



FACULTAD DE CIENCIAS
INSTITUTO DE BIOLOGÍA Y CIENCIAS AMBIENTALES
INGENIERÍA AMBIENTAL

**“VALORACIÓN DEL ECOSISTEMA HÍDRICO DEL ESTERO LIMACHE,
REGIÓN DE VALPARAÍSO, MEDIANTE LA APLICACIÓN DEL ÍNDICE
DE FUNCIONALIDAD FLUVIAL”**

TRABAJO DE TITULACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO AMBIENTAL

Javiera Ana María Aranda de la Fuente

Profesor Guía: Dr. Hernán Gaete Olivares

Profesor Co-Guía: Jairo Valencia Muñoz

Valparaíso, Chile 2014

Dedico este trabajo de titulación a los pilares fundamentales de mi bendecida vida...

*A Elena de la Fuente, la mujer más maravillosa que conozco, un ejemplo a seguir y que día a día me brindó su apoyo, comprensión y sabiduría para avanzar este pedregoso camino... Con cada cariño, atención diaria y preocupación hiciste dulce cada momento de dificultad. Gracias **Mamá** por tu incondicionalidad y tu Fe.*

*A Don Pedro, mi súper héroe, que con su ejemplo de trabajo diario, con su empuje, con su sentido de superación me enseñó la lección más valiosa de la vida, que nada es imposible, y si las capacidades están, solo se deben explotar. Te admiro, con tu vida me inspiraste a diario a seguir adelante y superar todas las dificultades que se presentaron. Gracias **Papá** por prestar esa sabiduría en el momento preciso.*

*A mis cómplices, a mis mejores amigas, mis incondicionales mis **Hermanas**, Gabriela y Fernanda, consejeras en todo momento, fueron y son la pieza fundamental para emprender cualquier decisión, a su lado todo es más fácil. Gracias infinitas por la tolerancia, paciencia y comprensión.*

*A mis **Abuelitos** Guillermo, Clemencia, Ana y Toño por sus constantes atenciones y preocupación en el transcurso del periodo y a todos aquellos familiares que entregaron fuerzas en los momentos de debilidad.*

*Gracias infinitas a **Dios** por darme la oportunidad de caer y levantarme... de vivir y avanzar...*

Agradecimientos,

A mis profesores guías....

Profesor Hernán Gaete, por el apoyo y fe depositada en el trabajo. Por el tiempo invertido en el proyecto y visualizarlo para cosas más grandes...

A Jairo Valencia por el entusiasmo, por el apoyo incondicional, por el trabajo entregado para la realización de ésta tesis. Por aquellas palabras de aliento cuando todo se volvía cuesta arriba y finalmente por terminar siendo un partner en el proceso...

A Dino Figueroa, por ser una pieza fundamental en mi investigación, por plasmar la duda, por invertir tiempo, recursos e interés en un proyecto ajeno a su institución Seremi de Medio Ambiente. Infinitas Gracias por TODO...

A Pamela, la secretaria de Ing. Ambiental por remecer mi vida en el momento indicado, y abrir mis ojos cuando más lo necesitaba...

A los profesionales antes mencionados, gracias por apoyarme cuando se presentaron problemas de salud, sin su comprensión, palabras de apoyo y preocupación nada hubiese sido posible.

Y finalmente Gracias a mis amigos de la vida y a aquellas personas que se presentaron en la carrera y lograron en diferentes momentos incluirse en mis dinámicas, sin duda hicieron más llevadero el proceso.

Resumen

El recurso hídrico, elemental para la vida del hombre, está siendo irracionalmente utilizado por ello que el monitoreo de su calidad se realiza de forma constante, sin embargo los métodos utilizados no consideran todos los elementos que interactúan en el ecosistema acuático, de ésta forma se entrega un estado puntual del curso de agua.

El Estero Limache es un cuerpo hídrico destacado en la provincia de Marga-Marga región de Valparaíso, está clasificado como sitio de prioridad 1 según la Estrategia Regional para la Biodiversidad (ERB), además de tener un rol principal como receptáculo de la descarga del efluente de la Planta de Tratamiento de Aguas Servidas (PTAS) de ESVAL, no obstante carece de información respecto a su funcionalidad y su estado ecológico. Bajo estos criterios se evaluó el curso principal del Estero Limache por medio de una herramienta de sencilla aplicación que proporciona una visión integral del cuerpo de agua, el Índice de Funcionalidad Fluvial (IFF). Para tal propósito se establecieron cuatro tramos homogéneos dentro de la sección en estudio, la que tuvo inicio en el sector de Lo Gamboa (T1) y término en Puente Limache (T4), para así constituir 4,55 kilómetros de estudio.

La vegetación identificada en el bosque de ribera, para los tramos evaluados, fueron 16 especies de plantas terrestres donde predominaron las especies adventicias por sobre las nativas y endémicas. Con respecto a los macroinvertebrados se registraron un total de 16 familias, donde las especies tolerantes a la contaminación Chironomidae y Physidae estuvieron presentes en los cuatro tramos homogéneos.

El Índice de Funcionalidad Fluvial, evidenció una funcionalidad del ecosistema variable en el rango de “Bueno-Medriocre” (II – III) a “Inferior” (IV) en las estaciones evaluadas, donde el juicio menor se identificó en el sector de Lo Gamboa (T2), lugar donde se emplaza la PTAS de ESVAL, mientras que el juicio mayor se evidenció en el tramo más alejado a la descarga de dicha planta, en el sector de Puente Limache (T4)

La integración de estos resultados incrementa la importancia de incorporar el uso de índices ambientales, para determinar la calidad de los cuerpos de aguas afectadas por intervención humana. Además la clasificación de calidades de agua mediante estos instrumentos puede ayudar a la toma de decisiones de definición en las estrategias de restauración y conservación de las cuencas hidrográficas para el continuo biomonitoreo.

ÍNDICE

ÍNDICE DE CONTENIDOS	Página
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. MARCO TEÓRICO	3
2.1. Importancia del agua.....	3
2.2. Situación Internacional	4
2.3. El agua y su normativa en Chile.....	5
2.4. Contaminación del agua	7
2.5. Índices de estado ecológico.....	8
2.6. Los Ríos	9
2.7. Los ríos como ecosistemas.....	10
2.8. Macroinvertebrados acuáticos bentónicos.....	13
2.9. Índice de Funcionalidad Fluvial (IFF).....	14
2.10. Antecedentes área de estudio.....	16
2.11. Vegetación Estero Limache	18
2.12. Ictiofauna Estero Limache	19
3. PROBLEMA.....	21
4. OBJETIVOS	22
4.1. Objetivo General.....	22
4.2. Objetivo Específico	22
5. MATERIALES Y MÉTODOS	23
5.1. Caracterización de la vegetación y macroinvertebrados utilizados en el Índice de Funcionalidad Fluvial.	23
5.2. Determinación de la funcionalidad del Estero Limache.....	24
5.2.1. Zona de estudio	24

5.2.2. Aplicación del Índice de Funcionalidad Fluvial en la sección del Estero Limache.....	27
5.2.3. Elaboración del mapa de calidad ambiental basado en el Índice de Funcionalidad Fluvial del área de estudio.....	33
5.3. Comparación de los estados de funcionalidad entre tramos del Estero Limache.....	34
6. RESULTADOS	35
6.1. Caracterización de la vegetación y macroinvertebrados utilizados en el Índice de Funcionalidad Fluvial	35
6.1.1. Aplicación del Índice de Funcionalidad Fluvial en la sección del Estero Limache	38
6.1.1. Mapa de Funcionalidad Fluvial del Estero Limache	40
6.2. Comparación de los estados de funcionalidad entre los tramos.....	42
7. DISCUSIÓN.....	44
8. CONCLUSIÓN.....	46
9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	48
10. ANEXO 1 Ficha de Aplicación Índice de Funcionalidad Fluvial Estero Limache..	54

ÍNDICE DE TABLAS

Página

Tabla 1. Rangos de calidad del Índice de Funcionalidad Fluvial.	15
Tabla 2. Ubicación tramos de aplicación IFF.	25
Tabla 3. Ficha de aplicación Índice de Funcionalidad Fluvial	28
Tabla 4. Taxas vegetacionales presentes en los tramos de evaluación en el Estero Limache utilizados en el IFF	36
Tabla 5. Familias de Macroinvertebrados registrados en los tramos evaluados.....	37
Tabla 6. Funcionalidad de los tramos evaluados en el Estero Limache.	39
Tabla 7. Puntaje asignado por IFF a los tramos de evaluación dentro del Estero Limache.	55

ÍNDICE DE FIGURAS

Página

Figura 1. Esquema principales dimensiones e interacciones presentes en un río.....	9
Figura 2. Cambios en los grupos de consumidores a lo largo del río continuo.....	12
Figura 3. Cuenca del río Aconcagua	17
Figura 4. Ictiofauna nativa Estero Limache.....	19
Figura 5. Ictiofauna exótica Estero Limache.....	20
Figura 6. Localización de puntos y tramos de muestreo dentro del Estero Limache.	26
Figura 7. Mapa Funcionalidad Fluvial del Estero Limache.....	41
Figura 8. Comparación de funcionalidad entre tramos de evaluación del Estero Limache.	42
Figura 9. Ubicación de la Planta de Tratamiento de Aguas Servidas (PTAS) en el Estero Limache	43

1. INTRODUCCION

En la actualidad, el concepto de río aún es considerado como un colector de agua superficial cuya función principal es la de drenar el territorio. Sin embargo, el flujo hídrico se desarrolla bajo el principio de río continuo, con elementos interconectados entre sí, con dinámicas intrínsecas como las presentes desde zonas altas del río hasta su desembocadura, y, finalmente, de forma transversal desde la ribera terrestre hasta el ecosistema acuático (Siligardi *et al.*, 2000).

La distribución del agua dulce en la superficie terrestre ha sufrido cambios bastante notorios a raíz de la acción del hombre por controlarla, comenzando por la manipulación de los flujos de los grandes ríos, las presas de almacenamiento, el drenaje de los humedales, el transporte del agua a los centros urbanos, la explotación de los acuíferos y la irrigación de las tierras agrícolas, entre otros. Además, diversos aspectos tecnológicos y económicos han influido en ello, como la navegación, la agricultura, la industrialización, la generación de energía y usos domésticos, los que dependen en forma directa del agua. En suma, todas estas actividades tienden a modificar los flujos de agua dulce, cambiando las tasas de evaporación y la calidad de las aguas por el aumento de desechos tóxicos (Toledo, 2002).

La calidad de los cuerpos de agua se evalúa mediante la presencia de concentración de contaminantes y medición de parámetros físico-químicos. Esta situación es considerada deficiente de acuerdo al estado real del ecosistema fluvial, ya que no incorpora la dinámica de los factores bióticos y abióticos presentes en zonas acuáticas y terrestres del medio (Morolli & Santolini, 2006). De esta forma dichos métodos convencionales sólo proporcionan un resultado deficiente que carece de uno de los componentes fundamentales en la calidad del recurso hídrico, el componente más dinámico y en la actualidad más vulnerable del ciclo del agua, la biota (Zalewski, 2000).

En base a lo descrito anteriormente, los índices ecológicos y los indicadores biológicos, en los últimos años, han adquirido protagonismo en la valoración y comprensión de los ecosistemas acuáticos. Incluso, en la actualidad, son considerados en las legislaciones de diferentes países (Canepel *et al.*, 2010). Si bien en Chile aún no se presentan como una herramienta legal en su aplicación, existen estudios donde la evaluación de la calidad de las aguas del hábitat fluvial se realiza a través de índices biológicos, ejemplo de ello es lo realizado en Estero Ñonguen (Palma *et al.*, 2009) y en río Chillán (Figueroa *et al.*, 2007).

El trabajo de título a desarrollar en los posteriores apartados surge en base a las condiciones, actuales y futuras, descritas respecto al tema y a la propuesta de aplicar en Chile el Índice de Funcionalidad Fluvial (IFF), método de medición de calidad ambiental de los ecosistemas acuáticos, que tiene la ventaja de evaluar de forma global considerando las principales características del río, tales como, zona ribereña, elementos morfológicos y biológicos entre otros (Negri *et al.*, 2000). Con esta herramienta, se logrará abarcar el objetivo general de evaluar la valoración ambiental del curso principal del ecosistema fluvial del Estero Limache perteneciente a la provincia del Marga-Marga, región de Valparaíso, que posee una extensión de 50 km y forma parte de los últimos tributarios del río Aconcagua antes de la desembocadura en la bahía de Concón.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Importancia del agua

El agua es un recurso natural y esencial para el desarrollo de una sociedad, y más específicamente, para la existencia de la vida. Un 70% del planeta está compuesto de agua y sin embargo, a pesar de estas condiciones, es escasa. Solo el 2.8% es agua dulce, donde la mayor porción está presente en glaciares y los polos, y una menor fracción en los ríos y lagos que albergan un caudal de 2000 km cúbicos, los que no están disponibles uniformemente en todas las regiones del mundo y se ven condicionadas por las variaciones en la precipitación estacional y anual (Elosegi & Sabater, 2009).

El aumento de la población tiene relación directa con el aumento del consumo de agua dulce, ya sea para la producción de alimento, usos industriales o fundamentalmente para uso doméstico. La disponibilidad del recurso presenta limitaciones en la cantidad de personas que habitan una zona e influye en la calidad de vida (MMA, 2012).

Por lo anterior, es que el recurso hídrico adquiere relevancia para la sociedad, si las necesidades de agua dulce son superior a los suministros disponibles, la posible sobre-explotación superficial podría provocar escasez crónica de agua. Es por esto, que su administración, análisis y planificación juegan un rol fundamental para una óptima gestión integral del recurso, donde todos los actores son considerados (Muñoz & Silva 2010).

