



UNIVERSIDAD DE VALPARAISO
FACULTAD DE CIENCIAS
DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA Y CIENCIAS AMBIENTALES
INGENIERIA AMBIENTAL

APLICACIÓN DE INDICE DE MACRÓFITAS PARA EVALUAR LA CALIDAD DE LAS AGUAS DEL ESTERO MANTAGUA, REGIÓN DE VALPARAÍSO, CHILE.

Trabajo de titulación para optar al título de Ingeniero Ambiental

Tesistas:

Paulina Agurto Urra

Felipe Santander Jara

Profesor Guía:

M.Sc. Javier Arancibia Fortes

Valparaíso, Chile 2009

DEDICATORIA

A mis padres...
... a mi hermano...
... a Joaquín...
... a Francisco...
... a mis amigos...

Con infinito amor, a ustedes.

Paulina.

..." A la gente cuyo trabajo va más allá del campo de
Las ideas y penetra en la <<realidad material>>: a los
ecólogos de las tierras áridas, dondequiera que estén,
en cualquier tiempo donde trabajen, dedico esta tentativa
de extrapolación con humildad y admiración"...

Dune – Frank Herbert

A mi madre por su paciencia y abnegación. Y por haber entregado todo de si para que yo cumpliera esta linda etapa.

A mi padre, que mas que un padre es un gran amigo, por enseñarme lo importante de la vida; la sencillez, el desapego material y la humildad.

A mi abuela Nenita, de quien herede mi carácter y forma de ser. Más que un nieto, soy su hijo.

A Bárbara, quien ha sido un pilar fundamental en esta etapa. Por tu amor y entrega. Espero que los obstáculos de la vida engrandezcan y forjen nuestro ser.

A mis amigos, quienes me han acompañado a lo largo de mi vida estudiantil; Aroldo, Eduardo, Ángel, Hormiga, Flanders, Oreja, Vilma, Diana, Bombero, Flavio, Jose, Danilo y Claudio. Y a aquellos que no están por escrito, pero que están siempre presente en mí.

A los profesores de la carrera de Ingeniería Ambiental, por su entrega y conocimiento, en especial al profesor José Cáceres por su amistad.

A todas las personas que me han acompañado durante mi vida. Parte de ustedes también esta plasmado en este trabajo.

A todos ustedes.

Felipe.

AGRADECIMIENTOS

A nuestras familias, por su amor y apoyo incondicional.

A los profesores pertenecientes a la facultad de ciencias de la Universidad de Valparaíso; Hernán Gaete, Jairo Valencia, Luis López y Patricio Arellano por guiar nuestro trabajo. Y muy en especial a nuestro profesor guía: Javier Arancibia, por su disposición y paciencia.

A nuestros amigos, queridos amigos, que nos ayudaron para el logro de esta meta. Con especial cariño a Bárbara Herrera, Claudio Quezada, Francisco Ugarte, Claudio Sáez, Diego Pérez, Pamela Alvarado y Vania Reyes.

A Irma Vila perteneciente a la Facultad de Ciencias de la Universidad de Chile por atendernos con tan buena disposición.

A Sandro Araneda encargado de prevención y control de la contaminación perteneciente a CONAMA Región de Valparaíso por orientarnos con respecto a la normativa.

A María Luisa Suárez perteneciente al departamento de Ecología e Hidrología de la Universidad de Murcia, España, por responder siempre nuestras consultas.

A Pamela Herrera, secretaria de la carrera de Ingeniería Ambiental.

A todas las personas que participaron en este proceso.

De corazón a todos Gracias.

