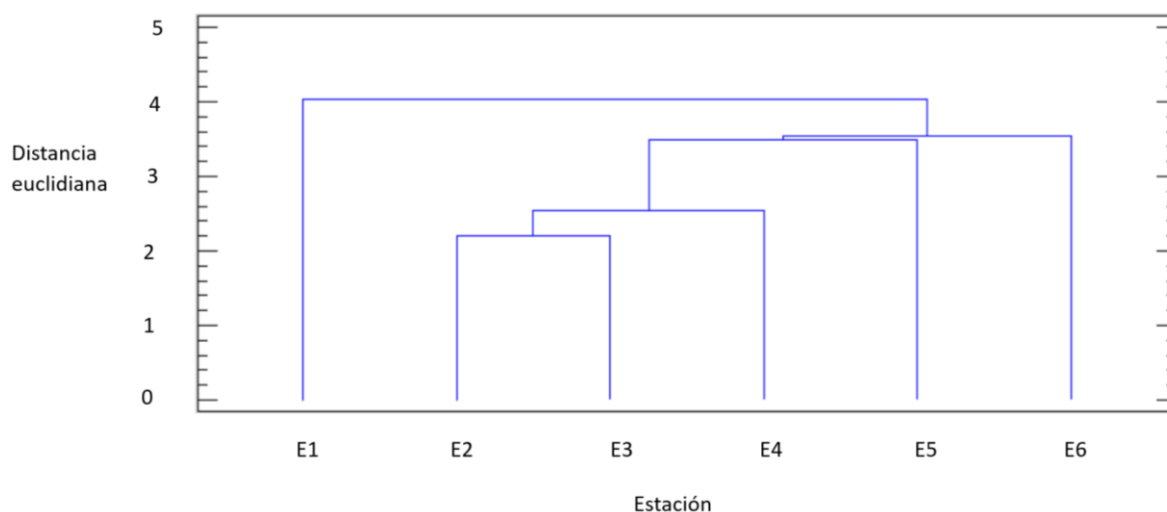


Figura N°9: Dendrograma de las estaciones de muestreo del estero Curauma en base a los parámetros físicos y químicos.

#### 6.4.2 Análisis de correlaciones:

En la siguiente tabla N° 12 se evidencian las correlaciones significativas entre los índices de calidad ecológica y los parámetros físicos y químicos medidos. Se puede ver que el índice ChBMWP se correlaciona positivamente con el oxígeno disuelto, lo que se dice que, al aumentar el oxígeno disuelto en el agua, aumenta también la calidad de las aguas para la fauna acuática presente. Por otro lado, se puede ver que los índices IHF, QBR y ChBMWP tienen una correlación negativa con los parámetros sólidos disueltos totales y conductividad, donde al aumentar uno de estos dos parámetros hace disminuir los valores de los índices mencionados, lo que se refleja en una disminución en la calidad de las aguas y del ambiente fluvial.

Tabla N° 13: Correlaciones significativas (con valor  $P < 0,05$ ) entre las variables físicas, químicas y biológicas.

| VARIABLES | SDT    | Conductividad | pH   | Nitrito | OD   |
|-----------|--------|---------------|------|---------|------|
| IHF       | - 0,96 | - 0,96        | 0,87 | - 0,82  |      |
| QBR       | - 0,95 | - 0,99        | 0,93 |         |      |
| ChBMWP    | - 0,90 | - 0,88        | 0,87 | - 0,82  | 0,86 |

SDT: Sólidos Disueltos Totales; OD: Oxígeno Disuelto

### 6.4.3 Análisis de componentes principales:

A continuación, se presenta la figura N° 10 que evidencia el análisis de componentes principales de la relación entre las variables analizadas, tanto bióticas como abióticas, conforme a las diferentes estaciones de muestreo. Al respecto, se puede ver que los parámetros que determinan la mayor variabilidad entre las estaciones son los sólidos disueltos totales y la conductividad.