2.2. Situación Internacional

La población mundial ha experimentado un agudo incremento, 80 millones de personas nacen por año, lo que implica una demanda del recurso hídrico de al menos 64 mil millones de metros cúbicos anuales. Este aumento demográfico, sumado al incremento del consumo por una mayor renta per cápita, son los vitales responsables de la amenaza sobre la disponibilidad de agua (UNESCO, 2010). A dicho escenario, se suma que el 75% de la población humana se concentra en países y regiones donde solo existe el 20% de las disponibilidades de agua (Toledo, 2002).

Por el acelerado deterioro de los recursos acuáticos esta situación empeorará en el futuro próximo. Se espera, en efecto, que hacia el 2025 el 80% de la población de la tierra viva bajo condiciones de alta y muy alta escasez de recursos hídricos (Toledo, 2002).

Es por esto que es de real importancia que el manejo del recurso hídrico sea sustentable, tomando en cuenta todos los procesos tanto hidrológicos, biológicos, químicos, aspectos sociales hasta lo económico. La calidad de agua se ha evaluado por mucho tiempo en base a los análisis físicos y químicos. No obstante en países latinoamericanos como Panamá, Brasil, Colombia y Venezuela se han iniciado estudios de comunidades acuáticas de forma complementaria para un análisis más realista de la cuenca hidrográfica (Muñoz & Silva, 2010).

2.3. El agua y su normativa en Chile

En Chile, conociendo la importancia que presentan los recursos hídricos en la vida humana se han desarrollado diversas estrategias y métodos de tal manera de velar por la calidad de las aguas. Para tal propósito se han generado las normas de calidad ambiental primarias y secundarias estipuladas en la ley 19.300 Ley de Bases General del Medio Ambiente modificada por la ley N° 20.473. La gran divergencia entre estos dos instrumentos radica en quien se ve afectado por la contaminación presente en el entorno. Para el caso de las normas primarias, estas están dirigidas a la salud y protección de las personas, mientras que las normas secundarias son enfocadas a la protección conservación o preservación del medio ambiente. Si bien a quien esta dirigidas su aplicación difiere, ambas permiten regular la calidad ambiental (Ley 20.473, 2010).

En el mes de Enero del año 2010, Chile se convirtió en el país número 31 en pertenecer a la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE). Por consiguiente adquirió como propias las obligaciones y recomendaciones contenidas en los instrumentos de dicha organización, dentro de los cuales se presenta la promoción de la creación de las Normas Secundarias de Calidad Ambiental para la protección de las aguas continentales superficiales (OCDE, 2011). En el país dicha legislación se enmarcó bajo los Programas Priorizados de Norma a cargo de la Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA) y es, bajo estas directrices, que se generaron normas para dos cuerpos de agua dulce: el río Serrano y el lago Llanquihue, ambas con el objetivo de prevenir el deterioro ambiental, proteger y conservar la biodiversidad acuática y mantener la calidad del recurso. Cabe destacar que para el río Aconcagua, donde el Estero Limache es uno de sus principales tributarios, la CONAMA inició de forma oficial el proceso de dictación de la NSCA el año 2004 (CONAMA, 2004).

En el proceso anterior, se debe especificar que para la elaboración del anteproyecto de la NSCA se constituyeron dos comités. El primero, corresponde al 'comité operativo', quién se integra por instituciones del Estado competentes en el ámbito; luego, se encuentra 'comité ampliado', constituido por personas naturales y jurídicas ajenas a la administración del Estado ávido de participar. De esta forma ambos comités elaboraron un anteproyecto de la norma que fue publicado el 16 de enero de 2006, momento en el que se amplió la discusión pública hasta el 17 de marzo del mismo año (SINIA, 2013).

Sin embargo, la NSCA para el río Aconcagua no ha sido proclamada, y, actualmente el proceso de reactivación está a cargo del organismo público del Ministerio de Medio Ambiente, en margen del Octavo Programa Priorizado de Dictación de Normas de Calidad Ambiental y de Emisión. A pesar de la situación mencionada, es relevante destacar que existe una propuesta regional, por parte de la Secretaria Regional Ministerial (SEREMI) del Medio Ambiente de la región de Valparaíso, que plantea lineamientos técnicos y administrativos para abordar y, en definitiva, reactivar el proceso normativo (SINIA, 2013).

En cuanto a la regulación de las presiones por los actores del sector hídrico, Chile cuenta con el Código de Aguas que controla el otorgamiento de derechos de aprovechamiento de agua. Esta normativa define al recurso natural como un bien público. Cabe destacar que en cuanto los privados adquieren sus derechos, poseen la posibilidad de hacer transferencia de éstos (MMA, 2012).

La utilización del recurso hídrico a nivel nacional, se centra, en usos consuntivos los que corresponden a los destinados a riego de cultivo agrícola, así como uso doméstico y saneamiento. Por otro lado, los usos no consuntivos se destinan a la industria y fuerza motriz, piscicultura y energía hidroeléctrica (MMA, 2012).

2.4. Contaminación del agua

La contaminación del recurso hídrico se define como: “La presencia de material perjudicial e inapropiado en el agua, derivado de alcantarillas, desechos industriales y de la escorrentía del agua de lluvia, en concentraciones suficientes como para hacerla inadecuada para su uso” (UNESCO, 2006). En Chile el concepto se define en el reglamento de la Norma Chilena N° 1.333 sobre requisitos de calidad del agua para diferentes usos como: “Alteración de las propiedades físico-químicas y/o biológicas del agua por sustancias ajenas, por encima o debajo de los límites máximos o mínimos permisibles, según corresponda, de modo que produzcan daños a la salud del hombre deteriorando su bienestar o su medio ambiente”.

La contaminación sobre el agua puede ocurrir a diferentes escalas, ya sea local, regional o en un caso más catastrófico global. Los contaminantes que influyen sobre la calidad de los recursos hídricos se pueden clasificar en nueve categorías: materias orgánica, contaminantes patógenos y microbianos, nutrientes, salinización, acidificación (precipitación o escorrentía), metales pesados, compuestos orgánicos tóxicos y contaminantes microorgánicos, termales, y partículas de cieno y en suspensión (UNESCO, 2010).

Es así, como en Chile dos millones de toneladas de descargas de efluentes son arrojadas diariamente en aguas receptoras, incluyendo en dicho caudal contaminantes del tipo industriales y químicos, vertidos humanos y desechos agrícolas (MMA, 2012).

En consecuencia, todo lo mencionado genera una disminución de agua dulce y el empeoramiento de su calidad, lo que a su vez es determinante en la capacidad de abastecimiento y la integridad ecológica de los ecosistemas de ribera (MMA, 2012).

2.5. Índices de estado ecológico

Los índices son creados con el objetivo de simplificar una elevada cantidad de información para expresarla en un único resultado, el que puede ser representado por un número dentro de una escala, un rango, una descripción verbal un símbolo o un color. En él, finalmente, se ve reflejado el significado esencial de las preguntas a las cuales responden los datos (Oliveira, 2009). En éste contexto surgen los índices biológicos los que tratan de interpretar la situación real o grado de alteración de los ecosistemas, para así informar de la situación momentánea y lo acontecido algún tiempo antes de la toma de muestras (Alba & Sánchez, 1988). Por consiguiente, los índices son relevantes para las autoridades. Así, se toma una decisión basada en un conglomerado de información y no tan solo en un dato aislado.

Mucho de los índices de salud de los ecosistemas acuáticos son utilizados como herramientas de evaluación integrada para gestionar el recurso hídrico y llegar a planificar el medio ambiente de forma equilibrada (Mufano *et al.*, 2005). Por ejemplo, en el río Aconcagua, Chile, existe la aplicación de dos índices que en la actualidad se utilizan en la evaluación de los ecosistemas acuáticos. El primero de ellos, es el Índice de Calidad de Bosque de Ribera (QBR) que corresponde a un índice de fácil y sencilla aplicación, donde se consideran parámetros biológicos y morfológicos del río así como su zona inundable. Utiliza como indicador biológico la vegetación arbórea, arbustiva y el matorral perenne (Suárez *et al.*, 2002). Para la aplicación de QBR se requiere diferenciar la orilla de la ribera, la primera considerada como la zona inundable en crecidas periódicas y la segunda como zona inundable en crecidas de gran magnitud, donde pueden estar consideradas varias terrazas aluviales (Muñoz & Silva 2010).

En segunda instancia, existe el método de medición conocido como Índice de Hábitat Fluvial (IHF), el que tiene como objetivo valorar la capacidad del hábitat físico para albergar una fauna determinada. De ésta forma, el IHF valora aspectos físicos del río relacionados con la heterogeneidad de hábitat y que dependen de la hidrología y sustrato existente (Pardo *et al.*, 2002).

2.6. Los Ríos

Los ríos están compuestos de una red ramificada y jerárquica, donde los pequeños arroyos se juntan para dar lugar a arroyos mayores, éstos últimos confluyen para formar ríos de tamaño más grande y así sucesivamente. El caudal del río dependerá del tamaño de la cuenca de drenaje y del balance entre la precipitación y la evapotranspiración. Sin embargo el río no se puede considerar como un cauce longitudinal de desagüe, por el contrario en él se producen interacciones con el medio de carácter biológicas y químicas a medida que se va descendiendo (Elosegi & Sabater, 2009).

El río se compone de cuatro dimensiones, la primera de ellas son las relaciones laterales, ya sean con el medio colindante al cauce o a través de incorporación de organismos. La segunda dimensión se desarrolla en el eje vertical, el río deposita materiales en un proceso que relaciona inversamente la velocidad del agua y el peso de dichos materiales, pero también levanta materia existente en el fondo del cauce. La tercera dimensión corresponde al eje longitudinal, la deriva y migración de los organismos y materiales inertes depositados en el cauce. Finalmente la cuarta dimensión es la componente temporal de los sistemas fluviales, a lo largo del tiempo, el río experimenta una serie de variaciones que modelan las tres componentes mencionadas anteriormente, de esta forma las cuatro dimensiones cierran el modelo de funcionamiento fluvial (Granado, 1996).

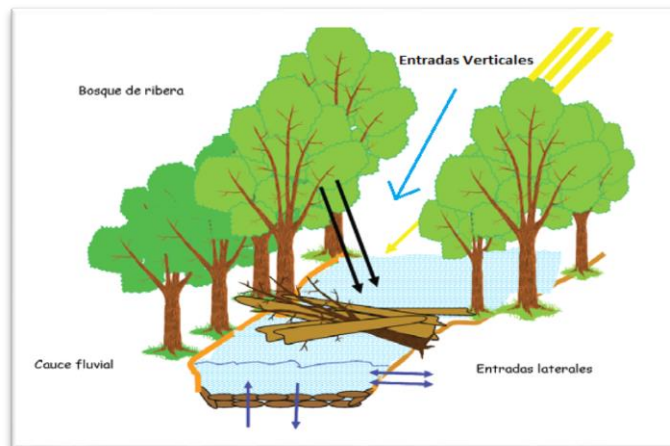


Figura 1. Esquema principales dimensiones e interacciones presentes en un río.

Fuente: Elosegi & Sabater, 2009.

2.7. Los ríos como ecosistemas

Los ecosistemas fluviales están constituidos por una gran diversidad de organismos de distintas especies que componen la biota, estos viven en un rango de condiciones físico-químicas que pueden establecerse dentro de un ambiente abiótico y en él se adaptan a las características presentes, pero también las modifican. En los ecosistemas de los ríos se deben considerar las riberas, el cauce mojado, el lecho de río, planicies de inundación y todas aquellas estructuras formadas por la acción de los cursos de agua (Elosegi & Sabater, 2009).

Los organismos que se desarrollan en los ríos demandan energía para poder vivir, por ello deben alimentarse para así mantenerse, crecer y reproducirse. Para tales propósitos requieren de un hábitat en particular el que les permitirá finalmente establecer interacciones bióticas (Elosegi & Sabater, 2009).

La caracterización ecológica de los ríos puede llevarse a cabo por sobre la base de su estructura y funcionamiento. La estructura de un ecosistema se refiere a las características del medio abiótico que conforman el espacio en el que se desenvuelven las tres componentes, a) la comunidad biológica; b) los recursos materiales y energéticos; y c) el hábitat físico, lo que se refiere al encaje y a las interrelaciones que existen entre los componentes. Mientras que el funcionamiento del ecosistema está referido a los procesos que ocurren en los mismos y que están determinados tanto por el medio abiótico como con los organismos (Elosegi & Sabater, 2009).

El ecosistema fluvial funciona como un sistema abierto y básicamente heterotrófico donde todos sus componentes: flora, fauna, características físicas-químicas, materia orgánica, nutrientes, etc. poseen un comportamiento dinámico en el espacio y tiempo. Además se relacionan con la ribera circundante (Cabezas, 2006).

Los ríos poseen un funcionamiento diferente al de los océanos, los ciclos de materia se desarrollan por medio de un gradiente longitudinal, todos los materiales orgánicos y minerales se transportan y son distribuidos de forma continua desde la cabecera hasta su desembocadura (Muñoz & Silva, 2010). Es así como procesos que se presentan a nivel ecosistema en tramos bajos del río son consecuencia de aquellos ocurridos en tramos altos del sistema fluvial, teoría del “Continuo Fluvial” (Vannote, 1980). Este concepto propone una visión unificante de la ecología fluvial, en ella se analiza la materia orgánica como principal fuente de energía y los grupos funcionales que la aprovechan en función de su estado, produciéndose así una sucesión continua de especies a lo largo del río, resultado de la zonación longitudinal de un tipo de partícula de alimento (Canepel *et al.*, 2010).

La cabecera de los ríos son fundamentalmente heterótrofos y dependen básicamente de la materia y detrito de la vegetación que los rodea. La mayor fuente de energía proviene del entorno, la que es aprovechada por microfauna y macrofauna presente en el medio. Los organismos consumidores que dominan son los trituradores, filtradores y recolectores. A medida que el cauce incrementa en tamaño, la energía que predomina en el medio es la proveniente de la producción primaria por parte de algas microfitos acuáticos, fotosíntesis de plantas acuáticas y del plancton microscópico, en éste nivel los consumidores predominantes son los filtradores, recolectores y ramoneadores. A medida que los cauces crecen nuevamente el sistema lótico vuelve a la heterotrofia y finalmente se puede desarrollar una comunidad planctónica. En este nivel los consumidores que dominan son los colectores que viven en sedimentos del lecho del río (Dodds, 2006).