INDICE TEMÁTICO

1	RESUMEN	9
2	INTRODUCCIÓN	10
3	MARCO TEORICO	11
3.1	Generalidades	11
3.1.1	Recurso hídrico en Chile	11
3.1.2	Características de los sistemas lóticos	12
3.1.3.1	Zonas hidrológicas de Chile	14
3.2	Variables químicas y biológicas del recurso hídrico	16
3.3	Marco legal e institucional en Chile	17
3.3.1	Marco legal	17
3.3.2	Institucionalidad	23
3.3.3	Organismos del estado con atribuciones en la gestión del recurso Hídrico	24
3.4	Estrategia nacional de gestión integrada de cuencas	25
3.5	Evaluación de la calidad del agua	26
3.6	Contaminación hídrica en Chile	27
3.7	Índices biológicos para evaluar la calidad del agua	29
3.8	Macrófitas como bioindicadores	30
3.8.1	Índice de Macrófitas (IM)	32
3.9	Valor indicador	34
4	PROBLEMA	36
5	OBJETIVOS	37
5.1	Objetivo General	37
5.2	Objetivos Específicos	37

6	MATERIALES Y MÉTODOS	38
6.1	Descripción del área de estudio	38
6.1.1	Características del medio físico	38
6.1.1.1	Clima predominante en el área de estudio	38
6.1.1.2	Geomorfología del área de estudio	39
6.1.1.3	Hidrografía del área de estudio	40
6.1.1.3	Vegetación y flora existente en el área de estudio	41
6.1.1.4	Fauna existente en el área de estudio	42
6.2	Metodología	42
6.2.1	Ubicación del área de estudio	42
6.2.2	Descripción de las estaciones de muestreo	44
6.2.3	Identificación de la flora	47
6.2.4	Cobertura de las especies que puntúan en el índice de macrófitas	48
6.2.5	Determinación de la calidad del agua del estero Mantagua mediante el índice de macrófitas IM	48
6.2.6	Parámetros físicos y químicos	49
7	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	50
7.1	Identificación de la flora	50
7.2	Cobertura de las especies que puntúan en el índice de macrófitas	54
7.3	Determinación de la calidad del agua de del estero Mantagua mediante el índice de macrófitas IM	57
7.4	Parámetros físicos y químicos	59
8	CONCLUSIONES	67
9	REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	69
10	ANEXOS	76

INDICE DE TABLAS

Tabla 1:	Disposiciones legales de relevancia ambiental para agua en Chile	20
Tabla 2:	Principales instituciones que poseen atribuciones en la gestión del recurso hídrico	24
Tabla 3:	Clases de calidad definidas para el índice de macrófitas	34
Tabla 4:	Índice de macrófitas (IM)	35
Tabla 5:	Coordenadas y altura de las estaciones de muestreo	42
Tabla 6:	Catálogo de la flora registrada en los sitios de muestreo	50
Tabla 7:	Cobertura en porcentaje de las especies por estación	55
Tabla 8:	Puntaje asignado por el índice de macrófitas (IM) a los taxones del estero Mantagua	57
Tabla 9:	Calidad del agua de acuerdo con el índice de macrófitas (IM)	58
Tabla 10:	Variables hidráulicas medidas en el estero	60
Tabla 11:	Parámetros físicos y químicos medidos en el estero	62
Tabla 12:	Clases de calidad establecidas para cada parámetro según la guía CONAMA para el establecimiento de las normas secundarias de calidad ambiental para aguas continentales superficiales	63
Tabla 13:	Correlación de Spearman (r) y probabilidad (p) para parámetros físicos y químicos medidos en el estero en relación con el índice de macrófitas (IM)	64

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Formas de vida de las macrófitas	32
Figura 2: Ubicación de las estaciones de muestreo en el estero Mantagua	43
Figura 3: Estaciones de muestreo	46
Figura 4: Distribución porcentual de los taxones presentes en los sitios de muestreo	52
Figura 5: Distribución taxonómica en relación al origen fitogeográfico de las especies muestreadas	52
Figura 6: Formas de vida en porcentaje de la flora registrada	54
Figura 7: Estaciones de muestreo según calidad otorgada por el índice de macrófitas (IM)	58

