



FACULTAD DE RECURSOS NATURALES

ESCUELA DE CIENCIAS AMBIENTALES

Laboratorio de Limnología y Recursos Hídricos

---

# INFORME FINAL

***DESARROLLO DE UN ÍNDICE CON MACRÓFITAS  
DE ESTADOS TRÓFICOS DE RÍOS EN LAS  
REGIONES DE LA ARAUCANÍA, LOS RÍOS Y LOS  
LAGOS***

***Id: 608897-118-LE14***

Temuco, Junio de 2015

## **Informe Final**

### **Desarrollo de un Índice con Macrófitas de Estados Tróficos de Ríos en las Regiones Araucanía, Los Ríos y Los Lagos**

#### **Requirente**

Subsecretaría del Medio Ambiente –  
Nivel Central

#### **Ejecutor**

Laboratorio de Limnología y Recursos Hídricos  
Universidad Católica de Temuco

#### **Director**

David Figueroa Hernández

#### **Equipo de Trabajo**

Dr. David Figueroa Hernández  
MCs. Enrique Hauenstein Barra  
MCs. Jonathan Urrutia Estrada  
Dra. Gladys Lara Cárdenas  
Ing. Carlos Aguayo Arias  
Dr. Francisco Encina Montoya  
Dr. Carlos Esse Herrera  
Bióloga en RRNN María Fernanda Aguayo  
Ing. Manuel Escudero Herrera

## Índice de Contenidos

<b>Índice de Contenidos</b> .....	<b>1</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	<b>3</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>4</b>
<b>RESUMEN EJECUTIVO</b> .....	<b>7</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>9</b>
<b>2. OBJETIVO GENERAL</b> .....	<b>11</b>
2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	11
<b>3. METODOLOGÍA</b> .....	<b>13</b>
<b>3.1 Objetivo Específico 1.</b> recopilación, sistematización y análisis de la información nacional e internacional relativa a índices de macrófitas. ....	13
<b>3.2 Objetivo Específico 2.</b> Recopilación, sistematización y análisis de los antecedentes bibliográficos respecto de la diversidad, abundancia y distribución de macrófitas en Chile. ....	14
<b>3.3 Objetivo Específico 3.</b> Caracterizar el nicho ecológico de macrófitas potencialmente indicadores (especialmente en función de sus respuestas a cambios fisicoquímicos de la calidad del agua, tales como nutrientes y pH) a nivel de familia, género y/o especie.....	15
<b>3.4 Objetivo Específico 4.</b> Evaluar la correlación existente entre macrófitas indicadores y las tendencias históricas de nutrientes registrados en sistemas lóticos de Chile. Se revisaron datos históricos de monitoreo de la DGA. ....	16
<b>3.5. Objetivo Específico 5.</b> Desarrollar un índice de macrófitas para evaluar el estado trófico en ecosistemas lóticos de Chile.....	18
<b>3.6. Objetivo Específico 6.</b> Calibración e implementación del índice en terreno...	24
<b>3.7. Objetivo Específico 7.</b> Manual de procedimiento para la aplicación del índice. ....	24
<b>4. RESULTADOS</b> .....	<b>25</b>
<b>4.1.</b> Recopilación, sistematización y análisis de la información nacional e internacional, respecto de los índices de macrófitas, especialmente orientado a la	

evaluación del estado trófico de sistemas lóticos (oligotrófico, mesotrófico, eutrófico y hipereutrófico).....	25
<b>4.2.</b> Recopilación y sistematización de antecedentes bibliográficos respecto de la diversidad, abundancia y distribución de macrófitas en Chile.....	41
<b>4.3.</b> Revisión de la experiencia de la intercalibración establecida en la Directiva Marco del Agua en la Unión Europea. ....	48
<b>4.4.</b> Evaluación de la correlación existente entre macrófitas indicadores y las tendencias históricas de nutrientes registrados en sistemas lóticos de Chile según datos históricos de monitoreo de la DGA.....	60
<b>4.5.</b> Desarrollar un índice de macrófitas para evaluar el estado trófico en ecosistemas lóticos de Chile. ....	71
<b>4.6.</b> Calibración e implementación del índice en terreno. ....	76
<b>4.7.</b> Manual de procedimiento para el cálculo del Índice Trófico Fluvial basado en Macrófitas (ITFM).....	84
<b>5. LITERATURA CITADA .....</b>	<b>90</b>
<b>6. ANEXOS .....</b>	<b>96</b>
<b>Anexo 1.</b> Literatura internacional y nacional relacionada con índices de macrófitas ..	96
<b>Anexo 2.</b> Literatura nacional relacionada con diversidad de macrófitas .....	100
<b>Anexo 3.</b> Listado de especies de macrófitas que habitan en las regiones en estudio. OG: origen geográfico, I: introducido, N: nativo; FV: forma de vida, C: caméfito, Cr: criptófito, F: fanerófito, H: hemicriptófito, Nf: nanofanerófito, T: terófito.....	102
<b>Anexo 4.</b> A continuación se presenta el listado de especies de macrófitas indicadores, los cuales fueron inventariados en los terrenos realizados en los sistemas fluviales de las regiones IX (Canal Gibbs, Río Traiguén), XIV (Río Cruces) y X (Río Rahue), en el marco del desarrollo del proyecto. ....	108
<b>Anexo 5.</b> Riqueza taxonomica Río Traiguén IX Región. ....	112
<b>Anexo 6.</b> Riqueza taxonomica Río Cruces XIV Región.....	115
<b>Anexo 7.</b> Riqueza taxonomica Río Rahue X Región.....	119

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Valores indicadores para el factor nitrógeno y ectivasu resp característica. Tomado de Ramírez et al. (1991). .....	15
<b>Tabla 2.</b> Información sobre índices de macrófitas recopilada en trabajos internacionales y nacionales período 1995-2015.....	25
<b>Tabla 3.</b> Análisis comparativo de los índices internacionales.....	37
<b>Tabla 4.</b> Análisis comparativo de los índices nacionales. ....	40
<b>Tabla 5.</b> Información recopilada sobre diversidad de macrófitas en trabajos nacionales. ....	42
<b>Tabla 6.</b> .Experiencias de Intercalibración de índices de macrófitas.....	48
<b>Tabla 7.</b> Rasgos de vida de los macrófitas indicadores seleccionados. OG: origen geográfico, I: introducido, N: nativo; FV: forma de vida, C: caméfito, Cr: criptófito, F: fanerófito, H: hemicriptófito, T: terófito; E: emergente, Fl: flotante libre, N: natante, S: sumergido; SI: sin información, NA: no aplica.....	58
<b>Tabla 8.</b> Variables de nicho ecológico de las especies de macrófitas indicadoreseleccionadas. SI: sin información, NA: no aplica.....	59
<b>Tabla 9.</b> Estaciones de monitoreo de la Dirección General de Aguas, para la sección alta de la Cuenca del río Imperial. ....	60
<b>Tabla 10.</b> Estaciones de monitoreo de la Dirección General de Aguas, para la sección media de la Cuenca del río Imperial. ....	62
<b>Tabla 11.</b> Estaciones de monitoreo de la Dirección General de Aguas, para la sección baja de la Cuenca del río Imperial.....	65

<b>Tabla 12.</b> Valores de las variables por cada componente principal. ....	71
<b>Tabla 13.</b> Rango de valores y niveles de trofia del ITFM. ....	75
<b>Tabla 14.</b> Características que deben cumplir los tramos de los ríos a evaluar. ....	78
<b>Tabla 15.</b> Resumen de los valores calculados para la obtención del índice en el río Traiguén.....	79
<b>Tabla 16.</b> Parámetros físico-químicos y nutrientes medidos en el río Traiguén.....	79
<b>Tabla 17.</b> Resumen de los valores calculados para la obtención del índice en el río Cruces. ....	80
<b>Tabla 18.</b> Parámetros físico-químicos y nutrientes medidos en el río Cruces.....	81
<b>Tabla 19.</b> Resumen de los valores calculados para la obtención del índice en el río Rahue. ....	83
<b>Tabla 20.</b> Parámetros físico-químicos y nutrientes medidos en el río Rahue .....	83
<b>Tabla 21.</b> Rango de valores y niveles de trofia del ITFM. ....	87
<b>Tabla 22.</b> Experiencias de Intercalibración de índices de macrófitas. <b>iError! Marcador no definido.</b>	

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Ubicación de las estaciones de monitoreo de la DGA en la cuenca del Imperial IX Región.....	17
<b>Figura 2.</b> Porcentaje total de trabajos internacionales y nacionales revisados.....	26
<b>Figura 3.</b> Riqueza total de macrófitas, helófitos e hidrófitos según Ramírez & San Martín (2006) y Hauenstein (2006).....	43
<b>Figura 4.</b> Riqueza de especies de macrófitas según grupo taxonómico. ....	44
<b>Figura 5.</b> Riqueza de familias y géneros de Macrófitas según grupo taxonómico. ....	44

<b>Figura 6.</b> Riqueza de especies de las familias de macrófitas con mayor representación. ....	45
<b>Figura 7.</b> Riqueza de especies de macrófitas según forma de vida. ....	46
<b>Figura 8.</b> Riqueza de especies de macrófitas según hábito de crecimiento.....	46
<b>Figura 9.</b> Riqueza de especies de helófitos según grupo taxonómico y origen geográfico. ....	47
<b>Figura 10.</b> Riqueza de especies de hidrófitos según grupo taxonómico y origen geográfico. ....	47
<b>Figura 11.</b> Distribución latitudinal de la riqueza de especies de hidrófitos (Fuente: Ramírez et al. 1986). ....	48
<b>Figura 12.</b> Estaciones de monitoreo para la sección alta de la cuenca del río Imperial. ....	62
<b>Figura 13.</b> Estaciones de monitoreo para la sección media de la cuenca del río Imperial. ....	64
<b>Figura 14.</b> Estaciones de monitoreo para la sección baja de la cuenca del río Imperial. ....	66
<b>Figura 15.</b> Análisis en conjunto por sección para las estaciones de la cuenca del río Imperial .....	68
<b>Figura 16.</b> Regresión lineal para nitrógeno (A) y fósforo total (B) con el número de especies de macrófitas indicadores de contaminación orgánica.....	68
<b>Figura 17.</b> Regresión lineal para velocidad de corriente (A) y caudal (B) con el número de especies de macrófitas indicadores de contaminación orgánica. ....	69
<b>Figura 18.</b> Análisis de componentes principales (PCA) para las variables ambientales medidas. ....	70
<b>Figura 19.</b> Análisis de componentes principales para las variables ambientales y las especies de macrófitas indicadores. Nótese el bajo porcentaje de explicación de los ejes en ambos casos .....	74



## **RESUMEN EJECUTIVO**

Los macrófitas de aguas continentales constituyen un grupo interesante por su alto grado de especialización y simpleza corporal, además de uso potencial como alimento, fertilizante, productores de biogas, en el tratamiento de aguas servidas o como indicadores del estado trófico de un sistema acuático. Los estudios sobre este grupo vegetal en Chile son relativamente escasos, en especial los relacionados con ambientes lénticos y lóticos. El estudio de macrófitas indicadores considerando su presencia y abundancia es una herramienta bastante útil, económica y fácil de aplicar en la determinación de condiciones tróficas y más aún si se consideran en el cálculo de un índice de calidad.

En este trabajo el principal resultado corresponde a la presentación de las directrices metodológicas para el cálculo del Índice Trófico Fluvial basado en Macrófitas (ITFM) contenidas en un manual de procedimientos, el cual ha sido diseñado para su aplicación en ríos de las Regiones IX, XIV y X , más específicamente en tramos fluviales de tipo potamón. El índice es de resolución taxonómica baja (nivel de especie), de carácter cualitativo y se basa en la presencia, abundancia y capacidad indicadora de contaminación orgánica de 75 especies de plantas vasculares.



## 1. INTRODUCCIÓN

Los macrófitas de aguas continentales representan alrededor del 1 % del total de la flora vascular del mundo (Chambers et al. 2008). Constituyen un grupo interesante por su alto grado de especialización y simpleza corporal, además del uso potencial como alimento, fertilizante, productores de biogas, en el tratamiento de aguas servidas o como indicadores del estado trófico de un sistema acuático (Ramírez et al. 1982, Lakshman 1987, Wolverton 1987, Ederra 1997, Goslee et al. 1997, Hauenstein et al. 2008, Romero-Ortiz et al. 2011). Los estudios sobre este grupo vegetal en Chile son relativamente escasos, en especial los relacionados con ambientes lénticos y lóticos. Destacan en este sentido los trabajos de Edding (1977), Ramírez & Stegmaier 1982, Ramírez et al. (1979, 1980, 1987), Rodríguez & Dellarossa (1998), Hauenstein et al. (1993, 1996, 1998, 1999, 2002, 2008, 2011), Ramírez & San Martín (1984, 2006) y Hauenstein (2006, 2009). Esto difiere con lo que ocurre en otras partes del mundo, donde hay más estudios sobre macrófitas y donde se destaca su importancia en los procesos de embancamiento que generan en los cuerpos de agua (Tur 1977) y al elevado costo que conlleva la recuperación de dichos ambientes (Vilá et al. 2009).

Una de las aplicaciones más interesante de las macrófitas es su utilización como bioindicadores de condiciones tróficas de un cuerpo de agua. En relación a lo anterior cabe señalar que la deficiencia de nutrientes determina que la vegetación acuática sea poco abundante (Campos et al. 1983, 1989), y por el contrario cuando hay muchos nutrientes principalmente nitratos y fosfatos (aguas eutrofizadas), las macrófitas adquieren un desarrollo exuberante (Ramírez & San Martín 2006). En esta línea destacan en Chile los trabajos de Ramírez et al. (1991) y San Martín et al. (2003), en donde se adaptaron los valores indicadores propuestos por Ellenberg (1974) a la realidad nacional para más de 200 especies consideradas como malezas, entre ellas numerosas acuáticas. Dentro de las especies indicadoras de condiciones oligotróficas destacan: *Isoetes savatieri* (Isoetaceae), *Isolepis inundata* (Cyperaceae) y *Ammophila arenaria* (Poaceae). Por otro lado, dentro las especies indicadoras contaminación orgánica se cuentan: *Hydrocotyle ranunculoides* (Apiaceae), *Nasturtium officinale*

(Brassicaceae), *Mimulus luteus* (Phrymaceae) y *Cotula coronopifolia* (Asteraceae) entre otras.

Las macrófitas indicadores, por presencia y abundancia constituyen una herramienta muy útil, económica y fácil de aplicar en la determinación de condiciones tróficas y, como grupos indicadores alcanzan mayor valor si se consideran en el cálculo de índices de calidad de agua. Entre estos índices destacan los utilizados por la Directiva Marco del Agua para sistemas lóticos: Índice Biológico de Macrófitas en Ríos (AFNOR 2003), Índice de Eutrofización/Polución (Dell'Uomo 1991), Índice SLA (Sládeček & Sládeckova 1996), Trophic Index of Macrophytes (Schneider & Melzer 2003), Mean Trophic Rank (Holmes 1995) y The Scientific Group GIS index (Thiebaut et al. 2002).

El presente informe da cuenta del cumplimiento de los objetivos específicos del proyecto en su totalidad y entrega además el resultado de la revisión de la experiencia de la intercalibración establecida en la DMA.

## **2. OBJETIVO GENERAL**

Desarrollar un índice de macrófitas para evaluar el estado trófico de los ríos de las regiones de La Araucanía, Los Ríos y Los Lagos, como una herramienta biológica útil para apoyar el proceso de elaboración y seguimiento de Normas Secundarias de Calidad Ambiental.

### **2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

1. Recopilar, sistematizar y analizar información nacional e internacional, respecto de los índices de macrófitas, especialmente orientado a la evaluación del estado trófico de sistemas lóticos (oligotrófico, mesotrófico, eutrófico e hipereutrófico).
2. Recopilar, sistematizar y analizar antecedentes bibliográficos respecto de la diversidad, abundancia y distribución de macrófitas en Chile.
3. Caracterizar el nicho ecológico de macrófitas potencialmente indicadores (especialmente en función de sus respuestas a cambios fisicoquímicos de la calidad del agua, tales como nutrientes y pH) a nivel de familia, género y/o especie.
4. Evaluar la correlación existente entre macrófitas indicadores y las tendencias históricas de nutrientes registrados en sistemas lóticos de Chile (datos históricos de monitoreo DGA).
5. Desarrollar un índice de macrófitas para evaluar el estado trófico en ecosistemas lóticos de Chile.
6. Calibrar e implementar el índice en terreno.

7. Desarrollar un manual de procedimientos para la aplicación del índice.

### 3. METODOLOGÍA

A continuación se presenta la metodología utilizada para dar respuesta a los siguientes objetivos específicos:

**3.1 Objetivo específico 1.** Recopilación, sistematización y análisis de la información nacional e internacional relativa a índices de macrófitas.

*a) Recopilación de la información.*

Se realizó una revisión bibliográfica exhaustiva de toda la información relevante existente en informes de proyectos y en artículos científicos extraídos desde bases de datos como: Ebsco, ISI Web of Science, Jstor, Scielo, Science Direct, Springer, Taylor & Francis y Wiley Online Library entre otras. Se colocó especial énfasis en revistas del área de la biología acuática como: Aquatic Botany, Freshwater Biology, Hydrobiologia, Limnology y Wetlands, además de revistas de ciencia aplicada entre las que destacan: Ecological Indicator, Journal of Applied Ecology y Basic and Applied Ecology. La búsqueda se realizó considerando palabras claves (keywords) en inglés, tales como: macrophytes index y aquatic plants indicators, lo que facilitó el hallazgo de artículos relacionados con el tema en cuestión. Adicionalmente para la correcta identificación de los índices relacionados con macrófitas, se consultó las bases de datos de legislación internacional de referencia. También se realizaron entrevistas a actores claves y a personas que podrían disponer de información al respecto.

*b) Sistematización de la información.*

La información recopilada fue sistematizada en una base de datos digital especialmente elaborada para el manejo de la información de índices de macrófitas. La información entregada por esta base de datos, de fácil manejo y de rápido uso, fue vaciada en una ficha bibliográfica.

*c) Análisis de la información.*

Para contrastar los índices de macrófitas nacionales e internacionales se elaboró una tabla comparativa de doble entrada que permitió clasificar los índices en torno a criterios claves; entre otros nivel taxonómico, indicador de trofia y valores de sensibilidad.

**3.2 Objetivo específico 2.** Recopilación, sistematización y análisis de los antecedentes bibliográficos respecto de la diversidad, abundancia y distribución de macrófitas en Chile.

*a) Recopilación de la información*

Se realizó una revisión bibliográfica de toda la información existente en artículos científicos, libros y actas de congresos. Se revisaron con especial atención las publicaciones nacionales (SciELO e ISI) en temáticas relacionadas con diversidad, distribución y abundancia de macrófitas de importancia en Chile.

La búsqueda se realizó considerando palabras claves, tales como: diversidad, macrófitas, abundancia, distribución, riqueza específica, entre otras, lo que facilitó el hallazgo de artículos relacionados con el tema en cuestión.

*b) Sistematización de la información*

La información recopilada fue sistematizada en una base de datos digital especialmente elaborada para el manejo de la información de diversidad, abundancia y distribución de macrófitas. La información entregada por esta base de datos, de fácil manejo y de rápido uso, fue vaciada en una ficha bibliográfica.

*c) Análisis de la información*

La información recopilada fue analizada de tal manera de conocer la distribución geográfica de las especies, familias botánicas con mayor número de especies en Chile, géneros más comunes, proporción entre especies nativas e introducidas,

áreas geográficas con la mayor y menor riqueza de especies y taxa con la mayor y menor frecuencia en Chile.

**3.3 Objetivo específico 3.** Caracterizar el nicho ecológico de macrófitas potencialmente indicadores (especialmente en función de sus respuestas a cambios fisicoquímicos de la calidad del agua, tales como nutrientes y pH) a nivel de familia, género y/o especie.

De las 195 especies que prosperan en las regiones de La Araucanía, Los Ríos y Los Lagos (Ramírez et al. 1980), se seleccionaron aquellas potencialmente indicadoras de contaminación. Dicho filtro dio como resultado un total de 21 especies indicadoras para las cuales se caracterizó el nicho ecológico. Para lo anterior se consideraron 12 características de cada taxa, 8 correspondientes a rasgos de vida (familia botánica, origen geográfico, distribución a nivel regional, forma de vida, hábito, tipo de reproducción dominante, tipo de polinización, tipo de dispersión) y 4 correspondientes a variables cruciales de nicho ecológico (tolerancia a la contaminación, tipo de sustrato en el que se desarrolla preferentemente, velocidad de corriente que resiste y profundidad máxima a la cual se puede desarrollar). El concepto de nicho ecológico fue tomado de la definición de Hutchinson (1957), quien lo describe como un hipervolumen de  $n$  dimensiones donde se encuentran las condiciones ambientales en las cuales las especies pueden sobrevivir. La mayor parte de la información requerida se obtuvo de literatura especializada tal como: Ramírez et al. (1982), Cook (1990), DiTomaso & Healy (2003), Rodríguez & Dellarossa (1998). En tanto que lo referente a tolerancia a la contaminación se obtuvo de Ramírez et al. (1991) y Pignatti (2005), cuyos valores indicadores se rigen de acuerdo a la Tabla 1.

**Tabla 1. Valores indicadores para el factor nitrógeno y su respectiva característica. Tomado de Ramírez et al. (1991).**

Valor	Característica
1	Especies en aguas muy pobres en nitrógeno, oligotróficas
2	Entre 1 y 3
3	Especies con preferencia por aguas pobres en nitrógeno

Laboratorio de Limnología y Recursos Hídricos, Universidad Católica de Temuco

4	Entre 3 y 5
5	Especies en aguas con niveles intermedios de nitrógeno
6	Entre 5 y 7
7	Especies en aguas ricas en nitrógeno
8	Entre 7 y 9
9	Especies en aguas muy ricas en nitrógeno, eutroficadas
X	Indiferencia respecto al factor nitrógeno

---

**3.4 Objetivo específico 4.** Evaluar la correlación existente entre macrófitas indicadores y las tendencias históricas de nutrientes registrados en sistemas lóticos de Chile. Se revisaron datos históricos de monitoreo de la DGA.

Para evaluar la correlación existente entre macrófitas indicadores y las tendencias históricas de nutrientes, se llevó a cabo mediante dos aproximaciones. La primera de ellas tienen relación con las bases de datos de parámetros químicos para las cuencas de las tres regiones involucradas, que permitirán visualizar la variación de los nutrientes a través del tiempo para establecer posibles tendencias de enriquecimiento de nutrientes en los ríos respectivos de cada estación de monitoreo de la DGA. En este informe se presenta un avance de esta aproximación en la Cuenca del Río Imperial. La segunda aproximación tiene relación con bases de datos propias del laboratorio de Limnología y Recursos hídricos que corresponden a muestreos específicos de flora, nutrientes y otros parámetros físicos en cuerpos receptores de fuentes puntuales de contaminación que permiten evaluar la relación entre macrófitas y nutrientes:

**a) Análisis de los datos de la Dirección General de Aguas (DGA)**

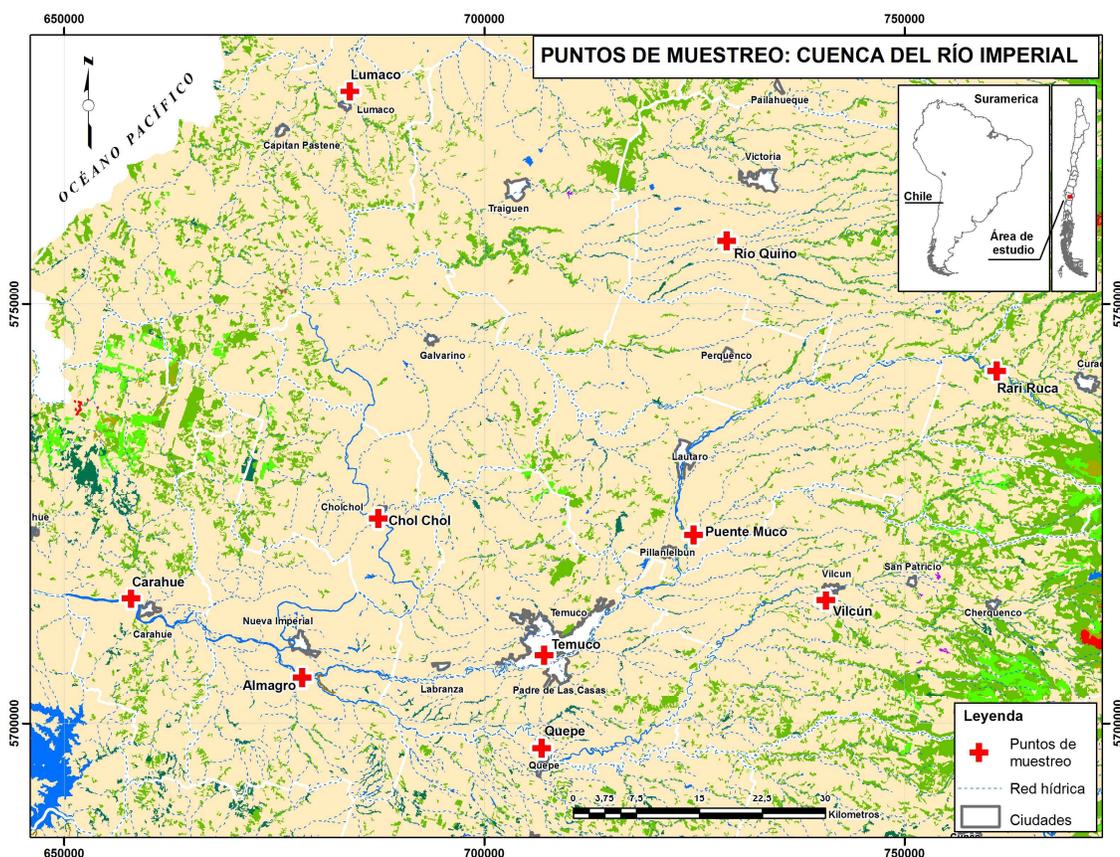
El análisis de los datos de la Dirección General de Aguas para la cuenca del Río Imperial, contempla datos de calidad físico-químicos y de caudal para 11 estaciones de monitoreo, las que fueron agrupadas por su ubicación en la cuenca (Figura 1). De esta manera, la cuenca fue dividida en tres secciones alta, media y baja y las estaciones de monitoreo de la DGA se distribuyeron de la siguiente forma:

Sección alta de la cuenca: río Lumaco en Lumaco, río Cautín en Rari-Ruca, río Muco en Puente Muco y Río Quepe en Quepe.