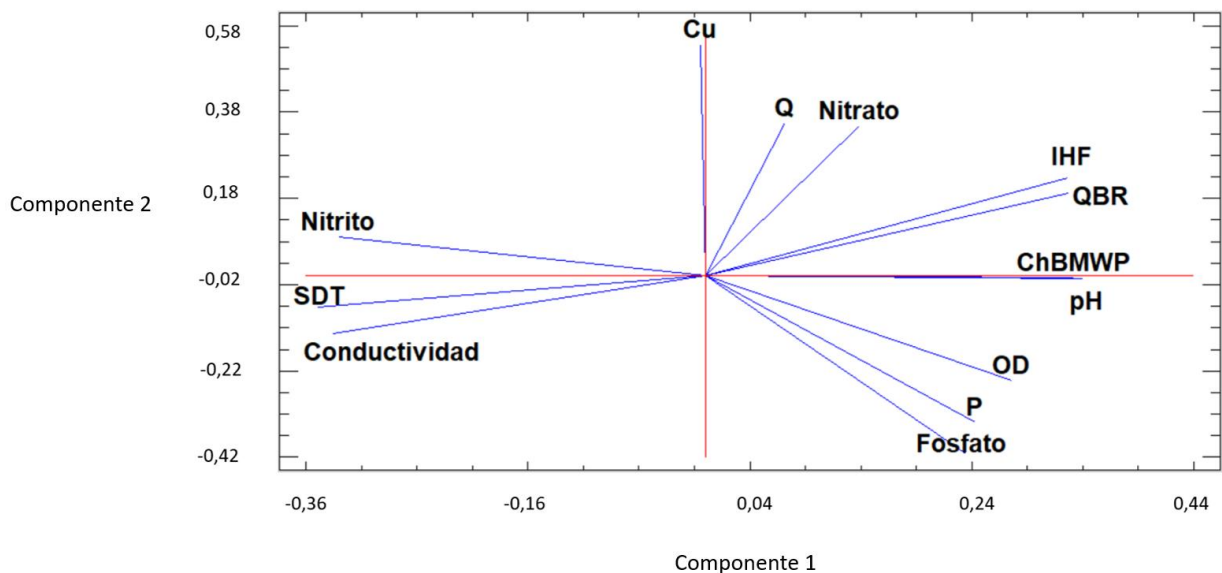


Figura N°10: Análisis de componentes principales asociados a los parámetros bióticos y abióticos de las estaciones de muestreo del estero Curauma.

### 6.5 Mapas de calidad ambiental:

A continuación, se presentan los mapas de calidad ambiental por medio de las figuras N° 11, 12 y 13, basados en los resultados obtenidos con la aplicación de los índices IHF, QBR y ChBMWP respectivamente. Al respecto, se muestra que el Índice de Hábitat Fluvial entrega valores de calidad regular a mala. El índice QBR va desde buena (estaciones E5 y E6) a pésima calidad (estación E1). Y para el caso del ChBMWP, la calidad va desde aguas moderadamente contaminadas (estación E6) hacia aguas fuertemente contaminadas (estaciones E1, E2 y E3).

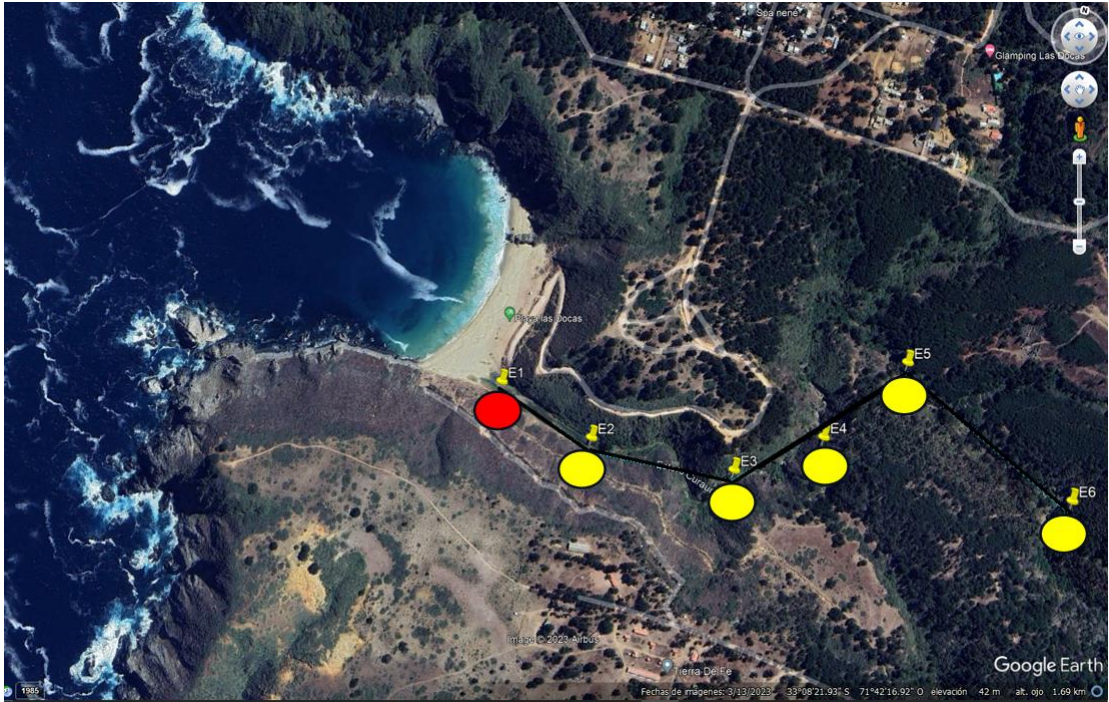


Figura N° 11: Mapa de calidad ambiental en base al Índice de Hábitat Fluvial (IHF) del estero Curauma. Amarillo: Regular; Rojo: Mala.