INDICE DE ANEXOS

ANEXO 1: TIPOS DE CLASES PARA LA CALIDAD DEL AGUA NORMA SECUNDARIA DE CALIDAD AMBIENTAL PARA LA PROTECCIÓN DE LAS AGUAS CONTINENTALES	76
ANEXO 2: PROTOCOLO PARA LA APLICACIÓN DEL ÍNDICE DE MACRÓFITAS (IM)	78
ANEXO 3: METODOS NORMALIZADOS PARA EL ANÁLISIS QUÍMICO DE AGUAS POTABLES Y RESIDUALES	79

1. RESUMEN

A partir de los muestreos realizados en 7 estaciones localizadas en el estero Mantagua, Región de Valparaíso, durante los periodos de primavera (2008) y verano (2009), y teniendo en cuenta la tolerancia a la contaminación orgánica y por tanto el valor indicador de los taxones recolectados, se aplicó el Índice de Macrófitas (IM) para evaluar la calidad de las aguas del estero Mantagua. Este índice puede servir como complemento a los parámetros físicos y químicos establecidos en la Guía CONAMA para el establecimiento de las Normas Secundarias de calidad ambiental para aguas superficiales y continentales. Se encontró una calidad variable entre buena y mala en el estero. El índice presentó una correlación negativa y significativa con el fosfato, lo que indica que el IM es sensible a este parámetro.

2. INTRODUCCIÓN

El agua es un elemento finito y frágil. Juega un papel complejo y multifacético tanto en las actividades humanas como en los sistemas naturales (Programa Chile sustentable, 2004).

Estudios revelan que la cantidad de agua en el planeta se mantiene constante, pero que sin embargo la calidad se deteriora, disminuyendo así en términos de oferta. A su vez, la demanda se incrementa proporcionalmente al crecimiento de la población, esto hace suponer que el déficit de la oferta del recurso hídrico da lugar a un conflicto social. Y si la tendencia de la demanda sigue aumentando, se llegará a un momento en que la demanda será siempre mayor que la oferta, lo cual generará un conflicto social crónico. Ante esto, la única alternativa sería el desarrollo de técnicas eficientes que permitan evaluar integralmente para poder restaurar el sistema, estableciendo así, un sistema dinámico entre la oferta y la demanda, dando lugar a una armonía social (Fernández, 2001).

Para decisiones informadas acerca de las políticas ambientales se necesita un incremento en la capacidad de monitorear cambios en el estado de calidad ambiental. Estos monitoreos son cruciales para anticipar problemas antes que alcancen magnitudes críticas. Además la medición de los cambios en la calidad ambiental entregan a las personas encargadas de formular políticas una base para evaluar la efectividad de las políticas ambientales (Alberti *et al.*, 1991).

3. MARCO TEÓRICO

3.1. Generalidades

3.1.1. Recurso hídrico en Chile

Los recursos hídricos se definen como “Recursos disponibles o potencialmente disponibles en cantidad y calidad suficientes, en un lugar y en un periodo de tiempo apropiados para satisfacer una demanda identificable” (DGA, 1999).

Según el último Balance Hídrico de Chile (DGA, 1987) el caudal medio anual de los ríos de Chile es de 928 Km³/año, representando el 2,1% del caudal mundial, y el 7,9% del total de América del Sur. La disponibilidad promedio del país al año 1992 alcanzaba a 5.475 m³/año por habitante; mientras que el valor medio de disponibilidad de agua apta para el consumo humano en el planeta es de 9.500 m³/año/habitante. Al incluir los glaciares del Sur de Chile, esta disponibilidad aumentaría a unos 70.000 m³/año/habitante pero sólo a nivel de reservas actualmente no disponibles (Universidad de Chile, 2005).

Existe desigualdad en la disponibilidad de los recursos hídricos en el país. Según la Dirección General de Aguas, la precipitación media anual del país es de 1.522 mm, pero la distribución de las precipitaciones varía considerablemente de una región a otra, dada la gran diversidad geoclimática del territorio y las condicionantes estructurales, como la corriente de Humboldt, los movimientos anticiclónicos y la orografía (Programa Chile Sustentable, 2004).