Por otra parte desde el punto de vista funcional, el río se estructura como una máquina de elaboración de la materia y energía que atraviesa cada uno de los segmentos del mismo, en una puesta funcional que trata de magnificar el uso de la energía y evitar al máximo las pérdidas aguas abajo. En este modelo las asociaciones biológicas se estructuran de forma diversa optimizando el aprovechamiento energético, dicha eficiencia viene determinada por tres factores de manera fundamental: capacidad de transporte, diversidad de biotipos y actividad biológica. Es así como los organismos productores primarios (perifiton, fitoplancton y macrófitas) fijan la energía entrante al sistema proveniente del sol; los hongos y las bacterias descomponen la materia orgánica y finalmente los consumidores como por ejemplo macroinvertebrados y peces utilizan la energía acumulada por niveles tróficos anteriores (Granado, 1996).

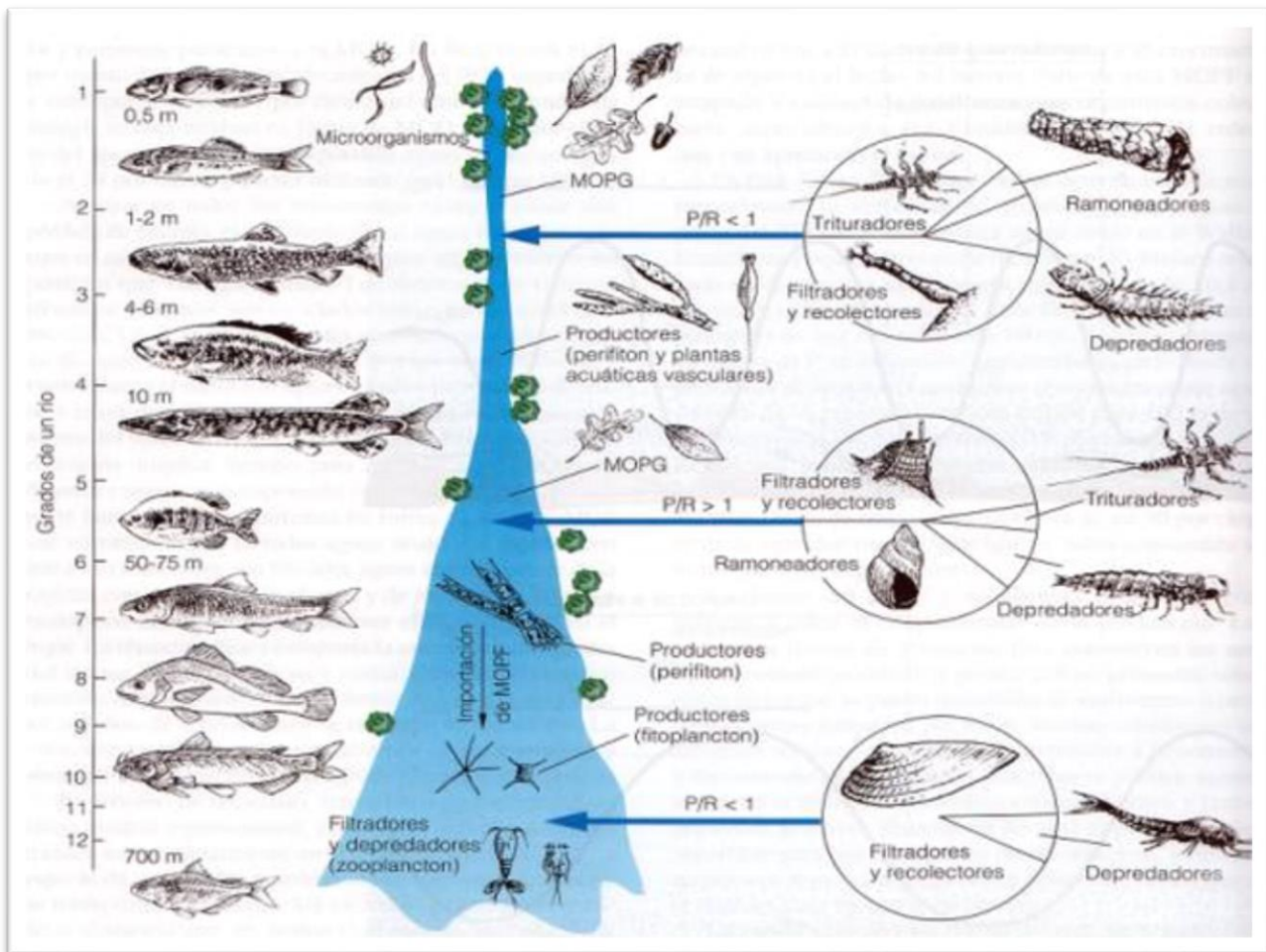


Figura 2. Cambios en los grupos de consumidores a lo largo del río continuo.

Fuente: Córdova, 2007.

2.8. Macroinvertebrados acuáticos bentónicos

Los macroinvertebrados acuáticos son la fauna de organismos sin vértebras que se pueden ver a simple vista, miden más de 0,5 mm y se desarrollan en lugares con agua dulce tales como Esteros, ríos, lagos y lagunas. Por otra parte los organismos bentónicos son aquellos que habitan los fondos de los sistemas antes mencionados adhiriéndose a rocas, troncos, restos de vegetación y sustratos similares (Córdova, 2007).

En la actualidad la comunidad macrobentónica es de los métodos más utilizados como indicadores biológicos para estimar la intervención humana en los ecosistemas fluviales (Figueroa *et al.*, 2003).

Las comunidades macrobetónicas son los organismos utilizados como bioindicadores, por diversas circunstancias, entre las que destacan:

- 1.- Tener una amplia distribución (geográfica y en diferentes tipos de ambientes)
- 2.- Una gran riqueza de especies con gran diversidad de respuestas a los gradientes ambientales.
- 3.- Ser en su mayoría sedentarios, lo que permite el análisis espacial de la contaminación
- 4.- En otros casos, la posibilidad de utilizar su reacción de huida (deriva) como indicador de contaminación.
- 5.- En algunas especies, tener ciclos de vida largo porque integra los efectos de la contaminación en el tiempo.
- 6.- Poder ser muestreados de forma sencilla y barata.
- 7.- Una taxonomía en general bien conocida a nivel de familia y género.
- 8.- La sensibilidad bien conocida de muchas taxas a diferentes tipos de contaminación.
- 9.- El uso de muchas especies en estudios experimentales sobre los efectos de la contaminación (Prat *et al.*, 2009).

2.9. Índice de Funcionalidad Fluvial (IFF)

El Índice de Funcionalidad Fluvial (IFF), es un método de evaluación de la calidad de los ecosistemas fluviales, puede ser aplicado a cualquier ambiente de aguas corrientes, en torrentes y en ríos de distintos órdenes y tamaños, ya sea en ambiente montañoso, insular o mediterráneo. El IFF constituye un procedimiento de investigación de sencilla y rápida aplicación además de económico debido a la ausencia de sofisticados instrumentos de medición. No requiere de expertos en los ecosistemas hídricos sino más bien, de personas que a través de cursos de formación, puedan completar sus conocimientos y adquirir la experiencia necesaria (Canepel *et al.*, 2010).

El IFF fue creado en el año 2000 por la Agencia Provincial de Protección del Medio Ambiente de Trento (Italia). Hasta la fecha se ha aplicado a 4000 km de flujos hídricos en Italia (Siligardiet *et al.*, 2000), ejemplo de ellos son los evaluados en: río Agri, ubicado en el sur de Italia (Carone *et al.*, 2005), así como el río ubicado entre las provincias de Rimini y Forlì-Cesena (Morolli & Santolini, 2006) y en los ríos alpinos Grigno de Trento (Dallafior *et al.*, 2008) entre otros. En Chile, la primera experiencia de aplicación del Índice de Funcionalidad Fluvial (IFF) fue realizada en el río Trancura, Sur del país (Canepel *et al.*, 2010) el que forma parte de uno de los principales afluentes del lago Villarica, en dicha ocasión surge la creación del método IFFAr que se presenta con pequeñas modificaciones respecto a la ficha de evaluación original, todas aquellas referidas a los cambios que se detectaron dentro del país con referencia al lugar de origen, Italia. Actualmente existe la prueba para la realización de la segunda aplicación del IFFAr a un tramo del río Elqui por parte de la SEREMI de Medio Ambiente de la región de Coquimbo (MMA, 2013). Por lo mencionado anteriormente es que en ésta investigación dentro del Estero Limache se aplicó la Ficha modificada según Canepel *et al.* (2010).

En la actualidad, son escasas las propuestas para evaluar los ecosistemas acuáticos de forma global, por esta razón surge el “Índice de Funcionalidad Fluvial” que tiene como objetivo evaluar las principales características ecológicas de todo el curso del río, tales como las zonas ribereñas, las características morfológicas y características biológicas entre otros (Negri *et al.*, 2000). De esta forma, la evaluación se realiza mediante la identificación de tramos homogéneos dentro del régimen fluvial, el análisis se inicia en base a una ficha dividida en 14 preguntas donde existen 4 posibles respuestas preestablecidas. Estas presentan una progresión secuencial, para cada una de las preguntas es posible tomar una sola respuesta, las que pueden asumir un valor numérico donde el mínimo puntaje asignable es 1 y el máximo es 40. La atribución de estos valores numéricos no tiene justificación matemática, pero derivan de la valoración de expertos a los procesos funcionales del ecosistema.

Finalmente, el puntaje total se obtiene de la suma de los puntajes parciales a cada pregunta y pueden llegar a un valor mínimo de 14 y un valor máximo de 300. A cada valor se le asigna un color, como se muestra en la tabla 1, que se traduce en el estado ecológico del cuerpo de agua, que en caso de ser mínimo adquiere un color rojo, mientras si adquiere el máximo toma una tonalidad morada (Canepel *et al.*, 2010).

Tabla 1. Rangos de calidad del Índice de Funcionalidad Fluvial.

Valor de I.F.F.	Nivel de Funcionalidad	Juicio de Funcionalidad	Color
261-300	I	ÓPTIMO	
251-260	I-II	ÓPTIMO – BUENO	
201-250	II	BUENO	
181-200	II-III	BUENO – MEDIOCRE	
121-180	III	MEDIOCRE	
101-120	III-IV	MEDIOCRE – INFERIOR	
61-100	IV	INFERIOR	
51-60	IV-V	INFERIOR – PESIMO	
14-50	V	PESIMO	

2.10. Antecedentes área de estudio

El río Aconcagua es el principal cuerpo de agua de la región de Valparaíso, su extensión en el territorio inicia en la cordillera de los Andes, en la unión de los ríos Juncal y Blanco hasta su desembocadura en la bahía de Concón. La hoya del río se extiende desde los 32° 14` latitud Sur y 70° 00 - 71° 31` longitud Oeste. Posee un régimen mixto cobrando importancia en su caudal los deshielos entre primavera y verano, así como las lluvias en temporadas invernales (PLADECO Limache, 2010).

Uno de los tributarios del río Aconcagua, importante para la provincia del Marga-Marga en la región de Valparaíso, es el Estero Limache. El que fluye con una morfología de ritrones con alternados de rápidos pozones, y posee una extensión de 50 km. se une al curso principal del río por la izquierda a sólo 8 km del mar, en Concón Alto, posee cabeceras en la vertiente Las Palmas, quebrada Alvarado y Cajón de La Dormida. Más Abajo bisecta la ciudad de Limache y sigue al Oeste casi paralelo al curso del río Aconcagua. Conformar una típica hoya de régimen pluvial con una superficie de 573 km². Cabe destacar que dentro del Estero Limache se extiende el embalse los Aromos (CADE-IDEPE, 2004).

El Estero Limache, según la clasificación de Köppen, presenta un clima de tipo mediterráneo templado, donde se distinguen dos subtipos, clima mediterráneo semi seco y clima mediterráneo de montaña (altitudes mayores a los 1000 m.s.n.m). Las temperaturas se presentan, con fluctuaciones entre el período más cálido, con una temperatura media de 17 °C, hasta el período más frío en los meses de julio, con una media de 7,3 ° C, lo que constituye un valor medio anual oscilante entre los 13°C.

Por otra parte la precipitación media anual dentro del área de estudio es de 400 mm aproximadamente, donde en los meses de junio y julio se llega a recibir 110 mm de precipitación aproximadamente (PLADECO Limache, 2010).

La agricultura en conjunto con la ganadería son las actividades productivas fundamentales que se desarrollan en la ribera del Estero Limache. La primera se caracteriza principalmente por la producción de lechuga, ají, pimentón, tomate, entre otras. Por otra parte la segunda es una actividad intermitente dentro del curso de agua ya que su presencia se condiciona a los periodos de pastoreo e hidratación del ganado (PLADECO Limache, 2010).

Por otro lado, el Estero Limache también es la base para la extracción de agua para riego agrícola; actúa como receptáculo de la descarga del efluente de la Planta de Tratamiento de Aguas Servidas (PTAS) y finalmente es utilizado para actividades de recreación; se extraen áridos (Córdova, 2007).

Cabe mencionar que la elección del Estero Limache como lugar de evaluación se basó en su estado de sitio prioritario 1 según la Estrategia Regional para la Biodiversidad (CONAMA & PNUD, 2005) situación que posiciona al cuerpo de agua con un alto valor ecológico, y para conservar su nivel de prioridad 1 requiere de un monitoreo frecuente con el fin de pesquisar cualquier perturbación que vulnere sus óptimas condiciones.



Figura 3. Cuenca del río Aconcagua
Fuente: MOP, 2012.