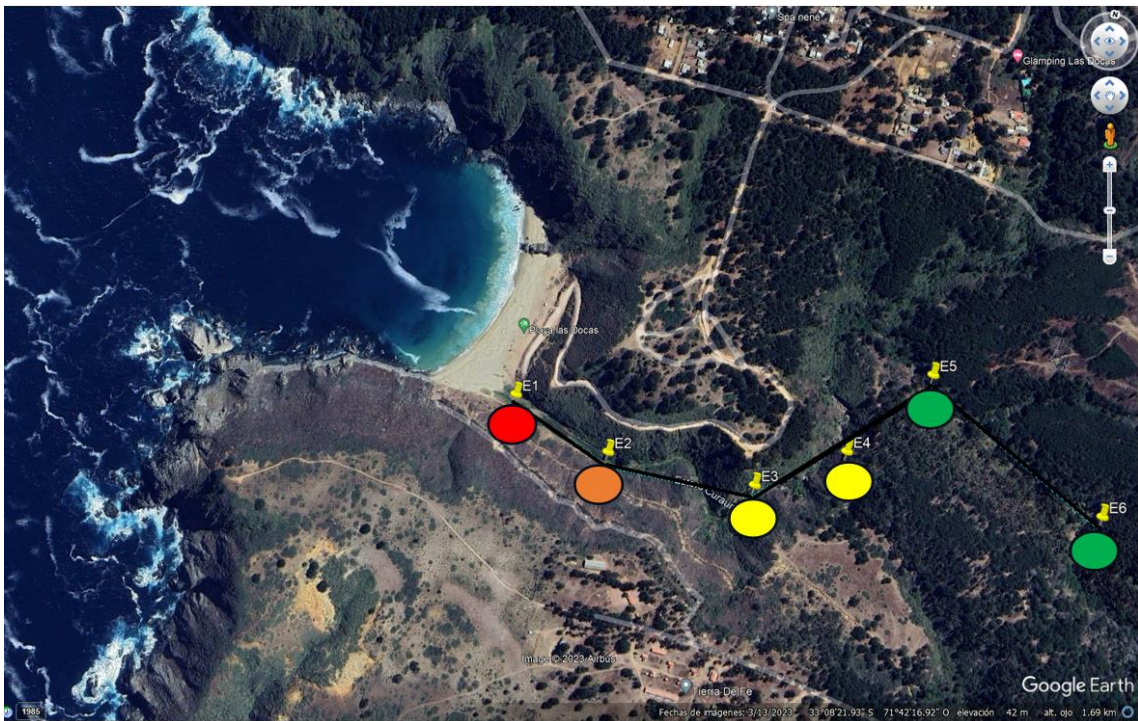


Figura N° 12: Mapa de calidad ambiental en base al Índice de Calidad de Bosque de Ribera (QBR) del estero Curauma. Verde: Buena; Amarillo: Intermedia; Anaranjado: Mala; Rojo: Pésima.