De acuerdo a los estudios realizados por la Dirección General de Aguas (1999), la demanda actual del recurso hídrico en Chile es de 4.595 m³/s. De

este total, el 85% corresponde a usos no consuntivos, particularmente hidroeléctrico, y el 15% a usos consuntivos. Estos últimos representan un flujo continuo de alrededor de 698 m³/s de los cuales el 75% se destina a riego con un caudal medio continuo de 527 m³/s (más de un millón doscientas mil hectáreas). El 7% se destina a minería, con un caudal continuo de 51 m³/s. El 12% a la industria con un caudal continuo de 82 m³/s, y el 5% a usos domésticos con un caudal continuo de 38 m³/s.

3.1.2. Características de los sistemas lóticos

El área drenada por un sistema lótico es denominada cuenca hidrográfica. La cuenca es una unidad natural hidrológica y geofísica, cuyos límites dependen de su topografía y están determinados por la línea divisoria de aguas. Dentro de la cuenca, existen componentes hidrológicos, ecológicos, ambientales y socioeconómicos, cada uno de ellos con una función (CEPAL, 2006).

Una cuenca puede subdividirse de varias formas, siendo común el uso del término subcuenca para denominar las unidades de menor jerarquía, drenadas por un tributario del río principal. Se denomina microcuenca para definir las unidades hidrográficas más pequeñas dentro de una cuenca principal.

Los sistemas lóticos dulceacuícolas, incluyen todas las masas de agua que presentan corriente, comprendiendo a ríos, riachuelos, arroyos y arroyuelos. La corriente puede cambiar de acuerdo a la posición del cuerpo de agua y en determinados tramos del mismo (CONAMA, 2006), además de tener incidencia sobre el desarrollo de organismos acuáticos, desplazando a aquellos que no se adhieren al sustrato. Además, libera sedimentos, los

cuales son arrastrados y posteriormente depositados, creando bancos de sedimentos.

Las condiciones geográficas de la cuenca hidrográfica imponen ciertas características a los ríos, observándose morfologías similares cuando se asemejan la topografía, altitud y pluviosidad. Así mismo, existen diferencias mayores entre sectores de un mismo río, que entre sectores homólogos de distintos ríos (Jaeger, 2003), puesto que estos tienden a presentar perfiles longitudinales, en forma de línea cóncava abierta hacia arriba, lo que implica que en un mismo río dependiendo de los accidentes de terreno se sucedan una serie de tipos de corriente, con fuerte pendiente cerca de la fuente y mínima pendiente cerca de la desembocadura.

Los ecosistemas dulceacuícolas prístinos proveen de nutrientes y sustratos en la cantidad necesaria para la vida en ellos. Es así como, dependiendo de la cantidad de nutrientes presentes en el agua, se pueden clasificar en oligotróficas, eutróficas y mesotróficas (CONAMA, 2006):

- Oligotróficas: Cuerpos de agua que poseen pocos nutrientes, una mezcla especial de zooplancton y fitoplancton, y pobre vida vegetal.
- Mesotróficas: Son aguas con condiciones nutricionales y vida vegetal intermedias.
- Eutróficas: Poseen grandes concentraciones de nutrientes, estos permiten un desarrollo exagerado de fitoplancton y plantas acuáticas.

Los arroyos (o esteros) son cursos de agua más angostos (su ancho varia entre uno y cinco metros) someros y de menor caudal, por lo que se eutrofizan con mayor rapidez. Esta eutroficación se observa en el desarrollo explosivo de los macrófitos presentes (CONAMA, 2006).

El río recibe aportes de materia orgánica del componente terrestre de la cuenca tanto particulada como disuelta a lo largo de su tramo que se va transportando río abajo hasta el océano. También indirectamente el río recibe productos del material lixiviado geológico y de los suelos tales como carbonatos. Los procesos biológicos van disminuyendo el tamaño de partículas aumentando la concentración de las sustancias disueltas río abajo.