2.11. Vegetación Estero Limache

Gajardo (1994) denomina la zona del Estero Limache con formación de matorral espinoso del secano costero, el que se desarrolla como un paisaje vegetal homogéneo con presencia de arbustos altos dispersos, donde el Espino (*Acacia caven*) es la especie dominante, acompañada en sectores aislados por vegetación esclerófila, que es una formación de carácter secundario resultado del deterioro ocasionado por el medio ambiente luego de la intervención humana. En los sectores donde la intervención es menor se presentan asociaciones típicas de los bosques esclerófilos.

Según Gajardo (1994) la asociación que crece en este lugar es la *Acacia caven-Maytenusboaria* una comunidad que se desarrolla de forma variable en su composición florística, pero que a través de su amplia distribución geográfica conserva una fisionomía que le es característica. Está constituida por una estrata de plantas leñosas altas más o menos esparcidas y una densa estrata herbácea.

Especies representativas: *Acacia caven* " Espino "

Especies acompañantes: *Maytenus boaria* " Maiten"

Proustia cuneifolia " Guañil"

Especies comunes: *Baccharis linearis* " Romerillo"

Bromus berterianus "Pasto largo"

Cestrum parqui " Palqui"

Medicago polymorpha "Hualputra"

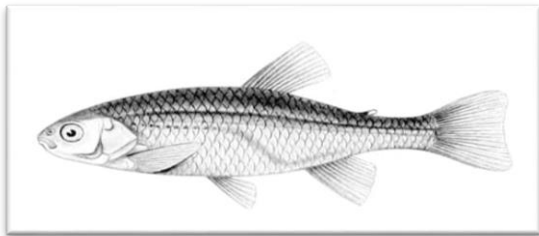
Vulpia myorus "Pasto fino"

2.12. Ictiofauna Estero Limache

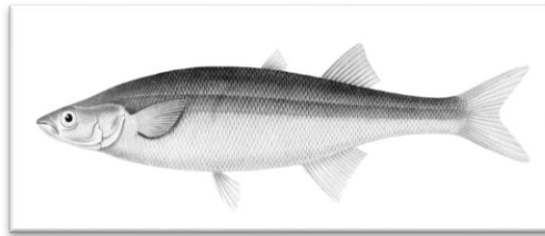
El Índice de Funcionalidad Fluvial requiere de la identificación de la ictiofauna para el posterior reconocimiento en terreno y así generar la recopilación en la ficha de evaluación.

Según la información recopilada en Quiroz & Moreno, (2008) las especies encontradas habitando los sectores del Estero Limache son 12 las que se pueden dividir en dos grupos:

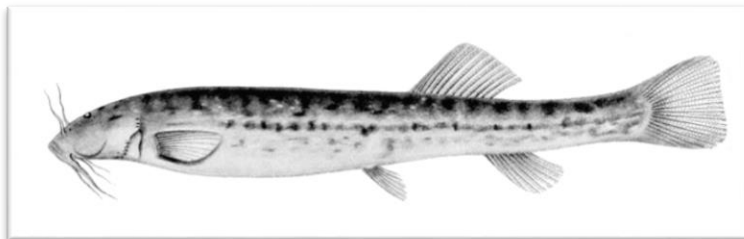
- Especies Nativas: *Cheirodon pisciculus* (Pocha), *Nematogenys inermes* (Bagre Grande), *Trichomycterus areolatus* (Bagre Chico), *Diplomystes chilensis* (Tollo), *Mugil cephalus* (Lisa), *Basilichthys Microlepidotus* (pejerrey de escamas chicas), *Percilia gillissi* (Carmelita).



Cheirodon pisciculus



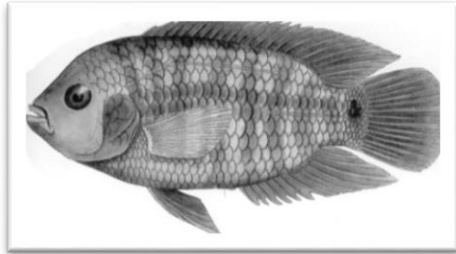
Basilichthys microlepidotus



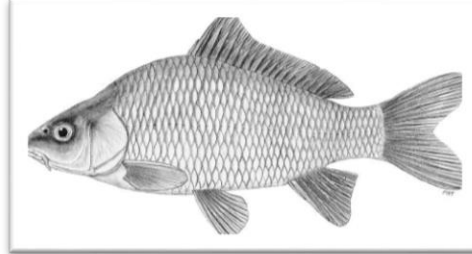
Trichomycterus areolatus

Figura 4. Ictiofauna Nativa Estero Limache.
Fuente: Quiroz & Moreno, 2008

- Especies Exóticas: *Carassius carassius* (Pez dorado), *Cyprinus carpio* (Carpa), *Cheirodon interruptus* (Pocha), *Cnesterodon decemmaculatus* (Gambusia manchada), *Australoheros facetus* (Chanchito).



Australoheros facetus



Cyprinus carpio

Figura 5. Ictiofauna Exótica Estero Limache.
Fuente: Quiroz & Moreno, 2008

3. PROBLEMA

La demanda de agua dulce ha incrementado a lo largo del tiempo debido al crecimiento de la población y al desarrollo acelerado de la economía. Es por esto, que la calidad del recurso hídrico es monitoreada de forma constante por diversos métodos, basados en su mayoría, en la medición de parámetros físicos químicos, con resultados exactos y aislados, generando un estado puntual del cuerpo de agua sin incluir todos los elementos que interactúan en el sistema global, lo que requiere una alta inversión de tiempo y recurso humano (Figueroa, 2004).

El año 2011 la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) emitió un reporte anual en el cual destaca que en Chile la gestión del agua presenta obstáculos en la falta de supervisión y evaluación en la fiscalización de las políticas, debido a la carencia de personal y el tiempo disponible de estos en las instituciones públicas, lo que provoca dificultad para mantener un monitoreo constante de los cuerpos de agua nacionales (OCDE, 2011).

El río Aconcagua que cruza la región de Valparaíso de cordillera a mar reviste gran importancia en cuanto a su conservación. Un tributario de este río, no menos importante, es el Estero Limache, clasificado como sitio de prioridad 1 según la Estrategia Regional para la Biodiversidad (CONAMA & PNUD, 2005). Dicha condición no se condice con la escasa información respecto su funcionalidad y a su estado ecológico, lo que se refleja en que la única publicación sobre el ecosistema fluvial y la calidad de las aguas del Estero Limache lo realizó Córdova *et al.* (2009).

Por consiguiente, en esta investigación se ha propuesto evaluar la funcionalidad del Estero Limache, mediante una herramienta de sencilla aplicación que proporciona una visión integral, el Índice de Funcionalidad Fluvial (IFF).

4. OBJETIVOS

4.1. Objetivo General

- Evaluar la funcionalidad del ecosistema acuático del Estero Limache, provincia de Marga- Marga, Región de Valparaíso a través del Índice de Funcionalidad Fluvial (IFF).

4.2. Objetivo Específico

- Caracterizar la vegetación y macroinvertebrados de la zona de estudio utilizados en el Índice de Funcionalidad Fluvial.
- Determinar la funcionalidad del Estero Limache.
- Comparar el estado de funcionalidad entre tramos del Estero Limache.

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Caracterización de la vegetación y macroinvertebrados utilizados en el Índice de Funcionalidad Fluvial.

El Índice de Funcionalidad Fluvial (IFF) requiere de la identificación de la vegetación presente a partir del límite del cauce, sin considerar el sector pionero herbáceo. Para lograr una correcta evaluación de los constituyentes de la vegetación, el análisis se realizó en el curso del periodo vegetativo, específicamente en primavera en el mes de septiembre.

Para la identificación de la vegetación y el origen de ésta, se efectuó un registro fotográfico que permitió un procesamiento posterior de la información con el apoyo de un especialista botánico. En cada tramo se caracterizó la vegetación de ribera al nivel taxonómico más bajo posible. Se utilizó la clave Hoffmann (1998).

Por otro lado las muestras de macroinvertebrados se realizaron por medio de un muestreador Suber (0,09 m²) las que fueron almacenadas en frascos de plástico y etiquetadas con el código de los tramos evaluados, localidad y fecha. Posteriormente fueron fijadas con formalina al 5%, se llevaron al laboratorio de ecología y biodiversidad, de la Universidad de Valparaíso, para ser examinadas por medio del estereomicroscopio (STEMI DV4). En la identificación de los organismos se emplearon bibliografía especializada Fernández y Domínguez (2001), Figueroa (2004). Los individuos fueron identificados hasta el nivel taxonómico de familia. El proceso fue apoyado tanto en terreno como en el posterior análisis de la muestra en laboratorio, por el profesional Jairo Valencia.

5.2. Determinación de la funcionalidad del Estero Limache.

5.2.1. Zona de estudio

Los tramos seleccionados para llevar a cabo el estudio se ubicaron dentro del flujo principal del Estero Limache. La prioridad de localización fue determinada de acuerdo al régimen hídrico, accesibilidad a la zona de estudio y características homogéneas del área.

La identificación de los tramos homogéneos se determinaron de acuerdo a las características a examinar, en cuanto existió un cambio en la asignación del puntaje en algún parámetro evaluado en la ficha se procedió al cambio de ésta.

Se utilizó una cámara fotográfica para capturar imágenes de cada uno de los tramos homogéneos. Éstas fueron correlacionadas con cada una de las fichas de evaluación aplicadas, para su posterior procesamiento.

Para la ubicación de los tramos evaluados dentro de la cartografía, se utilizó un GPS marca GARMIN. Así se tomaron coordenadas geográficas del inicio y del fin de las áreas en estudio.

Se realizaron tres salidas a terreno al cuerpo hídrico en estudio, la primera etapa corresponde al 3 y 5 de Septiembre de 2012, que fueron apoyadas por el profesional de la SEREMI del Medio Ambiente, Región de Valparaíso Dino Figueroa. En dicha ocasión, se determinaron los tramos a evaluar dentro del curso principal del Estero Limache, bajo el protocolo planteado en los apartados anteriores de selección de zonas homogéneas. La segunda etapa, se efectuó el día 3 Octubre 2012, donde acudieron los profesionales Dino Figueroa y Jairo Valencia, momento en el que tuvo lugar la aplicación del Índice de Funcionalidad Fluvial.

La zona de aplicación del IFF se extendió dentro del curso principal del Estero Limache, el cual tuvo inicio en el sector más cercano a la cabecera, correspondiente a Lo Gamboa concretamente en 33°0'6.43" Sur, 71°12'58.60" Oeste a 115 msnm, mientras que la zona final se ubicó específicamente en el Puente Limache 32°59'44.87" Sur 71°15'58.19" Oeste a 91 msnm. El área en su totalidad constituyó 4 tramos de evaluación denominados T1, T2, T3, T4 que componen aproximadamente 4,55 km de evaluación (Figura 6 y Tabla 2).

A continuación se muestra en la Tabla 2, un resumen sobre las características de los tramos a evaluar, incluyendo las coordenadas, altura promedio y distancia.

Tabla 2. Ubicación tramos de aplicación IFF.

Nombre tramo evaluación	Inicio	Final	Distancia	m.s.n.m.
T1 Lo Gamboa	33°0'6.43"S 71°12'58.60"O	33°0'0.58"S 71°13'22.22"O	0,65 km	115
T2 Lo Gamboa	33°0'0.58"S 71°13'22.22"O	32°59'58.51"S 71°14'3.76"O	1,2 km	112
T3 Lliu- Lliu	32°59'58.51"S 71°14'3.76"O	33°0'0.86"S 71°14'49.64"O	1,3 km	103
T4 Puente Limache	32°59'44.87"S 71°15'58.19"O	32°59'44.87"S 71°15'58.19"O	1,2 km	91

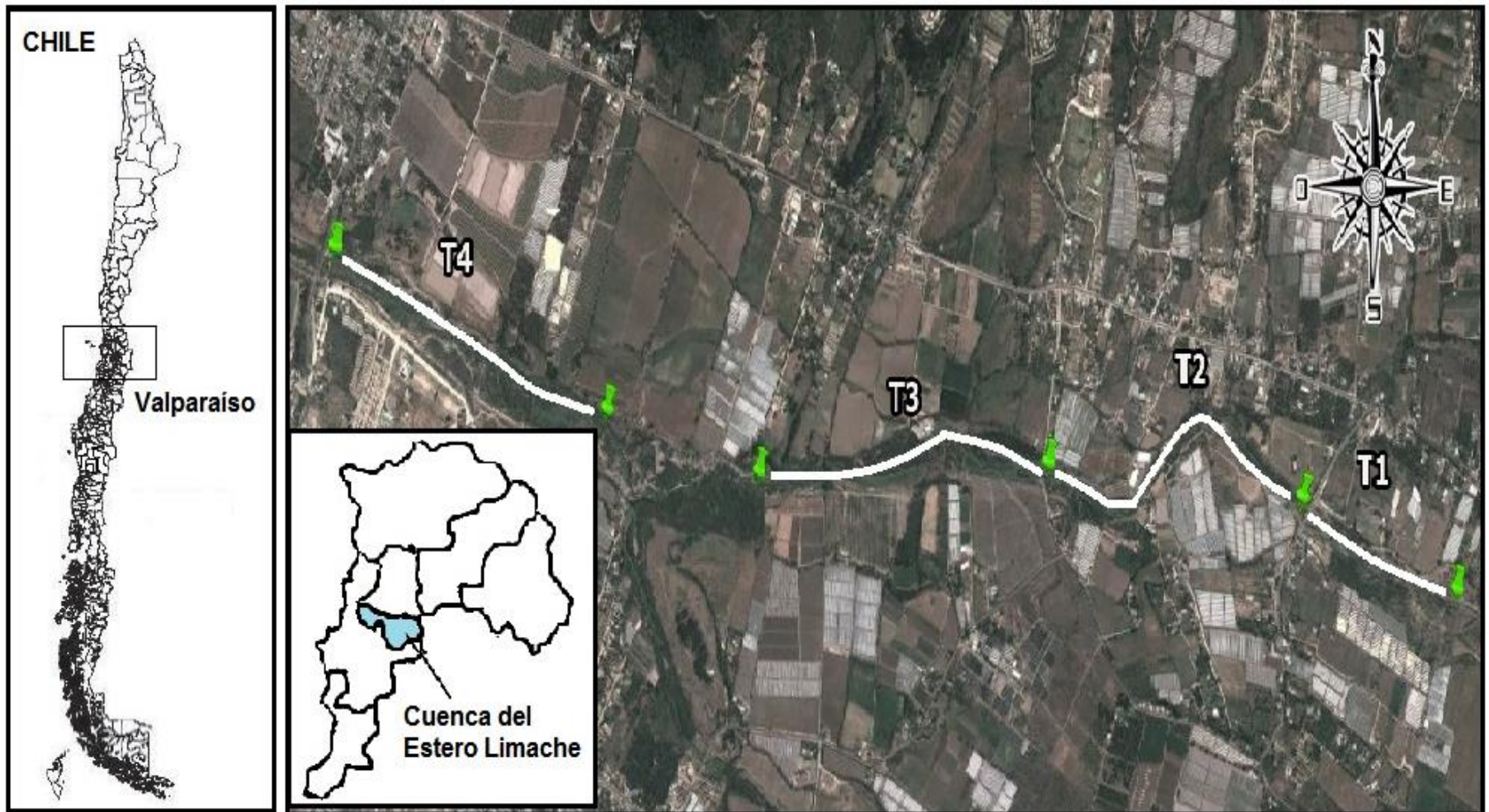


Figura 6. Localización de puntos y tramos de muestreo dentro del Estero Limache.