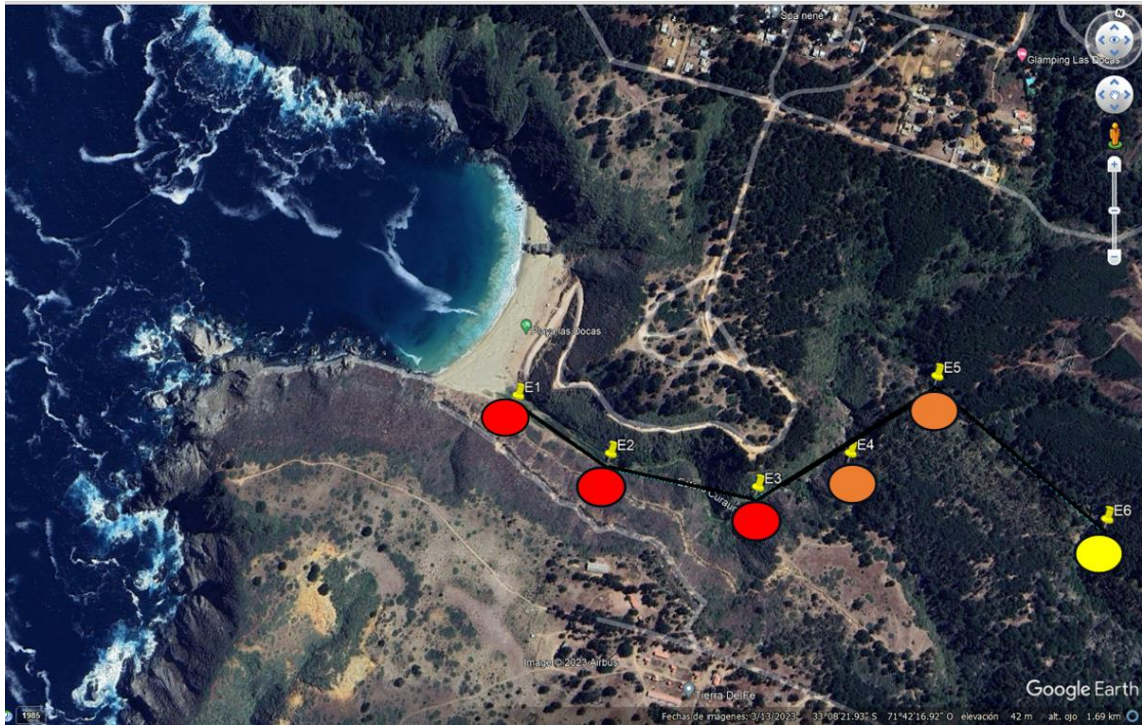


Figura N° 13: Mapa de calidad ambiental en base al Índice ChBMW del estero Curauma. Amarillo: Aguas moderadamente contaminadas; Anaranjado: Aguas muy contaminadas; Rojo: Aguas fuertemente contaminadas.

## 7 DISCUSIÓN

Las bajas puntuaciones para las estaciones 1, 2 y 3, conforme a los índices IHF y QBR, podrían deberse a que correspondían a sectores con escasa diversidad de hábitats propicios para las comunidades biológicas, como por ejemplo por la baja diversidad de la cobertura vegetal como de los tipos de sustrato, y por la presencia de residuos de origen humano, ya que eran las estaciones más cercanas a la playa donde llega la mayor cantidad de personas a recrearse. Desde el punto de vista del índice biótico ChBMWP fueron también las estaciones con la menor riqueza de especies y con bajos valores de tolerancia por familia de macroinvertebrados. Según Torres (2004), el lecho de los ríos está conformado por distintos tipos de sustratos que va desde rocas hasta arena muy fina. La determinación del tipo de sustrato es muy importante, pues de este depende el establecimiento de una flora y fauna bentónica específica. De esta manera, al existir una escasa de diversidad de sustratos, lo habría también de la fauna presente.

Según Roldán (2012), las familias Gerridae y Lestidae, encontradas en las estaciones 5 y 6, reflejarían signos característicos de aguas limpias, aunque podrían tener algún rango de alteración, lo que podría asociarse con los altos niveles de fósforo y fosfato. La familia Corixidae encontrada desde las estaciones 2 a la 5, indica signos de aguas poco contaminadas, y la familia Hydraenidae, encontrada en las estaciones 4 y 5, es señal de aguas moderadamente contaminadas, y, por otro lado, la familia Physidae encontrada en las estaciones 3, 4 y 5 es característico de aguas contaminadas.

Conforme a los resultados obtenidos de las mediciones de los parámetros físicos y químicos de las aguas del estero Curauma, se realizó una comparación, a modo de referencia, con la normativa asociada, tal como la Guía CONAMA para el Establecimiento de las Normas Secundarias de Calidad Ambiental, y los D.S. MMA N°41/23 y D.S. MMA N°53/14 que establecen las normas secundarias de calidad ambiental para la protección de las cuencas de

los ríos Aconcagua y Maipo respectivamente, determinando que se cumple con el rango de oxígeno disuelto mínimo requerido y con el rango de pH establecido.

Respecto al D.S. MMA N°41/23 para el caso del fósforo, en la estación 6 se detectó un valor mayor sobre el límite establecido, lo que podría estar asociado a la gran abundancia de flora acuática presente, y para el cobre, desde la estación 2 a la 6, se detectaron valores excedidos a la normativa.

Se observa que los valores de nitrito son mayores al nivel de la Guía CONAMA para el Establecimiento de las Normas Secundarias de Calidad Ambiental, de igual manera que los valores de sólidos disueltos totales entre las estaciones 1 a la 4.

Conforme a la conductividad, desde la estación 1 a la 5 se excedió el límite definido para el D.S.MMA N°53/14 y para la estación 6 se detectó un nivel superior al definido en el D.S.MMA N°41/23. Según Otero (2011), el aumento de este valor podría relacionarse con la lixiviación de los sedimentos que ingresan al cuerpo de agua por escorrentía superficial luego de las lluvias. También se podría explicar el incremento de este parámetro en las estaciones más cercanas a la desembocadura con el mar debido el ingreso de las aguas saladas al estero.

Según Figueroa (2004), en los periodos de bajo caudal en los sistemas fluviales se expresaría mejor la variación y el deterioro de la calidad de las aguas. No obstante, las muestras recolectadas durante este estudio fueron realizadas entre periodos cercanos y lejanos a eventos de lluvias, variando las concentraciones y los caudales en cada estación de muestreo.

Para el nitrato, las estaciones 1, 2, 3 y 6 sobrepasaron el límite del D.S. MMA N°41/23 y para las estaciones 4 y 5 excedieron el límite del D.S. MMA N°53/14.