Debido a la configuración de Chile, los ríos son (con pocas excepciones) cortos y bastante caudalosos. Desde su nacimiento, en las montañas, y su desembocadura en el mar, se pueden distinguir diferentes zonas, como (Jaeger, 2003):

- **Ritrón:** Zona de nacimiento del río hasta el punto en que las temperaturas medias mensuales ascienden a 20°C, esta zona posee concentraciones de oxígeno elevadas, velocidades de corrientes altas y turbulentas. La composición del lecho es el sustrato de bolones, piedras o grava con espacios ocasionales de arena o limo. Morfológicamente hay alternancia de pozas o charcos.
- **Potamón:** Curso bajo del río, las temperaturas medias mensuales ascienden a más de 20°C, se pueden presentar deficiencias de oxígeno, la corriente es lenta de tipo más bien laminar y predomina en el lecho la arena. Sus principales componentes son el cauce y la zona inundable.

3.1.2.1. Zonas hidrológicas de Chile

La red de drenaje y unidades morfológicas existentes en Chile se pueden zonificar en las siguientes agrupaciones (Centro del tercer mundo para el manejo del agua, 2003), estas son:

- **Zona del norte árido:** Agrupa a los ríos de régimen esporádicos por condiciones extremas de aridez. Presentan salinidades elevadas con contenidos altos de sulfatos y cloruros. Incluye las regiones de Tarapacá, Antofagasta y la parte nororiental de la región de Atacama.

- **Zona semiárida:** Región sin relieve altiplánico. El clima es semiárido con lluvias centradas en los meses de invierno, los ríos son de régimen mixto pluviales y nivales. Los ríos son de tipo torrencial con alta pendiente y régimen permanente. Los principales, de norte a sur, son: Copiapó, Huasco, Limarí, Petorca, La Ligua y Aconcagua.

- **Región Subhúmeda:** Formada por la parte de la Zona Central de Chile y caracterizada por la presencia de la depresión intermedia o Valle Central. Se extiende desde el cordón de Chacabuco por el norte y la zona centro sur hasta el canal de Chacao y Seno de Reloncaví. El clima dado por las temperaturas y precipitaciones junto a la topografía permiten dividir a la región en dos sub-zonas:
 - Centro-Norte con ríos de régimen mixto que se extiende desde el cordón de Chacabuco a la hoya del río Bio Bío. Se destacan los ríos Maipo y Bio Bío.
 - Centro-Sur con ríos tranquilos, regulación lacustre y flujo constante. El río más representativo es el río Valdivia.

- **Ríos de la Isla Grande de Chiloé:** Son ríos cortos de bajo caudal de origen exclusivamente pluvial. Con gran cantidad de materia orgánica por descomposición arbórea. Algunos ríos presentan alta salinidad por efecto de las mareas.

- **Ríos trasandinos septentrionales de la Patagonia:** Este grupo de ríos se forma en el macizo andino en profundos glaciares. Hay

presencia de alto contenido en material particulado. Se destaca el río Aysén.

- **Ríos Magallánicos:** Zona de hoyas hidrográficas cortas y caudal bajo.

3.2. Variables químicas y biológicas del recurso hídrico

Además de los nutrientes y sustratos adecuados para el desarrollo de la vida acuática, existen ciertos factores físicos y químicos que las aguas dulces deben contener, estos son; temperatura, iluminación, gases disueltos, sales minerales, pH y conductividad (CENMA, 2006):

- a) **Temperatura:** Es el factor con mayor influencia dentro de estos sistemas acuáticos, ya que determina la densidad, viscosidad, movimiento del agua, distribución y reproducción de organismos.
- b) **Iluminación:** Indispensable para la realización de la fotosíntesis. Si existen muchos materiales en suspensión la penetración de la luz será mínima y el desarrollo de organismos también lo será. La diferencia de transparencia en agua dulce varía mucho, por ejemplo, en ríos provenientes de los cerros la transparencia es mayor que aquellos ríos que recogen sus aguas en zonas desprovistas de vegetación.
- c) **Gases disueltos:** El oxígeno y el anhídrido carbónico disueltos en el agua son los gases de mayor importancia, ya que su ausencia constituye un factor limitante.