Sección media de la cuenca: río Quino en Longitudinal, río Cautín Bajo Temuco (Panamericana) y río Quepe en Vilcún.

Sección baja de la cuenca: río Quillen en Botrolhue, río Chol Chol en Chol Chol, río Cautín en Almagro y río Imperial en Carahue.

Los datos de nitrógeno y caudal de estas secciones fueron analizados estadísticamente obteniéndose promedios anuales con su correspondiente desviación estándar y posteriormente graficados en función de los años (periodo 2005 -2011) para establecer posibles tendencias.



**Figura 1.** Ubicación de las estaciones de monitoreo de la DGA en la cuenca del Imperial IX Región.

**b) Relación entre fuentes puntuales de contaminación orgánica y respuesta de macrófitas indicadores**

Ante la imposibilidad de evaluar la correlación existente entre macrófitas indicadores y las tendencias históricas de nutrientes con datos provenientes de la DGA, se acudió a datos propios (Laboratorio de Limnología y Recursos Hídricos UCTemuco) correspondientes a levantamientos florísticos realizados en fuentes puntuales de contaminación orgánica de la zona centro-sur de Chile (VI-X regiones). Los muestreos fueron realizados en 5 sectores 500 m aguas abajo, es decir, luego de la fuente de descarga de contaminación. Respecto a los nutrientes se analizó el nitrógeno total, que refleja la cantidad total de N en el agua y también el fósforo total. En relación a los parámetros hidrológicos de los cuerpos de agua receptores de las descargas se analizó la velocidad de corriente y el caudal. Todos estos parámetros fueron analizados en conjunto con la riqueza de macrófitas indicadores de contaminación. Para determinar en qué medida las variables ambientales explican la presencia de macrófitas se realizaron regresiones lineales, considerando como variable dependiente la riqueza de macrófitas y como variables independientes los parámetros físico químicos e hidrológicos. Además, para determinar cuál o cuáles de los parámetros ambientales son los que explican la mayor variabilidad, para 5 sectores se llevó a cabo un análisis de componentes principales (ACP) con el software Primer versión 6 (Clarke & Gorley 2006).

**3.5. Objetivo específico 5.** Desarrollar un índice de macrófitas para evaluar el estado trófico en ecosistemas lóticos de Chile.

- a) *Desarrollo o adaptación de los índices tróficos de macrófitas propuestos en la presente licitación*
- *Índice biológico de macrófitas en ríos IBMR (AFNOR, 2003)*

La aplicación del índice requiere la determinación "in situ" de las macrófitas en un tramo fluvial y se obtiene a partir de la siguiente fórmula:

$$IBMR = \frac{\sum_{i=1}^n Ei * Ki * Csi}{\sum_{i=1}^n Ei * Ki}$$

Ei = Taxa registrados que se caracterizan según su valor indicador respecto a su grado de estenoicidad (sensibilidad), varía entre 1 y 3.

Csi = Taxa registrados que se caracterizan según su valor indicador respecto a la eutrofia, varía de 1 a 20.

Ki = Estimación de su % cobertura usando una escala de 1 a 5.

El manual de aplicación del IBMR presenta los Csi y Ei para 207 especies de macrófitas y otras especies (bacterias, algas, líquenes, hepáticas, musgos, pteridófitos y fanerógamas); la mayoría son hidrófitos aunque también hay helófitos. En este estudio sólo se trabajará con macrófitas.

El IBMR se aplica en Francia y permite determinar el nivel trófico del tramo fluvial.

Las puntuaciones del índice se agrupan en las siguientes cinco clases de calidad:

Nivel Trófico	Valor IBMR
Muy bajo	IBMR > 14
Bajo	12 < IBMR ≤ 14
Medio	10 < IBMR ≤ 12
Elevado	8 < IBMR ≤ 10
Muy elevado	IBMR ≤ 8

➤ *Índice trófico de macrófitas (TIM, S. SCHNEIDER & A. MELZER, 2003)*

Su cálculo se basa en la fórmula del Índice de Saprobios de Zelinka & Marvan (1961):

$$TIM = \sum \frac{\Sigma(IVa * Wa * Qa)}{\Sigma(Wa * Qa)}$$

IVa = Valor indicador de la especie "a"

Wa = Sensibilidad (tolerancia) de la especie "a"

Qa = Cantidad de la especie "a" en la sección fluvial

El valor indicador de las especies respecto de la trofía está basado en los resultados del análisis de fósforo en el agua próxima a macrófitas y del agua del sedimento. La guía existente presenta valores indicadores para 49 especies de macrófitas sumergidos. Existe procedimiento de muestreo.

Los valores de TIM varían entre 1 y 4 distinguiendo siete categorías tróficas:

Nivel Trófico	Valor TIM
Oligotrófico	$1 \leq 1,45$
Oligo-mesotrófico	$1,45 \leq 1,87$
Mesotrófico	$1,87 \leq 2,25$
Meso-eutrófico	$2,25 \leq 2,63$
Eutrófico	$2,63 \leq 3,05$
Eu-politrófico	$3,05 \leq 3,5$
Politrófico	$3,5 - 4$

*b) Conformación de un panel de expertos*

Se conformará un panel de expertos con el fin de desarrollar y/o adaptar uno de los índices mencionados en el apartado a) Este panel estará constituido (preliminarmente) por el Dr. David Figueroa Hernández, MCs. Enrique Hauenstein Barra, MCs. Jonathan Urrutia Estrada, Dra. Gladys Lara Cárdenas, Dr. Francisco Encina Montoya, Ing. Carlos Aguayo Arias, Dr. Carlos Esse Herrera y profesionales del Ministerio del Medio Ambiente. Se extenderá la invitación a dos o más expertos nacionales. Para el desarrollo del índice se tendrá en cuenta las siguientes aproximaciones de análisis:

- Taxonomía de macrófitas: Nomenclatura actualizada del grupo biológico, en base a lo propuesto por Zuloaga et al. (2008) y bases de datos reconocidas como: [www.tropicos.org](http://www.tropicos.org); [www.darwin.edu.ar](http://www.darwin.edu.ar); [www.ipni.org](http://www.ipni.org); [www.theplantlist.org](http://www.theplantlist.org). El propósito es analizar taxonómicamente las macrófitas empleadas en los índices propuestos y compararlos con la taxonomía de nuestros sistemas.
- Comparación con otros índices: Se tomará como base las propuestas metodológicas señaladas por la Directiva Marco del agua (Confederación Hidrográfica del Ebro 2005).

- Presencia/ausencia de especies: Comparación de presencia y ausencia comunes según experiencias aplicadas en otras partes del mundo, a nivel de familia, género o especie.
- Respuestas de las especies a las condiciones de hábitat: Respuesta de las especies ante los cambios en el hábitat, considerando variaciones en la riqueza de especies y/o modificaciones en la abundancia de las mismas.
- Valoración de la sensibilidad y ponderación ambiental de los taxa indicadores: Según experiencia del panel de expertos en terreno, especialmente en el área geográfica en cuestión (IX, XIV y X regiones).

### c) Simulaciones

Las simulaciones estarán divididas en las siguientes fases:

- **Primera fase:** Se realizarán simulaciones teóricas de la aplicación del índice propuesto.
- **Segunda fase:** Se realizarán simulaciones utilizando datos bibliográficos.
- **Tercera fase:** Aplicación del índice en los sistemas acuáticos previamente seleccionados a fin de comparar las respuestas del índice a diferentes condiciones de hábitat. Para el desarrollo en esta tercera fase se utilizarán datos obtenidos en terreno; se seleccionarán sistemas que permitan contrastar situaciones ambientales saludables con aquellas que presenten grados de alteración. Se propone que por cada región se seleccionen, en conjunto con los profesionales del ministerio, tres sistemas acuáticos que reflejen distintos grados de alteración del hábitat lo que permitirá finalmente construir las tablas con la valorización nominal del sistema, la que se realizará con la combinación de los datos teóricos y su aplicación en terreno.

Además de lo anterior, con el fin de determinar una relación entre las variables ambientales y la abundancia de especies de macrófitas se llevó a cabo Análisis de Componentes Principales (ACP) con el software XLSTAT versión 7.5.2 y una prueba de Bio-Env (Biota-Environment), la cual determina las mejores variables ambientales que tienen injerencia sobre la presencia y abundancia de especies de macrófitas, este último análisis se realizó con el software primer versión 6 (Clarke & Gorley 2006).



### **3.6. Objetivo específico 6.** Calibración e implementación del índice en terreno.

Para la calibración del índice se realizaron dos salidas a terreno preliminares a cuerpos de agua lóticos de la región de La Araucanía; el canal Gibbs (Temuco) y el río Traiguén (Victoria). El objetivo de dicha prospección fue capturar datos florísticos para su posterior tratamiento y análisis en gabinete, en este sentido, en estos cuerpos de agua se seleccionaron estaciones de muestreo conrstantastes, es decir, ambientes saludables, prístinos o con baja intervernción versus ambientes contaminados o con signos claros de intervención humana.

### **3.7. Objetivo específico 7.** Manual de procedimiento para la aplicación del índice.

Para la aplicación del Índice Trófico Fluvial basado en Macrófitas (ITFM), se ha diseñado un manual que se basa en la presencia, abundancia y capacidad indicadora de contaminación orgánica de 75 especies de plantas vasculares. Los valores del índice se mueven entre 0 y 100; y los tramos fluviales pueden categorizados en tres niveles de trofía. Para el desarrollo del índice se siguieron los siguientes pasos que forman parte del manual de procesimientos; Primero se seleccionan las estaciones de muestro para la captura de datos, la tabulación de los datos y la aplicación del índices de referencia, luego se realiza una aproximación taxonómica para la adaptación del índice y finalmente la calibración en terreno.

El índice es de resolución taxonómica baja (nivel de especie), de carácter cualitativo y se basa en la presencia, abundancia y capacidad indicadora de contaminación orgánica de 75 especies de plantas vasculares.

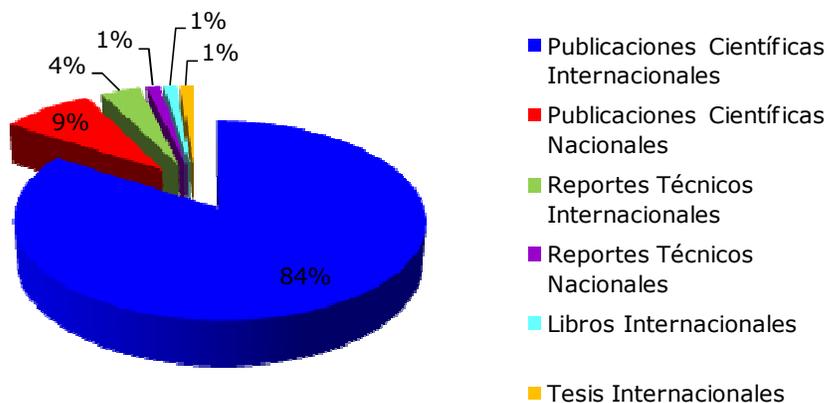
#### 4. RESULTADOS

**4.1.** Recopilación, sistematización y análisis de la información nacional e internacional, respecto de los índices de macrófitas, especialmente orientado a la evaluación del estado trófico de sistemas lóticos (oligotrófico, mesotrófico, eutrófico y hipereutrófico).

A través de la búsqueda realizada en las bases de datos se recopiló un total de 588 publicaciones científicas. En cada una de ellas se analizó en un primer momento el título y el resumen (abstract) para identificar los trabajos mayormente relacionados con la temática índice de macrófitas para luego analizar la publicación completa. Este criterio permitió crear un filtro que disminuyó a 69 el número de referencias (Tabla 2 y Figura 2).

**Tabla 2. Información sobre índices de macrófitas recopilada en trabajos internacionales y nacionales período 1995-2015.**

<b>Trabajos Internacionales</b>								
Años	Publicaciones Científicas		Reportes Técnicos		Libros		Tesis	
	Nº	%	Nº	%	Nº	%	Nº	%
1995-2000	3	4,1	2	2,7	--	--	--	--
2001-2005	10	13,5	--	--	--	--	--	--
2006-2010	26	35,1	--	--	--	--	1	1,4
2011-2015	30	40,5	1	1,4	1	1,4	--	--
<b>Sub-total</b>	<b>69</b>	<b>93,2</b>	<b>3</b>	<b>4,1</b>	<b>1</b>	<b>1,4</b>	<b>1</b>	<b>1,4</b>
<b>Trabajos Nacionales</b>								
Años	Publicaciones Científicas		Reportes Técnicos		Libros		Tesis	
	Nº	%	Nº	%	Nº	%	Nº	%
1995-2000	1	12,5	--	--	--	--	--	--
2001-2005	3	37,5	--	--	--	--	--	--
2006-2010	2	25,0	--	--	--	--	--	--
2011-2015	1	12,5	1	12,5	--	--	--	--
<b>Sub-total</b>	<b>7</b>	<b>87,5</b>	<b>1</b>					



**Figura 2.** Porcentaje total de trabajos internacionales y nacionales revisados.

#### 4.1.1. Descripción y Análisis de Índices Internacionales

A continuación se describen ocho índices internacionales utilizados frecuentemente en los estudios ecológicos. La descripción considera la identificación del índice, la funcionalidad y la expresión matemática.

##### Descripción de Índices Internacionales

###### Mean Trophic Rank (MTR)

Fuente: Dawson et al. 1999; Holmes et al. 1999

Origen: Inglaterra

Forma: Cuantitativo

Medición: Estado trófico

Especies consideradas: 129 especies de macroalgas, musgos y plantas vasculares

### **Descripción:**

Se basa en la ocurrencia y abundancia de especies de macrófitas indicadoras. A cada especie indicadora se le asigna un valor de entre 1 y 10 (STR en inglés), de acuerdo a su respuesta a la eutroficación. Altos valores de STR corresponden a especies intolerantes a la contaminación, mientras que los valores bajos indican tolerancia o indiferencia. Los valores de cobertura de las especies son tomados de una escala de nueve puntos con lo que se determina el valor de cobertura de la especie (SCV en inglés). Multiplicando el STR de cada especie por su SCV se obtiene la puntuación del valor de cobertura (CVS en inglés). El valor final del MTR se calcula dividiendo la suma de CVS por la suma de SCV, multiplicado por 10. La puntuación resultante del MTR se mueve entre 10 y 100, siendo los valores bajos característicos de sitios eutroficados.

$$\text{MTR} = \frac{\sum \text{CVS}}{\sum \text{SCV}} * 10$$

Donde,

MTR: Rango trófico de la especie

CVS: Puntuación del valor de cobertura

SCV: Valor de cobertura de la especie

### *Trophic Index of Macrophytes (TIM)*

Fuente: Schneider & Melzer 2003

Origen: Alemania

Forma: Cuantitativo

Medición: Estado trófico

Especies que considera: 49 especies de macrófitas

### Descripción:

Este índice no es influenciado por factores externos tales como sombra, profundidad, tipo de sustrato y velocidad de la corriente de agua. Sin embargo, es muy sensible a pequeñas variaciones en las concentraciones de fósforo cuando se encuentra en cantidades bajas. El valor indicador de las especies respecto de la trofía está basado en los resultados del análisis de fósforo reactivo del agua próxima a la planta y del agua del sedimento. Se presentan valores indicadores para 49 especies de macrófitas. El cálculo se basa en la fórmula de Zelinka & Marvan (1961):

$$TIM = \frac{\sum_{a=1}^n IV_a W_a Q_a}{\sum_{a=1}^n IV_a W_a}$$

Donde,

IV<sub>a</sub>: Valor indicador de la especie

W<sub>a</sub>: Sensibilidad (tolerancia) de la especie

Q<sub>a</sub>: Cobertura de la especie en la sección fluvial

Los valores del TIM varían entre 1 y 4, y se diferencian 7 categorías tróficas de acuerdo al cuadro siguiente:

#### Categorías tróficas del Trophic Index of Macrophytes

Nivel	Valor TIM
Oligotrófico	1 - < 1,45
Oligo-mesotrófico	1,45 - < 1,87
Mesotrófico	1,87 - < 2,25
Meso-eutrófico	2,25 - < 2,63
Eutrófico	2,63 - < 3,05
Eu-politrófico	3,05 - < 3,5
Politrófico	3,5 - 4

Indice Biologique Macrophytes en Rivière (IBMR)

Fuente: AFNOR 2003, Haury et al. 2006

Origen: Francia

Forma: Cuantitativo

Medición: Estado trófico

Especies consideradas: 206 especies de algas, musgos y plantas vasculares

**Descripción:**

La aplicación del índice requiere la determinación en terreno de las macrófitas en un tramo fluvial y la estimación de su respectiva cobertura es en base a una escala que va de 1 a 5 (Ki). Las especies registradas se caracterizan de acuerdo a su valor indicador respecto de la eutrofía (Csi, varía de 0 a 20) y su grado de sensibilidad (Ei, entre 1 y 3). El manual de aplicación del IBMR presenta los Csi y Ei para 206 especies (algas, musgos y plantas vasculares). La puntuación del IBMR se obtiene a partir de la siguiente formula:

$$IBMR = \frac{\sum_1 Ei Ki Csi}{\sum_1 Ei Ki}$$

Donde,

Ei: Grado de sensibilidad de la especie

Ki: Cobertura de la especie

Csi: Valor indicador de la especie

Índice de Macrófitas (IM)

Fuente: Suárez et al. 2005

Origen: España

Forma: Cualitativo

Medición: Estado trófico

Especies consideradas: Algas, hepáticas, musgos y plantas vasculares

**Descripción:**

Índice aditivo que tiene en consideración el valor indicador de las especies, grupos o formaciones consideradas, la diversidad funcional morfológica de macrófitas y su respectiva abundancia (< 5 %, 5-50 %, > 50 %). No requiere determinación a nivel de especie, ya que incluye géneros y formaciones vegetales (algas, hepáticas, musgos, plantas vasculares). El valor indicador de cada taxón o grupo se ha establecido de acuerdo a los valores físico-químicos obtenidos en los muestreos realizados en los ecosistemas acuáticos de la cuenca del río Segura. El índice considera 5 calidades de agua (muy buena, buena, aceptable, mala y muy mala) que se han establecido de acuerdo a la experiencia de los investigadores.

Reference Index (RI)

Fuente: Schaumburg et al. 2006

Origen: Alemania

Forma: Cualitativo

Medición: Estado ecológico

Especies consideradas: Algas, musgos y plantas vasculares

**Descripción:**

Este índice evalúa el estado ecológico de un río, el que no sólo es influenciado por el nivel trófico del mismo, sino que por todos los factores que conllevan a un cambio en la composición y abundancia de macrófitas teniendo como base un sitio de referencia en un tramo del río. El valor del índice se relaciona con un estado ecológico de clasificación, de acuerdo a la Directiva Marco del Agua. La clasificación de los valores del RI dentro de clases, incluye criterios adicionales que dependen del tipo de río. Las especies de macrófitas son clasificadas en tres diferentes grupos, A: contiene todas las especies que son abundantes en los sitios de referencia y poco comunes en los demás sitios, B: contiene especies

que no muestran preferencia por una determinada condición (sitio), C: contiene especies que rara vez aparecen en sitios de referencia y en su conformación hay muy pocas o ninguna especie del grupo A.

$$RI = \frac{\sum_{i=1}^{nA} Q_{Ai} - \sum_{i=1}^{nC} Q_{Ci}}{\sum_{i=1}^{ng} Q_{gi}} * 100$$

Donde,

$Q_{Ai}$  = Cobertura de la especie  $i$  en el grupo A

$Q_{Ci}$  = Cobertura de la especie  $i$  en el grupo C

$Q_{gi}$  = Cobertura de la especie  $i$  en todos los grupos

$nA$  = Número total de especies en el grupo A

$nC$  = Número total de especies en el grupo C

$ng$  = Número total de especies en todos los grupos

### Índice de Vegetación Acuática Macroscópica (IVAM)

Fuente: Moreno et al. 2006

Origen: España

Forma: Cuantitativo

Medición: Estado trófico

Especies consideradas: Algas, musgos, y plantas vasculares

#### **Descripción:**

Este índice requiere resolución taxonómica a nivel de género, considera tanto a macrófitas como micrófitas, incluyendo algas, musgos y plantas vasculares, toda vez que formen vida macroscópica visible a simple vista. Los valores de tolerancia ( $V_t$ ) y de amplitud ecológica ( $V_i$ ) asignados a cada especie se desprendieron a partir de los valores máximos de concentración de fosfatos y

amonio disueltos medidos en los tramos en donde crecían las plantas. Hay cuatro niveles de estado trófico establecidos y los valores de tolerancia para dichos niveles pueden ser 2, 4, 6 y 8, de manera que las mayores puntuaciones corresponden a especies sensibles a la contaminación y viceversa.

$$IVAM = \frac{\sum v_i C_i Vt_i}{\sum v_i C_i}$$

Donde,

Vi: Valor indicador de la especie

Ci: Valor de cobertura de la especie

Vti: Valor de tolerancia de la especie

#### Riparian Vegetation Index (RVI)

Fuente: Aguiar et al. 2009

Origen: Portugal

Forma: Cuantitativo

Medición: Estado ecológico

Especies consideradas: Vegetación ripariana

#### **Descripción:**

Es un índice de base estructural, usa patrones funcionales y atributos de composición de toda la vegetación ripariana. Las métricas de las plantas se seleccionan de varias categorías (ciclo de vida y propagación, estructura de la vegetación) para reflejar las múltiples dimensiones de los ecosistemas y sus perturbaciones. El RVI tiene diferentes métricas y rangos para las regiones del norte y sur. La puntuación de las métricas son estimadas usando cobertura, proporción o número de especies en grupos funcionales (introducidas, nitrófilas, ruderales), atributos de la especie (forma de vida, estrategias de reproducción) y taxa indicadores. Las métricas son transformadas a números adimensionales para combinarlos en un índice aditivo. El RVI para un sitio se obtiene de la

suma de las puntuaciones de todas las métricas, menos el número total de métricas por región. A cada métrica se le asignan 5 puntos si tiene un valor similar a lo esperado bajo condiciones de referencia y sitios con impactos mínimos. 1 punto si tiene valores similares a los esperados en sitios con alta perturbación humana y 3 puntos si tiene un valor intermedio. La puntuación del RVI varía entre 0 y 40 para las regiones del norte y entre 0 y 36 para las del sur, los valores bajos indican sitios más perturbados.

### *River Macrophyte Index (RMI)*

Fuente: Kuhar et al. 2011

Origen: Eslovenia

Forma: Cualitativo

Medición: Estado ecológico

Especies consideradas: Algas, musgos y plantas vasculares

### **Descripción:**

Este índice evalúa el estado ecológico de un sistema lótico, puede ser aplicado en ríos con moderada a alta alcalinidad que fluyen en terrenos de bajas pendientes. Para un tipo de río definido se determina un valor de referencia y valores límites de cinco clases ecológicas (malo, pobre, moderado, bueno y alto) de acuerdo a la Directiva Marco del Agua. Para evaluar el estado ecológico de un río se requiere de la presencia de al menos de 3 taxa indicadores, de otra forma la evaluación queda inconclusa. Cada especie de macrófita es incluida dentro de uno de los seis grupos ecológicos, A: especies presente en sitios de referencia (> 70 % de área natural), B: especies presente en sitios moderadamente cargados (30-70 % de área natural), C: especies presente en sitios altamente cargados (< 30 % de área natural), AB: especies presente en sitios de referencia y sitios moderadamente cargados, BC: especies presente en

sitios con moderada y alta carga, ABC: especies presente en sitios de referencia y sitios altamente cargados.

$$RMI = \frac{\sum_{i=1}^{n_A} Q_{Ai} + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{n_{AB}} Q_{ABi} - \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{n_{BC}} Q_{BCi} - \sum_{i=1}^{n_C} Q_{Ci}}{\sum_{i=1}^{n_S} Q_{Si}}$$

Donde,

$Q_{Ai}$ : Abundancia de la especie  $i$  en el grupo A

$Q_{ABi}$ : Abundancia de la especie  $i$  en el grupo AB

$Q_{BCi}$ : Abundancia de la especie  $i$  en el grupo BC

$Q_{Ci}$ : Abundancia de la especie  $i$  en el grupo C

$Q_{Si}$ : Abundancia de la especie  $i$  en todos los grupos (taxa del grupo abc no se consideran)

$n_A$ : Número total de especies en el grupo A

$n_{AB}$ : Número total de especies en el grupo AB

$n_{BC}$ : Número total de especies en el grupo BC

$n_C$ : Número total de especies en el grupo c

$n_S$ : Número total de especies en todos los grupos (taxa del grupo abc no se consideran)

### Análisis de Índices Internacionales

El análisis comparativo de los índices internacionales se presenta en la tabla 3, de ella se desprende que el 62,5 % de los índices analizados miden trofia de manera cualitativa o cuantitativa y solamente el 37,5% mide estado ecológico. Del total de índices analizados sólo 6 utilizan taxones en su funcionamiento y solo cuatro de ellos exige una resolución taxonómica a nivel de especie. Esto es primordial cuando la identidad de la especie lleva asociado un valor de

sensibilidad y/o indicación para un factor de trofía determinado. Así también, al considerar los valores de cobertura de las distintas especies, el índice se hace más potente y es capaz de reflejar de mejor manera las condiciones de trofía del curso de agua en evaluación.