En base a los análisis Clúster, y con respecto a los índices de QBR e IHF, las estaciones que más semejanza poseen son la 5 y 6, entendiendo que ambas fueron las que albergaban la mayor

cobertura vegetal, un mayor flujo de agua debido a la cantidad de rápidos que tenían como también por su amplia diversidad en la composición de sustratos, lo que genera una mayor calidad de hábitat para las formas de vida acuáticas como terrestres ribereñas.

De acuerdo con el análisis del índice biótico ChBMWP, que agrupa las estaciones de muestreo conforme a la presencia de familias de macroinvertebrados, se observó que existe una mayor semejanza entre las estaciones 4 y 5, esto se refleja en que comparten más de la mitad de las familias detectadas en estas estaciones. Luego existe una similitud entre las estaciones 1 y 3, las cuales fueron las que menor cantidad de familias tuvieron y con sus valores de tolerancia más bajos. La estación 6 sería la que menos se asemeja con las demás, esto debido a que fue la estación con mayor riqueza sobre las demás.

Las estaciones que más similitudes tienen respecto con los análisis de los parámetros físicos y químicos son la 2 y la 3, esto se refleja en que ambos se encuentran dentro de los mismos rangos establecidos en la comparativa con las normativas mencionadas anteriormente sobre las Normas Secundarias de Calidad Ambiental (NSCA). Y que la estación que más se aleja en semejanza a las demás es la 1, esto debido a que corresponde a la desembocadura del estero con el mar, produciéndose un estuario y lo que genera una mezcla de las condiciones del agua dulce con la salada, lo que se refleja en su alto valor de conductividad.

En la integración de variables en la matriz de Pearson para el análisis de las correlaciones, considerando sólo a las correlaciones significativas obtenidas ( $P < 0,05$ ), existe una correlación negativa entre la conductividad y los sólidos disueltos totales (SDT) con los índices IHF, QBR y ChBMWP ( $r \geq -0,88$ ), lo que indica una relación directa entre dichas variables.

Según Valencia y Arancibia (2015), los altos valores de SDT generan turbidez, impidiendo el paso de luz que ocasiona una disminución en la fotosíntesis y en el oxígeno disuelto. De esta manera, disminuiría la disponibilidad de hábitats (IHF y QBR) para las familias de macroinvertebrados provistos por la flora acuática presente, disminuyendo con esto el índice

ChBMWP. También se observó una correlación positiva entre el oxígeno disuelto y el índice ChBMWP, de tal modo que mientras exista una mayor concentración de oxígeno en las aguas del estero habrá una mejor calidad de las aguas respecto con el índice ChBMWP ( $r = 0,86$ ). Estos resultados podrían estar relacionados con lo observado por Azrina et al. (2005), quienes señalan que los índices de riqueza y de diversidad en macroinvertebrados son influenciados generalmente por la conductividad y los sólidos presentes en el agua.

Los nitritos son un indicador importante de la calidad del agua y se forman durante la biodegradación de nitratos, nitrógeno amoniacal u otros compuestos orgánicos nitrogenados. Este parámetro tiene una correlación negativa con las variables IHF y ChBMWP ( $r = - 0,82$ ), lo que podría tener relación con que el nitrito se utiliza como indicador de contaminación fecal en aguas naturales (Cabrera et al., 2003), reflejando que donde exista nitrito habría una baja calidad del hábitat fluvial tanto como para las aguas del estero.

El parámetro pH se correlaciona positivamente con los índices IHF, QBR y ChBMWP ( $r \geq 0,87$ ), de esta manera y según Valencia y Arancibia (2015), que indican que el pH alcalino denota aguas con desarrollo importante de procesos eutróficos ya que se favorece la proliferación de vegetación acuática, podría tener relación conforme a que los índices IHF y QBR aumentan con la presencia de la flora del lugar, y aumentaría también el índice ChBMWP ya que habría un mayor número de hábitats posibles para los macroinvertebrados.

El estudio de los macroinvertebrados bentónicos como organismos indicadores de calidad de agua, permite estimar si han sido afectados por cambios físicos o químicos de su hábitat, pero no indica directamente cual es la causa específica que los afecta, lo cual debe ser estimado mediante su asociación con información del hábitat físico y a potenciales fuentes de estrés (Figueroa et al., 2003).

Unos de los parámetros de mayor similitud con los índices IHF, QBR y ChBMWP corresponden a los fosfatos y el P, lo que está respondiendo a una lógica de disponibilidad de nutrientes,

generando un efecto estimulante para la vegetación, acompañado del pH y del oxígeno disuelto, los cuales se encontraron dentro los rangos establecidos en la normativa comparada. Por otro lado, parámetros como la conductividad, los sólidos disueltos totales y el nitrito, serían grandes influyentes en las variaciones de los índices de calidad ecológica mencionados, tal como se señala en el estudio de MMA (2023a).