- d) **Sales minerales:** Relacionado con la osmorregulación de los organismos permite su subsistencia en medios de diferentes concentraciones a la de su medio interno.
- e) **pH:** Indica el grado de acidez o alcalinidad del agua. Los sistemas dulceacuícolas poseen un pH entre 6,5 y 8,7.
- f) **Conductividad:** Es una medida de la suma total de iones en una masa hídrica, la cual depende de variables físicas, químicas y biológicas.
- g) **Amonio, nitrito y nitrato:** Son indicadores típicos de la contaminación del agua. En presencia de oxígeno las bacterias transforman el amonio en nitrito y después en nitrato. En ausencia de oxígeno, se produce el proceso inverso, la desnitrificación provocada por bacterias desnitrificantes.
- h) **Fosfatos:** A concentraciones elevadas estimulan el crecimiento de organismos fotosintéticos que pueden contribuir a la eutroficación de ríos y lagos.

3.3. Marco legal e institucional en Chile

3.3.1. Marco legal

Se debe destacar que no existe una única definición o un consenso de lo que se debe entender por contaminación hídrica, en cambio, existe un consenso para determinar cuando un cuerpo de agua presenta algún grado de contaminación. Esta determinación implica una serie de características, algunas propias de los ecosistemas acuáticos y otras que varían de acuerdo al lugar y tiempo de monitoreo o evaluación de cada sistema acuático. Se debe considerar, entre otras variables, la carga crítica propia

de cada cuerpo de agua, la situación geográfica, tiempo, caudal, los distintos usos que se hacen de las aguas, así como los parámetros físicos, químicos y microbiológicos.

Otra forma de medir la contaminación es a través de parámetros biológicos. Estos son una buena herramienta para indicar los efectos de la contaminación, pero no suministran información directa sobre la presencia de una o más sustancias nocivas (Toro *et al.* 2003).

El conjunto de normas jurídicas relacionadas con la contaminación de las aguas está constituido de 61 textos jurídicos, que van desde convenios internacionales y leyes (16 y 15 respectivamente), hasta decretos supremos y resoluciones (26 y 2 respectivamente). Todos estos cuerpos legales consagran, en términos generales, la misma disposición: prohibición de descargar en los cursos o masas de aguas residuos que contengan sustancias tóxicas con el objeto de evitar la contaminación de las aguas (Programa Chile Sustentable, 2004). Entre estos textos se encuentran:

- Código de Aguas (Art. 14 y 92).
- Código Sanitario (Art. 73).
- Decreto Supremo N° 609 (MOP), norma que regula las descargas a los sistemas de alcantarillado (vigente desde agosto de 1998).
- Decreto Supremo N° 95702: Nuevo Reglamento de Impacto Ambiental.
- D.S. N°90/2000, que regula todo tipo de descargas a aguas superficiales, incluyendo las provenientes de los efluentes de plantas de tratamiento de aguas servidas.
- Ley N° 3133/16: Prohibición a los Establecimientos Industriales, de vaciar a las corrientes o depósitos de, agua, lagos o lagunas los residuos de su funcionamiento que contengan sustancias nocivas a la bebida o al riego.

- Decreto Supremo N° 351/93: Aprueba reglamento para neutralización y depuración de los residuos líquidos industriales a que se refiere Ley N° 3133.
- Ley N° 18.362/1984, Art. 1, letra d, que crea el Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado.
- Ley N° 19300/94 Ley de Bases Generales del Medio Ambiente.
- Decreto Ley N°3.557/1981, sobre Protección Agrícola.
- Resolución Exenta N° 1381/2000, sobre "Norma Técnica Provisoria SISS para la Regulación de Contaminantes Asociados a las Descargas de Residuos Industriales Líquidos a Cursos de Aguas Superficiales Continentales".
- Norma Chilena oficial N° 1333/78: Requisitos de Calidad del Agua para Diferentes Usos.
- Decreto Supremo N° 1/92: Reglamento para el control de la contaminación acuática.
- D.S. 850/1998: Modificaciones en cauces naturales.
- Norma Secundaria de Calidad Ambiental para la Protección de las Aguas Continentales.