**Tabla 3.** Análisis comparativo de los índices internacionales.

Índice	Nivel Taxonómico Mínimo	Estado	Forma de Medición	Especies Consideradas	Valor de Sensibilidad	Abundancia (Cobertura)	Valor Indicador	Sitio de Referencia	Indicador de Trofia
MTR	Especie	Trófico	Cuantitativo	129	No	Si	Si	No	N, P
TIM	Especie	Trófico	Cuantitativo	49	Si	Si	Si	No	P
IBMR	Especie	Trófico	Cuantitativo	206	Si	Si	Si	No	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> , NH <sub>4</sub>
IM	Orden	Trófico	Cualitativo	Todas	No	Si	Si	No	-
RI	-	Ecológico	Cualitativo	Todas	No	Si	No	Si	-
IVAM	Género	Trófico	Cuantitativo	Todas	Si	Si	Si	Si	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> , NH <sub>4</sub>
RVI	-	Ecológico	Cuantitativo	Todas	No	Si	No	Si	-
RMI	Especie	Ecológico	Cualitativo	Todas	No	Si	Si	Si	-

### Glosario:

**Forma de medición:** Manera en la cual se expresa el índice, puede ser cuantitativa o cualitativa.

**Especies consideradas:** Hace referencia a las especies que participan en la ejecución del índice. Cuando se trata de todas las especies considera la totalidad de plantas en un tramo dado del río y no a un grupo específico para el cual hay valores de tolerancia y/o indicación definidos.

**Valor de sensibilidad:** Tolerancia de la especie de acuerdo a distintos rangos de trofia.

**Valor indicador:** Ponderación asignada a cada especie de acuerdo al indicador de trofia.

**Sitio de referencia:** Alude al uso de sitios de referencia del tramo fluvial en la ejecución del índice.

**Indicador de trofia:** Hace referencia al factor químico usado para indicar contaminación.

## 4.1.2. Descripción y Análisis de Índices Nacionales

### Descripción de Índices Nacionales

#### Caracterización de Ambientes Dulceacuícolas (CAD)

Fuente: San Martín et al. 2003

Origen: Chile

Forma: Cuantitativo

Medición: Estado trófico

Especies consideradas: 256 especies de plantas vasculares

### **Descripción:**

Si bien esta metódica no fue concebida como un índice propiamente tal, es una herramienta útil para caracterizar ambientes dulceacuícolas. Se inicia con el levantamiento de parcelas de muestreo en la zona a evaluar, en cada una de ellas se debe registrar la riqueza de especies y su respectiva abundancia, esta última estimada en porcentaje del área cubierta. Luego en la tabulación de datos se le asignan valores indicadores a las especies según su tolerancia al factor nitrógeno, de acuerdo a la valoración propuesta por Ellenberg (1974) y adaptada para Chile por Ramírez et al. (1991). Con este método se puede obtener un valor indicador para el sitio considerando la riqueza de especies por un lado y la cobertura de las mismas por otro, lo que le otorga mayor peso a la evaluación. Los valores indicadores que se le asignan a cada especie se mueven entre 1 y 9, y se interpretan según la siguiente cuadro:

Valoración	Característica
1	Sustratos muy pobres en N
2	Entre 1 y 3
3	Sustratos pobres en N
4	Entre 3 y 5
5	Sustratos con niveles medios de N
6	Entre 5 y 7
7	Sustratos ricos en N
8	Entre 7 y 9
9	Indicadoras de eutrofización
X	Indiferencia respecto al factor

### Índice de Calidad del Bosque de Ribera (OBR)

Fuente: Munné et al. 1998

Origen: España

Forma: Cuantitativo

Medición: Estado ecológico

Especies consideradas: Vegetación ripariana

### **Descripción:**

Este índice pone énfasis en cuatro aspectos fundamentales de los ecosistemas ribereños, 1) grado de cobertura vegetal, 2) estructura de la vegetación, 3) calidad de la cubierta vegetal y 4) grado de naturalidad del canal fluvial. La cobertura vegetal evalúa el grado de conectividad entre el área ribereña y los ecosistemas terrestres adyacentes. La estructura vegetacional evalúa la complejidad estructural del ecosistema ribereño. La calidad de la vegetación permite determinar la naturalidad de las formaciones vegetales presentes. Y el grado de naturalidad del canal fluvial considera las modificaciones realizadas al cauce. Cada uno de estos aspectos es valorado en una escala de 0 a 25, y la sumatoria de estos cuatro apartados fluctúa entre 0 y 100. Los valores de calidad resultante se distribuyen en cinco rangos de calidad, 1) > 95: estado natural, bosque de ribera sin alteraciones, 2) 90-75: calidad buena, bosque ligeramente perturbado, 3) 70-55: calidad aceptable, inicio de alteración importante, 4) 30-50: calidad mala, alteración fuerte, 5) < 25: calidad pésima, degradación extrema.

### *Índice de Hábitat Fluvial (IHF)*

Fuente: Pardo et al. 2002

Origen: España

Forma: Cuantitativo

Medición: Estado ecológico

Especies consideradas: Vegetación ripariana

### Descripción:

Este índice consta de siete bloques o apartados en los que se valora de manera independiente la presencia de distintos componentes en el cauce fluvial, tales como aspectos físicos del cauce relacionados con la heterogeneidad de hábitat y que dependen en gran medida de la hidrología y del sustrato existente. Entre éstos destacan, la frecuencia de rápidos, la existencia de distintos regímenes de velocidad y profundidad, el grado de inclusión y sedimentación en pozas, y la diversidad y representación de sustratos. También se evalúa la presencia y dominancia de distintos elementos de heterogeneidad, que contribuyen a incrementar la diversidad de hábitat físico y de las fuentes alimenticias, entre ellos materiales de origen alóctono (hojas, madera) y de origen autóctono, como la presencia de diversos grupos morfológicos de productores primarios. 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 a 100.

### Análisis de Índices Nacionales

En el ámbito nacional han sido pocos los índices utilizados y en general se han encargado de medir el estado ecológico de los ríos. Para lo anterior se considera la vegetación ripariana como hábitat y se evalúa su estado (conservación) en un tramo dado del río. Un análisis comparativo de los índices nacionales se entrega en la tabla 4.

**Tabla 4.** Análisis comparativo de los índices nacionales.

Índice	Nivel Taxonómico Mínimo	Estado	Forma de Medición	Especies consideradas	Valor de Sensibilidad	Abundancia (Cobertura)	Valor Indicador	Sitio de Referencia	Indicador de Trofia
CAD	Especie	Trófico	Cuantitativo	256	No	Si	Si	No	N
QBR		Ecológico	Cuantitativo	Todas	No	Si	No	No	-
IMF		Ecológico	Cuantitativo	Todas	No	No	No	No	-

### Glosario:

**Forma de medición:** Manera en la cual se expresa el índice, puede ser cuantitativa o cualitativa.

**Especies consideradas:** Hace referencia a las especies que participan en la ejecución del índice. Cuando se trata de todas las especies considera la totalidad de plantas en un tramo dado del río y no a un grupo específico para el cual hay valores de tolerancia y/o indicación definidos.

**Valor de sensibilidad:** Tolerancia de la especie de acuerdo a distintos rangos de trofía.

**Valor indicador:** Ponderación asignada a cada especie de acuerdo al indicador de trofía.

**Sitio de referencia:** Alude al uso de sitios de referencia del tramo fluvial en la ejecución del índice.

**Indicador de trofía:** Hace referencia al factor químico usado para indicar contaminación.

Mayor detalle referente a la revisión bibliográfica de los índices internacionales y nacionales se encuentra en el anexo 1.

#### **4.2.** Recopilación y sistematización de antecedentes bibliográficos respecto de la diversidad, abundancia y distribución de macrófitas en Chile.

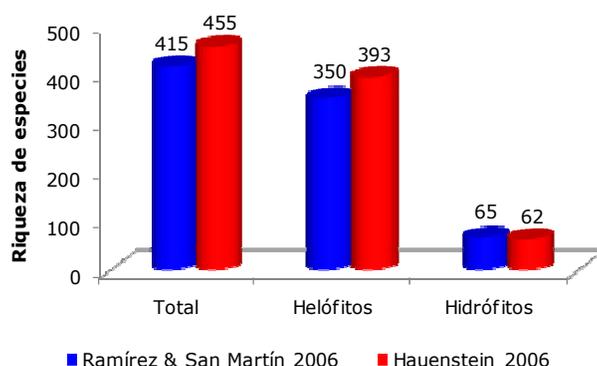
La búsqueda de literatura de diversidad de macrófitas a nivel nacional arrojó como resultado un total de 38 trabajos, de los cuales 29 corresponden a publicaciones científicas, 8 a capítulos de libros y 1 a ponencia de congreso (Tabla 5). Dichos estudios provienen principalmente de dos grupos de trabajo, el primero de la Universidad Austral de Chile y el segundo de la Universidad Católica de Temuco, y por ende la mayor parte de ellos han sido publicados en revistas científicas nacionales, mayor detalle se encuentra en el anexo 2.

**Tabla 5.** Información recopilada sobre diversidad de macrófitas en trabajos nacionales.

Años	Publicaciones Científicas		Capítulos de libros		Actas de congresos	
	Nº	%	Nº	%	Nº	%
1975-1980	5	13,1	--	--	--	--
1981-1985	3	7,9	1	2,6	--	--
1986-1990	3	7,9	--	--	1	2,6
1991-1995	3	7,9	--	--	--	--
1996-2000	5	13,1	1	2,6	--	--
2001-2005	4	10,5	1	2,6	--	--
2006-2010	3	7,9	3	7,9	--	--
2011-2015	3	7,9	2	5,3	--	--
<b>Sub-total</b>	<b>29</b>	<b>76,2</b>	<b>8</b>	<b>21,0</b>	<b>1</b>	<b>2,6</b>

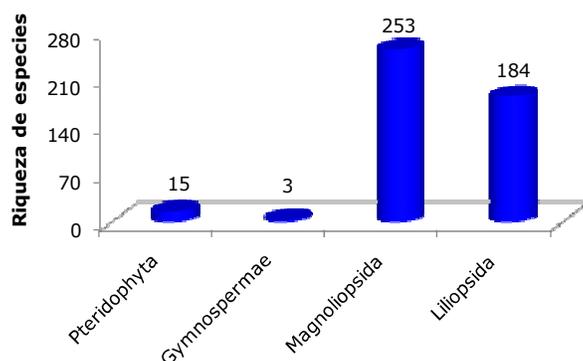
Las macrófitas de aguas continentales se pueden separar en dos grupos, plantas helófitas o palustres y plantas hidrófitas o acuáticas. El primero de ellos corresponde al conjunto de plantas que presentan sus raíces en el fango, la parte inferior de su vástago en el agua, pero la mayor parte del tallo y las hojas emergen al aire, donde fotosintetizan como una planta terrestre (Ramírez & San Martín 2006). También han sido definidas como el conjunto de plantas esencialmente terrestres, cuyas partes fotosintéticas activas toleran largos periodos ya sea sumergidas o flotando (Cook 1990). El segundo grupo hace referencia al conjunto de plantas capaces de alcanzar su ciclo regenerativo cuando todas sus partes vegetativas están sumergidas o son soportadas por agua, o aquellas que viven normalmente sumergidas pero que son inducidas a reproducirse sexualmente cuando sus fracciones vegetativas quedan expuestas debido a emersión (Chambers et al. 2008). Otra definición las caracteriza como el conjunto de plantas fisiológicamente unidas al agua, donde parte del ciclo reproductivo toma parte en o sobre la superficie del agua (Cook 1990).

Según Hauenstein (2006) el número total de macrófitas asciende a 455 especies, en tanto que Ramírez & San Martín (2006) consideran 415 taxa dentro de este grupo, mayores detalles se pueden ver en la figura 3.

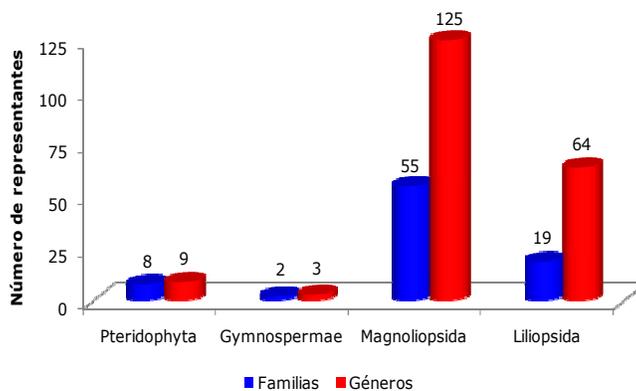


**Figura 3.** Riqueza total de macrófitas, helófitos e hidrófitos según Ramírez & San Martín (2006) y Hauenstein (2006).

Siguiendo a Hauenstein (2006), la totalidad de macrófitas abarcan cuatro grupos taxonómicos. En términos de representatividad de especies en primer lugar aparece la clase Magnoliopsida con un 55,6 % del total, sigue la clase Liliopsida con un 40,4 %, luego las Pteridophyta con un 3,3 % y finalmente las Gymnospermae con un 0,7 % (Figura 4). Esta tendencia continua si se considera el número de familias y géneros, ya que la clase Magnoliopsida se presenta como la más diversa con 55 familias y 125 géneros. En el extremo opuesto se ubican las Gymnospermae con sólo 2 familias y 3 géneros (Figura 5).

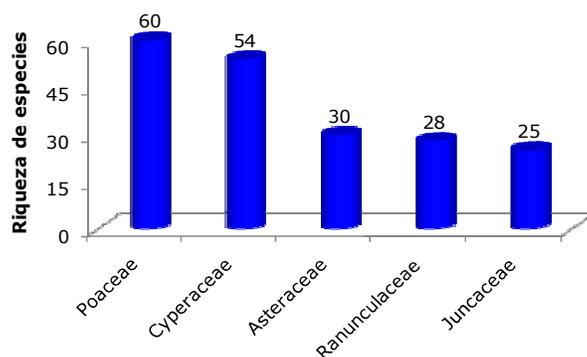


**Figura 4.** Riqueza de especies de macrófitas según grupo taxonómico.



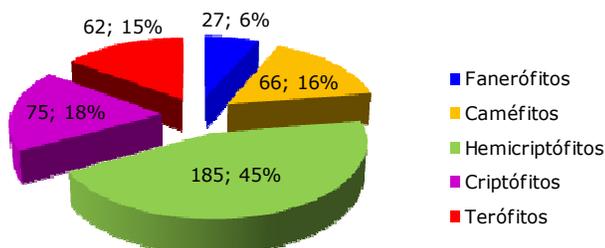
**Figura 5.** Riqueza de familias y géneros de Macrófitas según grupo taxonómico.

Las macrófitas presentan un total de 84 familias botánicas, de éstas las mejor representadas, es decir, las que contribuyen con el mayor número de especies son, Poaceae con un 13,1 % del total, Cyperaceae con un 11,8 %, Asteraceae con un 6,5 %, Ranunculaceae con un 6,1 % y Juncaceae con un 5,4 % (Figura 6).

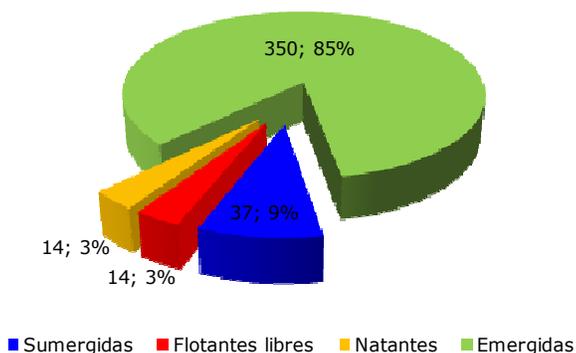


**Figura 6.** Riqueza de especies de las familias de macrófitas con mayor representación.

Según Ramírez & San Martín (2006), los macrófitas se distribuyen en cinco formas de vida, en primer lugar se encuentran los hemcriptófitos con un 45 % del total, siguen los criptófitos con un 18 %, los caméfitos con un 16 %, los terófitos con un 15 % y finalmente aparecen los fanerófitos con un 6 % del total de especies (Figura 7). En lo que respecta al hábito de crecimiento de los macrófitas, éstos se reparten en 4 categorías, la más abundantes son las emergidas que abarcan el 84 % del total de especies. En el extremo opuesto se encuentran las natantes y las flotantes libres cada una con un 3 % (Figura 8).



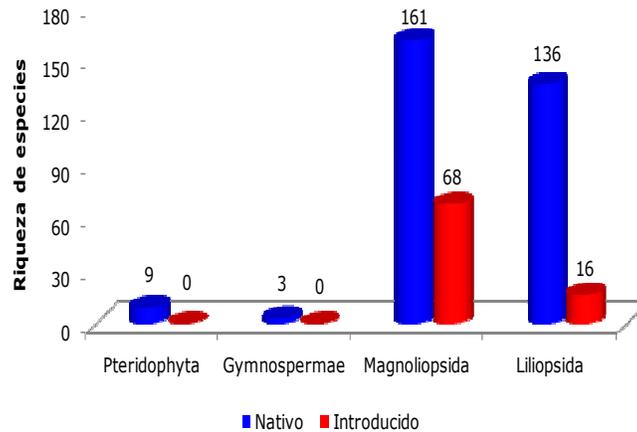
**Figura 7.** Riqueza de especies de macrófitas según forma de vida.



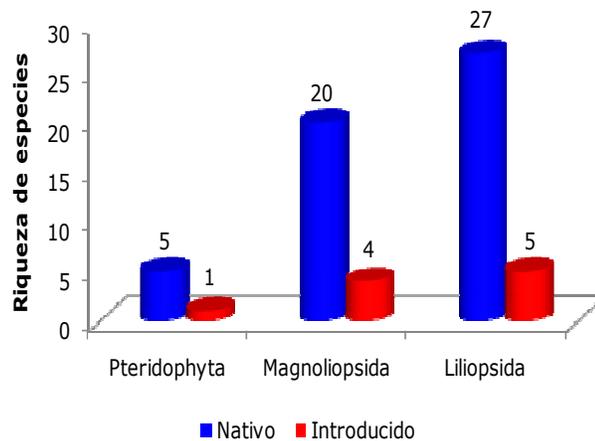
**Figura 8.** Riqueza de especies de macrófitas según hábito de crecimiento.

En términos más específicos y diferenciando los macrófitas entre helófitos e hidrófitos se tiene que el primer grupo se distribuye en cuatro categorías taxonómicas, siendo la más diversa la clase Magnoliopsida con 161 especies nativas y 68 introducidas. En el extremo opuesto se ubican las Gymnospermae con 3 especies nativas y ninguna introducida (Figura 9). El grupo de los hidrófitos se distribuye en tres categorías taxonómicas, donde la más diversa es la clase Liliopsida que presenta 27 especies nativas y 5 introducidas, en tanto que las

Pteridophyta presentan la menor diversidad con 5 especies nativas y sólo 1 introducida (Figura 10).



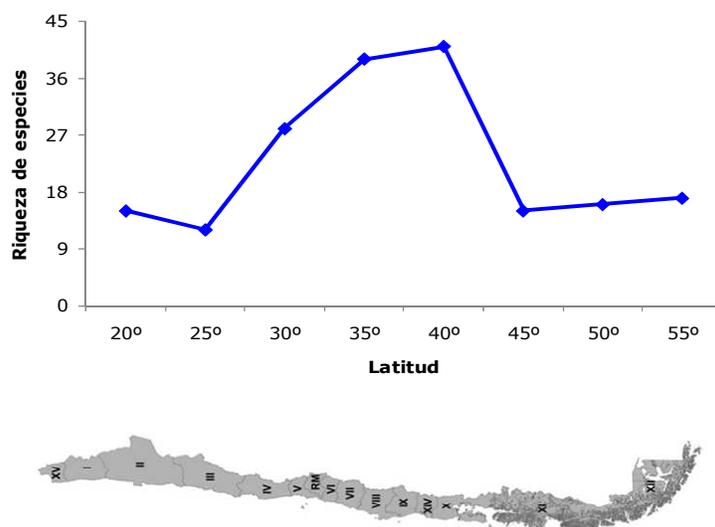
**Figura 9.** Riqueza de especies de helófitos según grupo taxonómico y origen geográfico.



**Figura 10.** Riqueza de especies de hidrófitos según grupo taxonómico y origen geográfico.

La distribución geográfica de macrófitas en general es poco conocida para el territorio nacional, y han sido los hidrófitos en donde se ha centrado la mayor atención. En este sentido, el menor número de especies se da en la Región de

Atacama a los 25° S, en tanto que en la Región Valdiviana ubicada a los 40° S se registra la mayor riqueza de especies (Figura 11). Esta situación se explica principalmente por el clima templado lluvioso y por la gran variedad de ambientes límnicos existente en esta región (Ramírez et al. 1986).



**Figura 11.** Distribución latitudinal de la riqueza de especies de hidrófitos (Fuente: Ramírez et al. 1986).

Respecto a la representación de hidrófitos, sólo cuatro se encuentran a lo largo de todo el país: *Potamogeton berterouanus*, *Zannichellia palustris*, *Myriophyllum quitense* y *Azolla filiculoides*. Con amplia distribución figuran: *Potamogeton pectinatus*, *Potamogeton strictus*, *Ruppia filifolia*, *Isoetes savatieri*, *Lilaeopsis macloviana*, *Myriophyllum aquaticum* y *Lemna gibba*. Presentando distribución restringida destacan: *Heterozostera tasmanica* (IV Región), *Potamogeton reniacoensis* (V Región), *Salvinia auriculata* (V Región), *Potamogeton malainus* (VII Región), *Potamogeton gayi* (XIV Región), *Potamogeton obtusifolius* (XIV Región) y *Aponogeton distachyos* (XIV Región).

#### **4.2.1. Revisión de la experiencia de la intercalibración establecida en la Directiva Marco del Agua en la Unión Europea.**

La Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, del 23 de octubre de 2000, establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas. Mediante esta directiva, la Unión Europea organiza la gestión de las aguas superficiales, continentales de transición, aguas costeras y subterráneas, con el fin de prevenir y reducir su contaminación, fomentar su uso sostenible, proteger el medio acuático, mejorar la situación de los ecosistemas acuáticos y paliar los efectos de las inundaciones y de las sequías. Los países están aplicando métodos de evaluación para evaluar el estado de los indicadores de calidad biológicos, es decir, seleccionando grupos de plantas o animales que habitan en el medio ambiente acuático (Unión Europea 2000).

Con la DMA el agua pasa de ser considerada en la Unión Europea (UE) de un simple recurso a contemplarse como el factor clave para la conservación de los sistemas vivos asociados al mismo. Esta legislación integral establece un marco de acción común en el ámbito de la política de aguas entre los 27 Estados miembros de la Unión Europea. La DMA obliga a los Estados miembros a clasificar la calidad ecológica de sus ríos, lagos, aguas costeras y estuarios (Birk 2009).

*“Los valores de los indicadores de calidad biológica para la superficie de agua en el cuerpo tipo muestran niveles bajos de distorsión causada por la actividad humana, pero sólo se desvían ligeramente de los valores normalmente asociados con el tipo de masa de agua superficial en condiciones inalteradas” (Unión Europea 2000).*

Esta definición de buen estado ecológico representa un elemento clave de la política europea del agua. La Unión compromete a sus Estados miembros a una conducta correcta hacia el medio acuático e impone medidas de restablecimiento si las masas de agua no logran alcanzar este objetivo. Por lo tanto, es de crucial importancia el concepto de buena calidad ecológica en la aplicación de la DMA. Sin embargo, la Directiva deja libre a los Estados miembros para poner esta definición bastante vaga en práctica: Por lo tanto, los países individuales están a

cargo de la elaboración de métodos de evaluación nacional y la clasificación del estado ecológico de sus masas de agua. Para comparar y armonizar las interpretaciones nacionales de un buen estado ecológico, la DMA establece un ejercicio de intercalibración (Heiskanen et al. 2004). El ejercicio de intercalibración podría definirse como: el proceso por el cual los países miembros de la Comunidad Europea comparan y armonizan los límites de clase de la calidad de sus métodos de evaluación biológica y establece un nivel común de medición entre los Estados miembros en la consecución de los objetivos de la DMA.

Idealmente, la intercalibración debe asegurar que, un cuerpo de agua de un país miembro de la comunidad que se encuentra en buen estado de acuerdo con el método de evaluación de dicho país clasificado como "buena", por el método de otro país u otros países miembros también obtenga la misma clasificación. Sin embargo, las comunidades biológicas de las aguas superficiales difieren entre países, incluso dentro de un mismo tipo de cuerpo de agua, en condiciones no influenciados por el hombre (Birk 2009). En lo que respecta únicamente a la clasificación de los ríos y lagos, se utilizan cuatro indicadores de calidad biológicos (fitoplancton, fitobentos y macrófitas, invertebrados bentónicos, peces), con más de 200 métodos de evaluación que deben ser intercalibrados entre los 27 Estados miembros de la Unión Europea. Esto da una idea del carácter difícil y complejo de intercalibración.

#### *Estado ecológico y condiciones de referencia según la DMA*

El concepto de estado ecológico difiere sensiblemente del concepto de calidad de las aguas y viene definido en la DMA como "una expresión de la calidad de la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas acuáticos asociado a las aguas superficiales".

Para poder establecer el estado ecológico de una masa de agua primero es necesario definir los elementos de calidad o indicadores (elementos del medio que presenten una respuesta a las presiones) que van a ser utilizados. Estos elementos de calidad o indicadores que deben considerarse para la clasificación

del estado ecológico para la categoría de masa de agua costera son los siguientes:

- Indicadores biológicos:
  - Composición abundancia y biomasa del fitoplancton.
  - Composición y abundancia de otro tipo de flora acuática.
  - Composición y abundancia de fauna bentónica de invertebrados.
- Indicadores hidromorfológicos que afectan a los indicadores biológicos.
- Indicadores químicos y fisicoquímicos que afectan a los indicadores biológicos.

Posteriormente, se debe determinar para cada una de las tipologías cuáles son las condiciones de referencia para cada elemento de calidad. Esto permitirá conocer cuál es el objetivo de calidad ecológica a mantener o restablecer en un tipo determinado.

Las condiciones de referencia para una masa de agua son una descripción de los elementos de calidad biológica que existen o existirían en el estado prístino con prácticamente ninguna o muy pocas alteraciones derivadas de las actividades humanas.

### *Identificación y análisis de las necesidades*

Los Estados miembros debieron especificar todas las cuencas hidrográficas situadas en su territorio e incluirlas en demarcaciones hidrográficas. Las cuencas hidrográficas que se extiendan por el territorio de más de un Estado se incorporarán a una demarcación hidrográfica internacional. En el año 2005 los Estados miembros presentaron un análisis de las características de cada demarcación hidrográfica, un estudio de la incidencia de la actividad humana sobre las aguas, un análisis económico del uso de las mismas y un registro de las zonas que necesitaban una protección especial. Elaboraron asimismo un registro

de todas las masas de agua utilizadas para la captación de agua destinada al consumo humano que proporcionen un promedio de más de 10 m<sup>3</sup> diarios, o que abastezcan a más de cincuenta personas.