Respecto a los mapas de calidad ambiental basados en los índices ecológicos de IHF y QBR utilizados en el área de estudio, se refleja una tendencia a una peor calidad ambiental aguas abajo del estero, tal como se observó en el estudio de Palma et al. (2009).

El uso de los índices de calidad del entorno (QBR e IHF) junto con el índice biótico (ChBMWP) mostraron una clara idea de cómo se encontraban comparativamente las distintas estaciones estudiadas, puesto que fueron mostrando una menor puntuación a medida que nos alejamos de la parte alta del cauce. Esto concuerda con la alta correlación entre los resultados entregados por los índices de calidad de entorno evaluados (QBR e IHF) y los que entregan las comunidades de macroinvertebrados presentes en el lugar (ChBMWP), evidenciando además la estrecha relación existente entre los factores ambientales y los biológicos, situación ampliamente demostrada por varios autores (Palma et al., 2009).

Diversas actividades humanas como actividades industriales, asentamientos humanos, deforestación, desarrollo de agricultura y pastoreo han provocado una fuerte degradación de los ambientes de aguas continentales. Los resultados son incrementos en la sedimentación, formación de bancos de arenas con la consecuente alteración de la geomorfología y hábitats ribereños, pérdida de diversidad de especies, estructura y composición de macroinvertebrados (Palma et al., 2009).

Existe un gran número de características de los ríos que actúan como factores controladores de los patrones de distribución de los macroinvertebrados bentónicos. Las características del sustrato, incluyendo su estructura física, contenido orgánico y estabilidad, son rasgos de gran

importancia ecológica. Sin embargo, las características hidráulicas de los ríos tienen una particular relevancia, siendo propuestos como uno de los principales determinantes de la organización de las comunidades (Oyanedel et al., 2008).

De esta manera, la adaptación de índices como el QBR, IHF y ChBMWP pueden ser una herramienta eficaz en sistemas fluviales mediterráneos, donde los resultados de este estudio muestran la eficacia del uso de estos índices y servirían para entregar una primera aproximación de lo que ocurre en el ecosistema hídrico.

La caracterización física y química de los ríos es de gran relevancia para establecer planes de manejo, aunque se reconoce su debilidad para registrar cambios temporales y de su capacidad integradora a nivel ecosistémico. Es por ello por lo que se aconseja complementar los estudios con la biota más representativa, donde los macroinvertebrados bentónicos son los grupos más recurrentes en este tipo de aproximación (Figueroa et al., 2007), principalmente porque representan varios niveles tróficos, haciendo fluir la energía hacia niveles superiores, de modo que cualquier cambio en la estructura comunitaria implica y/o explicaría cambios en toda la comunidad acuática, dando un fuerte carácter integrador del ecosistema.

## 8 CONCLUSIONES

La calidad ecológica del área de estudio dentro de la microcuenca del estero Curauma conforme al Índice de Hábitat Fluvial varió de regular a mala. El índice QBR varió desde buena a pésima calidad y para el caso del ChBMWP, la calidad varió desde aguas moderadamente contaminadas hacia aguas fuertemente contaminadas. Donde se observó que todos los índices siguieron la misma tendencia; generándose un deterioro de la calidad ambiental aproximándose hacia la desembocadura del estero con el mar.

Conforme a la comparación de la normativa ambiental asociada con los resultados de los parámetros físicos y químicos medidos en las aguas del estero se evidenció que existe eutrofización; conforme al exceso de nutrientes por compuestos que poseen fósforo y nitrógeno. También se determinó un exceso de cobre, de conductividad y de sólidos disueltos totales.

Se evidenció una correlación significativa entre ciertos parámetros físicos y químicos con los índices IHF, QBR y ChBMWP empleados, lo que indica una relación directa entre dichas variables. De igual manera, se determinó una correlación significativa entre los índices ecológicos mencionados. De esta forma se observó la estrecha relación que hay entre los factores ambientales y los biológicos.

En relación con lo anterior, se propone definir dos zonas, una con fines de conservación y/o preservación de la biodiversidad, priorizando la investigación científica y la educación ambiental. Esta zona incluiría a las estaciones E5 y E6, ya que serían las mejor evaluadas respecto a los índices aplicados, con una menor alteración antrópica y con un mayor número de especies vegetales endémicas y nativas. Y, por otro lado, una zona de uso sustentable de los recursos ecosistémicos, donde se incluya a las estaciones E4, E3, E2 y E1, que esté orientada a detener la degradación de la biodiversidad y como también a promover la restauración ambiental por medio de la plantación de especies vegetales autóctonas del sector. Conforme

a lo señalado esto implicaría generar estrategias, objetivos, acciones, responsabilidades y presupuesto, todo lo anterior expresado en un trabajo participativo y multidisciplinar que incorpore a los usuarios de la microcuenca del estero, instituciones públicas y privadas durante un horizonte de tiempo determinado, en miras hacia la conformación de un plan de gestión ambiental.