5.2.2. Aplicación del Índice de Funcionalidad Fluvial en la sección del Estero Limache.

El Estero Limache fue evaluado en el período estival entre los meses de septiembre y octubre a través de la ficha del Índice de Funcionalidad Fluvial.

El documento fue completado recorriendo el tramo de evaluación desde el pie de valle hacia el monte, con una dirección opuesta al flujo del caudal hídrico, con observación a ambos lados del cuerpo de agua, por lo tanto por tramo seleccionado se generó una ficha de evaluación caracterizando el lado izquierdo y derecho del río.

La estructura de la implementación del IFF, cuenta con una ficha que se muestra en la Tabla 2, la que inicia con preguntas referentes a datos específicos de la cuenca hidrográfica tales como nombre, dimensiones espaciales: ancho y largo del tramo homogéneo, entre otros. Luego, se presenta la ficha estableciendo 14 preguntas referentes al curso hídrico.

La metodología planteada para responder a cada una de las preguntas establecidas en el cuestionario del Índice de Funcionalidad fluvial se especifica en “IFFAr Índice de Funcionalidad Fluvial En Ríos Andinos de la Región de La Araucanía”¹. Además, es importante mencionar que la aplicación del IFF se realizó con el apoyo técnico de los profesionales Hernán Gaete, Doctor en ciencias ambientales; Javier Arancibia, Botánico; Dino Figueroa, Ingeniero Agrónomo y Jairo Valencia, Ingeniero Ambiental.

• ¹ Canepel, R.; Burrows, F.; Dallafor, V. y Siligardi, M. (2010). **IFFAr Índice de Funcionalidad Fluvial En Ríos Andinos de la Región de La Araucanía**. Ediciones: Sede Regional Villarica de Pontificia Universidad Católica de Chile y AGENZIA PROVINCIALE PER LA PROTEZIONE DELL' AMBIENTE DI TRENTO. ISBN: 978-956-14-1133-3

Tabla 3. Ficha de aplicación Índice de Funcionalidad Fluvial

Cuenca:			
Curso de Agua:			
Localidad:			
Código:			
Tramo (m):			
Ancho del cauce (m):			
Altitud (msnm):			
Fecha :			
N° Ficha :			
N° Fotografía:			
1. Estado del territorio circundante	Der.		Izq.
a) Ausencia de antropización	25		25
b) Presencia de áreas naturales junto con usos antrópico del territorio	20		20
c) Cultivos estacionales y/o permanentes; escasas zonas urbanizadas.	5		5
d) Área urbanizada	1		1
2. Vegetación presente en la faja perifluvial primaria	Der.		Izq.
a) Presencia de formaciones ribereñas complementarias funcionales	40		40
b) Presencia de una sola o de una serie simplificada de formaciones ribereñas	25		25
c) Ausencia de formaciones ribereñas pero con presencia de formaciones de todos modos funcionales.	10		10
d) Ausencia de formaciones que tienen funcionalidad significativa.	1		1

2. BisVegetación presente en la faja perifluvial Secundaria	Der.		Izq.
a) Presencia de formaciones ribereñas complementarias funcionales.	20		20
b) Presencia de una sola o de una serie simplificada de formaciones ribereña.	10		10
c) Ausencia de formaciones ribereñas pero con presencia de formaciones de todos modos funcionales.	5		5
d) Ausencia de formaciones que tienen funcionalidad significativa.	1		1
3. Amplitud de las formaciones funcionales presentes en la faja perifluvial			
	Der.		Izq-
a) Amplitud acumulativa de las formaciones funcionales mayor de 30m	15		15
b) Amplitud acumulativa de las formaciones funcionales comprendidas entre 30 y 10 m	10		10
c) Amplitud acumulativa de las formaciones funcionales comprendidas entre 10 y 2m	5		5
d) Ausencia de formaciones funcionales	1		1
4. Continuidad de las formaciones funcionales presentes en la faja perifluvial			
	Der.		Izq.
a) Desarrollo de las formaciones funcionales sin interrupciones.	15		15
b) Desarrollo de las formaciones funcionales con interrupciones.	10		10
c) Desarrollo de las formaciones funcionales con interrupciones frecuentes o sólo con hierba continua y consolidadas formaciones arbustivas sobre todo exóticas e infectantes.	5		5
d) Suelo desnudo, escasa población vegetal.	1		1
5. Condiciones hídricas			
	Der.		Izq.
a) Régimen perenne con caudal no perturbado y anchura del cauce del álveo mojado > 1/3 del cauce		20	
b) Fluctuaciones de caudal inducidas de largo período con amplitud del álveo mojado < 1/3 de álveo de crecidas o variación solamente del calado hidráulico.		15	
c) Perturbaciones de caudal frecuentes o secas naturales estaciones no prolongadas o caudales constantes inducidas.		5	
d) Perturbaciones de causal intensas, muy frecuentes o improvisas o secas prolongadas o causales constantes inducidas.		1	

6. Eficiencia de las inundaciones	Der.		Izq.
a) Tramo no encauzado, álveo ordinaria superior al triple del álveo de crecida		25	
b) Cauce de desbordamiento usual largo entre 2 y 3 veces el caudal moderado (encauzado por diques superior al triple).		15	
c) Cauce de desbordamiento usual largo entre 1 y 2 veces el cauce de moderado (encauzado por diques largo 2-3 veces).		5	
d) Tramos de los valles en V con una fuerte pendiente y tramos encauzados por diques con cauce de desplazamiento usuales < de 2 vueltas al cauce.		1	
7. Sustrato del cauce y estructuras de las retenciones de los aportes tróficos			
7. Sustrato del cauce y estructuras de las retenciones de los aportes tróficos	Der.		Izq.
a) Cauce con rocas y/o viejos troncos regularmente incrustados (o presencia de franja de cañas o hidrófitos) cauce caracterizado de coexistencia de bolones.		25	
b) Rocas y/o ramas presentes con almacenamientos de materia orgánica (o cañas o hidrófitos escasos o poco abundantes).		15	
c) Estructuras de retención libre o móvil en el caudal (o con ausencia de caña o hidrófitos).		5	
d) Cauce de sedimentos arenosos o moldura artificial lisa en corriente uniforme.		1	
8._ Erosión			
8._ Erosión	Der.		Izq.
a) Poco evidente o no relevante o solamente en la curva asociada a la extracción de la ribera.	20		20
b) Presente una incisión vertical y rectilínea en la ribera.	15		15
c) Frecuente con excavación de la ribera y de las raíces ambas con la ribera y de las raíces y con una evidente incisión vertical.	5		5
d) Más evidente con hendidura desplazamientos ambos en la ribera y con una presencia de intervalos artificiales.	1		1
9._ Secciones Transversales			
9._ Secciones Transversales	Der.		Izq.
a) Cauce integrado con una alta diversidad morfológica		20	
b) Presencia de los niveles de intervención artificial pero con una moderada diversidad morfológica		15	
c) Presencia de los intervalos artificiales o con escasa diversidad morfológica		5	
d) Casi ninguna diversidad morfológica o artificial.		1	

10._ Idoneidad íctica	Der.		Izq.
a) Elevada		25	
b) Buena o moderada		20	
c) Poco o suficiente		5	
d). Ausente		1	
11._ Hidromorfología			
	Der.		Izq.
a) Elementos hidromorfológicos bien definidos con sucesión regular		20	
b) Elementos hidromorfológico bien diferenciados con sucesión irregular		15	
c) Elementos hidromorfológicos no diferenciados o preponderancia de un solo tipo		5	
d) Elementos hidromorfológicos no distinguibles.		1	
12._ Componente vegetal en un cauce bañado			
	Der.		Izq.
a) Perifiton sutil o escasa cobertura de macrófitos tolerantes		15	
b) Cinta periférica tridimensional apreciable con escasa cobertura de macrófitas tolerantes.		10	
c) Perifiton escaso o (con una cobertura significativa de macrófitas tolerantes) con ausencia moderada.		5	
d) Perifiton abundante y / o elevada cobertura de macrófitas tolerantes.		1	
13._ Desechos			
	Der.		Izq.
a) Fragmentos vegetales reconocibles y fibrosos.		15	
b) Fragmentos vegetales fibrosos o sustanciosos		10	
c) Fragmentos sustanciosos.		5	
d) Desechos anaerobios.		1	

14._ Comunidad macrobentónica	Der.		Izq.
a) Cima estructurada y diversificada, adecuada a la tipología fluvial		20	
b) Suficientemente diversificada pero con una estructura alterada respecto a lo esperado.		10	
c) Poco equilibrada y diversificada con prioridad de tasa tolerante a la contaminación		5	
d). Ausencia de una comunidad estructurada, presencia de una escasa clasificación, más bien tolerante a la contaminación.		1	
PUNTAJE TOTAL			
NIVEL DE FUNCIONALIDAD			

(Canepel *et al.*, 2010)

5.2.3. Elaboración del mapa de calidad ambiental basado en el Índice de Funcionalidad Fluvial del área de estudio

Con el apoyo fotográfico generado por el programa Google Earth, sobre la sección del curso principal del Estero Limache, se procedió a identificar los puntos geográficos extraídos en terreno sobre los tramos a evaluar, destacando el inicio y término de cada zona en estudio, para así calcular la extensión de la sección. Luego de identificar las zonas en la fotografía, se procesó la imagen con el programa AutoCAD, donde se generaron los dibujos de polígonos con los colores respectivos al estado de calidad ambiental del ecosistema fluvial, asignados por medio de la aplicación del Índice de Funcionalidad Fluvial.

5.3. Comparación de los estados de funcionalidad entre tramos del Estero Limache.

Por medio de la herramienta Microsoft office Excel 2013 se procesó la información proveniente de los tramos homogéneos en estudio del Estero Limache. Esta muestra considera a macroinvertebrados, vegetación y calidad ambiental.

6. RESULTADOS

6.1. Caracterización de la vegetación y macroinvertebrados utilizados en el Índice de Funcionalidad Fluvial

De acuerdo a la información solicitada por Índice de Funcionalidad Fluvial fue necesario identificar la vegetación y macroinvertebrados más representativos de cada tramo de evaluación dentro del Estero Limache. La vegetación que habita en el sector de estudio está compuesta por 16 especies de la clase Magnoliopsida. *Tessaria absinthioides* (brea), *Baccharis marginalis* (Chilca) y *Populus nigra* (Álamo) están presentes en los cuatro tramos de evaluación y tienen origen, nativo, endémico y adventicio respectivamente (Tabla 4). Finalmente, la distribución de las especies identificadas dentro de las zona de estudio según su origen, 62% son especies adventicias; el 19 % son nativas y 19 % endémicas.

Tabla 4. Taxas vegetacionales presentes en los tramos de evaluación en el Estero Limache utilizados en el IFF

ANGIOSPERMAE: MAGNOLIOPSIDA								
Nombre científico	Familia	Nombre Común	O ²	FV	Estaciones			
					T1	T2	T3	T4
<i>Baccharis marginalis</i>	Asteraceae	Chilca	E	NA	*	*	*	*
<i>Baccharis pingraea</i>		Chilquilla	N	NA		*	*	
<i>Tessaria absinthioides</i>		Brea	E	NA	*	*	*	*
<i>Acacia caven</i>	Mimosaceae	Espino	N	F		*		
<i>Acacia dealbata</i>		Aromo	A	F	*	*		*
<i>Rubus ulmifolius</i>	Rosáceae	Zarzamora	A	NA		*	*	
<i>Salix babylonica</i>	Salicaceae	Sauce llorón	A	F		*	*	*
<i>Salix chilensis</i>		Sauce Chileno	E	F		*	*	*
<i>Populus nigra</i>		Álamo	A	F	*	*	*	*
<i>Eucaliptus globulus</i>	Myrtaceae	Eucaliptus	A	F	*			
<i>Robinia pseudoacacia</i>	Fabaceae	Robinia	A	F		*		
<i>Otholobium glandulosum</i>		Culén	N	F		*		
<i>Galega officinalis L.</i>		Galega	A	He		*		
<i>Calystegia sepium</i>	Convolvulaceae	Suspiro	A	NA		*		
<i>Datura stramonium</i>	Solanaceae.	Chamico	A	NA		*		
<i>Mentha piperita</i>	Lamiaceae	Menta	A	H			*	

² O: origen, N: nativo, E: endémico, A: adventicia FV: forma de vida: F: fanerófito, Na: nanofanerófito, H: hierbas, He=Hemicriptófitos

a) Macroinvertebrados

En los tramos de evaluación del Estero Limache, se registraron un total de 16 familias de macroinvertebrados. Las familias se distribuyeron en 3 Phylum, 6 Clases y 15 Órdenes (Tabla 5). Las familias presentes en los cuatro tramos de evaluación son los *Chironomidae* y *Physidae*.