### Medidas de gestión y protección

Nueve años después de la fecha de entrada en vigor de la Directiva, el 2009 se presentó un plan de gestión y un programa de medidas en cada demarcación hidrográfica teniendo en cuenta los resultados de los análisis y estudios realizados.

Las medidas previstas en el plan de gestión de la demarcación hidrográfica tuvieron por objeto:

- Prevenir el deterioro, mejorar y restaurar el estado de las masas de agua superficiales, lograr que estén en buen estado químico y ecológico y reducir la contaminación debida a los vertidos y emisiones de sustancias peligrosas.
- Proteger, mejorar y restaurar las aguas subterráneas, prevenir su contaminación y deterioro y garantizar un equilibrio entre su captación y su renovación.
- Preservar las zonas protegidas.

Los objetivos presentados anteriormente deberán alcanzarse en el plazo de quince años desde la entrada en vigor de la Directiva, pero dicho plazo podrá retrasarse o modificarse siempre que se respeten las condiciones establecidas por la Directiva.

Los Estados miembros fomentarán la participación activa de todas las partes interesadas por la aplicación de esta Directiva, en particular en lo que se refiere a los planes de gestión de las demarcaciones hidrográficas.

El deterioro temporal de las masas de agua no constituirá una infracción de la presente Directiva si es consecuencia de circunstancias excepcionales e imprevisibles ligadas a un accidente, una causa natural o un caso de fuerza mayor.

A partir del 2010, los Estados miembros deben garantizar que la política de tarificación incite a los consumidores a utilizar los recursos de forma eficaz y que los diferentes sectores económicos contribuyan a la recuperación de los costos de los servicios relacionados con el uso del agua, incluidos los costos medioambientales y de recursos.

Los Estados miembros deben establecer regímenes que contemplen sanciones efectivas, proporcionadas y disuasorias en caso de infracción de esta Directiva.

#### Medidas administrativas

A más tardar doce años después de la fecha de entrada en vigor de la Directiva y luego cada seis años, la Comisión publicará un informe sobre su aplicación; convocará, además, una conferencia de las partes interesadas en la política comunitaria de aguas, en la que participarán los Estados miembros y representantes de las autoridades competentes, el Parlamento Europeo, las ONG, los interlocutores sociales y económicos, los consumidores, las universidades y otros expertos.

#### La DMA y los macrófitas

La puesta en marcha de esta Directiva en toda Europa, ha supuesto un cambio notable en la forma de evaluar el estado ecológico de las aguas continentales, sobre todo al incluir indicadores biológicos. En cada demarcación hidrográfica se han diferenciado los denominados "tipos fluviales" de masas de agua, a partir de los datos físico-químicos, hidromorfológicos y usos del territorio. Para cada tipo

fluvial hay que tipificar unas "Condiciones de referencia (CR)" y calcular el estado ecológico de las masas de agua, clasificándolas en base a la medición cuantitativa de su desviación con respecto a las "Condiciones de referencia/tipo". Los elementos biológicos requeridos para la clasificación del estado ecológico en ríos y lagos incluyen el estudio de la composición y abundancia de la flora acuática, que incluye a macrófitas y fitobentos (diatomeas). Esta definición nos da un concepto claro de lo que significa lo que se denomina "High ecological status". No obstante, en la propia DMA no está muy especificado el valor que se tiene que asignar a los aspectos ecológicos de "estructura y función", limitándose a medir las desviaciones en "la composición y abundancia de la flora acuática". Esta desviación del "High status" será dependiente del peso que se de a los diferentes aspectos de la "estructura y función" y del método de evaluación que se seleccione, generalmente métricas o índices (Cambra-Sánchez et al.2009).

#### Valor indicador de los macrófitas

El uso de los macrófitas como indicadores del estado ecológico está claramente señalado en la DMA, y procede de experiencias realizadas, en Europa, en el marco de la vigilancia de la calidad de las aguas en aplicación de otras Directivas europeas: Directiva de tratamiento de aguas urbanas residuales (91/271/EEC), Directiva de nitratos (91/676/EEC), y de normativas de diferentes países. En los EE.UU. los macrófitas se usan como indicadores de forma habitual y existen procedimientos estandarizados para el muestreo y procesado de muestras (Environmental Protection Agency).

En España, las experiencias con indicadores basados en macrófitas (especialmente en hidrófitos) se limitan en muchos casos al ámbito de la investigación, y éstos todavía no se han incluido en las redes de control de calidad gestionadas por la Administración.

En el marco de la aplicación de la DMA, los macrófitas se consideran útiles para la detección y seguimiento de las presiones fisicoquímicas que produzcan:

- Reducción de la transparencia del agua.
- Variación de la mineralización (conductividad y salinidad).
- Eutrofia

Los macrófitas también son sensibles a las presiones hidromorfológicas que produzcan:

- Variaciones del régimen de caudal, continuidad del río y características morfológicas del lecho en ríos.
- Variación del nivel del agua en lagos o cambios en la duración del periodo de inundación en humedales.
- Variación de las características morfológicas del vaso en lagos.

En el análisis del valor indicador de los macrófitas hay que tener en cuenta los siguientes aspectos:

#### *Hidrófitos (macroalgas, briófitos y cormófitos)*

- Son sensibles a los cambios de calidad fisicoquímica (nutrientes, mineralización, temperatura, transparencia), al igual que las microalgas; no obstante a diferencia de éstas tienen un tiempo de respuesta mayor, o sea que son indicadores de cambios a medio y largo plazo (las microalgas son indicadoras a corto plazo). La comunidad de hidrófitos presente en una estación refleja las condiciones de calidad existentes durante los últimos meses o incluso años. La desaparición de una especie de un sistema acuático (especialmente las de pequeño tamaño) puede ser altamente significativo.
- Reflejan las alteraciones hidromorfológicas relacionadas con la estabilización del caudal en los ríos. La respuesta suele ser el aumento de la cobertura de las especies.

- No todos los hidrófitos tienen el mismo valor indicador. El nivel taxonómico de especie es esencial para poder utilizarlos como indicadores. Su utilidad a nivel de género queda reducida al valor de presencia o ausencia.
- El valor indicador de la abundancia (biomasa) está influenciado por variaciones anuales e interanuales, luego su uso como indicador del estado ecológico está limitado y en todo caso debe acotarse dentro de cada tipo de masa de agua, y analizarse para un periodo de tiempo de varios años.

Existen distintas experiencias de intercalibración realizadas con índices de macrófitas principalmente en Unión Europea, en cuerpos de agua mediterráneos, de los cuales los de análisis de estados tróficos son escasos siendo mayormente utilizados los índices de estado ecológico y sólo un 20% corresponde a índices de estado trófico (Tabla 6).

**Tabla 6.** Experiencias de Intercalibración de índices de macrófitas.

Experiencia de la intercalibración		
Título	Autores	Índices utilizados
Intercalibración de la metodología GUADALMED. Selección de un protocolo de muestreo para la determinación del estado ecológico de los ríos mediterráneos	Bonada N, N Prat, A Munné et al.	<b>QBR, IHF</b>
Metodología para el establecimiento del estado ecológico según la directiva marco del agua en la Confederación Hidrográfica del Ebro.	Cirujano S, J Cambra & C Gutiérrez.	<b>IM, IBMR,E/P-I, TIM, MTR.</b>
Intercalibration of national methods to assess the ecological quality of rivers in Europe using benthic invertebrates and aquatic flora	Vorgelegt V, S Birk, &GBotrop.	<b>RI, IBM, DMS, MTR</b>
Evaluación de ribera y habitat fluvial a través de los índices QBR e IHF	Palma A, R Figueroa & V.H Ruiz.	<b>QBR, IHF</b>
Caracterización del estado ecológico de ríos mediterráneos ibéricos mediante el índice IBMWP (antes BMWP').	Tercedor J, P Jáimez-Cuéllar et al.	<b>QBR, IHF</b>
Propuesta de un índice de macrófitas	Suárez M, A Mellado, M <sup>a</sup>	<b>IM</b>

(IM) para evaluar la calidad ecológica de los ríos de la cuenca del Segura	Sánchez-Montoya et al.	
Choosing the best method for stream bioassessment using macrophyte communities: Indices and predictive models.	Aguiar F, M Feio & M Ferreira.	<b>MTR, RVI.</b>
Macrophyte-based bioindication in rivers - A comparative evaluation of the reference index (RI) and the trophic index of macrophytes (TIM)	Fabris M, S Schneider & A Melzer.	<b>RI, TIM</b>

**4.3.** Caracterización del nicho ecológico de macrófitas potencialmente indicadores (especialmente en función de sus respuestas a cambios fisicoquímicos de la calidad del agua, tales como nutrientes y pH) a nivel de familia, género y/o especie.

En la Tabla 7 se presentan algunos rasgos de vida de las 21 especies de macrófitas indicadores que prosperan entre la región de La Araucanía y de Los Lagos. En ella destacan las especies introducidas, los criptófitos como forma de vida, las emergentes como hábito de crecimiento, la reproducción vegetativa, la polinización mediada por insectos (entomófila) y la dispersión hidrocora.

**Tabla 7.** rasgos de vida de los macrófitas indicadores seleccionados. OG: origen geográfico, I: introducido, N: nativo; FV: forma de vida, C: caméfito, Cr: criptófito, F: fanerófito, H: hemicriptófito, T: terófito; E: emergente, Fl: flotante libre, N: natante, S: sumergido; SI: sin información, NA: no aplica.

<b>Especie/Familia</b>	<b>OG</b>	<b>Distrib</b>	<b>FV</b>	<b>Hábito</b>	<b>Reprod</b>	<b>Polinización</b>	<b>Dispersión</b>
<i>Alisma lanceolatum</i> Alismataceae	I	V-X	H	E	Semillas	Entomófila	Anemocora
<i>Alisma plantago-aquatica</i> Alismataceae	I	V-X	H	E	Semillas	Entomófila	Anemocora
<i>Alnus glutinosa</i> Betulaceae	I	IV-X	F	E	Semillas	Anemófila	Hidrocora
<i>Apium nodiflorum</i> Apiaceae	I	III-X	H	E	Vegetativa	SI	Hidrocora
<i>Azolla filiculoides</i> Azollaceae	N	XV-XII	Cr	Fl	Vegetativa	NA	Hidrocora
<i>Bidens laevis</i> Asteraceae	I	V-X	H	E	Vegetativa	Entomófila	Zoocora
<i>Callitriche palustris</i> Callitrichaceae	I	IV-X	Cr	S	Vegetativa	Hidrófila	Hidrocora
<i>Callitriche stagnalis</i> Callitrichaceae	I	IX-X	Cr	S	Semillas	Hidrófila	Zoocora
<i>Callitriche terrestris</i> Callitrichaceae	N	II-XI	Cr	E	Vegetativa	Hidrófila	SI
<i>Cardamine bonariensis</i> Brassicaceae	I	XV-XII	T	E	Vegetativa	Entomófila	SI
<i>Galega officinalis</i> Fabaceae	I	V-X	C	E	Semillas	Entomófila	Hidrocora
<i>Hydrocotyle ranunculoides</i> Apiaceae	I	IV-X	Cr	N	Vegetativa	Auto	Hidrocora
<i>Isoetes chubutiana</i> Isoetaceae	N	V-XI	Cr	S	Vegetativa	NA	Hidrocora
<i>Isolepis cernua</i> Cyperaceae	N	XV-XII	H	E	Vegetativa	Anemófila	Hidrocora
<i>Isolepis inundata</i> Cyperaceae	N	IV-X	H	S	Vegetativa	Anemófila	Hidrocora
<i>Ludwigia peploides</i> Onagraceae	I	III-X	Cr	N	Vegetativa	Entomófila	Hidrocora
<i>Mimulus bridgesii</i> Phrymaceae	N	V-X	H	E	Semillas	Entomófila	SI
<i>Mimulus luteus</i> Phrymaceae	N	III-XI	C	E	Semillas	Entomófila	SI
<i>Nasturtium officinale</i> Brassicaceae	I	XV-XI	Cr	E	Semillas	Auto	Hidrocora
<i>Potamogeton pusillus</i> Potamogetonaceae	I	II-X	Cr	S	Vegetativa	Anemófila	Hidrocora
<i>Veronica anagallis-aquatica</i> Plantaginaceae	I	XV-XI	Cr	E	Semillas	Entomófila	Hidrocora

En la Tabla 8 se presentan las variables de nicho ecológico de las 21 especies de macrófitas seleccionadas. Dichas variables fueron definidas debido a la

importancia que tienen en el desarrollo de macrófitas y están ordenadas de acuerdo a la relevancia que tienen para el desarrollo del índice. En primer lugar se encuentra la tolerancia a la contaminación, donde se consideran 18 especies indicadoras de altos niveles de nitrógeno orgánico y 3 de niveles bajos. Los nutrientes siempre están disponibles en el agua y ante la ausencia de fijadores las plantas juegan un importante rol, por lo tanto, cuando aumentan los nutrientes el crecimiento de los macrófitas puede ser muy rápido (Ramírez et al. 1982). En segundo lugar aparece el tipo de sustrato en el cual la especie prolifera, esto es fundamental en el establecimiento de macrófitas arraigados al sedimento, especialmente en los cursos inferiores de los sistemas lóticos debido al aquietamiento de la corriente. El sustrato más adecuado para el establecimiento de macrófitas es el fango (Ramírez & San Martín 2006). La tercera variable es la velocidad de corriente que son capaces de soportar las especies, lo cual está fuertemente relacionado con el transporte de sedimentos; es además un factor crucial para las especies flotantes libres y de gran relevancia en las plantas natantes, ya que puede restringir su presencia (Ramírez et al. 1982). Por último se encuentra la profundidad del cuerpo de agua, esta variable restringe el crecimiento de plantas acuáticas por un aumento de la presión o por disminución de la intensidad de luz, ésta última disminuye paulatinamente con la profundidad, lo que también repercute en la capacidad de las especies para realizar fotosíntesis (Ramírez et al. 1982).

**Tabla 8.** variables de nicho ecológico de las especies de macrófitas indicadoras seleccionadas. SI: sin información, NA: no aplica.

<b>Especie</b>	<b>Tolerancia</b>	<b>Sustrato</b>	<b>Velocidad</b>	<b>Profundidad</b>
<i>Alisma lanceolatum</i>	Alta	Fangoso	Baja	20 cm
<i>Alisma plantago-aquatica</i>	Alta	Fangoso	Baja	40 cm
<i>Alnus glutinosa</i>	Alta	Fangoso-pedregoso	Baja	30 cm
<i>Apium nodiflorum</i>	Alta	Fangoso	Baja	SI
<i>Azolla filiculoides</i>	Alta	NA	Muy baja	7 m
<i>Bidens laevis</i>	Alta	Fangoso-pedregoso	NA	NA
<i>Callitriche palustris</i>	Alta	Fangoso	Muy baja	60 cm
<i>Callitriche stagnalis</i>	Alta	Fangoso	Muy baja	60 cm
<i>Callitriche terrestris</i>	Alta	Fangoso	NA	NA
<i>Cardamine bonariensis</i>	Alta	Arenoso-pedregoso	Baja	SI
<i>Galega officinalis</i>	Alta	Arenoso-pedregoso	NA	NA
<i>Hydrocotyle ranunculoides</i>	Alta	Fangoso	Baja	60 cm
<i>Isoetes chubutiana</i>	Baja	Fangoso	Muy baja	30 cm

<i>Isolepis cernua</i>	Baja	Fangoso	Baja	SI
<i>Isolepis inundata</i>	Baja	Fangoso	Baja	SI
<i>Ludwigia peploides</i>	Alta	Fangoso	Baja	3 m
<i>Mimulus bridgesii</i>	Alta	Pedregoso	Baja	SI
<i>Mimulus luteus</i>	Alta	Pedregoso	NA	NA
<i>Nasturtium officinale</i>	Alta	Fangoso	Baja	20 cm
<i>Potamogeton pusillus</i>	Alta	Fangoso	Baja	6 m
<i>Veronica anagallis-aquatica</i>	Alta	Fangoso	Baja	SI

**4.4.** Evaluación de la correlación existente entre macrófitas indicadores y las tendencias históricas de nutrientes registrados en sistemas lóticos de Chile según datos históricos de monitoreo de la DGA.

**a) Análisis de datos de la DGA correspondientes a las secciones alta, media y baja de la cuenca del río Imperial.**

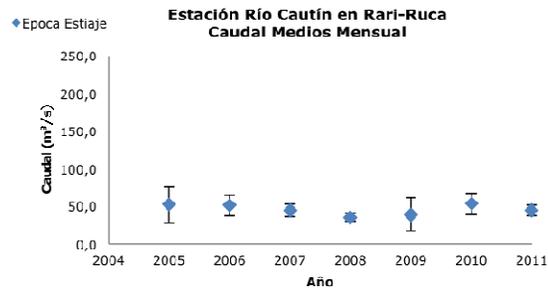
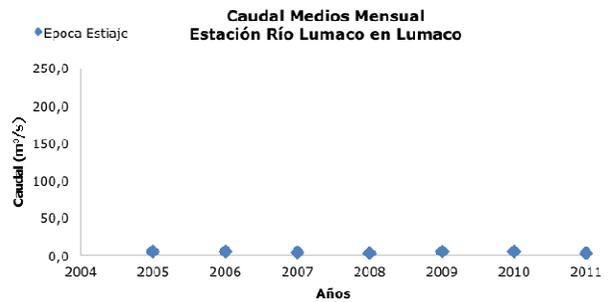
➤ **Sección Alta**

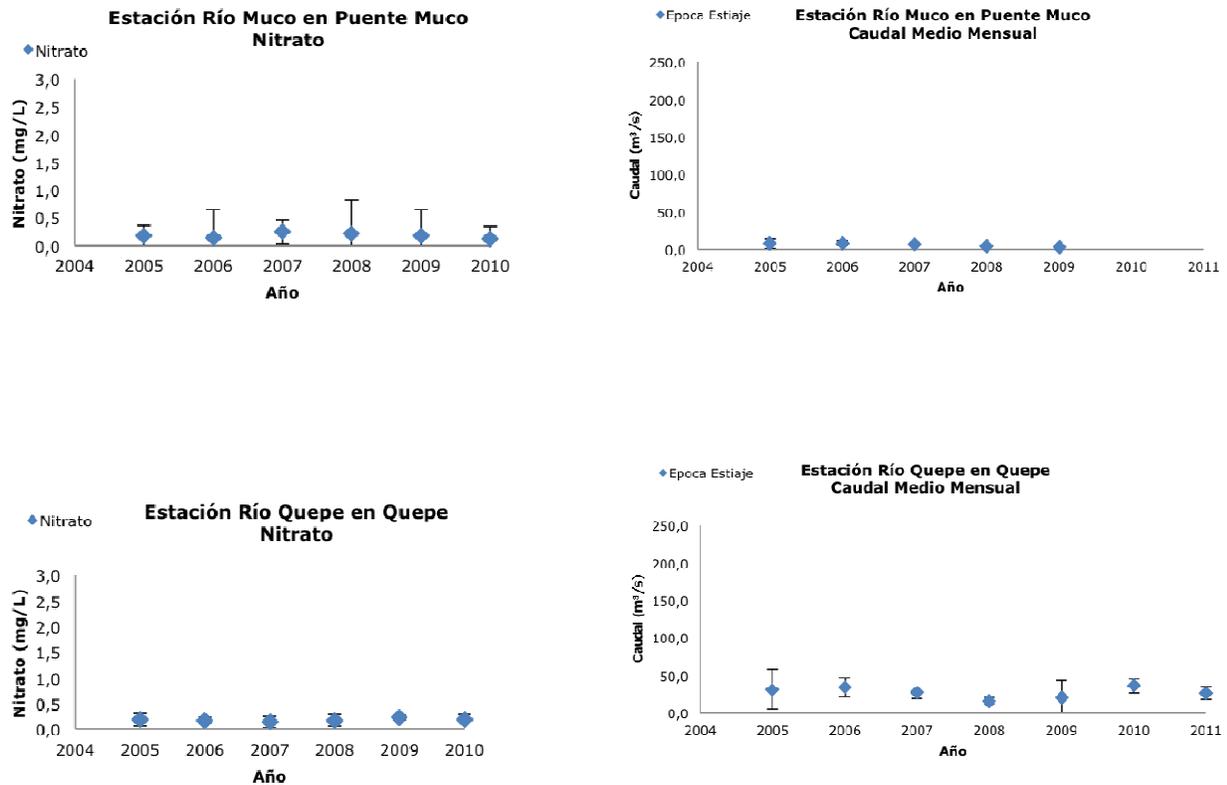
A partir de la base de datos de parámetros físico químico proporcionados por la dirección general de aguas se seleccionó el nitrato ya que este parámetro es uno de los que tiene mayor influencia en la presencia de macrófitas indicadoras de contaminación orgánica. En la sección alta de la cuenca del río Imperial se trabajaron cuatro estaciones de monitoreo en los periodos del año 2005 al 2010 para el nitrato y en el periodo del año 2005 al 2011 para los datos de caudal (Tabla 9).

**Tabla 9.** Estaciones de monitoreo de la Dirección General de Aguas, para la sección alta de la Cuenca del río Imperial.

Estación	SubCuenca	Coordenadas UTM	
		Norte	Este
Río Lumaco en Lumaco	Río Lumaco	5775388	684017
Río Cautín en Rari-Ruca	Cautín Alto -(hasta antes junta R. Quepe)	5742138	760963
Río Muco en Puente Muco	Cautín Alto -(hasta antes junta R. Quepe)	5722524	724927
Río Quepe en Quepe	Río Quepe	5697098	706836

La Figura 12, en general muestra un patrón similar de las concentraciones de nitrato entre los años 2005 al 2007 con un leve aumento hacia el año 2009, sin embargo éstas se mantiene inferiores a 0,3 mg/L. Por otro lado el caudal presenta un comportamiento similar entre las estaciones, disminuyendo entre los años 2005 al 2008 y con un leve aumento en el año 2009





**Figura 12.** Estaciones de monitoreo para la sección alta de la cuenca del río Imperial.

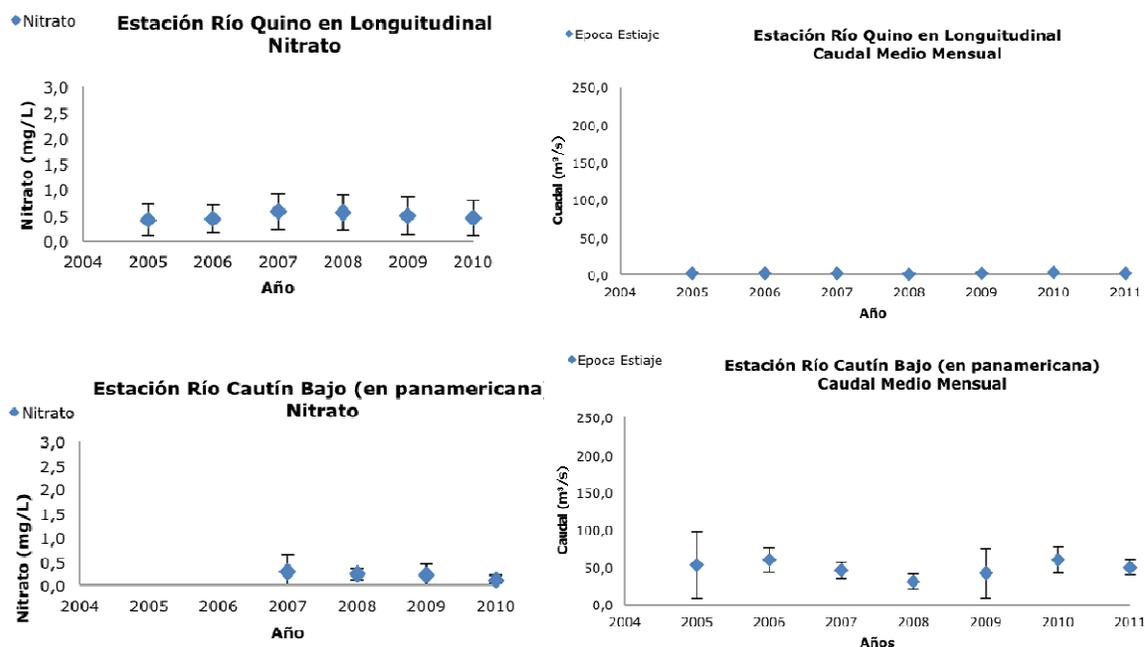
➤ **Sección Media**

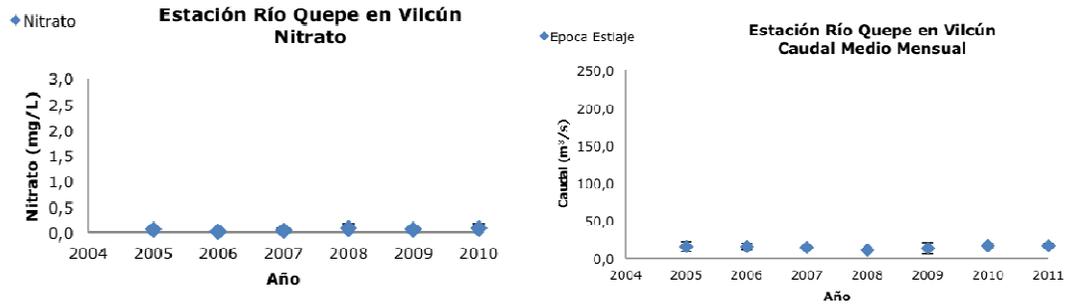
En la sección media de la cuenca del río Imperial se encuentran tres estaciones de monitoreo, registrándose datos de nitrato entre el periodo de los años 2007 al 2010 para la estación Cautín bajo y para la estación de río Quino. La estación río Quepe presentará registros entre los años 2005 al 2010 y para los datos de caudal para todas las estaciones en los periodos del año 2005 al 2011 (Tabla 10).

**Tabla 10.** Estaciones de monitoreo de la Dirección General de Aguas, para la sección media de la Cuenca del río Imperial.