## 9 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aranda de la Fuente, J., Valencia, J., Gaete, H. Valoración del ecosistema estero Limache, Región de Valparaíso (Chile central), mediante la aplicación del Índice de Funcionalidad Fluvial. Museo de Historia Natural de Valparaíso, Valparaíso, Chile, 27: 7-14, 2014.

Araya, E., Toro, J., Schunter, J.P., Kurozawa, J., Contreras, M. Diagnóstico de la Calidad del Agua en Sistemas Lóticos utilizando Diatomeas y Macroinvertebrados Bentónicos como Bioindicadores del Río Maipo. Revista Chilena de Historia Natural. Santiago, Chile, 76, 2003.

Azrina, M.Z., C.K. Yap, A.R. Ismail, A. Ismail, S.G. Tan. Anthropogenic impacts on the distribution and biodiversity of benthic macroinvertebrates and water quality of the Langat River, Peninsular Malasia. Ecotoxicol. Environ. Saf., 26: 139-146, 2005.

Bustos, G., Valencia, J. Caracterización del medio biótico y determinación de la calidad de las aguas de la microcuenca del estero Quintero, V Región, Chile. Tesis (Ingeniería Ambiental). Valparaíso, Chile. Universidad de Valparaíso, 2006. 152 h.

Cabrera, E., Hernández, L., Gómez, H., Cañizares, M. Determinación de nitratos y nitritos en agua. Comparación de costos entre un método de flujo continuo y un método estándar. Revista de la Sociedad Química de México, 47, 88-92, 2003.

Canepel, R., Burrows, F., Dallafior, V., Siligardi, M. IFFAr Índice de Funcionalidad Fluvial En Ríos Andinos de la Región de La Araucanía. Ediciones: Sede Regional Villarrica de Pontificia Universidad Católica de Chile y Agenzia Provinciale Per La Protezione Dell' Ambiente Di Trento, 2010.

Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA) y Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). Estrategia y Plan de Acción para la conservación de la Diversidad Biológica de la Región de Valparaíso, 2005.

Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA). Guía para el desarrollo de normas para la protección de las aguas continentales superficiales. Santiago, Chile, 2004.

Corporación Nacional Forestal (CONAF). Manual para la planificación del manejo de las áreas protegidas del SNASPE. Santiago, Chile, 2017.

Contreras-Lopez, M., Zuleta, C., Larraguibel, C., Salcedo, J. Propuesta técnica delimitación del humedal de Mantagua e identificación de áreas prioritarias a restaurar en la cuenca asociada. Proyecto GEF/SEC ID: 976. Promoviendo la conservación y el manejo sostenible de los humedales costeros y sus cuencas aportantes, a través de la mejora en la gestión y planificación de los ecosistemas de borde costero de la zona centro sur de Chile, Hotspot de biodiversidad. Valparaíso, Chile, 2021.

Córdova, S., Gaete, H., Aránguiz, F., Figueroa, R. Evaluación de la calidad de las aguas del estero Limache (Chile central), mediante bioindicadores y bioensayos. *Lat. Am. J. Aquat. Res.*, 37(2): 199-209, 2009.

Correa-Araneda F., Rivera R., Urrutia J., De Los Ríos P., Contreras A., Encinamontoya E. Efectos de una zona urbana sobre la comunidad de macroinvertebrados bentónicos de un ecosistema fluvial del sur de Chile. *Limnética*. 29(2): 183-194, 2010.

De la Barrera, F., Elizalde, P., Moraga, S., Oporto, A., Pulgar, C., San Martín, L., Sepúlveda, G., Serey, I. Ecosistemas públicos, red de humedales y esteros urbanos de Placilla, Valparaíso: Una propuesta urbano-ambiental de recuperación de barrios. *Revista de Arquitectura*. 15(19): 26-34, 2009.

De la Lanza, E., Hernández, P., Carbajal, P. Organismos Indicadores de la calidad del agua y de la contaminación (Bioindicadores). Plaza y Valdés. México, 2000.

Decreto Supremo D.S. N°41. Establece Normas Secundarias de Calidad Ambiental para la Protección de las Aguas Continentales Superficiales de la Cuenca del Río Aconcagua. Ministerio del Medio Ambiente, Chile, 2023.

Decreto Supremo D.S. N°53. Establece Normas Secundarias de Calidad Ambiental para la Protección de las Aguas Continentales Superficiales de la Cuenca del Río Maipo. Ministerio del Medio Ambiente, Chile, 2014.

Decreto Supremo D.S. N°29. Aprueba Reglamento para la Clasificación de Especies Silvestres según Estado de Conservación. Ministerio del Medio Ambiente, Chile, 2012.