Tabla 5. Familias de Macroinvertebrados registrados en los tramos evaluados

PHYLLUM	CLASE	ORDEN	FAMILIA	Estaciones			
				T1	T2	T3	T4
Annelida	Oligochaeta	Clitellata	Tubificidae	1	1		1
	Hirudinea	Rhynchobdellida	Glossiphoniidae		1		1
	Crustacea	Ostracoda	Cypridae	1			1
		Amphipoda	Hyaellidae		1	1	1
	Insecta	Coleoptera	Dytiscidae	1		1	
			Hydrophilidae			1	
		Diptera	Chironomidae	1	1	1	1
			Ephydriidae				1
		Ephemeroptera	Leptophlebiidae				1
		Hemiptera	Belostomatidae			1	
		Odonata	Aeshnidae			1	
		Coenagrionidae			1	1	
Trichoptera	Hydropsychidae				1		
Mollusca	Gastropoda	Basommatophora	Physidae	1	1	1	1
Platyhelminthes	Turbellaria	Tricladia	Dugessidae				1
Riqueza total				5	5	8	11

6.1.1. Aplicación del Índice de Funcionalidad Fluvial en la sección del Estero Limache

En la Tabla 6, se observa el puntaje asignado al nivel de funcionalidad de cada uno de los tramos evaluados. Esto de acuerdo a las preguntas aplicadas y al estado del ecosistema en la época de primavera 2012, momento en que fue realizado el estudio.

Los tramos seleccionados para el estudio fueron cuatro. Sin embargo, debido a que la ficha se aplica tanto al lado derecho como al lado izquierdo del flujo hídrico finalmente, se obtuvieron 8 resultados.

Los resultados de éste índice muestran que los tramos evaluados en el presente estudio tuvieron una funcionalidad desde el nivel “Inferior” hasta el nivel “Bueno-Mediocre” (Tabla 6 y Figura 7).

Tabla 6. Funcionalidad de los tramos evaluados en el Estero Limache.

	T1		T2		T3		T4	
	Derecha	Izquierda	Derecha	Izquierda	Derecha	Izquierda	Derecha	Izquierda
PUNTAJE TOTAL	114	110	101	86	185	185	185	171
NIVEL DE FUNCIONALIDAD	Mediocre inferior	Mediocre inferior	Mediocre inferior	Inferior	Bueno Mediocre	Bueno Mediocre	Bueno Mediocre	Mediocre

6.1.1. Mapa de Funcionalidad Fluvial del Estero Limache

En la Figura 7, se observa la representación del juicio de funcionalidad asignado posterior a la aplicación del IFF a cada tramo estudiado en el curso principal del Estero Limache. La figura representa la cabecera en T1, Lo Gamboa (lado derecho), mientras T4 está ubicado en el Puente Limache más cercano a la desembocadura al río Aconcagua (lado izquierdo).

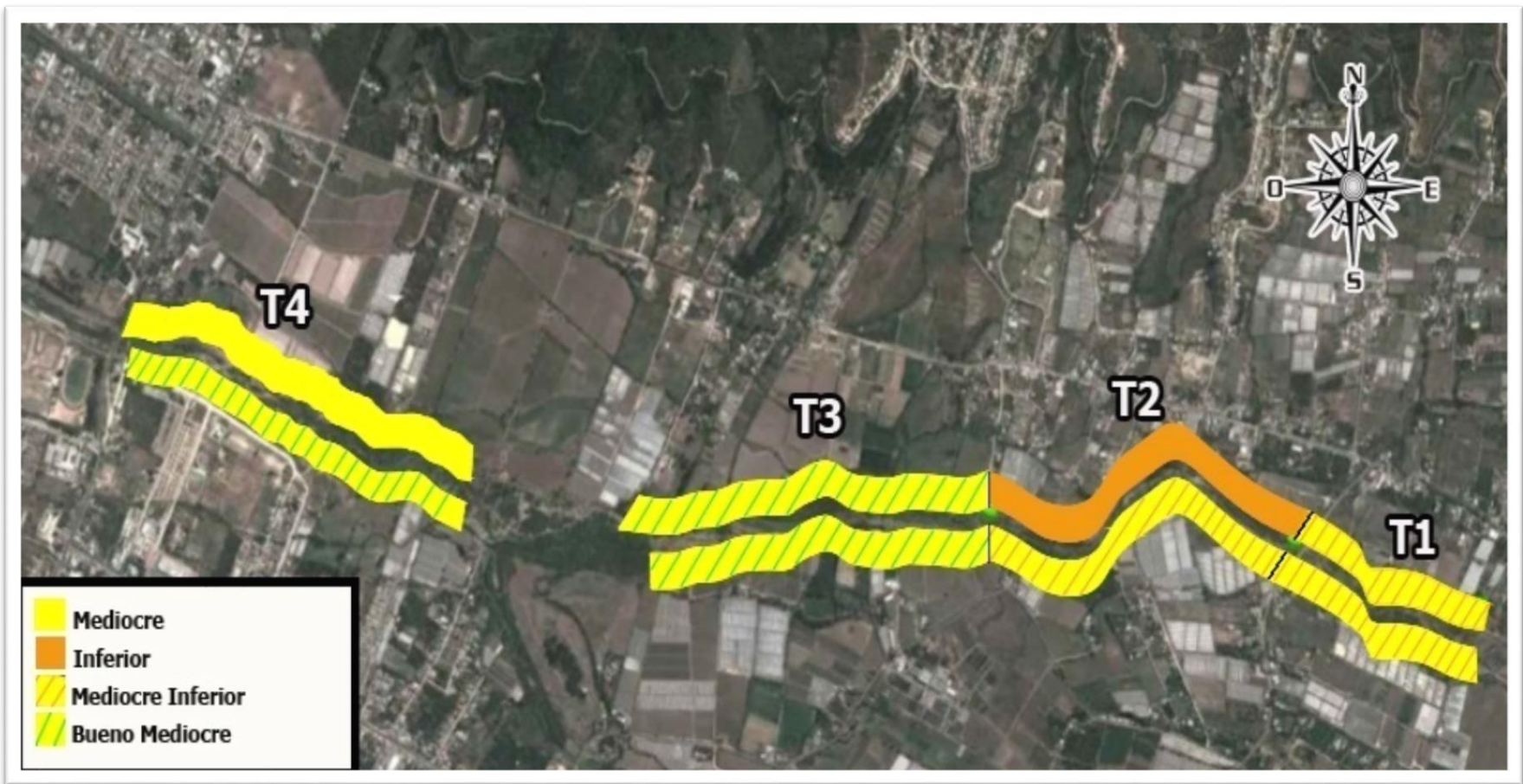


Figura 7. Mapa funcionalidad fluvial del Estero Limache.

6.2. Comparación de los estados de funcionalidad entre los tramos

El promedio de los puntajes asignados a ribera izquierda y derecha de la zona de estudio, indican que el tramo con mejor funcionalidad es T3 que corresponde al sector de Lliu Lliu, el cual promedia 185 puntos “buena- Mediocre”. Mientras que el tramo con menor funcionalidad es T2 “Lo Gamboa” con un puntaje promedio de 96 que representa un juicio de funcionalidad “Inferior” (Figura 8). La baja funcionalidad adquirida en el tramo 2, se puede explicar debido al efluente de la Planta de Tratamientos de Aguas Servidas, el esquema sobre su ubicación se observa en Figura 15 (ESVAL, 1999). 7

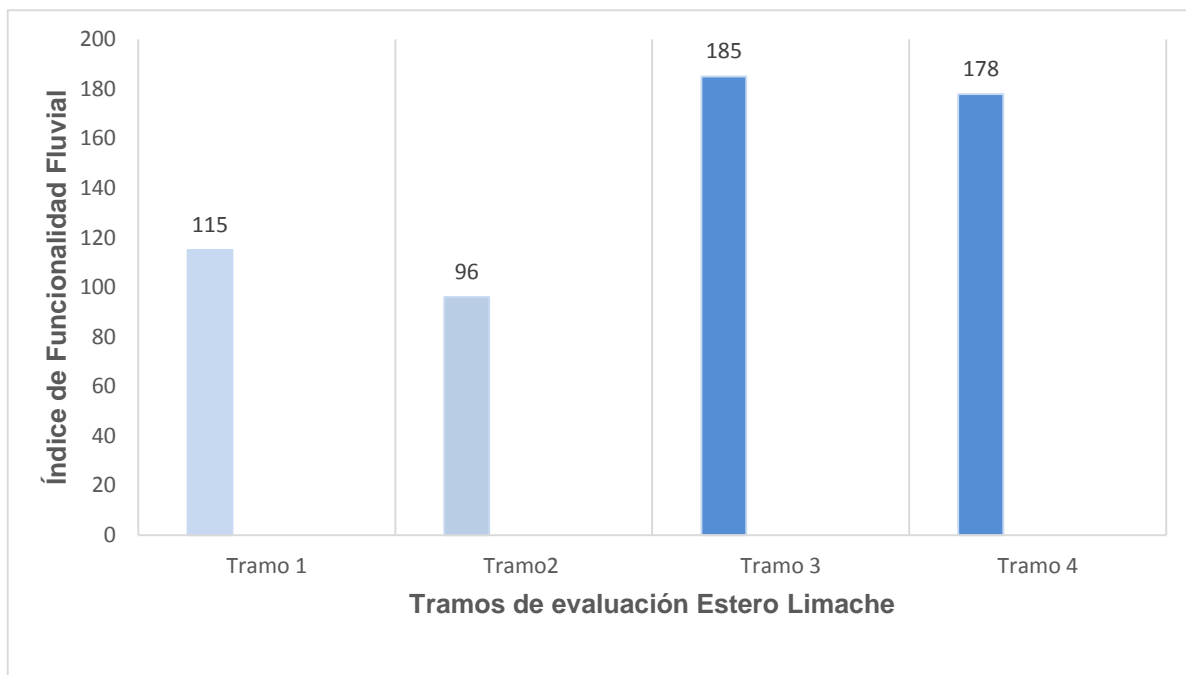


Figura 8. Comparación de Funcionalidad entre tramos de evaluación del Estero Limache.



Figura 9. Ubicación de la Planta de Tratamiento de Aguas Servidas (PTAS) en el Estero Limache

7. DISCUSIÓN

Las evaluaciones biológicas de la calidad de las aguas de los ríos, progresivamente, están complementando o reemplazando la medición de parámetros químicos, que por sí solos, no proporcionan información global del cuerpo de agua ni los efectos de perturbaciones sobre organismos vivientes (Moreno *et al.*, 2006).

Los tramos T1 y T2 ubicados en el sector de lo Gamboa se clasificaron con una calidad ambiental “mediocre- inferior”, esto se debe a que son tramos con alta intervención antrópica, el territorio circundante está representado por cultivos agrícolas que se extienden hasta las cercanías del cauce del río. Esto sugiere la posible de entradas de agentes químicos como plaguicidas y nutrientes. Además, se afecta la geomorfología del cauce por aterramiento y desviaciones del curso de agua, disminuyendo la funcionalidad de este tramo en el Estero Limache.

Las aguas de los tramos T1 y T2, presentan eutroficación, situación que impide que la comunidad macrobentónica habite el medio, generando así una evidente alteración en su estructura. Estos sectores presentaron tres especies de macroinvertebrados, correspondientes a los *Physidae*, *Chironomidae* y *Tubificidae* tolerantes a hábitat con bajas concentraciones de oxígeno y altos niveles de materia orgánica (Huamán *et al.*, 2002; Figueroa *et al.*, 2003). El Índice de Funcionalidad Fluvial clasifica los tramos pertenecientes al sector de Lo Gamboa como T1 “Mediocre- Inferior” para ambas riberas y T2, ribera derecha “Mediocre- Inferior” y ribera izquierda como “Inferior”. Córdova *et al.* (2009) reporta similar situación para este sector. Estos autores, aplicando los índices Signal 2 y ChIBF coinciden con lo obtenido por el Índice de Funcionalidad Fluvial ya que evidencian para ambas secciones una mala calidad de agua.

El tramo T2 presenta diversas intervenciones, tales como presencia de construcción de muros laterales, situación que fragmenta el sistema ecológico del lugar; extracción de áridos lo que provoca modificación del curso de agua y la dinámica, altera el paisaje, la biota circundante del sistema ecológico y genera riesgo de contaminación. En este tramo, se destaca la descarga del efluente de la Planta de Tratamiento de Aguas Servidas

(PTAS), esto podría explicar la eutrofización del Estero Limache. Al respecto Jáuregui *et al.* (2007) encontró que el río Mololoa (Nayarit, México), presenta eutrofización, situación que se provoca por la disminución del oxígeno disuelto, debido al aumento de la degradación biológica de la materia orgánica, aporte que entrega la descarga de un efluente de PTAS emplazada en el curso hídrico.

El tramo 3 se clasificó de acuerdo al Índice de Funcionalidad Fluvial como “bueno - Mediocre”. Esta sección tiene la menor intervención antrópica, debido a que es de difícil acceso comparado con los otros tramos, así se explica el mejor nivel de funcionalidad. Esto concuerda con lo señalado por Canepel *et al.* (2010) que a menor accesibilidad del sector ribereño de los cursos de agua, se favorece el crecimiento de la vegetación. Similar situación reporta Carvajal (2009), quien destaca que a menor intervención antrópica en el paisaje ribereño se favorece el desarrollo natural del ecosistema. Por ello, el tramo T3 presenta especies inmersas y consolidadas, *Baccharis marginalis*, *Salix babylonica* y *Tessaria absinthioides*, las que proporcionan al entorno naturalidad, que favorece las necesidades hidráulicas y medio ambientales del curso hídrico (Piro *et al.*, 2010). Cabe destacar que sólo en este tramo, se encontraron estados larvales de peces. No obstante lo anterior, el sector de Lliu Lliu también presenta algún grado de deterioro, debido principalmente a los residuos que son transportados por el río desde la zona aguas arriba.