Estación	SubCuenca	Coordenadas UTM	
		Norte	Este
Río Quino en Longitudinal	Río Lumaco	5757588	728829
Río Cautín Bajo Temuco (Panamericana)	Cautín Alto -(hasta antes junta R. Quepe)	5708196	707123
Río Quepe en Vilcún	Río Quepe	5714658	740670

La Figura 13 muestra un patrón de comportamiento similar entre las estaciones de ésta sección de la cuenca del río Imperial, produciéndose un aumento en las concentraciones de nitrato hacia el año 2007 y una disminución desde el año 2007 al 2010. Para los datos de caudal se produce una relación similar a la presentada en la sección alta de la cuenca con una disminución de caudal entre el año 2007 al 2008 y un aumento para las tres estaciones entre los años 2009 y 2010 y una nueva disminución el año 2011.





**Figura 13.** Estaciones de monitoreo para la sección media de la cuenca del río Imperial.

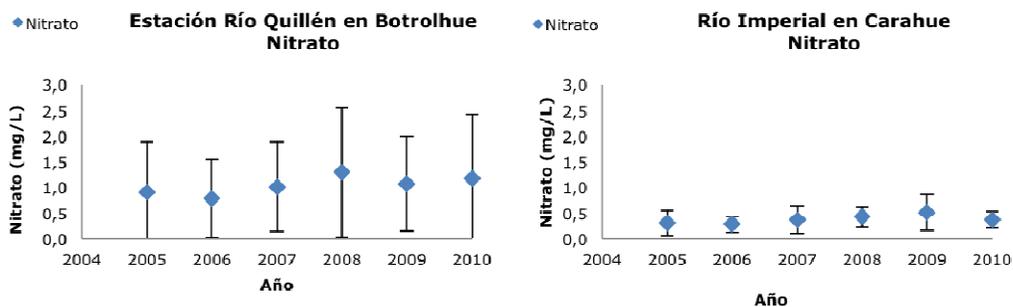
➤ **Sección Baja**

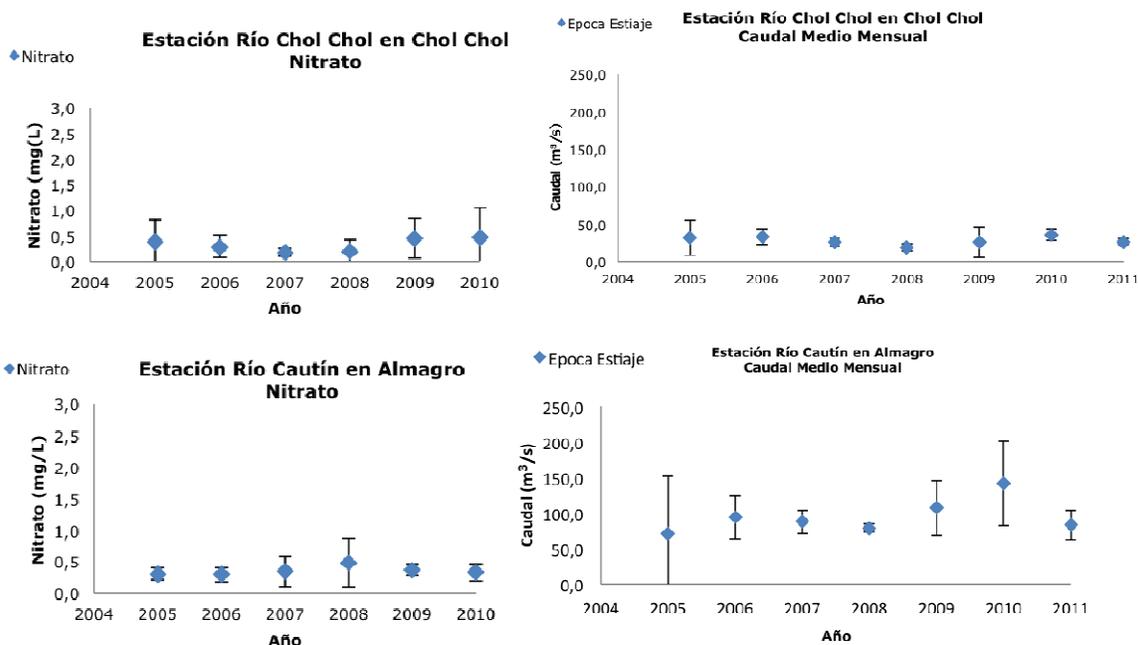
En la sección baja de la cuenca del río Imperial se encuentran cuatro estaciones de monitoreo de calidad química del agua y dos estaciones fluviométricas, con registros para los datos de nitrato entre los años 2005 al 2010 y para los datos de caudal entre los años 2005 al 2011 (Tabla 11).

**Tabla 11.** Estaciones de monitoreo de la Dirección General de Aguas, para la sección baja de la Cuenca del río Imperial.

Estación	SubCuenca	Coordenadas UTM	
		Norte	Este
Río Quillen en Botrolhue	Río Chol Chol	5745659	689165
Río Chol Chol en Chol Chol	Río Chol Chol	5724447	687406
Río Cautín en Almagro	Río Cautín entre R. Quepe y R.Chol Chol	5705562	678343
Río Imperial en Carahue	Río Imperial	5714876	657983

La Figura 14 muestra que la sección baja de la cuenca presenta un patrón similar entre los años analizados, con una disminución en las concentraciones entre los años 2005 al 2007, un y aumento el año 2008 para continuar con una disminución entre los años 2009 y 2010, en cuanto a las dos estaciones fluviométricas analizadas están presentan un patrón similar, con una disminución entre los años 2005 al 2008 y un leve aumento en el caudal entre los años 2009 y 2010 y una clara baja en el año 2011.



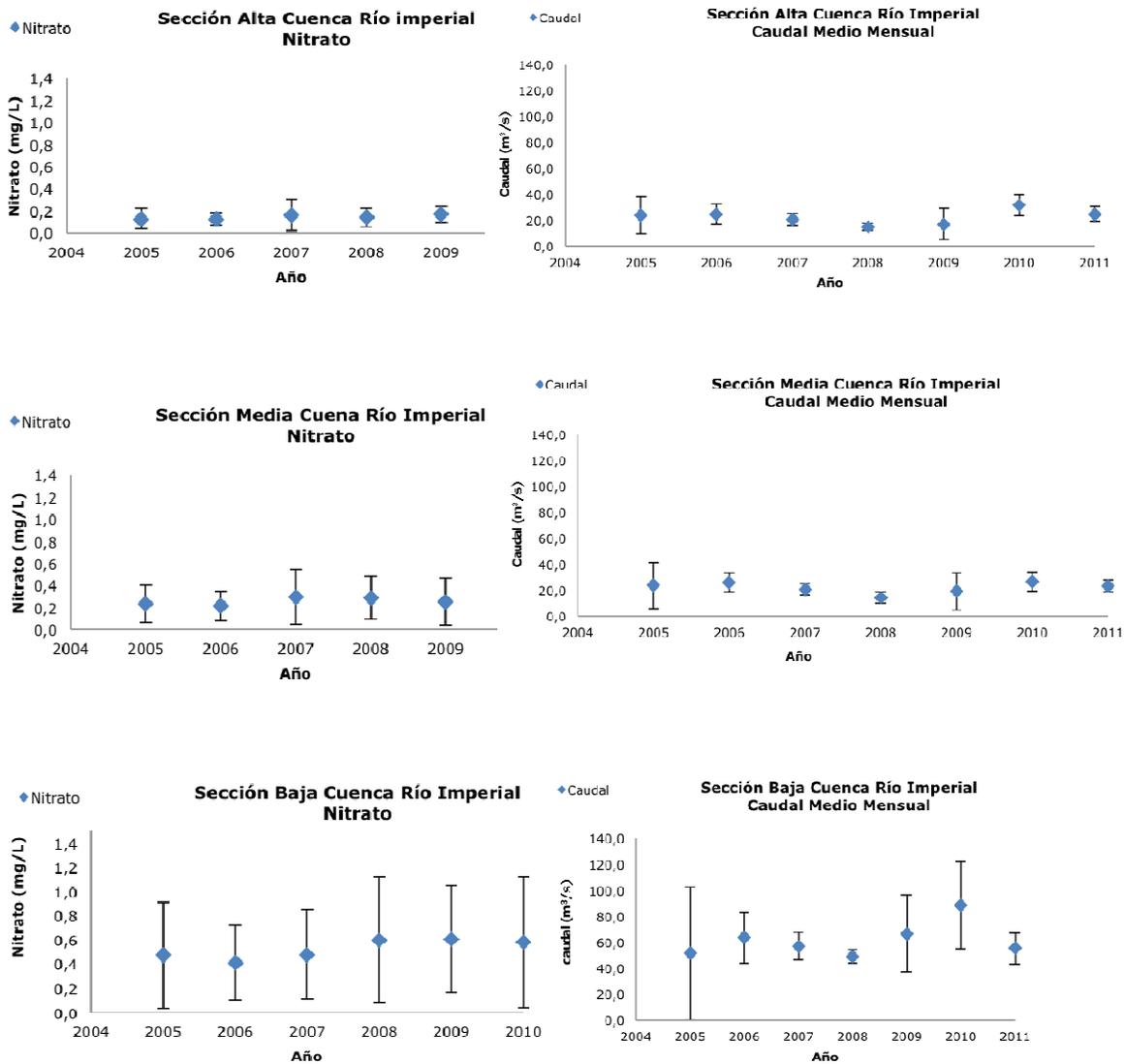


**Figura 14.** Estaciones de monitoreo para la sección baja de la cuenca del río Imperial.

➤ **Análisis Integrado de la cuenca**

Al analizar de forma conjunta las diferentes estaciones considerando el promedio de los promedios anuales para todas las estaciones localizadas por sección alta, media y baja, se puede concluir que existe una relación entre las estaciones de cada sección dentro de la cuenca y un patrón para los parámetros analizados. El patrón general para el nitrato presenta un aumento de su concentración entre los años 2005 y 2007 y una leve disminución entre los años 2008 y 2010. No obstante la Figura 5 muestra diferencias en los promedios

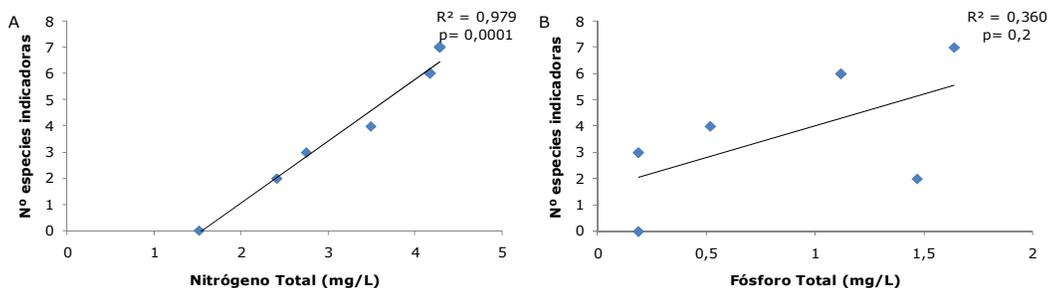
generales entre las secciones de la cuenca observándose un aumento de la concentración de nitrato en la sección baja respecto de las secciones media y alta. Los datos de caudal muestran un patrón inverso al descrito previamente, es decir, disminución del caudal entre los años 2005 al 2008 y posteriormente se registra un aumento hacia el año 2011 (Figura 15). Sin embargo los promedios generales de caudal por sección de la cuenca muestran importantes diferencias entre las secciones con un aumento del caudal hacia la sección baja de la cuenca.



**Figura 15.** Análisis en conjunto por sección para las estaciones de la cuenca del río Imperial

**b) Relación entre fuentes puntuales de contaminación orgánica y respuesta de macrófitas indicadores**

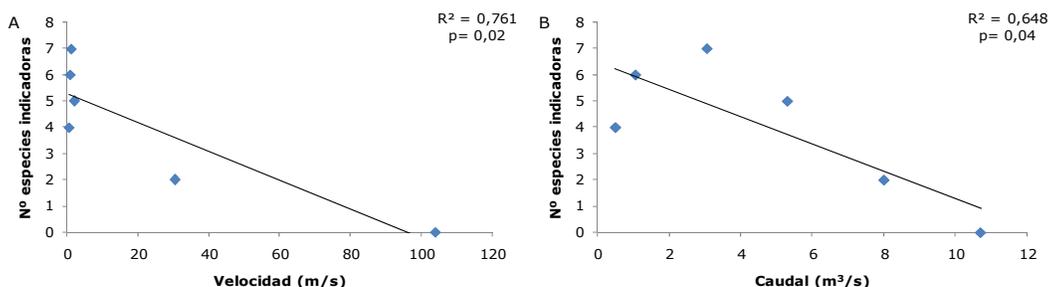
El análisis de nutrientes provenientes de las fuentes puntuales de contaminación orgánica, muestra un relación positiva con el número de macrófitas indicadores de contaminación. Éstos señalan que a medida que aumenta la concentración de nitrógeno (Figura 16A) y fósforo total (Figura 61B) aumenta también el número de especies indicadoras. Si bien los dos nutrientes muestran la misma tendencia, sólo para el caso del nitrógeno hay significancia ( $p= 0,0001$ ). Es importante señalar también que para este factor, sobre los 4 mg/L aparecen 7 especies indicadoras de contaminación, entre las cuales se pueden citar: *Callitriche stagnalis*, *Hydrocotyle ranunculoides*, *Mimulus luteus* y *Nasturtium officinale*.



**Figura 16.** Regresión lineal para nitrógeno (A) y fósforo total (B) con el número de especies de macrófitas indicadores de contaminación orgánica.

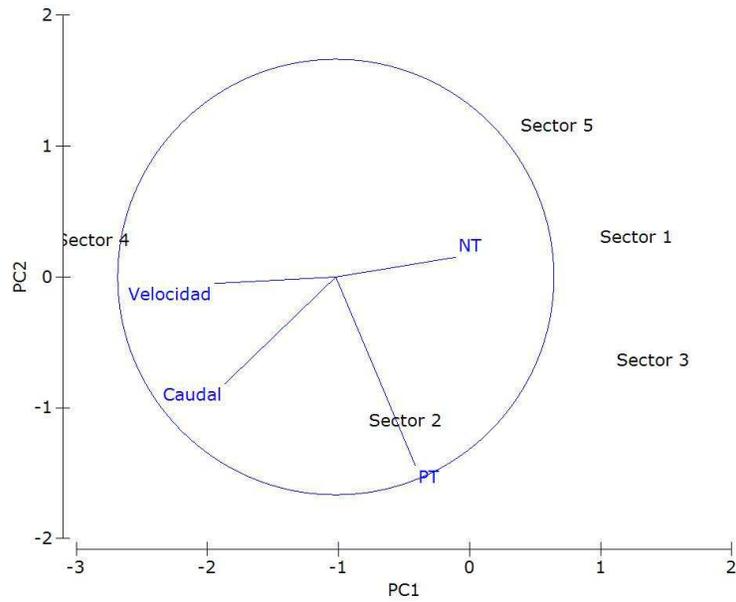
En relación a los parámetros hidrológicos medidos en terreno y que son de importancia en el desarrollo de la vegetación de macrófitas, las regresiones lineales muestran que conforme aumenta la velocidad de corriente (Figura 17A) y el caudal (Figura 17B) del cuerpo de agua, disminuye el número de especies indicadoras. Ambos parámetros exhiben la misma tendencia y son significativos,

por lo tanto se refuerza la idea de su importancia en el establecimiento de estas especies. Cabe señalar también que con una velocidad de corriente de agua superior a los 100 m/s y un caudal mayor 10 m<sup>3</sup>/s, los macrófitas indicadores de contaminación orgánica desaparecen completamente.



**Figura 17.** Regresión lineal para velocidad de corriente (A) y caudal (B) con el número de especies de macrófitas indicadores de contaminación orgánica.

El análisis de componentes principales que se muestra en la Figura 18, deja ver que los dos primeros componentes explican un 97,7 % de la variabilidad. El primero de ellos está en relación directa con el nitrógeno total y en relación inversa con la velocidad de corriente (Tabla 12). El segundo componente principal en tanto, muestra una relación inversa con el fósforo total y con el caudal (Tabla 11).



**Figura 18.** Análisis de componentes principales (PCA) para las variables ambientales medidas.

**Tabla 12.** Valores de las variables por cada componente principal.

Variable	PC1	PC2	PC3	PC4
NT	0,548	0,091	0,755	0,349
PT	0,365	-0,866	-0,003	-0,342
Velocidad	-0,554	-0,030	0,648	-0,522
Caudal	-0,509	-0,490	0,106	0,699

**4.5.** Desarrollar un índice de macrófitas para evaluar el estado trófico en ecosistemas lóticos de Chile.

**Paso 1:** Recopilación de datos

El desarrollo del índice tuvo como primera tarea de gabinete la recopilación y ordenamiento de datos propios provenientes de prospecciones florísticas realizadas en 16 Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas (PTAS) ubicadas en el centro-sur de Chile. La información base consistió en cuatro relevamientos florísticos en cada una de las PTAS, dos situadas aguas arriba de la descarga y dos localizadas aguas abajo de la misma. Lo anterior arrojó como resultado una base de datos robusta con 64 estaciones de muestreo e información de riqueza y abundancia relativa de Macrófitas y parámetros físico-químicos como conductividad, DBO, DQO, fosforo total, nitratos, nitritos, ph, oxígeno disuelto y temperatura.

**Paso 2:** Índices de referencia

El desarrollo del índice tomó como base dos trabajos europeos en los cuales se determina el valor de tolerancia a la contaminación orgánica de muchas especies de macrófitas. El primero de ellos corresponde al de Ellenberg (1974), quien describe los valores de tolerancia al factor nitrógeno para 1.648 plantas vasculares presentes en Alemania. El segundo trabajo en tanto (Pignatti 2005), hace lo propio para 5.776 especies que habitan en Italia. Ambos trabajos fueron de utilidad en el desarrollo del índice, ya que fueron la base para determinar los rangos de tolerancia de una gran proporción de macrófitas involucradas en el

estudio. Además de lo anterior, se revisó y puso a prueba la metódica propuesta por San Martín et al. (2003), la cual si bien no fue concebida como un índice propiamente tal, sirve para caracterizar ambientes límnicos en términos de trofia. Dicho trabajo se basa en los principios de riqueza y abundancia de macrófitas, cuyos datos son ponderados con los valores indicadores propuestos por Ellenberg (1974). Esta metodología también sirvió como base para la construcción del índice y determinar la utilidad potencial de ponderar los parámetros comunitarios de macrófitas (riqueza y abundancia) con valores de tolerancia específicos para cada especie. Por último, también se consideró el índice propuesto por (Hilsenhoff 1988), el cual se basa en la capacidad indicadora de especies de macroinvertebrados bentónicos. Si bien el trabajo anterior utiliza a un grupo biológico distinto, la base utilizada hace referencia a la relación en la cual son utilizados los grupos de especies según su tolerancia a la contaminación. El principio subyacente en la idea anterior, hace sentido con que cualquier especie que habita un ambiente es susceptible de indicar las condiciones del mismo (Noss 1990).

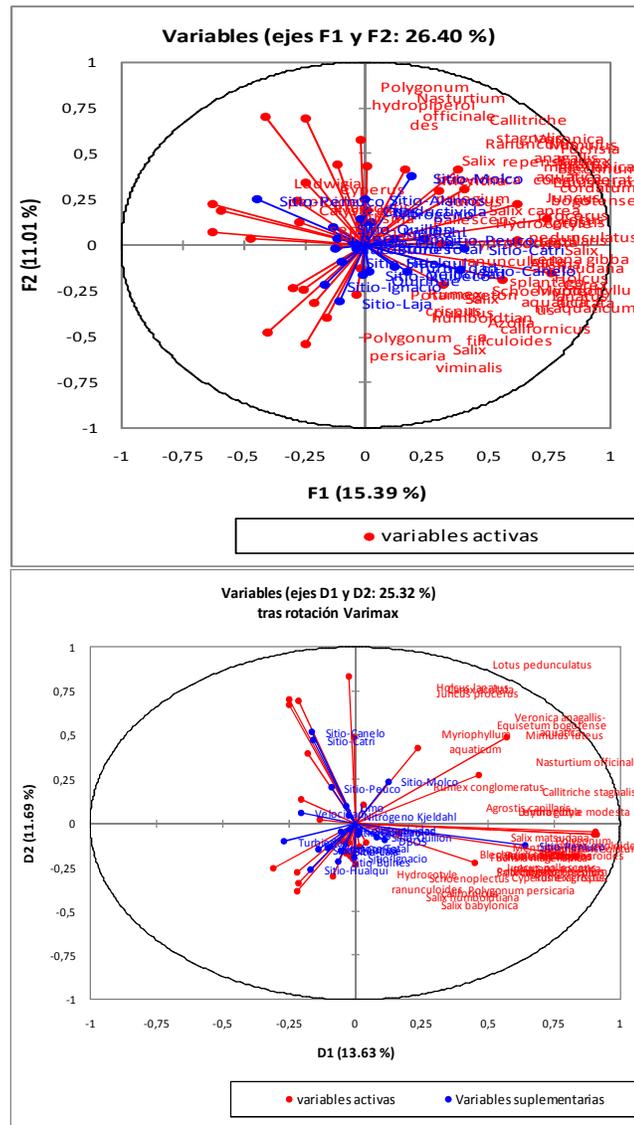
### **Paso 3:** Aproximación taxonómica

Este paso dice relación con establecer la compatibilidad taxonómica entre los trabajos de referencia utilizados (Ellenberg 1974 y Pignatti 2005) y la composición de macrófitas de los sistemas acuáticos del sur de Chile. Para esto, se llevó a cabo un análisis exhaustivo de los listados taxonómicos de ambos trabajos con el fin de identificar las especies compartidas con Chile y más específicamente del sur de nuestro país. Luego de seleccionar las especies se revisó la nomenclatura actualizada en base a lo propuesto por Zuloaga et al. (2008) y de acuerdo a bases de datos reconocidas como: [www.tropicos.org](http://www.tropicos.org), [www.darwin.edu.ar](http://www.darwin.edu.ar), [www.ipni.org](http://www.ipni.org) y [www.theplantlist.org](http://www.theplantlist.org).

### **Paso 4:** Adaptación del índice

En este paso la primera tarea fue determinar los parámetros ambientales más importantes del hábitat para macrófitas con el fin de validar una potencial

relación. Para esto se llevó a cabo un análisis de Bio-Env (biota-environment), el cual identifica las variables ambientales que se correlacionan con la abundancia de macrófitas. Dicho análisis se realiza basado en una matriz de similitud de Bray-Curtis en el caso de los datos biológicos (macrófitas) y una matriz de similitud basada en Distancia Euclidiana para los datos ambientales (parámetros físico-químicos, nutrientes). El resultado del Bio-Env mostró que los siguientes parámetros: nitrógeno total, fósforo total, DBO5, conductividad, turbidez, velocidad de corriente y porcentaje de limo-arcilla ( $R^2 = 0,662$ ;  $p < 0,01$ ), se correlacionan con la abundancia de macrófitas. Posterior a esto se llevaron a cabo algunos Análisis de Componentes Principales (ACP) con el fin de determinar relaciones potenciales entre los macrófitas indicadores y las variables ambientales que explican su abundancia (Figura 19). La hipótesis subyacente de dicha idea decía relación con que a mayor concentración de nutrientes el número de macrófitas indicadores de alta trofia debería aumentar. Los resultados señalan que no hay relación significativa entre biota y ambiente o bien es difícil hallarla. Lo anterior se debe en primer lugar a que los macrófitas no sólo responden a elevadas concentraciones de nutrientes (e.g. nitrógeno, fósforo) sino que también se deben conjugar una serie de variables de hábitat para que estas plantas puedan proliferar (e.g. velocidad de corriente, sustrato, profundidad). En segundo lugar, se debe tener en cuenta que los macrófitas se caracterizan por actuar como fitorremediadores y mejoradores de la calidad del agua (Denny 1972, Feijoó et al. 2002, Dhote 2007). Por lo tanto, al trabajar con mediciones de nutrientes capturadas directamente en la comunidad de macrófitas, es muy probable que las concentraciones de los nutrientes experimenten un descenso y por ende no reflejen la real calidad de agua (Denny 1972, Feijoó et al. 2002, Dhote 2007).



**Figura 19.** Análisis de componentes principales para las variables ambientales y las especies de macrófitas indicadores. Nótese el bajo porcentaje de explicación de los ejes en ambos casos

Como los análisis descritos anteriormente no explicaron de manera satisfactoria la presencia de macrófitas indicadores, se decidió categorizar las especies según rango de tolerancia a la contaminación orgánica sin asignarles un valor

específico. De este modo, cada especie fue incluida en una de las siguientes tres categorías: baja tolerancia, media tolerancia y alta tolerancia. Lo anterior tuvo como base los trabajos de Ellenberg (1974) y Pignatti (2005), quienes definen rangos de tolerancia numéricos (1 al 9) para un gran número de taxa. Cuando una especie no se encontró en los listados mencionados anteriormente se categorizó en base a juicio de experto teniendo en cuenta principalmente su origen geográfico y hábitat de preferencia. Posteriormente, se calculó la sumatoria de la abundancia relativa (cobertura) de todas las especies asociadas a una categoría definida y se aplicó el Índice Trófico Fluvial basado en macrófitas según la siguiente fórmula:

$$ITFM = -25 * \left( \text{Log}_2 \left( \frac{\sum N \text{ ETA}}{\sum N \text{ ETB} + \sum N \text{ ETM}} \right) \right) + 50$$

Donde:

- $\sum N$ = Sumatoria de la abundancia relativa
- ETB= Especies indicadoras de tolerancia baja a la contaminación orgánica
- ETM= Especies indicadoras de tolerancia media a la contaminación orgánica
- ETA= Especies indicadoras de tolerancia alta a la contaminación orgánica

Luego de calculada la fórmula anterior, el valor obtenido se debe cotejar según la Tabla 13 para obtener el nivel de trofia del tramo del río evaluado.