Fierro, P., Valdovinos, C., Arismendi, I., Díaz, G., Ruiz De Gamboa, M., Arriagada, L. Assessment of anthropogenic threats to Chilean Mediterranean freshwater ecosystems: Literature review and expert opinions. *Environmental Impact Assessment Review* 77, 114-121, 2019.

Figuroa, R., Valdovinos, C., Araya, E., Parra, O. Macroinvertebrados bentónicos como indicadores de calidad de agua de ríos del sur de Chile. *Revista Chilena de Historia Natural*. 76: 275-285, 2003.

Figuroa, R. Calidad ambiental de la cuenca hidrográfica del río Chillán, VIII Región, Chile, Tesis (Doctorado en Ciencias Biológicas), Universidad de Málaga, España, 2004.

Figuroa, R., Palma, A., Ruiz, V., Niell, X. 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. *Rev. Chil. Hist. Nat.*, 80: 225-242, 2007.

Jara, C. Evaluación de la existencia de insectos bioindicadores de la calidad del agua en zonas ritrónicas y potámicas de tres ríos de la zona semiárida de Chile. Título (Biología mención en Medio Ambiente). Santiago. Universidad de Chile, 2002. 30 h.

Ley N° 21.202. Modifica diversos cuerpos legales con el objetivo de proteger los humedales urbanos. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. Ministerio del Medio Ambiente, Santiago, Chile, 23 de enero de 2020.

Ministerio del Medio Ambiente (MMA), ONU Medio Ambiente. Caracterización de las biocenosis del humedal de Mantagua, particularmente de las comunidades de macroinvertebrados y de peces que habitan en el estero Mantagua y la laguna costera adyacente. Laboratorio de Estudios Ecosistémicos (LECOS) de la Universidad de Viña del Mar. Proyecto GEF/SEC ID: 9766. Conservación de humedales costeras de la zona centro-sur de Chile. Viña del Mar, Chile. 2023.

Ministerio del Medio Ambiente (MMA), ONU Medio Ambiente. Guía de monitoreo de humedales. Elaborada por María Jesús Suazo Silva. Proyecto GEF/SEC ID: 9766. Conservación de humedales costeras de la zona centro-sur de Chile. Santiago, Chile. 2022.

Ministerio del Medio Ambiente (MMA). Guía para la Elaboración de Normas Secundarias de Calidad Ambiental en Aguas Continentales y Marinas. Santiago, Chile, 2017.

NCh 1.333 Of. 78 modificada en 1987. Requisitos de calidad del agua para diferentes usos. Santiago, Chile: Instituto Nacional de Normalización, 1978.

Palma, A., Figueroa, R., Ruiz, V. Evaluación de ribera y hábitat fluvial a través de los índices QBR e IHF. *Gayana* 73(1): 57-63, 2009.

Otero, L. Temporalidad de Parámetros de Calidad en el Lago de Yojoa, Honduras. Trabajo de Master Recursos Geológicos y Geotecnia. Universidad de Oviedo. 2011.

Oyanedel, A., Valdovinos, C., Azócar, M., Moya, C., Mancilla, G., Pedreros, P., Figueroa, R. Patrones de distribución espacial de los macroinvertebrados bentónicos de la cuenca del río Aysén (Patagonia chilena). *Gayana* 72(2): 241-257, 2008.

Pardo, I., Álvarez, M., Casas, J., Moreno, J., Vivas, S., Bonada, N., Alba-Tercedor, J. El hábitat de los ríos mediterráneos. Diseño de un índice de diversidad de hábitat. *Limnetica*. 21(3-4): 115-133, 2002.

Rodríguez, R., Marticorena, C., Alarcón, D., Baeza, C., Cavieres, L., Finot, V., Fuentes, N., Kiessling, A., Mihoc, M., Pauchard, A., Ruiz, E., Sanchez, P., Marticorena, A. Catálogo de las plantas vasculares de Chile. *Gayana. Botánica*, 75(1): 1-430. 2018.

Roldán, G. Los macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua. Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca. Bogotá, Colombia. 2012.

Silva, R., Arancibia J. Utilización de los índices de Hábitat Fluvial, Bosque de Ribera y macrófitas para la determinación de calidad del recurso hídrico del estero Catapilco, Región de Valparaíso. Museo de Historia Natural de Valparaíso, Valparaíso, Chile, 26, 2015.

Torres, M. Estudio limnológico de la cuenca del Río Coello, con especial referencia al orden Ephemeroptera (Clase Insecta). Departamento del Tolima. Universidad del Tolima. Facultad de Ciencias. Ibagué, Colombia. 2004.

Valencia, J., Arancibia, J. Evaluación del estado ecológico de la laguna Sausalito a través de las comunidades de macrófitos y macroinvertebrados. Museo de Historia Natural de Valparaíso. 26, 2015.

Voelz, N., y Mcarthur, J. An exploration of factors influencing lotic species richness. *Biodiversity and Conservation*, 9 (11): 1543-1570, 2000.