El tramo T4 sector de Puente Limache se clasificó con funcionalidad para ribera izquierda de “mediocre” y ribera derecha como “Buena- Mediocre”, lo que se debe a que presenta vertimiento de residuos sólidos y escombros, que ocasiona pérdida del paisaje impactos y potenciales riesgos sanitarios. Por otro lado es debido a esta situación antes expuesta que se provoca el fenómeno de transporte por el río de materiales flotantes como bolsas y recipientes plásticos, material vegetal, empaques de comestible, entre otros, lo que provoca la destrucción de la biodiversidad. No obstante T4 evidenció una mejor calidad ambiental en comparación a los tramos evaluados en el sector de Lo Gamboa, su juicio de funcionalidad promedio para ambas riberas es del nivel III, mayor que las registradas para T1 y T2 de IV y IV- III respectivamente. Esto es similar según lo estudiado por Córdova *et al.* (2009) donde la calidad del agua aumenta al alejarse de la PTAS (Lo Gamboa) hacia el sector de Puente Limache.

8. CONCLUSIÓN

- En cuanto a la vegetación de ribera, se identificaron 16 especies de la clase Magnoliopsida en la zona de estudio, de las cuales 3 son endémicas, 3 nativas y 10 adventicias, lo que indica el alto grado de antropización del curso principal del Estero Limache. Las especies endémicas más representativas encontradas en los tramos son *Salix chilensis*, *Baccharis marginalis* y *Tessaria absinthioides*, éstas dos últimas fueron encontradas en los cuatro tramos en estudio.
- Con respecto a los macroinvertebrados se registraron 16 familias que pertenecen a 15 Órdenes, 6 Clases y 3 Phylum, dentro de los cuales los *Chironomidae* y *Physidae* fueron identificados en los cuatro tramos de evaluación. Tales microorganismos poseen una gran tolerancia a la contaminación y son capaces de habitar por extensos periodos en aguas con concentraciones muy bajas de oxígeno. Esta última condición fue observada T1 y T2 donde el agua era escasa y muchas secciones estaban eutrofizadas.
- La calidad ambiental del Estero Limache, vario de “inferior” a “buena-Mediocre”, en respuesta a la actividad agrícola, intervención del cauce, depósito de residuos, extracción de áridos y a la descarga del efluente de la Planta de Tratamiento de Aguas Servidas.
- Los tramos evaluados en el Estero Limache no son compatibles con la conservación de biodiversidad. Sin embargo, los tramos T3 y T4 pueden ser recuperados a través de medidas de restauración (deflectores, lunkers), donde las herramientas como los índices ambientales son adecuados instrumentos de gestión para monitorear las medidas que se adopten en cuanto a la conservación de la biodiversidad del Estero Limache.

- A pesar de no ser parte de los objetivos planteados dentro del estudio, el Índice de Funcionalidad Fluvial resulta ser de fácil aplicación, económico y una herramienta eficaz, por lo que se sugiere su uso para estudios de funcionalidad de ecosistemas hídricos en el país.

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alba- Tercedor J. & Sánchez- Ortega A. (1988). Un método rápido y simple para evaluar la calidad biológica de las aguas Corrientes basada en el de Hellawell 1978. *Limnética* 4: pp. 51-56.
- Cabezas, D. (2006). Situación de la vegetación e ictio fauna del Estero Puangue en Colliguay, Comuna de Quilpue, Región de Valparaíso. [Tesis de pregrado]. Ingeniería Ambiental de Universidad de Valparaíso.
- CADE-IDEPE. (2004) Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad. Cuenca del Río Aconcagua. Proyecto P-1940 presentado a Dirección General de Aguas (DGA), Ministerio de Obras Públicas. Consultado el 15 de Julio del 2012, en: http://www.sinia.cl/1292/articles-31018_Informemetodologia.pdf
- Canepel, R.; Burrows, F.; Dallafior, V. & Siligardi, M. (2010). IFFAr Índice de Funcionalidad Fluvial En Ríos Andinos de la Región de La Araucanía. Ediciones: Sede Regional Villarica de Pontificia Universidad Católica de Chile y AGENZIA PROVINCIALE PER LA PROTEZIONE DELL' AMBIENTE DI TRENTO. ISBN: 978-956-14-1133-3.
- Carone M.T.; Manfreda S.; Simoniello T. & Macchiato M. (2005). Localization of buffer strips by using IFF field data and landsat-TM satellite data. *WIT transactions on Ecology and the Environment*, Vol 83.
- Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA) & Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). (2005). Estrategia y Plan de Acción para la conservación de la Diversidad Biológica de la Región de Valparaíso. Consultado el 15 de Julio de 2012 en: http://www.mma.gob.cl/biodiversidad/1313/articles-48841_EstrategiaRegionalBiodiversidadPDA_5.pdf
- Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA). (2004). Guía para el desarrollo de normas para la protección de las aguas continentales superficiales. CONAMA, Gobierno de Chile, Santiago, 23 pp.

- Carvajal, E. (2009) Impacto Ambiental y Social del Vertimiento de Residuos Sólidos y Escombros Sobre la Calidad del Río Medellín y Algunos de sus Afluentes. Universidad San Buenaventura, El Ágora USB. 9(1), pp.
- Chile. Ministerio de Obras Públicas (1978) Requisitos de calidad del agua para diferentes usos (potables, bebida de animales, riego, recreación y estética, y vida acuática). Norma Chilena Oficial NCh 1.333 Of 78. Decreto N°867/78.
- Córdova, M. (2007). Macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores de calidad de agua; respuesta al funcionamiento de una planta de tratamiento en el Estero Limache, V región Valparaíso. [Tesis de pregrado]. Ingeniería Ambiental de Universidad de Valparaíso.
- Córdova, S.; Gaete, H.; Aránguiz F & Figueroa R. (2009) Evaluación de la calidad de las aguas del Estero Limache (Chile central), mediante bioindicadores y bioensayos. Lat. Am. J. Aquar Res, 37(2): pp. 199-209.
- D. Oliveira, J. (2009). Propuesta de un índice de calidad de agua para la protección de la vida acuática del río Aconcagua, región de Valparaíso, Chile. [Tesis de pregrado]. Ingeniería Ambiental de Universidad de Valparaíso.
- Dallafior V.; Bertolaso M.; Ghetti P.F.; Minciardi M.R.; Rossi G.L. & Siligardi M. (2008). Considerations about potential and relative fluvial functioning of alpine rivers. 4th ECRR Conference on river Restoration, Venezia, 16 – 21 Julio, 2008.
- Dodds, W. K. (2006). Eutrophication and trophic state in rivers and streams. Limnology and Oceanography, 51(1), 671-680.
- Elosegí, A. & Sabater, S. (2009). Conceptos y Técnicas en ecología fluvial. Fundación BBVA, España. ISBN: 978-96515-87-1.
- Fernández, H. & Domínguez E. (2001). Guía para la determinación de los artrópodos bentónicos sudamericanos, Universidad Nacional de Tucumán, Facultad de Ciencias Naturales, Instituto M. Lillo. 237 pp.
- Figueroa, R., C. Valdovinos, E. Araya & Parra O. (2003). Macroinvertebrados bentónicos como indicadores de calidad de agua de ríos del Sur de Chile. Rev. Chil.Hist. Nat., 76: 275-285.

- Figueroa R (2004). Calidad ambiental de la cuenca hidrográfica del río Chillán, VIII Región, Chile. [Tesis Doctorado]. Doctorado en Ciencias Biológicas de Universidad de Málaga, 260 pp.
- Figueroa, R., A. Palma, V. Ruiz & Niell X. (2007). Análisis comparativo de índices bióticos utilizados en la evaluación de la calidad de las aguas en un río mediterráneo de Chile: río Chillán, VIII Región. Rev. Chil. Hist. Nat., 80: 225-242.
- Gajardo R (1994) La vegetación natural de Chile: clasificación y distribución geográfica. Editorial Universitaria, Chile. pp.156.
- Granado,C (1996). Ecología de peces. 1ª Edición. Sevilla. Universidad de Sevilla, Secretariado de Publicaciones.
- Hoffmann, A. (1998). Flora Silvestre de Chile zona central 4ª edición Ed. Fundación Claudio Gay, 254 p.
- Huamán P.; Mariano M.; Chanco M. y Montoya H. (2002). Estructura del macrobentos de la laguna de Paca, Junín. Rev Peru Biolo. 9(1): 29-38.
- Jáuregui C.; Ramírez S.; Espinoza M.; Tovar R.; Quintero B. y Rodríguez I. (2007). Impacto de la descarga de aguas residuales en la calidad del río Mololoa (Nayarit, México) y propuestas de solución. Rev. Latin. Rec. Nat, (3): 65-73.
- Ley N° 20.473. (2010). Ley sobre Bases Generales del Medio Ambiente 19.300 Modificada por La Ley N° 20.473. Diario Oficial de la República de Chile. Santiago, 26 de Enero de 2010. Consultado el 26 de Agosto del 2013, en: <http://bcn.cl/1spb>.
- Ministerio de Medio Ambiente (MMA). (2013). Aplican plan piloto para evaluar estado de los ríos en región de Coquimbo. MMA: Sala Prensa de la Región de Coquimbo, 2 de Mayo 2013. Consultado el 15 de Octubre 2013, en: <http://www.mma.gob.cl/1304/w3-article-53980.html>
- Ministerio de Medio Ambiente. (2012). Informe del Estado del Medio Ambiente 2011. Gobierno de Chile, Santiago de Chile. pp. 512. ISBN 978-956-7204-40-3
- Ministerio de Obras Públicas (MOP). (2012) Plan Regional de Infraestructura y Gestión del Recurso Hídrico al 2021 Región de Valparaíso. Consultado el 15 de Abril de 2014, en: http://www.dirplan.cl/planes/regional/download/PRIGRH_Region_Valparaiso.pdf

- Moreno J.; Navarro C y De las Heras J. (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. *Limnética*. 25(3): pp. 821-838.
- Morolli C. & Santolini R. (2006) Riqualficazione dei corsi d'acqua: Un indice per analizzare le criticità. *ACER* (3): pp. 66-71.
- Mufano M .; Cecchi G.; Baiocco F. & Manzini L. (2005). River pollution from non-point sources: a new simplified method of assessment. *Journal of environmental Management* 77, pp. 93-98.
- Muñoz B. & Silva M. (2010). Evaluación del estado ecológico del río Aconcagua (Chile: Central) a través del índice de macrófitas (IM) e índice de calidad de bosque de ribera (QBR). [Tesis de pregrado]. Ingeniería Ambiental de Universidad de Valparaíso.
- Negri P.; Siligardi M.; Fuganti A.; Francescon M.; Monauni S. y Pozzi, S. (2000). The use of the Fluvial Functioning index for river management. AGENZIA PROVINCIALE PER LA PROTEZIONE DELL' AMBIENTE DI TRENTO. Trento, Italia. Consultado el 29 de Octubre 2012, en: http://levis.sggw.waw.pl/wethydro/contents/monografie/ws4/107-115_PaoloNegri_e.pdf
- Negri P.; Siligardi M.; Francescon M.; Fuganti A.; Monauni C y Pozzi S. (2004). The fluvial functioning index: an ecological assessment applied for river restoration. 3rd European Conference on River Restoration, Croatia, 17-21 May 2004.
- OCDE. (2011). Mejores políticas para el desarrollo: Perspectivas OCDE sobre Chile. OECD Publishing. ISBN: 978-92-64-09574-8 (impresa) y ISBN: 978-92-64-09575-5 (PDF). Consultado el 29 de Octubre de 2012, en: <http://www.oecd.org/economy/47496842.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO), 2010. El agua en un mundo en constante cambio Programa de Evaluación de los Recursos Hídricos. En 3er Informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo. UN WATER.SC-2010/WWAP/04/ES. Consultado el 20 de Marzo del 2013, en:

http://www.unesco.org/new/fileadmin/MULTIMEDIA/HQ/SC/pdf/wwap_WWDR3_Facts_and_Figures_SP.pdf

- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO). (2006). Contaminación del Agua. En Boletín semanal del portal del agua de la UNESCO N° 138. Consultado el 10 de Marzo 2013, en: http://www.unesco.org/water/news/newsletter/138_es.shtml#know
- Palma A., Figueroa R. & Ruiz V.H. (2009). Evaluación de ribera y hábitat fluvial a través de índices QBR e IHF. Revista scielo Gayana 73(1), pp.57-63. ISSN: 0717-6538. Consultado el 19 de Diciembre de 2013, en: http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0717-65382009000100009&script=sci_arttext
- Pardo I.; Álvarez M.; Casas J.; Moreno J.L.; Vivas S.; Bonada N.; Alba- Tercedor J.; Moyà G.; Prat N.; Robles S.; Suárez M.L.; Toro M. & Vidal-Abarca M.R. (2002). El hábitat de los ríos mediterráneos. Diseño de un índice de diversidad de hábitat. Asociación Española de Limnología Madrid. España. Limnética 21(3-4), pp.115-133.
- PLADECO Limache. (2010). Actualización del plan de desarrollo comunal 2011-2015, Ilustre Municipalidad de Limache. Consultado el 15 de Julio del 2012, en: <http://www.muniolmue.cl/imagenespublicas/InformePladecoOlmue2011-2015.pdf>
- Prat N.; Ríos B.; Acosta R. & Rieradevall M. (2009). Los macroinvertebrados como indicadores de calidad de las aguas. En Domínguez, E. y Fernández, H.R. (Eds). Macroinvertebrados Bentónicos Sudamericanos. [en prensa]. Fundación Miguel Lillo, San Miguel de Tucumán, Argentina.
- Piro, P., Carbone, M., & Tomei, G. Fluvial Funtional index (FFI) (2010) A tool to requalify river environment – experimental study. Department of Soil Conservation, University of Calabria, Rende (CS), Italy. Consultado el 21 de enero 2014 en: http://web.sbe.hw.ac.uk/staffprofiles/bdgsa/IAHR_2010_European_Congress/Papers%20by%20session%20final/Eco-Hydraulics%20I/EH1c.pdf
- Quiroz, S. & Moreno, D. (2009). Guía de Campo de Peces dulceacuícolas de la región de Valparaíso. Ed. Fondo de Protección Ambiental CONAMA. Valparaíso, Chile. pp. 94.