**Tabla 13.** Rango de valores y niveles de trofia del ITFM.

Rango de valores	Nivel de trofia
0-39	Alto (A)
40-69	Medio (M)
70-100	Bajo (B)

Por lo tanto, el índice obtenido se basa en la capacidad indicadora de 75 especies de macrófitas, 13 de las cuales se asocian a una baja tolerancia a la contaminación orgánica, 44 señalan tolerancia media y 18 indican alta tolerancia. El índice requiere llegar a la resolución taxonómica más baja (especie) y estimar la abundancia relativa (cobertura) de cada taxa. Los valores del índice se mueven entre 0 y 100; y los cuerpos de agua evaluados pueden ser categorizados en uno de los tres niveles de trofia. Los valores más bajos indican altos niveles de trofia (aguas contaminadas) y los valores altos señalan bajos niveles de trofia (aguas limpias). Existe una relación inversa entre los valores del índice y el nivel de trofia.

#### **4.6. Calibración e implementación del índice en terreno.**

##### Calibración del índice

Para la calibración del índice se realizaron dos salidas a terreno preliminares a cuerpos de agua lóticos de la región de La Araucanía; el canal Gibbs (Temuco) y el río Traiguén (Victoria). El objetivo de dicha prospección fue capturar datos florísticos para su posterior tratamiento y análisis en gabinete. En este sentido, en ambos cuerpos de agua se seleccionaron estaciones de muestreo contrastantes, es decir, ambientes saludables, prístinos o con baja intervención versus ambientes contaminados o con signos claros de intervención humana.

Cabe señalar que en esta etapa fueron fundamentales las salidas a terreno preliminares, ya que **permitió ajustar los rangos numéricos en los cuales se mueve cada nivel de trofia del índice**. Para esto, las estaciones muestreadas fueron ordenadas de manera creciente de acuerdo al valor obtenido en el cálculo del índice, es decir, desde los niveles más altos de trofia hasta los más bajos. Dicha ordenación fue comparada y ajustada de acuerdo a criterio de expertos **según la apreciación florística y las características del hábitat recabadas en terreno**, con lo cual se fijaron los límites a cada uno de los niveles de trofia propuestos para el índice. Cabe señalar que hubo un **alto nivel de compatibilidad entre los resultados arrojados por el índice y la apreciación de terreno** según

expertos para todas las estaciones en cuestión, por lo tanto los ajustes fueron menores.

## Implementación del índice

Para la implementación del índice en cada una de las regiones comprendidas en el área de estudio se seleccionó un río. Las estaciones de muestreo elegidas cumplían con las variables de hábitat básicas para el desarrollo de macrófitas según lo que se muestra en la Tabla 13. En total se evaluaron 12 estaciones de muestreo, tres en el río Traiguén (región de La Araucanía), cinco en el río Cruces (región de Los Ríos) y cuatro en el río Rahue (región de Los Lagos). En cada estación la captura de datos se realizó mediante el levantamiento de parcelas florísticas de 2 m<sup>2</sup> (Steubing et al. 2002) ubicadas en la ribera de los cuerpos de agua. En cada parcela se registraron todas las especies presentes y para cada una de ellas se estimó su abundancia relativa mediante apreciación visual directa, según área de la parcela cubierta de acuerdo a Mueller-Dombois & Ellenberg (1974). Las especies no identificadas en terreno fueron recolectadas en bolsas plásticas, etiquetadas y luego prensadas para su posterior manipulación e identificación en trabajo de gabinete con literatura especializada (Ramírez et al. 1982, Matthei 1995, DiTomaso & Healy 2003). Además de lo anterior, en cada estación de muestreo se registraron los parámetros físico-químicos básicos (temperatura, oxígeno disuelto, conductividad, sólidos totales disueltos, salinidad, pH) y se midieron algunos nutrientes (nitrito, nitrato, amonio fosfato y nitrógeno total) con el espectrofotómetro YSI 9300.

**Tabla 14.** Características que deben cumplir los tramos de los ríos a evaluar.

Variable	Característica
Sustrato	Fangoso, fango-arenoso, fango-pedregoso
Velocidad de corriente	Hasta 3 m/s
Profundidad	Hasta 2 m
Perturbación de ribera	Media a alta

### - Río Traiguén

En este río se identificó un total de 52 especies de plantas vasculares (Anexo 5) s, la mayor riqueza taxonómica se registró en la estación E3 (18 especies) y la menor en las dos estaciones restantes E1 y E2 (13 especies). La sumatoria de la abundancia (cobertura) de cada grupo de plantas, el cálculo del índice y la asignación de un nivel de trofía para cada estación de muestreo del río Traiguén se indican en la Tabla 15.

**Tabla 15.** Resumen de los valores calculados para la obtención del índice en el río Traiguén.

Variables/Estación	E1	E2	E3
Abundancia sp. alta tolerancia	1	1	76
Abundancia sp. baja tolerancia	6	0	1
Abundancia sp. media tolerancia	29	78	20
ITFM	89	97	36
Nivel de trofía	B	B	A

Los parámetros físico-químicos registrados y los nutrientes medidos en el río Traiguén se muestran en la Tabla 16.

**Tabla 16.** Parámetros físico-químicos y nutrientes medidos en el río Traiguén.

Parámetro/ Estación	E1	E2	E3
<b>Físico-Químicos</b>			
Temperatura (°C)	8,4	9,9	15,3
OD (mg/l)	11,04	9,01	10,19
C (u/cm)	20,2	29,3	128,5
TDS (mg/l)	0	0	0

Sal (mg/l)	0,01	0,02	0,07
pH	6,65	7,11	7,93
<b>Nutrientes</b>			
Nitrito (mg/l)	0,012	0,011	0,04
Nitrato (mg/l)	0,096	0,147	0,147
Amonio (mg/l)	0	0	0
Fosfato (mg/l)	0,2	0,18	1
Nitrógeno Total (mg/l)	0,108	0,158	0,187
<b>Coordenadas</b>			
Norte	0754087	0749204	0732615
Este	5764680	5765849	5766715

### - Río Cruces

En este río se identificó un total de 50 especies de plantas vasculares (Anexo 6 ), la mayor riqueza taxonómica se registró en la estación E4 (22 especies) y la menor en la estación E1 (12 especies). La sumatoria de la abundancia (cobertura) de cada grupo de plantas, el cálculo del índice y la asignación de un nivel de trofia para cada estación de muestreo del río Cruces se indican en la Tabla 17.

**Tabla 17.** Resumen de los valores calculados para la obtención del índice en el río Cruces.

Variables/Estación	E1	E2	E3	E4	E5
Abundancia sp. alta tolerancia	1	15	10	15	23
Abundancia sp .baja tolerancia	1	11	0	8	1

Abundancia sp. media tolerancia	57	73	70	76	75
ITFM	94	69	71	69	63
Nivel de trofia	B	M	B	M	M

Los parámetros físico-químicos registrados y los nutrientes medidos en el río Cruces se muestran en la Tabla 18.

**Tabla 18.** Parámetros físico-químicos y nutrientes medidos en el río Cruces.

Parámetro/ Estación	E1	E2	E3	E4	E5
<b>Físico-Químicos</b>					
Temperatura (°C)	14,05	14,7	15,6	16,6	16,55
OD (mg/l)	8,52	9,36	8,93	10,16	6,4
C (u/cm)	47,5	43,3	44,3	153	137,3
pH	6,93	7,07	7,38	7,73	6,12
Sal (mg/l)	0,03	0,02	0,02	0,09	0,08
<b>Nutrientes</b>					
Fosfato	0,53	0,27	1,73	1,96	0,745
Amonio (mg/l)	0,01	0,02	0	0,01	0
Nitrito (mg/l)	0,008	0,009	0,007	0,007 5	0,006 5
Nitrato (mg/l)	0,139	0,157	0,098	0,142	0,14
Nitrógeno Total (mg/l)	0,157	0,186	0,105	0,159 5	0,146 5

**Coordenadas**

	0701	0688	0680	0672	0658
Norte	104	302	265	978	767
	5627	5626	5619	5620	5614
Este	493	809	825	113	435

---

### - Río Rahue

En este río se identificó un total de 37 especies de plantas vasculares (Anexo 7), la mayor riqueza taxonómica se registró en la estación E2 (22 especies) y la menor en la estación E4 (9 especies). La sumatoria de la abundancia (cobertura) de cada grupo de plantas, el cálculo del índice y la asignación de un nivel de trofia para cada estación de muestreo del río Rahue se indican en la Tabla 19.

**Tabla 19.** Resumen de los valores calculados para la obtención del índice en el río. Rahue.

Variables/Estación	E1	E2	E3	E4
Abundancia sp. alta tolerancia	5	20	46	8
Abundancia sp .baja tolerancia	3	1	3	1
Abundancia sp. media tolerancia	71	76	20	75
ITFM	79	65	42	74
Nivel de trofia	B	M	M	B

Los parámetros físico-químicos registrados y los nutrientes medidos en el río Rahue se muestran en la Tabla 20.

**Tabla 20.** Parámetros físico-químicos y nutrientes medidos en el río Rahue.

Parámetro/ Estación	E1	E2	E3	E4
<b>Físico-Químicos</b>				
Temperatura (°C)	14,7	14,9	15,5	15,6
OD (mg/l)	9,26	9,28	8,93	7,75

C (u/cm)	52,2	74,3	64,3	67,4
pH	7,33	7,38	7,24	7,23
Sal (mg/l)	0,03	0,04	0,04	0,04
<b>Nutrientes</b>				
Fosfato (mg/l)	2,8	3,2	2,7	2,6
Amonio (mg/l)	0	0	0,03	0,03
Nitrito (mg/l)	0,011	0,009	0,016	0,024
Nitrato (mg/l)	0,17	0,159	0,174	0,086
Nitrógeno Total (mg/l)	0,181	0,168	0,22	0,14
<b>Coordenadas</b>				
Norte	0655849	0657174	0646599	0645705
Este	5495886	5506726	5512109	5524195

#### **4.7. Manual de procedimiento para el cálculo del Índice Trófico Fluvial basado en Macrófitas (ITFM)**

##### **1.- Introducción**

A continuación se presentan las directrices metodológicas para el cálculo del Índice Trófico Fluvial basado en Macrófitas (ITFM), el cual ha sido diseñado para su aplicación en ríos del sur de Chile, más específicamente en tramos fluviales de tipo potamón. El índice es de resolución taxonómica baja (nivel de especie), de carácter cualitativo y se basa en la presencia, abundancia y capacidad indicadora de contaminación orgánica de 75 especies de plantas vasculares. Los valores del índice se mueven entre 0 y 100; y los tramos fluviales pueden categorizados en tres niveles de trofía.

## 2.- Elección de la estación de muestreo

La elección de las estaciones de muestreo debe estar en directa relación con ambientes propicios para el establecimiento de especies de macrófitas palustres y acuáticos. En relación a esto, la estación de muestreo debe cumplir con los siguientes requisitos:

- *Sustrato*: Fundamental en el desarrollo de las especies que crecen arraigadas, el sustrato más adecuado es el fango y en menor medida el fango-arenoso y/o fango-pedregoso.
- *Velocidad de la corriente*: Crucial para el crecimiento de las especies flotantes libres, sumergidas y natantes. La velocidad de corriente ideal debería estar entre 0,2 y 1 m/s.
- *Profundidad*: Restringe el desarrollo de los macrófitas acuáticos por un aumento de la presión o por disminución de la intensidad de luz (Ramírez et al. 1982). El rango de profundidad ideal debería estar entre los 0 y 2 m.
- *Perturbación de ribera*: Es positivo para el crecimiento de macrófitas indicadores de ambientes alterados desde el punto de vista orgánico, ya que muchos macrófitas indicadores son introducidos y, requieren cierto grado de perturbación para colonizar y establecerse.

## 3.-Captura de datos

La captura de datos se debe realizar mediante el levantamiento de parcelas de 2 m<sup>2</sup>, ya que dicha superficie cumple con el área mínima de muestreo para este tipo plantas (Steubing et al. 2002). Sin embargo, el número de réplicas deberá ser definido por el investigador especialista según las condiciones de terreno (e.g. accesibilidad, ancho de ribera, pendiente, etc.). En cada parcela se debe registrar la totalidad de las especies de macrófitas y es necesario además estimar la abundancia (cobertura) de cada una de ellas a través de su cobertura expresada en porcentaje (Mueller-Dombois & Ellenberg 1974). En el procedimiento anterior es necesario llegar a nivel de especie, ya que el índice sólo funciona teniendo plena claridad de los taxa registrados. La estimación de la cobertura de las plantas generalmente se realiza mediante apreciación visual

directa. Sin embargo, dicho proceso requiere algún grado de especialización y/o entrenamiento del personal a cargo. Idealmente también, es recomendable que la misma persona realice la estimación de la cobertura de macrófitas en todas las parcelas levantadas, ya que esto ayudará disminuir el margen de error siempre presente.

#### **4.- Tabulación de datos**

Los datos capturados en terreno deberán ser vaciados en una planilla Excel y separados de acuerdo a su presencia en cada punto de muestreo y/o cuerpo de agua estudiado. De modo que en las columnas se ubiquen los sitios muestreados y en las filas las plantas presentes en cada uno de ellos. Cada especie debe ser incluida en alguna categoría de tolerancia a la contaminación orgánica por nitrógeno (Anexo 4). Se han definido rangos de tolerancia para un total 75 especies de plantas vasculares, 13 de las cuales indican baja tolerancia a la contaminación, 44 señalan tolerancia media y 18 indican alta tolerancia. Las asignaciones anteriores están basadas primeramente en los rangos de tolerancia para el factor nitrógeno establecidos por Ellenberg (1974); y complementadas de acuerdo al criterio de un panel de expertos conformado Enrique Hauenstein y Jonathan Urrutia para el desarrollo del índice.

#### **5.- Estimación del Índice Trófico Fluvial basado en Macrófitas(ITFM)**

Para cada estación de muestreo se debe estimar la abundancia relativa total (% de cobertura) de las especies de macrófitas prospectadas, y establecer de forma paralela el nivel de tolerancia a la contaminación (baja, media, alta; ver Anexo 4) de cada una de ellas. El índice se estima según la siguiente fórmula:

$$ITFM = -25 * \left( \text{Log}_2 \left( \frac{\sum N \text{ETA}}{\sum N \text{ETB} + \sum N \text{ETM}} \right) \right) + 50$$

Donde:

- $\sum N$ = Sumatoria de la abundancia relativa (% cobertura)
- ssp baja= Especies indicadoras de baja tolerancia a la contaminación orgánica.

- ssp media= Especies indicadoras de tolerancia media a la contaminación orgánica.
- ssp alta= Especies indicadoras de alta tolerancia a la contaminación orgánica.

El valor obtenido de la fórmula anterior debe ser reemplazado por la "x" de la siguiente ecuación ( $y = -25x + 50$ ) y el resultado debe ser contrastado con lo indicado en la Tabla 21, para poder asignar un nivel de trofía al tramo del río evaluado

**Tabla 21.** Rango de valores y niveles de trofía del ITFM.

Rango de valores	Nivel de trofía
0-39	Alto
40-69	Medio
70-100	Bajo

## 6.- Recomendaciones

- El muestreo biológico debe incorporar la medición de variables morfométricas (profundidad, velocidad de corriente, tipo de sustrato), parámetros físico-químicos (temperatura, conductividad, pH, turbidez, etc.) y nutrientes (nitrito, nitrato, nitrógeno total, amonio, fosfato). Para esto se recomienda medir In situ o tomar las muestras de agua por lo menos 100 m antes del sitio donde se levantarán las parcelas de muestreo (censos florísticos), debido a que las comunidades de macrófitas actúan como mejoradores de la calidad de agua, al absorber la mayor parte de los nutrientes disponibles (Denny 1972, Feijoó et al. 2002, Dhote 2007). Por lo tanto, si se realizan las mediciones de los parámetros abióticos en medio de la comunidad de macrófitas, se corre el riesgo de no reflejar la relación potencial entre niveles de nutrientes y especies indicadoras.

- De acuerdo a lo desarrollado en el estudio el período más adecuado para el levantamiento de los censos florísticos es la primavera tardía o el comienzo del verano (Noviembre-Enero). Esto permite capturar la diversidad real del ambiente estudiado y facilita una correcta identificación de las especies, lo anterior está en estrecha relación con la fenología propia de los macrófitas, la cual tiende a retrasarse en comparación a las plantas terrestres (Hauenstein 2006).

## **7.- Glosario**

**Abundancia Relativa:** Cantidad proporcional, calculada, de los individuos de esa especie con respecto al porcentaje observado de la población en esa área.

**Cobertura Vegetal:** Toda vegetación natural correspondiente a un área o territorio.

**Eutrófico:** Enriquecimiento de los nutrientes de un cuerpo de agua que resulta en un incremento excesivo de organismos y la consecuente reducción de oxígeno del agua.

**Hábitat:** Lugar que ocupa el organismo o la población. Es la suma total de las condiciones ambientales características de un sitio específico ocupado adecuado a las demandas de la población (e.g.: una playa, la corteza de un árbol, un río, la sangre de un mamífero, etc.).

**Hiporitrón:** Sección media del río, entre la transición del curso rápido a lento o potamónico.

**Macrófitas:** Plantas que viven en el agua. Plantas acuáticas visibles a simple vista, se pueden diferenciar entre hidrófitos que completan su ciclo biológico cuando todas sus partes se encuentran sumergidas o flotando en la superficie y helófitos, plantas anfibias con la parte inferior sumergidas en el agua.

**Oligotróficos:** Medio pobre en materias asimilables lo que impide el flujo alimenticio normal sobre todo de nitrógeno y oxígeno.

**Portamón:** La región de los ríos de llanura y cercanos a la desembocadura.

**Ritrón:** Corresponde a los tramos de nacimiento de riachuelos o 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.

**Sustrato duro:** Mezcla de varios sustratos que permite una buena aireación y una capacidad de retención de agua equilibrada.

**Sustrato blando:** Granulometría aguijarros, grava, arena, fangos arcillas coloidales finas.

**Taxón:** Unidad de clasificación taxonómica no especificada, aplicada a un grupo de cualquier categoría.

**Tolerancia:** Habilidad de una especie para entrar o permanecer dentro de ambientes nuevos o tolerar cambios en las condiciones ambientales del medio.

**Transecto:** Banda de muestreo sobre la que se toman los datos definidos previamente.

## **5. LITERATURA CITADA**

AFNOR (2003) Qualité de l'eau: Détermination de l'indice biologique macrophytique en rivière (IBMR) - NF T90-395.

Campos H, W Steffen, G Agüero, O Parra & L Zúñiga (1989) Estudios limnológicos en el lago Puyehue (Chile). Morfometría, factores físicos y químicos, plancton y producción primaria. Medio Ambiente 10: 36-53.

Campos H, W Steffen, C Román, L Zúñiga & G Agüero (1983) Limnological studies in lake Villarrica: Morphometric, physical, chemicals, planktonical factors and primary productivity. Archives fürHydrobiologie 65: 371-406.

Chambers P, P Lacoul, K Murphy & S Thomaz (2008) Global diversity of aquatic macrophytes in freshwater. Hydrobiologia 595: 9-26.

Clarke K & R Gorley (2006) Plymouth routines in multivariate ecological research. London, UK. Primer-E. Plymouth Marine Laboratory. 190 pp.

Cook C (1990) Aquatic plant book. SPB Academic Publishing. The Hague, Netherlands. 228 pp.

Denny P (1972) Sites of nutrient absorption in aquatic macrophytes. Journal of Ecology 60: 819-829.

Dell'Uomo A (1991) Use of benthic macroalgae for monitoring rivers in Italy. pp. 129-137. In: Whitton B, E Rott & G Friedrich (eds) Use of algae for monitoring rivers. Institut für Botanik, Universität Innsbruck. Vienna, Austria.

DiTomaso J & E Healy (2003) Aquatic and riparian weeds of the west. University of California, Oakland, California, U.S.A. 442 pp.

Dhote S (2007) Role of Macrophytes in improving water quality of an aquatic ecosystem. Journal of Applied Sciences and Environmental Management 11: 133-135.

Ederra A(1997) Botánica Ambiental Aplicada. Las plantas y el equilibrio ecológico de nuestra tierra. Ediciones Universidad de Navarra S.A. Pamplona, España. 205 pp.

Edding E (1977) La vegetación ribereña del lago Cayutué. Parque Nacional Vicente Pérez Rosales, Llanquihue. Medio Ambiente 2: 149-153.

Ellenberg H (1974) Indicator values of vascular plants in Central Europe. Scripta Geobotanica 9: 1-17.

Feijoó C, M García, F Momo & J Toja (2002) Nutrient absorption by the submerged macrophyte *Egeria densa* Planch.: Effect of ammonium and phosphorus availability in the water column on growth and nutrient uptake. Limnetica 21: 93-104.

Goslee S, R Brooks & C Coole (1997) Plants as indicators of wetland water source. PlantEcology 131: 199-206.

Hauenstein E (2009) Flora y vegetación de humedales en la región de La Araucanía. pp. 30-40. En: Hernández M & P Sánchez (eds) Humedales, espacios para la conservación de la biodiversidad en la región de La Araucanía, Chile. CONAMA - Imprenta América Limitada. Santiago, Chile.

Hauenstein E, F Peña-Cortés, C Bertrán, J Tapia & R Schlatter (2008) Comparación florística y estado trófico basado en plantas indicadoras de lagunas costeras de la región de La Araucanía, Chile. Ecología Austral 18: 43-53.

Hauenstein E (2006) Visión sinóptica de los macrófitas dulceacuícolas de Chile. Gayana 70: 16-23.

Hauenstein E, M González, F Peña & A Muñoz (2002) Clasificación y caracterización de la flora y vegetación de los humedales de la costa de Toltén (IX Región, Chile). Gayana Botánica 59: 87-100.

Hauenstein E, M González, L Leiva & L Falcón (1999) Flora de macrófitas y bioindicadores del lago Budi (IX Región, Chile). Gayana Botánica 56: 53-62.

Hauenstein E, M González, L Leiva & L Falcón (1998) Diagnóstico del estado de contaminación de los lagos Calafquén y Caburgua. Informe Final Proyecto FNDR IX Región N° 20107905, Temuco, Chile.

Hauenstein E, C Ramírez, M González, L Leiva & C San Martín (1996) Flora hidrófila del lago Villarrica (IX Región, Chile) y su importancia como elemento indicador de contaminación. Medio Ambiente 13: 88-96.

Hauenstein E, C Ramírez, M González & C San Martín (1993) Comparación de la flora macrofítica de tres lagos del Centro-Sur de Chile (Budi, Llanquihue, Cayutué). Revista Geográfica de Valparaíso 22-23: 175-193.

Hilsenhoff WL (1988) Rapid field assesment of organic pollution with a family level biotic index. Journal of the North American Benthological Society 7: 65-68.

Lakshman G (1987) Ecotechnological opportunities for aquatic plants - A survey of utilization options. pp. 49-68. In: Reddy K & W Smith (eds) Aquatic plants for water treatment and resource recovery. Magnolia Publishing Inc. Orlando, Florida, U.S.A.

Matthei O (1995) Manual de malezas que crecen en Chile. Santiago, Chile. Alfabeta Impresores. 545 pp.

Mueller-Dombois D & H Ellenberg (1974) Aims and methods of vegetation ecology. John Wiley & Sons, New York, USA. 547 pp.

Noss R (1990) Indicators for monitoring biodiversity: A hierarchical approach. Conservation Biology 4: 355-364.

Pignatti S (2005) Valori di bioindicazione delle piante vascolari della flora d'italia. Braun-Blanquetia 39: 1-95.

Ramírez C & J San Martín (2006) Diversidad de macrófitas chilenos. pp. 21-69. En: Vila I, A Veloso, R Schlatter & C Ramírez (eds) Macrófitas y vertebrados de los sistemas límnicos de Chile. Editorial Universitaria. Santiago, Chile.

Ramírez C, V Finot, C San Martín & A Ellies (1991) El valor indicador de las malezas del centro-sur de Chile. Agro Sur 19: 94-116.

Ramírez C, J San Martín, C San Martín & D Contreras (1987) Estudio florístico y vegetacional de la laguna El Peral, Quinta Región de Chile. *Revista Geográfica de Valparaíso* 18: 105-120.

Ramírez C, D Contreras & J San Martín (1986) Distribución geográfica y formas de vida en hidrófitos chilenos. *Actas VIII Congreso Nacional de Geografía, Publicación especial Instituto Geográfico Militar de Chile* 1: 103-110.

Ramírez C & J San Martín (1984) Hydrophilous vegetation of a coast lagoon in Central Chile. *Journal of Ecology Environment* 10: 93-110.

Ramírez C, R Godoy, D Contreras & E Stegmaier (1982) Guía de plantas acuáticas y palustres valdivianas. Facultad de Ciencias, Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile. 64 pp.

Ramírez C & E Stegmaier (1982) Formas de vida en hidrófitos chilenos. *Medio Ambiente* 6: 43-54

Ramírez C, M Romero & M Riveros (1980) Lista de cormófitos palustres de la región valdiviana. *Boletín Museo Nacional de Historia Natural* 37: 153-177.

Ramírez C, M Romero & M Riveros (1979) Habit, habitat, origin and geographical distribution of chilean vascular hydrophytes. *Aquatic Botany* 7: 241-253.

Rodríguez R & V Dellarossa (1998) Plantas vasculares acuáticas en la región del Biobío. Ediciones Universidad de Concepción. Concepción, Chile. 28 pp.

Romero-Ortiz L, F Ramírez-Vives, C Álvarez-Silva & M Miranda-Arce (2011) Uso de hidrófitas y un sistema anaerobio para el tratamiento de agua residual de rastro. *Polibotánica* 31: 157-167.

Sarmientos F (2000) *Diccionario de Ecología, Paisaje, Conservación y Desarrollo Sustentable. Para Latinoamérica*. 541 pp.

San Martín C, C Ramírez & M Álvarez (2003) Macrófitas como bioindicadores: Una propuesta para caracterizar ambientes dulceacuícolas. *Revista Geográfica de Valparaíso* 34: 243-253.

Schneider S & A Melzer (2003) The trophic index of macrophytes (TIM)– A new tool for indicating the trophic state of running water. *International Review of Hydrobiology* 88: 49-67.

Sládeček V & A Sládečková (1996) Atlas of aquatic organism with respect to the water supply, surface water and wastewater treatment plants. Prague, Czech Republic. 351 pp.

Steubing I, R Godoy & M Alberdi (2002) *Métodos de ecología vegetal*. Editorial Universitaria, Santiago, Chile. 345 pp.

Thiebaut G, F Guérol & S Muller (2002) Are trophic and diversity indices based on macrophyte communities pertinent tools to monitor water quality? *Water Research* 36: 3602-3610.

Tur N (1977) Plantas vasculares. pp. 37-45. En: Hulber S (ed) *Biota Acuática de Sudamérica Austral*. San Diego State University. San Diego, California, U.S.A.

Vilá M, C Basnou, P Pysek, M Josefsson, P Genovesi, S Gollasch, W Nentwig, S Olenin, A Roques, D Roy, P Hulme & D Partners (2009) How well do we understand the impacts of alien species on ecosystem services? A pan-European, cross-taxa assessment. *Frontiers in Ecology and the Environment* 8: 135-144.

Wolverton B (1987) Aquatic plants for wastewater treatment: An overview. pp. 3-16. In: Reddy K & W Smith (eds) *Aquatic plants for water treatment and resource recovery*. Magnolia Publishing Inc. Orlando, Florida, U.S.A.

Zuloaga F, O Morrone & M Belgrano (eds.) (2008) *Catálogo de las plantas vasculares del cono sur (Argentina, sur de Brasil, Chile, Paraguay y Uruguay)*. Vol. 1. Pteridophyta, gymnospermae y monocotyledoneae. Saint Louis, U.S.A. Missouri Botanical Garden Press. 983 pp.



## 6. ANEXOS

### Anexo 1. Literatura internacional y nacional relacionada con índices de macrófitas

INTERNACIONALES				
Publicaciones científicas				
Año	Título	Revista	Autores	
1999	Changes in the water quality of Lake Geneva indicated by submerged macrophytes	Freshwater Biology	Lehmann A & J Lachavanne	
2000	Combination of two indication systems in pre-alpine lakes - diatom index and macrophyte index	Ecological Modelling	Seele J, M Mayr, F Staab et al.	
2000	A proposed aquatic plant community biotic index for Wisconsin lakes	Environmental Management	Nichols S, S Weber & B Shaw	
2002	Are trophic and diversity indices based on macrophyte communities pertinent tools to monitor water quality?	Water Research	Thiébaud G, F Guérol & S Muller	
2002	Testing the Floristic Quality Assessment Index as an Indicator of Wetland Condition	Ecological Applications	López R & M Fennessy	
2002	Caracterización del estado ecológico de ríos mediterráneos ibéricos mediante el índice IBMWP	Limnetica	Tercedor J, P Jáimez-Cuéllar, M Álvarez et al.	
2003	The trophic index of macrophytes (TIM) - a new tool for indicating the trophic state of running waters	International Hydrobiology	Review of	Schneider S & A Melzer
2004	A century of change in macrophyte abundance and composition in response to agricultural eutrophication	Hydrobiologia	Egerston C, J Kopaska & J Downing	
2004	Macrophytes and phytobenthos as indicators of ecological status in German lakes - a contribution to the implementation of the Water Framework Directive	Limnologica	Schaumburg J, C Schranz, G Hofmann et al.	
2005	Assessing biotic integrity in Iberian rivers: Development of a multimetric plant index	Ecological Indicators	Ferreira M, P Rodríguez-González, F Aguilar et al.	
2005	Macrophyte-based assessment of lakes - a contribution to the implementation of the European Water Framework Directive in Germany	International Hydrobiology	Review of	Stelzer D, S Schneider & A Melzer
2005	The reference index method for the macrophyte-based assessment of rivers - a contribution to the implementation of the European Water Framework Directive in Germany	International Hydrobiology	Review of	Meilinger P, S Schneider & A Melzer
2005	Propuesta de un índice de macrófitas (IM) para evaluar la calidad ecológica de los ríos de la cuenca del Segura	Limnetica	Suárez M, A Mellado, M Sánchez-Montoya et al.	
2006	A plant-based index of biological integrity (IBI) for headwater wetlands in central Pennsylvania	Ecological Indicators	Miller S, D Wardrop, W Mahaney et al.	
2006	Aquatic plants as environmental indicators of ecological condition in New Zealand lakes	Hydrobiologia	Clayton J & T Edwards	
2006	A new method to assess water trophy and organic pollution - the Macrophyte Biological Index for Rivers (IBMR): its application to different types of river and pollution	Hydrobiologia	Haury J, M peltre, M Trémolières et al.	
2006	Comparison of different biological indices for the assessment of river quality: Application to the upper river Moselle (France)	Hydrobiologia	Thiébaud G, G Tixier, F Guérol et al.	
2006	A comparison of macrophyte indices in headwaters of rivers in Flanders (Belgium)	Hydrobiologia	Triest L	
2006	Propuesta de un índice de vegetación acuática (IVAM) para la evaluación del estado trófico de los ríos de Castilla-La Mancha: Comparación con otros índices bióticos	Limnetica	Moreno J, C Navarro & J De las Heras	
2007	Macrophyte trophic indicator values from a European perspective	Limnologica	Schneider S	
2007	Evaluation of the applicability of a fuzzy index of ecosystem integrity (FINE) to characterize the status of Tyrrenian lagoons	Marine Environmental Research	Munari C & M Mistri	
2007	Umbrella potential of plants and dragonflies for wetland	Journal of Applied Ecology	Bried J, B Herman & G Ervin	

*Manual de procedimiento para el cálculo del Índice Trófico Fluvial basado en Macrófitas (ITFM)*

conservation: a quantitative case study using the umbrella index

2008	Benthic macrophytes as a tool for delineating, monitoring and assessing ecological status: The case of Slovenian coastal waters	Marine Pollution Bulletin		Bonaca M, L Lipej & S Orfanidis
2008	Development, calibration, and validation of a littoral zone plant index of biotic integrity (PIBI) for lacustrine wetlands	Ecological Indicators		Rothrock P, T Simon & P Stewart
2008	Local distribution of macrophytes and consequences for sampling methods in large rivers	Hydrobiologia		Breugnot E, A Dutartre, C Laplace-Treytoure et al.
2008	Classifying aquatic macrophytes as indicators of eutrophication in European lakes	Aquatic Ecology		Penning E, B Dudley, M Mjelde et al.
2008	Using aquatic macrophyte community indices to define the ecological status of European lakes	Aquatic Ecology		Penning E, B Dudley, M Mjelde et al.
2008	First steps in the Central-Baltic intercalibration exercise on lake macrophytes: Where do we start?	Aquatic Ecology		Toth L, S Poikane, E Penning et al.
2009	Evaluation of water quality and ecological system conditions through macrophytes	Desalination		Maggioni L, D Fontaneto, S Bocchi et al.
2009	Distribution of aquatic macrophytes in contrasting river systems: A critique of compositional-based assessment of water quality	Science of the Total Environment		Demars B & A Edwards
2009	Macrophyte-based bioindication in rivers—A comparative evaluation of the reference index (RI) and the trophic index of macrophytes (TIM)	Limnologica		Fabris M, S Schneider & A Melzer
2009	The M-NIP: a macrophyte-based Nutrient Index for Ponds	Hydrobiologia		Sager L & J Lachavanne
2009	Central European water quality indices applied to long-term data from peri-alpine lakes: Test and possible improvements	Hydrobiologia		Kaiblinger C, O Anneville, R Taddonleke et al.
2009	Austrian Index Macrophytes (AIM-Module 1) for lakes: A Water Framework Directive compliant assessment system for lakes using aquatic macrophytes	Hydrobiologia		Pall K & V Moser
2009	Validation of the Macrophyte Quality Index (MaQI) set up to assess the ecological status of Italian marine transitional environments	Hydrobiologia		Sfriso A, C Facca & P Ghetti
2009	Structural and functional responses of riparian vegetation to human disturbance: performance and spatial scale-dependence	Fundamental and Applied Limnology		Aguiar F, M Ferreira, A Albuquerque et al.
2010	Development of a macrophyte-based index of biotic integrity for Minnesota lakes	Ecological Indicators		Beck M, L Hatch, B Vondracek et al.
2010	Submerged macrophytes as indicators of the ecological quality of lakes	Freshwater Biology		Søndergaard M, L Johansson, T Lauridsen, et al.
2010	Implementation and adaptation of macrophyte indication system: Assessment of ecological status of rivers in Bulgaria according to the Water Framework Directive	Biotechnology & Biotechnological Equipment		Gecheva G, S Cheshmedjiev, I Dimitrova-Dyulgerova et al.
2011	Choosing the best method for stream bioassessment using macrophyte communities: Indices and predictive models	Ecological Indicators		Aguiar F, M Feio & M Ferreira
2011	Macrophytes in the anthropic constructions of the Venice littorals and their ecological assessment by an integration of the "CARLIT" index	Ecological Indicators		Sfriso A & C Facca
2011	Use of ecological indicators to assess the quality of Great Lakes coastal wetlands	Ecological Indicators		Cvetkovic M & P Chow-Fraser
2011	Development of a River Macrophyte Index (RMI) for assessing river ecological status	Limnologica		Kuhar U, M Germ, A Gaberščik et al.
2011	Abundance, diversity and distribution of macrophyte communities in neighboring lakes of different trophic states and morphology in North-Central Greece	Archives of Biological Science		Pirini C, V Karagiannakidou & S Charitonidis
2012	A submersed macrophyte index of condition for the Upper Mississippi River	Ecological Indicators		Moore M, H Langrehr & T Angradi
2012	AQUAFLOA: A predictive model based on diatoms and macrophytes for streams water quality assessment	Ecological Indicators		Feio M, F Aguiar, S Almeida et al.
2012	Ecological assessment of running waters: Do macrophytes, macroinvertebrates, diatoms and fish show similar responses to human pressures?	Ecological Indicators		Marzin A, V Archaimbault, J Belliard et al.
2012	Application of a biotic index to assess natural and constructed riparian wetlands in an estuary	Ecological Engineering		Zhang H, B Cui, B Ou et al.

*Manual de procedimiento para el cálculo del Índice Trófico Fluvial basado en Macrófitas (ITFM)*

2012	Applicability and intercalibration of macrophyte quality indices to characterise the ecological status of Mediterranean transitional waters: the case of the Venice lagoon	Marine Ecology an Evolutionary Perspective	Curjel D, A Falace, V Bandelj et al.
2012	River macrophyte indices: not the Holy Grail!	Freshwater Biology	Demars B, J Potts, M Trémolières et al.
2012	Suitability of benthic macrophyte indices (EEI, E-MaQI and BENTHOS) for detecting anthropogenic pressures in a Mediterranean coastal lagoon (Mar Menor, Spain)	Ecological Indicators	García-Sánchez M, I Pérez-Ruzafa, C Marcos et al.
2012	Measurements of uncertainty in macrophyte metrics used to assess European lake water quality	Hydrobiologia	Dudley B, M Dunbar, E Penning et al.
2012	Application of a versatile aquatic macrophyte integrity index for Minnesota lakes	Ecological Indicators	Radomski P & D Perleberg
2013	Comparing stressor-specific indices and general measures of taxonomic composition for assessing the status of boreal lacustrine macrophyte communities	Ecological Indicators	Kanninen A, S Hellsten & H Hämäläinen
2013	The impact of an industrial effluent on the water quality, submersed macrophytes and benthic macroinvertebrates in a dammed river of Central Spain	Chemosphere	Gonzalo C & J Camargo
2013	Aquatic macrophyte diversity assessment: Validation of a new sampling method for circular-shaped lakes	Limnologica	Azzella M, C Ricotta & C Blasi
2013	Ecological status assessment of European lakes: A comparison of metrics for phytoplankton, macrophytes, benthic invertebrates and fish	Hydrobiologia	Lyche-Solheim A, C Feld, S Birk et al.
2013	Valoración de lagos y lagunas de la cuenca del Duero a partir de los macrófitas acuáticos	Limnetica	Flor-Amáu N, J Cambra & E Velasco
2013	Use of diatom and macrophyte index to evaluate the water quality in Ohrid lake	Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University	Lirika K, A Imeri, M Cara et al.
2014	A comparison of survey methods to evaluate macrophyte index of biotic integrity performance in Minnesota lakes	Ecological Indicators	Vondracek B, J Koch & M Beck
2014	The applicability of macrophyte compositional metrics for assessing eutrophication in European lakes	Ecological Indicators	Kolada A, N Willby, B Dudley et al.
2014	Eutrophication impacts littoral biota in Lake Ohrid while water phosphorus concentrations are low	Limnologica	Schneider S, M Cara, T Eriksen et al.
2014	Using phytoplankton and macrophytes to assess the trophic and ecological status of some Italian transitional systems	Continental Shelf Research	Sfriso A, C Facca, D Bon et al.
2014	ESMI: a macrophyte index for assessing the ecological status of lakes	Environmental Monitoring and Assessment	Ciecierska H & A Kolada
2014	Artificial neural network modelling of macrophyte indices based on physico-chemical characteristics of water	Hydrobiologia	Gebler D, D Kayzer, K Szoszkiewicz et al.
2014	Diversity of macrophyte communities and their relationship to water quality in different types of lowland rivers in Poland	Hydrobiologia	Szoszkiewicz K, A Budka, D Kayzer et al.
2014	Applying macrophyte community indicators to assess anthropogenic pressures on shallow soft bottoms	Hydrobiologia	Hansen J & M Snickers
2014	Comparison of two indices based on macrophyte assemblages to assess the ecological status of coastal waters in the transition between the Atlantic and Mediterranean eco-regions	Journal of Applied Phycology	Bermejo R, L Mangialajo, J Vergara et al.
2014	Assessment of littoral eutrophication in Lake Ohrid by submerged macrophytes	Biología	Trajanovska S, M Talevska, A Imeri et al.

**Reportes técnicos**

Año	Título	Institución	Autores
2012	Instruction manual for the assessment of running water ecological status in accordance with the requirements of the EG-Water Framework Directive: Macrophytes and phytobenthos	Bavarian Environment Agency	Schaumburg J, C Schranz, D Stelzer et al.
1999	Mean Trophic Rank: A user's manual	Environment Agency R & D	Holmes N, J Newman, S Chadd et al.
1999	Assessment of the Trophic Status of Rivers using Macrophytes. Evaluation of the Mean Trophic Rank	Environment Agency R & D	Dawson F, J Newman, M Gravelle et al.

Manual de procedimiento para el cálculo del Índice Trófico Fluvial basado en Macrófitas (ITFM)

<b>Libros</b>			
Año	Título	Editorial	Autores
2012	Water quality indices	Elsevier	Abbasi T & S Abbasi
<b>Tesis</b>			
Año	Título	Autor	
2009	Intercalibration of national methods to assess the ecological quality of rivers in Europe using benthic invertebrates and aquatic flora	Birk S	
<b>INTERNACIONALES</b>			
<b>Publicaciones científicas</b>			
Año	Título	Revista	Autores
1998	QBR: Un índice rápido para la evaluación de la calidad de los ecosistemas de ribera	Tecnología del Agua	Munné A, C Solà & N Prat
2002	El hábitat de los ríos mediterráneos. Diseño de un índice de diversidad de hábitat	Limnetica	Pardo I, M Álvarez, J Casas et al.
2003	Macrófitas como bioindicadores: Una propuesta para caracterizar ambientes dulceacuícolas	Revista Geográfica de Valparaíso	San Martín C, C Ramírez & M Álvarez
2003	A simple field method for assessing the ecological quality of riparian habitat in rivers and streams: QBR index	Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems	Munné A, N Prat, C Solà et al.
2009	Calidad de la vegetación ribereña del río Maullín (41° 28 S; 72° 59 O) utilizando el índice QBR	Gayana Botánica	Fernández L, J Rau & A Arriagada
2009	Evaluación de ribera y hábitat fluvial a través de los índices QBR e IHF	Gayana	Palma A, R Figueroa & V Ruiz
2014	Evaluación de la calidad de vegetación ribereña en dos cuencas costeras del sur de Chile mediante la aplicación del índice QBR, como base para su planificación y gestión territorial	Gayana Botánica	Carrasco S, E Hauenstein, F Peña-Cortés et al.
<b>Reportes técnicos</b>			
Año	Título	Institución	Autores
2012	Adaptación regional de un índice de estado para zonas riparianas y su aplicación en la cuenca del Maipo	EcoHyd	Peredo M, F Martínez, E Parada et al.

## Anexo 2. Literatura nacional relacionada con diversidad de macrófitas

Publicaciones			
Año	Título	Revista	Autor
1976	Cormófitos acuáticos de Magallanes	Anales del Instituto de la Patagonia	Pisano E
1977	La vegetación ribereña del lago Cayutue. Parque Nacional Vicente Pérez Rosales, Llanquihue.	Medio Ambiente	Edding M
1978	Variaciones de la taxocenosis de hidrófitas en el curso del estero Limache	Anales del Museo de Historia Natural de Valparaíso	Palma B, F Saiz & C Pizarro
1979	Habit origin and geographical distribution of Chilean vascular hydrophytes	Aquatic Botany	Ramírez C, M Romero & M Riveros
1980	Lista de cormófitos palustres de la Región valdiviana	Boletín del Museo Nacional de Historia Natural, Chile	Ramírez C, M Romero & M Riveros
1981	Las especies de "luchecillos" (Hydrocharitaceae) que prosperan en Chile.	Anales del Museo de Historia Natural de Valparaíso	Ramírez C, R Godoy & E Hauenstein
1982	Formas de vida en hidrófitas chilenas	Medio Ambiente	Ramírez C & E Stegmaier
1984	Hydrophilous vegetation of a coastal lagoon in Central Chile.	Journal of Ecology Environment	Ramírez C & J San Martín
1987	Distribución espacial de la flora y vegetación acuática y palustre del estero Marga-Marga en Chile Central	Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología	Palma B, C San Martín, M Rosales et al.
1987	Estudio florístico y vegetacional de la laguna El Peral, Quinta Región de Chile	Geográfica de Valparaíso	Ramírez C, J San Martín, C San Martín et al.
1989	of the benthic flora on the lower course of the Valdivia river, Chile	Estuaries	Ramírez C, H Figueroa, E Hauenstein et al.
1991	Estudios ecosociológicos en la vegetación de los ñadis de la Decima Región de Chile	Agrosur	Ramírez C, C San Martín, H Figueroa et al.
1991	Estudio de la flora hidrófila del santuario de la naturaleza "Rio Cruces" (Valdivia, Chile)	Gayana Botánica	Ramírez C, C San Martín, R Medina et al.
1991/92	Comparación de la Flora macrofítica de tres lagos del Centro Sur de Chile (Budi, Llanquihue y Cayutue)	Geográfica de Valparaíso	Hauenstein E, C Ramírez, M González et al.
1996	Flora Hidrófila del lago Villarrica (IX Región, Chile) y su importancia como elemento indicador de contaminación	Medio Ambiente	Hauenstein E, C Ramírez, M González et al.
1998	La vegetación de lagunas primaverales en las cercanías de Temuco (Cautín, Chile)	Acta Botánica Malacitana	San Martín C, C Ramírez & P Ojeda
1999	Flora de macrófitas y bioindicadores del lago Budi (IX Región, Chile)	Gayana Botánica	Hauenstein E, M González, L Leiva et al.
1999	Distribución de macrófitas y patrones de zonación ribereña en la cuenca del río Valdivia, Chile	Revista Geográfica de Valparaíso	San Martín C, C Ramírez & P Ojeda
2000	El recurso vegetal del santuario de la naturaleza "Carlos Anwandter" (Valdivia, Chile).	Revista Geográfica de Valparaíso	San Martín C, D Contreras & C Ramírez
2001	Flora y vegetación del estero Reñaca (V Región, Chile)	Gayana Botánica	San Martín C, C Ramírez, J San Martín et al.
2002	Clasificación y caracterización de la flora y vegetación de los humedales de la costa de Toltén (IX Región, Chile).	Gayana Botánica	Hauenstein E, M González, F Peña-Cortés et al.
2004	Colmatación por macrófitas del complejo lacustre Vichuquén (VII Región, Chile) y clave de determinación	Revista Geográfica de Chile Terra Australis	Ramírez C, C San Martín & J San Martín
2006	Visión sinóptica de los macrófitas dulceacuícolas de Chile	Gayana	Hauenstein E
2008	Comparación florística y estado trófico basado en plantas indicadoras de lagunas costeras de la región de La Araucanía, Chile	Ecología Austral	Hauenstein E, F Peña-Cortés, C Bertrán et al.
2009	Floristic composition of anthropogenic seasonal wetlands in the coastal mountain range of Cautín, Chile	Agro Sur	San Martín C & M Álvarez
2011	crophytes assemblages in mountain lakes of Huerquehue National Park (39°S, Araucanía Region, Chile)	Latin American Journal of Aquatic Research	Hauenstein E, F Barriga & P de los Ríos-Escalante

*Manual de procedimiento para el cálculo del Índice Trófico Fluvial basado en Macrófitas (ITFM)*

2011	Diversidad, hábito y hábitat de Macrófitas acuáticos en la Patagonia occidental (Región de Aisén, Chile).	Anales del Instituto de la Patagonia	San Martín C, Y Pérez, D Montenegro et al.
2014	La diversidad florística del humedal "Ciénagas del Name" (Región del Maule) comparada con otros humedales costeros de Chile Central	Gayana Botánica	Ramírez C, J Fariña, D Contreras et al.

**Capítulos de Libros**

Año	Título	Editorial	Autor
1982	Guía de plantas acuáticas y palustres valdivianas.	Universidad Austral de Chile	Ramírez C, R Godoy, D Contreras et al.
1998	Plantas vasculares acuáticas en la región del Biobío.	Ediciones Universidad de Concepción	Rodríguez R& V Dellarossa
2005	Diversidad vegetal en humedales costeros de la Región de La Araucanía	Universitaria, Santiago	Hauenstein E, M Gonzalez, F Peña-Cortéz et al.
2006	Diversidad de macrófitas Chilenos	Editorial Universitaria	Ramírez C & C San Martín
2006	Flora acuática	Comisión Nacional del Medio Ambiente.	Ramírez C & C San Martín
2009	Flora y vegetación de humedales en la región de La Araucanía	Imprenta América Limitada	Hauenstein E
2012	Flora y vegetación hidrófila de los humedales costeros de Chile.	Ediciones Universidad Católica de Chile	Ramírez C & M Álvarez
2012	Guía de campo de la flora hidrófila de los lagos araucanos y norpatagónicos. Casos de estudio lagos Villarrica y Llanquihue	Universidad Católica de Chile Sede Regional Villarrica y Ministerio del Medio Ambiente	Solís K, J Urrutia, C Sánchez et al.

**Acta Congreso**

Año	Título	Congreso	Autor
1986	Distribución geográfica y formas de vida en hidrófitos Chilenos	VIII Congreso Nacional de Geografía, Publicación especial Instituto Geográfico Militar de Chile	Ramírez C, D Contreras & J San Martín

**Anexo 3.** Listado de especies de macrófitas que habitan en las regiones en estudio.

OG: origen geográfico, I: introducido, N: nativo; FV: forma de vida, C: caméfito, Cr: criptófito, F: fanerófito, H: hemicriptófito, Nf: nanofanerófito, T: terófito.