- Resolución Exenta N°30/2006 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia y Comisión Nacional del Medio Ambiente. “Anteproyecto de normas secundarias de calidad ambiental para la protección de las aguas continentales superficiales de la cuenca del río Aconcagua” 16 de Enero 2006.
- Siligardi M., Bernabei S., Cappelletti C., Chierici E., Ciutti F., Egaddi F., Franceschini A., Maiolini B., Mancini L., Minciardi M.R., Monauni C., Rossi G.L., Sansoni G., Spaggiari R., & Zanetti M., (2000). I.F.F. Índice di funzionalità fluviale. Manuale ANPA. APAT Roma. 1993.
- ESVAL S.A. (1999). Planta de tratamiento de aguas servidas de Limache. Proyecto presentado por Empresa de Obras Sanitarias de Valparaíso S.A (ESVAL S.A) en el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA). Consultado el 1 de Enero de 2014, en: http://seia.sea.gob.cl/archivos/EIA/2012122005/EIA_1649_DOC_7668807.pdf
- Sistema Nacional de Información Ambiental (SINIA). (2013). Proceso de dictación: Norma de Calidad Secundaria para la Protección de las Aguas de la Cuenca del Río Aconcagua. Consultado el 9 de abril 2013, en: <http://www.sinia.cl/1292/printer-32707.html>
- Suárez M.L.; Vidal-Abarca R.; Sánchez Montoya M.; Alba-Tercedor J.; Alvarez M.; Avilés J.; Bonada N.; Casas J.; Jáimez- Cuéllar P.; Munné A.; Pardo I.; Prat N.; Rieradevall M.; Salinas J.; Toro M. & Vivas S. (2002) . Las riberas de los ríos mediterráneos y su calidad: el uso del índice QBR. *Limnética* 21(3-4), pp.135-148.
- Toledo, A. (2002). El agua en México y el mundo. *Gaceta Ecológica*, (64), 9-18.
- Vannote R.; Minshall G.; Cummins K.; Sedell J. & Cushing C The River Continuum Concept. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 31 (1): 130-37-
- Zalewski, M. (2000). Ecohydrology- the scientific background to use ecosystem properties as management tools toward sustainability of water resources. *Ecological engineering*. (ELSEVIER) 16 (1-8).

**10. ANEXO 1 Ficha de aplicación Índice de Funcionalidad Fluvial Estero
Limache.**

Tabla 7. Puntaje asignado por IFF a los tramos de evaluación dentro del Estero Limache.

FICHA ÍNDICE DE FUNCIONALIDAD FLUVIAL (IFF)								
NOMBRE DEL TRAMO HOMOGENEO	T1		T2		T3		T4	
	Der.	Izq.	Der.	Izq.	Der.	Izq.	Der.	Izq.
1. Estado del territorio circundante								
a) Ausencia de antropización	-	-	-	-	-	-	-	-
b) Presencia de áreas naturales junto con usos antrópico del territorio	-	-	-	-	-	-	-	-
c) Cultivos estacionales y/o permanentes; escasas zonas urbanizadas.	5	-	-	-	5	5	5	-
d) Área urbanizada	-	1	1	1	-	-	-	1
NOMBRE DEL TRAMO HOMOGENEO								
NOMBRE DEL TRAMO HOMOGENEO	T1		T2		T3		T4	
	Der.	Izq.	Der.	Izq.	Der.	Izq.	Der.	Izq.
2. Vegetación presente en la faja perifluvial primaria								
a) Presencia de formaciones ribereñas complementarias funcionales	-	-	-	-	-	-	-	-
b) Presencia de una sola o de una serie simplificada de formaciones ribereñas	25	25	25	-	25	25	25	25
c) Ausencia de formaciones ribereñas pero con presencia de formaciones de todos modos funcionales.	-	-	-	-	-	-	-	-
d) Ausencia de formaciones que tienen funcionalidad significativa.	-	-	-	-	-	-	-	-
NOMBRE DEL TRAMO HOMOGENEO								
NOMBRE DEL TRAMO HOMOGENEO	T1		T2		T3		T4	
	Der.	Izq.	Der.	Izq.	Der.	Izq.	Der.	Izq.
2. Bis Vegetación presente en la faja perifluvial Secundaria								
a) Presencia de formaciones ribereñas complementarias funcionales.	-	-	-	-	-	-	-	-
b) Presencia de una sola o de una serie simplificada de formaciones ribereña.	-	-	-	10	-	-	-	-
c) Ausencia de formaciones ribereñas pero con presencia de formaciones de todos modos funcionales.	-	-	-	-	-	-	-	-
d) Ausencia de formaciones que tienen funcionalidad significativa.	-	-	-	-	-	-	-	-

NOMBRE DEL TRAMO HOMOGENEO	T1		T2		T3		T4	
	Der.	Izq.	Der.	Izq.	Der.	Izq.	Der.	Izq.
3. Amplitud de las formaciones funcionales presentes en la faja perifluvial								
a) Amplitud acumulativa de las formaciones funcionales mayor de 30m	-	-	-	-	-	-	-	-
b) Amplitud acumulativa de las formaciones funcionales comprendidas entre 30 y 10 m	-	-	10	10	10	10	10	-
c) Amplitud acumulativa de las formaciones funcionales comprendidas entre 10 y 2m	5	5	-	-	-	-	-	5
d) Ausencia de formaciones funcionales	-	-	-	-	-	-	-	-
NOMBRE DEL TRAMO HOMOGENEO								
	Der.	Izq.	Der.	Izq.	Der.	Izq.	Der.	Izq.
4. Continuidad de las formaciones funcionales presentes en la faja perifluvial								
a) Desarrollo de las formaciones funcionales sin interrupciones.	-	-	-	-	-	-	-	-
b) Desarrollo de las formaciones funcionales con interrupciones.	10	10	10	10	10	10	10	-
c) Desarrollo de las formaciones funcionales con interrupciones frecuentes o sólo con hierba continua y consolidadas formaciones arbustivas sobre todo exóticas e infectantes	-	-	-	-	-	-	-	5
d) Suelo desnudo, escasa población vegetal.	-	-	-	-	-	-	-	-

	T1		T2		T3		T4	
	Der.	Izq	Der	Izq	Der	Izq	Der	Izq
5. Condiciones hídricas								
a) Régimen perenne con caudal no perturbado y anchura del cauce del álveo mojado > 1/3 del cauce	-	-	-	-	-	-	-	-
b) Fluctuaciones de caudal inducidas de largo período con amplitud del álveo mojado < 1/3 de álveo de crecidas o variación solamente del calado hidráulico.	-	-	-	-	15	15	15	15
c) Perturbaciones de caudal frecuentes o secas naturales estaciones no prolongadas o caudales constantes inducidas.	-	-	-	-	-	-	-	-
d) Perturbaciones de caudal intensas, muy frecuentes o improvisas o secas prolongadas o caudales constantes inducidas.	1	1	1	1	-	-	-	-
NOMBRE DEL TRAMO HOMOGENEO								
	T1		T2		T3		T4	
	Der	Izq	Der	Izq	Der	Izq	Der	Izq
6. Eficiencia de las inundaciones								
a) Tramo no encauzado, álveo ordinaria superior al triple del álveo de crecida	-	-	-	-	-	-	-	-
b) Cauce de desbordamiento usual largo entre 2 y 3 veces el caudal moderado (encauzado por diques superior al triple).	15	15	-	-	15	15	15	15
c) Cauce de desbordamiento usual largo entre 1 y 2 veces el cauce de moderado (encauzado por diques largo 2-3 veces).	-	-	-	-	-	-	-	-
d) Tramos de los valles en V con una fuerte pendiente y tramos encauzados por diques con cauce de desplazamiento usuales < de 2 vueltas al cauce.	-	-	1	1	-	-	-	-

NOMBRE DEL TRAMO HOMOGENEO	T1		T2		T3		T4	
	Der	Izq	Der	Izq	Der	Izq	Der	Izq
7. Sustrato del cauce y estructuras de las retenciones de los aportes tróficos								
a) Cauce con rocas y/o viejos troncos regularmente incrustados (o presencia de franja de cañas o hidrófitos) cauce caracterizado de coexistencia de bolones.	-	-	-	-	-	-	-	-
b) Rocas y/o ramas presentes con almacenamientos de materia orgánica (o cañas o hidrófitos escasos o poco abundantes.	15	15	15	15	15	15	-	-
c) Estructuras de retención libre o móvil en el caudal (o con ausencia de caña o hidrófitos).	-	-	-	-	-	-	5	5
d) Cauce de sedimentos arenosos o moldura artificial lisa en corriente uniforme.	-	-	-	-	-	-	-	-
NOMBRE DEL TRAMO HOMOGENEO								
NOMBRE DEL TRAMO HOMOGENEO	T1		T2		T3		T4	
	Der	Izq	Der	Izq	Der	Izq	Der	Izq
8. Erosión								
a) Poco evidente o no relevante o solamente en la curva asociada a la extracción de la ribera.	20	20	20	20	20	20	20	20
b) Presente una incisión vertical y rectilínea en la ribera.	-	-	-	-	-	-	-	-
c) Frecuente con excavación de la ribera y de las raíces ambas con la ribera y de las raíces y con una evidente incisión vertical.	-	-	-	-	-	-	-	-
d) Más evidente con hendidura desplazamientos ambos en la ribera y con una presencia de intervalos artificiales.	-	-	-	-	-	-	-	-

NOMBRE DEL TRAMO HOMOGENEO	T1		T2		T3		T4	
	Der.	Izq.	Der.	Izq.	Der.	Izq.	Der.	Izq.
9. Secciones Transversales								
a) Cauce integrado con una alta diversidad morfológica	-	-	-	-	-	-	-	-
b) Presencia de los niveles de intervención artificial pero con una moderada diversidad morfológica	-	-	-	-	15	15	15	15
c) Presencia de los intervalos artificiales o con escasa diversidad morfológica	5	5	5	5	-	-	-	-
d) Casi ninguna diversidad morfológica o artificial.	-	-	-	-	-	-	-	-
NOMBRE DEL TRAMO HOMOGENEO								
NOMBRE DEL TRAMO HOMOGENEO	T1		T2		T3		T4	
	Der.	Izq.	Der.	Izq.	Der.	Izq.	Der.	Izq.
10. Idoneidad íctica								
a) Elevada	-	-	-	-	-	-	-	-
b) Buena o moderada	-	-	-	-	20	20	20	20
c) Poco o suficiente	-	-	5	5	-	-	-	-
d). Ausente	1	1	-	-	-	-	-	-
NOMBRE DEL TRAMO HOMOGENEO								
NOMBRE DEL TRAMO HOMOGENEO	T1		T2		T3		T4	
	Der.	Izq.	Der.	Izq.	Der.	Izq.	Der.	Izq.
11. Hidromorfología								
a) Elementos hidromorfológicos bien definidos con sucesión regular	-	-	-	-	-	-	20	20
b) Elementos hidromorfológico bien diferenciados con sucesión irregular	-	-	-	-	15	15	-	-
c) Elementos hidromorfológicos no diferenciados o preponderancia un solo tipo	5	5	5	5	-	-	-	-
d) Elementos hidromorfológicos no distinguibles.	-	-	-	-	-	-	-	-

NOMBRE DEL TRAMO HOMOGENEO	T1		T2		T3		T4	
	Der.	Izq.	Der.	Izq.	Der.	Izq.	Der.	Izq.
12. Componente vegetal en un cauce bañado								
a) Perifiton sutil o escasa cobertura de macrófitas tolerantes	-	-	-	-	-	-	-	-
b) Cinta periférica tridimensional apreciable con escasa cobertura de macrófitas tolerantes.	-	-	-	-	-	-	-	-
c) Perifiton escaso o (con una cobertura significativa de macrófitas tolerantes) con ausencia moderada.	5	5	-	-	5	5	5	5
d) Perifiton abundante y / o elevada cobertura de macrófitas tolerantes.	-	-	1	1	-	-	-	-
NOMBRE DEL TRAMO HOMOGENEO								
NOMBRE DEL TRAMO HOMOGENEO	T1		T2		T3		T4	
	Der.	Izq.	Der.	Izq.	Der.	Izq.	Der.	Izq.
13. Desechos								
a) Fragmentos vegetales reconocibles y fibrosos.	-	-	-	-	-	-	-	-
b) Fragmentos vegetales fibrosos o sustanciosos	-	-	-	-	10	10	10	10
c) Fragmentos sustanciosos.	-	-	-	-	-	-	-	-
d) Desechos anaerobios.	1	1	1	1	-	-	-	-

NOMBRE DEL TRAMO HOMOGENEO	T1		T2		T3		T4	
	Der.	Izq.	Der	Izq.	Der	Izq.	Der.	Izq.
14. Comunidad macrobentónica								
a) Cima estructurada y diversificada, adecuada a la tipología fluvial	-	-	-	-	-	-	-	-
b) Suficientemente diversificada pero con una estructura alterada respecto a lo esperado.	-	-	-	-	-	-	10	10
c) Poco equilibrada y diversificada con prioridad de tasa tolerante a la contaminación	-	-	-	-	5	5	-	-
d) Ausencia de una comunidad estructurada, presencia de una escasa clasificación, más bien tolerante a la contaminación.	1	1	1	1	-	-	-	-