Nº	Especie	Familia	Nombre común	OG	FV
1	<i>Azolla filiculoides</i>	Azollaceae	Flor del pato	N	Cr
2	<i>Equisetum bogotense</i>	Equisetaceae	Limpiaplata	N	Cr
3	<i>Blechnum cordatum</i>	Blechnaceae	Costilla de vaca	N	H
4	<i>Blechnum penna-marina</i>	Blechnaceae	Punke	N	H
5	<i>Isoetes chubutiana</i>	Isoetaceae	Isete	N	Cr
6	<i>Sticherus litoralis</i>	Gleicheniaceae	Hierba loza	N	H
7	<i>Schizaea fistulosa</i>	Schizaeaceae	-	N	H
8	<i>Hypolepis poeppigii</i>	Dennstaedtiaceae	Huilel-lahuén	N	H
9	<i>Pilgerodendron uviferum</i>	Cupressaceae	Ciprés de las Guaitecas	N	F
10	<i>Lepidothamnus fonkii</i>	Podocarpaceae	Ciprés enano	N	C
11	<i>Apium australe</i>	Apiaceae	Apio silvestre	N	H
12	<i>Apium nodiflorum</i>	Apiaceae	Apio de agua	I	H
13	<i>Centella asiatica</i>	Apiaceae	Oreja de oso	N	H
14	<i>Conium maculatum</i>	Apiaceae	Cicuta	I	T
15	<i>Eryngium pseudojunceum</i>	Apiaceae	Cardoncillo	N	H
16	<i>Foeniculum vulgare</i>	Apiaceae	Hinojo	I	H
17	<i>Hydrocotyle bonariensis</i>	Apiaceae	Tembladera	I	T
18	<i>Hydrocotyle chamaemorus</i>	Apiaceae	Tembladerilla	N	H
19	<i>Hydrocotyle ranunculoides</i>	Apiaceae	Hierba de la plata	I	Cr
20	<i>Hydrocotyle modesta</i>	Apiaceae	Tangue	N	H
21	<i>Lilaeopsis macloviana</i>	Apiaceae	-	N	H
22	<i>Baccharis sagittalis</i>	Asteraceae	Verbena de tres esquinas	N	Nf
23	<i>Bidens laevis</i>	Asteraceae	Té de burro	I	H
24	<i>Centipeda elatinoides</i>	Asteraceae	Pedorrilla	N	H
25	<i>Cotula coronopifolia</i>	Asteraceae	Botón de oro	I	C
26	<i>Pseudognaphalium cymatoides</i>	Asteraceae	Vira-vira	N	C
27	<i>Perezia lactuoides</i>	Asteraceae	lechuguilla	N	H
28	<i>Senecio aquaticus</i>	Asteraceae	Senecio	I	H
29	<i>Senecio fistulosus</i>	Asteraceae	Hualtata	N	H
30	<i>Alnus glutinosa</i>	Betulaceae	Aliso	I	F
31	<i>Myosotis palustris</i>	Boraginaceae	No me olvides	I	C
32	<i>Plagiobothrys corymbosus</i>	Boraginaceae	-	N	C
33	<i>Cardamine bonariensis</i>	Brassicaceae	Berro	I	T
34	<i>Nasturtium officinale</i>	Brassicaceae	Berro europeo	I	Cr
35	<i>Rorippa palustris</i>	Brassicaceae	Berro	I	T
36	<i>Callitriche stagnalis</i>	Callitrichaceae	Estrellita de agua	I	Cr

37	<i>Callitriche terrestris</i>	Callitrichaceae	Huenchecó	N	Cr
38	<i>Callitriche palustris</i>	Callitrichaceae	Estrellita de agua	I	Cr
39	<i>Sagina apetala</i>	Caryophyllaceae	Sagina	N	H
40	<i>Sarcocornia fruticosa</i>	Chenopodiaceae	Hierba sosa	N	C
41	<i>Salsola kali</i>	Chenopodiaceae	Cardo ruso	I	T
42	<i>Hypochaeris tenuifolia</i>	Asteraceae	Escorzonera	N	H
43	<i>Calystegia sepium</i>	Convolvulaceae	Suspiro	I	Cr
44	<i>Crassula peduncularis</i>	Crassulaceae	Chacalcura	N	Cr
45	<i>Cuscuta suaveolens</i>	Convolvulaceae	Cabellos de angel	N	T
46	<i>Donatia fascicularis</i>	Donatiaceae	Donatia	N	C
47	<i>Drosera uniflora</i>	Droseraceae	Rocío de sol	N	H
48	<i>Crinodendron hookerianum</i>	Elaeocarpaceae	Chaquihue	N	Nf
49	<i>Crinodendron patagua</i>	Elaeocarpaceae	Patagua	N	F
50	<i>Empetrum rubrum</i>	Empetraceae	Brecillo	N	C
51	<i>Escallonia revoluta</i>	Escalloniaceae	Siete camisas	N	Nf
52	<i>Escallonia virgata</i>	Escalloniaceae	Meki	N	Nf
53	<i>Dysopsis glechomoides</i>	Euphorbiaceae	-	N	H
54	<i>Lotus pedunculatus</i>	Fabaceae	Alfalfa chilota	I	H
55	<i>Nothofagus antarctica</i>	Nothofagaceae	Ñirre	N	F
56	<i>Gentianella magellanica</i>	Gentianaceae	Genciana	N	T
57	<i>Gentiana prostrata</i>	Gentianaceae	Genciana mínima	N	H
58	<i>Selliera radicans</i>	Goodeniaceae	Maleza de marisma	N	C
59	<i>Gunnera lobata</i>	Gunneraceae	Dinacho	N	H
60	<i>Gunnera magellanica</i>	Gunneraceae	Nalca chica	N	H
61	<i>Gunnera tinctoria</i>	Gunneraceae	Pangue	N	H
62	<i>Myriophyllum aquaticum</i>	Haloragaceae	Pinito de agua	I	Cr
63	<i>Myriophyllum quitense</i>	Haloragaceae	Pasto pinito	N	Cr
64	<i>Lycopus europaeus</i>	Lamiaceae	Pata de lobo	N	C
65	<i>Mentha aquatica</i>	Lamiaceae	Menta	I	C
66	<i>Mentha pulegium</i>	Lamiaceae	Poleo	I	C
67	<i>Mentha suaveolens</i>	Lamiaceae	Menta	I	C
68	<i>Prunella vulgaris</i>	Lamiaceae	Hierba mora	I	C
69	<i>Pinguicula antarctica</i>	Lentibulariaceae	Flor del pantano	N	H
70	<i>Pinguicula chilensis</i>	Lentibulariaceae	Violeta del pantano	N	H
71	<i>Utricularia gibba</i>	Lentibulariaceae	Bolsita de agua	I	Cr
72	<i>Downingia pusilla</i>	Campanulaceae	-	N	H
73	<i>Lobelia anceps</i>	Campanulaceae	-	N	C
74	<i>Lobelia oligophylla</i>	Campanulaceae	-	N	H
75	<i>Lythrum hyssopifolia</i>	Lythraceae	Romerillo	I	T
76	<i>Lythrum portula</i>	Lythraceae	Romerillo rojo	I	Cr
77	<i>Lythrum salicaria</i>	Lythraceae	Romero	N	C
78	<i>Luma chequen</i>	Myrtaceae	Chequén	N	F

79	<i>Myrceugenia exsucca</i>	Myrtaceae	Pitra	N	F
80	<i>Myrceugenia parvifolia</i>	Myrtaceae	Pitrilla	N	F
81	<i>Myrteola nummularia</i>	Myrtaceae	Daudapo	N	H
82	<i>Blepharocalyx cruckshanksii</i>	Myrtaceae	Temu	N	F
83	<i>Tepualia stipularis</i>	Myrtaceae	Tepú	N	F
84	<i>Epilobium australe</i>	Onagraceae	Epilobio	N	T
85	<i>Epilobium ciliatum</i>	Onagraceae	Epilobio	N	T
86	<i>Epilobium puberulum</i>	Onagraceae	Epilobio	N	T
87	<i>Ludwigia peploides</i>	Onagraceae	Clavito de agua	I	Cr
88	<i>Fuchsia magellanica</i>	Onagraceae	Chilco	N	Nf
89	<i>Littorella australis</i>	Plantaginaceae	Litorela	N	H
90	<i>Navarretia involucrata</i>	Polemoniaceae	Navarretia	N	T
91	<i>Polygonum hydropiperoides</i>	Polygonaceae	Duraznillo de agua	I	C
92	<i>Polygonum persicaria</i>	Polygonaceae	Duraznillo	I	T
93	<i>Polygonum lapathifolium</i>	Polygonaceae	Duraznillo de flor	I	C
94	<i>Rumex conglomeratus</i>	Polygonaceae	Romaza	I	H
95	<i>Rumex crispus</i>	Polygonaceae	Romaza	I	H
96	<i>Rumex cuneifolius</i>	Polygonaceae	Romaza marina	N	H
97	<i>Rumex obtusifolius</i>	Polygonaceae	Lengua de vaca	I	H
98	<i>Rumex pulcher</i>	Polygonaceae	Romaza	I	H
99	<i>Rumex romassa</i>	Polygonaceae	Romaza	I	H
100	<i>Rumex sanguineus</i>	Polygonaceae	Romaza roja	N	H
101	<i>Anagallis alternifolia</i>	Primulaceae	Pimpinela	N	H
102	<i>Samolus latifolius</i>	Samolaceae	-	N	H
103	<i>Samolus repens</i>	Samolaceae	Pimpinela	N	H
104	<i>Caltha appendiculata</i>	Ranunculaceae	Maicillo	N	H
105	<i>Caltha sagittata</i>	Ranunculaceae	Maicillo	N	H
106	<i>Ranunculus acaulis</i>	Ranunculaceae	Botón de oro	N	H
107	<i>Ranunculus apiifolius</i>	Ranunculaceae	Botón de oro	I	T
108	<i>Ranunculus biternatus</i>	Ranunculaceae	-	N	H
109	<i>Ranunculus bonariensis</i>	Ranunculaceae	Botón de oro	I	T
110	<i>Ranunculus chilensis</i>	Ranunculaceae	Cáustico de vega	N	H
111	<i>Halerpestes cymbalaria</i>	Ranunculaceae	Oreja de gato	N	H
112	<i>Ranunculus flagelliformis</i>	Ranunculaceae	Guante	N	H
113	<i>Ranunculus hydrophilus</i>	Ranunculaceae	Hierba del sapo	N	Cr
114	<i>Ranunculus minutiflorus</i>	Ranunculaceae	Penchaico	N	H
115	<i>Ranunculus trullifolius</i>	Ranunculaceae	Botón de oro	N	H
116	<i>Ranunculus muricatus</i>	Ranunculaceae	Hierba del guante	I	H
117	<i>Ranunculus parviflorus</i>	Ranunculaceae	Botón de oro	N	T
118	<i>Ranunculus peduncularis</i>	Ranunculaceae	Hierba de la vaca	N	H
119	<i>Ranunculus pseudotrullifolius</i>	Ranunculaceae	Botón de oro	N	H
120	<i>Ranunculus repens</i>	Ranunculaceae	Botón de oro	I	H

121	<i>Halerpestes uniflora</i>	Ranunculaceae	Penchaico	N	T
122	<i>Potentilla anserina</i>	Rosaceae	Canelilla	N	H
123	<i>Nertera granadensis</i>	Rubiaceae	Rucachucao	N	H
124	<i>Oldenlandia salzmännii</i>	Rubiaceae	-	N	T
125	<i>Salix babylonica</i>	Salicaceae	Sauce llorón	I	F
126	<i>Salix caprea</i>	Salicaceae	Sauce capruno	I	F
127	<i>Salix humboldtiana</i>	Salicaceae	Sauce amargo	N	F
128	<i>Salix viminalis</i>	Salicaceae	Sauce mimbre	I	Nf
129	<i>Limosella australis</i>	Plantaginaceae	Limosela	N	H
130	<i>Mimulus crinitus</i>	Phrymaceae	Berro pelado	N	H
131	<i>Mimulus cupreus</i>	Phrymaceae	Flor del cobre	N	C
132	<i>Mimulus glabratus</i>	Phrymaceae	Berro amarillo	N	C
133	<i>Mimulus luteus</i>	Phrymaceae	Placa	N	C
134	<i>Mimulus bridgesii</i>	Phrymaceae	Berro peludo	N	H
135	<i>Ourisia coccinea</i>	Plantaginaceae	Orisia	N	H
136	<i>Veronica beccabunga</i>	Plantaginaceae	Verónica	I	Cr
137	<i>Veronica anagallis-aquatica</i>	Plantaginaceae	No me olvides	I	Cr
138	<i>Nierembergia repens</i>	Solanaceae	Suspiro	N	H
139	<i>Pilea elegans</i>	Urticaceae	Pilea	N	C
140	<i>Pilea elliptica</i>	Urticaceae	Pilea	N	C
141	<i>Urtica dioica</i>	Urticaceae	Ortiga	I	T
142	<i>Phyla nodiflora</i>	Verbenaceae	Hierba de la virgen	N	H
143	<i>Glandularia corymbosa</i>	Verbenaceae	Verbena	N	C
144	<i>Drimys winteri</i>	Winteraceae	Canelo	N	F
145	<i>Alisma lanceolatum</i>	Alismataceae	Llantén de agua	I	H
146	<i>Alisma plantago-aquatica</i>	Alismataceae	Llantén de agua	I	H
147	<i>Sagittaria montevidensis</i>	Alismataceae	Rosa de agua	N	H
148	<i>Aponogeton Distachyos</i>	Aponogetonaceae	-	I	Cr
149	<i>Gaimardia australis</i>	Centrolepidaceae	-	N	C
150	<i>Carex acutata</i>	Cyperaceae	Cortadera	N	H
151	<i>Carex brongniartii</i>	Cyperaceae	Cortadera café	N	H
152	<i>Carex canescens</i>	Cyperaceae	Cortadera amarilla	N	H
153	<i>Carex fuscula</i>	Cyperaceae	Cortadera chica	N	H
154	<i>Carex magellanica</i>	Cyperaceae	-	N	H
155	<i>Carex pseudocyperus</i>	Cyperaceae	Cortadera grande	I	H
156	<i>Carex riparia</i>	Cyperaceae	Cortadera azul	N	H
157	<i>Carpha schoenoides</i>	Cyperaceae	-	N	H
158	<i>Cyperus reflexus</i>	Cyperaceae	Lleivún	N	H
159	<i>Cyperus eragrostis</i>	Cyperaceae	Cortadera grande	N	H
160	<i>Eleocharis acicularis</i>	Cyperaceae	Hilo de agua	I	Cr
161	<i>Eleocharis macrostachya</i>	Cyperaceae	Rime	N	H
162	<i>Eleocharis melanostachys</i>	Cyperaceae	Quilmén negro	N	H

163	<i>Eleocharis pachycarpa</i>	Cyperaceae	Quilmén	I	H
164	<i>Oreobolus obtusangulus</i>	Cyperaceae	Erizo	N	C
165	<i>Schoenus rhynchosporoides</i>	Cyperaceae	Quilmén	N	H
166	<i>Schoenoplectus californicus</i>	Cyperaceae	Totora	N	H
167	<i>Isolepis inudata</i>	Cyperaceae	Chan-chán	N	H
168	<i>Isolepis cernua</i>	Cyperaceae	Can-cán	N	H
169	<i>Schoenoplectus americanus</i>	Cyperaceae	Totora azul	N	H
170	<i>Egeria densa</i>	Hydrocharitaceae	Luchecillo	I	Cr
171	<i>Sisyrinchium patagonicum</i>	Iridaceae	Ñuño	N	Cr
172	<i>Tapeinia pumila</i>	Iridaceae	Tapeinia	N	C
173	<i>Juncus kraussii</i>	Juncacea	Junco	I	H
174	<i>Juncus bufonius</i>	Juncacea	Junquillo	I	T
175	<i>Juncus pallescens</i>	Juncacea	Hierba de la vaca	N	H
176	<i>Juncus effusus</i>	Juncacea	Junco	I	H
177	<i>Juncus planifolius</i>	Juncacea	Junquillo	N	T
178	<i>Juncus stipulatus</i>	Juncacea	Junquillito	N	T
179	<i>Juncus procerus</i>	Juncacea	Junquillo	N	H
180	<i>Marsippospermum philippii</i>	Juncacea	Quilmén	N	H
181	<i>Triglochin palustris</i>	Juncaginaceae	Hierba de la paloma	N	H
182	<i>Tetroncium magellanicum</i>	Juncaginaceae	-	N	H
183	<i>Lilaea scilloides</i>	Juncaginaceae	Lilea	N	H
184	<i>Astelia pumila</i>	Asteliaceae	-	N	C
185	<i>Habenaria pumila</i>	Orchidaceae	Orquidea	N	H
186	<i>Agrostis stolonifera</i>	Poaceae	Chépica	I	Cr
187	<i>Agrostis leptotricha</i>	Poaceae	Chépica	N	H
188	<i>Polypogon viridis</i>	Poaceae	Cola de zorro	I	H
189	<i>Agrostis capillaris</i>	Poaceae	Chépica	I	H
190	<i>Distichlis spicata</i>	Poaceae	Pasto salado	N	H
191	<i>Holcus lanatus</i>	Poaceae	Pasto dulce	I	H
192	<i>Glyceria multiflora</i>	Poaceae	Gliceria	N	H
193	<i>Phragmites australis</i>	Poaceae	Carrizo	I	Cr
194	<i>Potamogeton pusillus</i>	Potamogetonaceae	Huiro	N	Cr
195	<i>Potamogeton linguatus</i>	Potamogetonaceae	Ahuirunque	N	Cr



**Anexo 4.** A continuación se presenta el listado de especies de macrófitas indicadores, los cuales fueron inventariados en los terrenos realizados en los sistemas fluviales de las regiones IX (Canal Gibbs, Río Traiguén), XIV (Río Cruces) y X (Río Rahue), en el marco del desarrollo del proyecto.

Especies de macrófitas según nivel de tolerancia a la contaminación orgánica.

<b>Especies indicadores de tolerancia a la contaminación orgánica</b>	<b>Baja</b>	<b>Media</b>	<b>Alta</b>
<i>Acaenaovalifolia</i>	x		
<i>Callitricheterrestris</i>	x		
<i>Carexriparia</i>	x		
<i>Cyperusreflexus</i>	x		
<i>Equisetumbogotense</i>	x		
<i>Gratiola peruviana</i>	x		
<i>Isolepisinundata</i>	x		
<i>Myrceugeniaexsucca</i>	x		
<i>Ourisiaruelloides</i>	x		
<i>Paspalumdasyleurum</i>	x		
<i>Polygonumaviculare</i>	x		
<i>Rumexacetosella</i>	x		
<i>Ulexeuropaeus</i>	x		
<i>Acacia dealbata</i>		x	
<i>Agrostiscapillaris</i>		x	
<i>Aristoteliachilensis</i>		x	
<i>Baccharisracemosa</i>		x	
<i>Blechnumcordatum</i>		x	

<i>Calystegiasepium</i>	X
<i>Carex acutata</i>	X
<i>Convolvulus arvensis</i>	X
<i>Cyperus difformis</i>	X
<i>Cyperus eragrostis</i>	X
<i>Digitaria sanguinalis</i>	X
<i>Egeria densa</i>	X
<i>Eleocharis radicans</i>	X
<i>Fuchsia magellanica</i>	X
<i>Galium aparine</i>	X
<i>Holcus lanatus</i>	X
<i>Hydrocotyle modesta</i>	X
<i>Hypericum perforatum</i>	X
<i>Hypochaeris radicata</i>	X
<i>Juncus lesueurii</i>	X
<i>Juncus pallescens</i>	X
<i>Juncus procerus</i>	X
<i>Leontodon saxatilis</i>	X
<i>Lotus pedunculatus</i>	X
<i>Lycopus europaeus</i>	X
<i>Mentha pulegium</i>	X
<i>Myriophyllum aquaticum</i>	X
<i>Nymphaea alba</i>	X
<i>Plantago lanceolata</i>	X

<i>Plantagomajor</i>	X	
<i>Poa annua</i>	X	
<i>Polygonumhydropiperoides</i>	X	
<i>Populus deltoides</i>	X	
<i>Potentilla anserina</i>	X	
<i>Prunellavulgaris</i>	X	
<i>Ranunculus repens</i>	X	
<i>Rubus constrictus</i>	X	
<i>Salixbabylonica</i>	X	
<i>Salixcaprea</i>	X	
<i>Salixviminalis</i>	X	
<i>Schoenoplectuscalifornicus</i>	X	
<i>Trifoliumrepens</i>	X	
<i>Typha angustifolia</i>	X	
<i>Veronica anagallis-aquatica</i>	X	
<i>Alisma lanceolatum</i>		X
<i>Alisma plantago-aquatica</i>		X
<i>Alnus glutinosa</i>		X
<i>Anagallisalternifolia</i>		X
<i>Callitrichestagnalis</i>		X
<i>Cardaminenasturtioides</i>		X
<i>Cirsiumvulgare</i>		X
<i>Dactylisglomerata</i>		X
<i>Galega officinalis</i>		X

<i>Hydrocotyleranunculoides</i>	X
<i>Ludwigiaeploides</i>	X
<i>Mimulusuteus</i>	X
<i>Nasturtiumofficinale</i>	X
<i>Polygonum persicaria</i>	X
<i>Potamogetonpusillus</i>	X
<i>Rumexconglomeratus</i>	X
<i>Seneciovulgaris</i>	X
<i>Solanumnigrum</i>	X

---

**Anexo 5.** Riqueza taxonomica Río Traiguen IX Región.

Especie/Estación	E1	E2	E3
<i>Acaena ovalifolia</i>	0	0	0
<i>Acer pseudoplatanus</i>	0	0	0
<i>Agrostis capillaris</i>	5	10	0
<i>Alisma lanceolatum</i>	0	0	1
<i>Alisma plantago-aquatica</i>	0	0	1
<i>Asteraceae</i>	0	0	0
<i>Bidens sp.</i>	0	0	0
<i>Blechnum cordatum</i>	0	0	0
<i>Brassicaceae</i>	0	1	0
<i>Buddleja globosa</i>	0	0	1
<i>Callitriche stagnalis</i>	0	0	1

<i>Cardamine nasturtioides</i>	0	0	0
<i>Carex acutata</i>	5	40	1
<i>Chenopodium sp.</i>	0	1	0
<i>Cirsium vulgare</i>	0	0	0
<i>Convolvulus arvensis</i>	0	0	1
<i>Cyperus eragrostis</i>	0	0	0
<i>Dactylis glomerata</i>	0	0	0
<i>Eleocharis acicularis</i>	0	0	0
<i>Eleocharis macrostachya</i>	0	0	0
<i>Equisetum bogotense</i>	0	0	0
<i>Glyceria sp.</i>	0	0	1
<i>Hoja compuesta</i>	0	0	0
<i>Holcus lanatus</i>	1	0	0
<i>Hydrocotyle chamaemorus</i>	1	1	0
<i>Hypericum perforatum</i>	1	1	0
<i>Juncus lesueurii</i>	5	1	0
<i>Juncus pallescens</i>	0	0	1
<i>Juncus procerus</i>	0	0	1
<i>Juncus sp.</i>	1	0	0

<i>Lamium sp.</i>	0	0	0
<i>Lotus pedunculatus</i>	10	25	1
<i>Ludwigia peploides</i>	0	0	48
<i>Mentha sp.</i>	0	0	0
<i>Mimulus sp.</i>	0	1	0
<i>Myosotis sp.</i>	0	5	1
<i>Myrceugenia exsucca</i>	0	0	0
<i>Ourisia ruelloides</i>	5	0	0
<i>Plantago lanceolata</i>	1	0	0
<i>Polygonum hydropiperoides</i>	0	0	12
<i>Polygonum persicaria</i>	0	0	0
<i>Polypogon sp.</i>	1	0	0
<i>Potamogeton pusillus</i>	0	0	25
<i>Prunella vulgaris</i>	1	1	0
<i>Ranunculus repens</i>	0	1	0
<i>Rumex acetosella</i>	1	0	0
<i>Rumex sp.</i>	0	0	0
<i>Sisymbrium officinale</i>	0	1	0
<i>Salix babylonica</i>	0	0	1

<i>Salix caprea</i>	0	0	1
<i>Salix viminalis</i>	0	0	1
<i>Ulex europaeus</i>	0	0	1
Riqueza	13	13	18

---

**Anexo 6.** Riqueza taxonomica Río Cruces XIV Región.

Especie/Estación	E1	E2	E3
<i>Acaena ovalifolia</i>	0	0	0
<i>Acer pseudoplatanus</i>	0	0	0
<i>Agrostis capillaris</i>	5	10	0
<i>Alisma lanceolatum</i>	0	0	1
<i>Alisma plantago-aquatica</i>	0	0	1
<i>Asteraceae</i>	0	0	0
<i>Bidens sp.</i>	0	0	0

<i>Blechnum cordatum</i>	0	0	0
<i>Brassicaceae</i>	0	1	0
<i>Buddleja globosa</i>	0	0	1
<i>Callitriche stagnalis</i>	0	0	1
<i>Cardamine nasturtioides</i>	0	0	0
<i>Carex acutata</i>	5	40	1
<i>Chenopodium sp.</i>	0	1	0
<i>Cirisum vulgare</i>	0	0	0
<i>Convolvulus arvensis</i>	0	0	1
<i>Cyperus eragrostis</i>	0	0	0
<i>Dactylis glomerata</i>	0	0	0
<i>Eleocharis acicularis</i>	0	0	0
<i>Eleocharis macrostachya</i>	0	0	0
<i>Equisetum bogotense</i>	0	0	0
<i>Glyceria sp.</i>	0	0	1
<i>Hoja compuesta</i>	0	0	0
<i>Holcus lanatus</i>	1	0	0
<i>Hydrocotyle chamaemorus</i>	1	1	0
<i>Hypericum perforatum</i>	1	1	0

<i>Juncus lesueurii</i>	5	1	0
<i>Juncus pallescens</i>	0	0	1
<i>Juncus procerus</i>	0	0	1
<i>Juncus sp.</i>	1	0	0
<i>Lamium sp.</i>	0	0	0
<i>Lotus pedunculatus</i>	10	25	1
<i>Ludwigia peploides</i>	0	0	48
<i>Mentha sp.</i>	0	0	0
<i>Mimulus sp.</i>	0	1	0
<i>Myosotis sp.</i>	0	5	1
<i>Myrceugenia exsucca</i>	0	0	0
<i>Ourisia ruelloides</i>	5	0	0
<i>Plantago lanceolata</i>	1	0	0
<i>Polygonum hydropiperoides</i>	0	0	12
<i>Polygonum persicaria</i>	0	0	0
<i>Polypogon sp.</i>	1	0	0
<i>Potamogeton pusillus</i>	0	0	25
<i>Prunella vulgaris</i>	1	1	0
<i>Ranunculus repens</i>	0	1	0

<i>Rumex acetosella</i>	1	0	0
<i>Rumex sp.</i>	0	0	0
<i>Sisymbrium officinale</i>	0	1	0
<i>Salix babylonica</i>	0	0	1
<i>Salix caprea</i>	0	0	1
<i>Salix viminalis</i>	0	0	1
<i>Ulex europaeus</i>	0	0	1
Riqueza	13	13	18

---

**Anexo 7.** Riqueza taxonomica Río Rahue X Región.

Especie/Estación	E1	E2	E3	E4
<i>Agrostis capillaris</i>	1	1	1	0
<i>Alisma plantago-aquatica</i>	0	0	1	1
<i>Alnus glutinosa</i>	0	1	0	0
<i>Callitriche stagnalis</i>	0	5	1	1
<i>Callitriche terrestris</i>	1	0	0	0
<i>Cardamine nasturtioides</i>	0	1	5	0
<i>Cirsium vulgare</i>	0	1	1	0
<i>Cyperus reflexus</i>	0	0	1	0
<i>Eleocharis acicularis</i>	10	1	0	0
<i>Equisetum bogotense</i>	1	0	0	0
<i>Galium aparine</i>	0	1	0	0
<i>Hydrocotyle ranunculoides</i>	1	0	0	0
<i>Hypochaeris radicata</i>	1	1	1	0
<i>Isolepis inundata</i>	0	0	1	0
<i>Leontodon saxatilis</i>	1	0	1	0
<i>Lotus pedunculatus</i>	5	5	0	0
<i>Ludwigia peploides</i>	0	1	0	0

<i>Mimulus luteus</i>	1	0	1	0
<i>Paspalum dasypleurum</i>	0	0	1	0
<i>Plantago lanceolata</i>	1	1	0	0
<i>Plantago major</i>	1	1	0	0
<i>Poa annua</i>	0	1	1	0
<i>Polygonum aviculare</i>	0	1	0	1
<i>Polygonum hydropiperoides</i>	0	1	10	5
<i>Polygonum persicaria</i>	1	10	30	1
<i>Populus deltoides</i>	0	1	0	0
<i>Potamogeton pusillus</i>	0	0	0	5
<i>Rumex acetosella</i>	1	0	0	0
<i>Rumex conglomeratus</i>	1	0	1	0
<i>Salix babylonica</i>	0	0	0	10
<i>Salix caprea</i>	20	1	0	20
<i>Salix viminalis</i>	30	50	0	40
<i>Schoenoplectus californicus</i>	1	0	0	0
<i>Senecio vulgaris</i>	0	1	1	0
<i>Solanum nigrum</i>	1	0	5	0
<i>Trifolium repens</i>	0	1	1	0

<i>Veronica anagallis-aquatica</i>	0	10	5	0
Riqueza	18	22	19	9

---