La siguiente tabla (Tabla 1) muestra las principales Disposiciones Legales Sectoriales de Relevancia Ambiental para Agua:

Tabla 1: Disposiciones legales de relevancia ambiental para agua en Chile¹.

Aspecto del Medio	Organismo	Normativa	Ámbito Normativo
Calidad de Agua	Servicio de Salud	NCh 409/Of. 84, NCh 1.333 Of. 78 y modificaciones 1987 (INN)	Registro del agua potable y registros de calidad de aguas para diferentes usos
	Superintendencia De Servicios Sanitarios (SISS)	Normativa provisoria preparada por el Departamento de Normalización y Control. (SISS)	Requisitos para la descarga de Residuos Industriales Líquidos (Riles) directamente a cursos y masas de agua subterráneas y sistemas de recolección de aguas servidas.
Protección de aguas continentales	Servicio Agrícola y Ganadera (SAG)	D.L. 3.557 Código de Aguas	Protección de aguas en pro de la agricultura y la salud de los habitantes.
Protección de Aguas continentales	Servicio de Salud	Decreto 470 (Ministerio de Salud)	Fuente de suministro de agua para bebida o riego cercanía a cementerios.
	Municipalidad	Decreto 553 (Ministerio de Justicia)	Protección y limpieza de canales, acequias y bebederos.
Aguas Subterráneas	Dirección General de Aguas (DGA)	Resolución 207 (DGA)	Exploración y explotación de aguas subterráneas.
Fuentes emisoras de efluentes	Servicio de Salud	D.L. N° 1	Determina materias que requieren de autorización

¹ Fuente: Programa Chile Sustentable, 2004

		(Ministerio de Salud)	sanitaria expresa.
	Servicio de Salud	Decreto 735 y Decreto 745 (Ministerio de Salud)	Provisión de agua potable y plantas depuradoras de aguas servidas y de residuos industriales o mineros.
	Servicio de Salud	Decreto 301 (Ministerio de Salud)	Servicio de abastecimiento de aguas de alcantarillado en campings o campamentos de turismo.
	SISS	Ley 3.133/16, Decreto 351 (Ministerio de OO.PP.)	Sistemas de neutralización de descarga de RILES.
Reglamentación sobre cuerpos de aguas oceánicas y costeras	Dirección General del Territorio Marítimo y Marina Mercante (DIRECTEMAR)	D.S. 295 (Ministerio de RR.EE.)	Protección del Pacífico Sudeste contra la contaminación proveniente de fuentes terrestres.
	DIRECTEMAR	D.S. 295 (Ministerio de RR.EE.)	Protección del medio ambiente y la zona costera del Pacífico Sudeste.
	Autoridad designada por el Gobierno	D.S. 476 (Ministerio de RR.EE.)	Prevención de la Contaminación del mar por vertidos de desechos y otras materias.
	DIRECTEMAR	Decreto N°1 (Ministerio de Defensa Nacional)	Prevención, vigilancia y combate de la contaminación en las aguas de mar, puertos, ríos y lagos sometidos a la jurisdicción

			Nacional.
	DIRECTEMAR	D.L 2222 Ley de Navegación (Ministerio de Defensa Nacional)	Control de descarga de lastres, escombros, basuras, petróleo, aguas de relaves u otras materias nocivas o peligrosas, de cualquier especie, que ocasionen daños o perjuicios en las lagunas sometidas a Jurisdicción Nacional en puertos, ríos y lagos.
	Servicio de Salud	Decreto 263 (Ministerio de Salud)	Respecto a la salinidad marítima, aérea y de las fronteras.

Actualmente, basándose en una “Guía Para el establecimiento de las Normas Secundarias de Calidad Ambiental para Aguas Continentales Superficiales y Marinas” (CONAMA, 2005), se está desarrollando un proceso normativo en el país para la protección y conservación de ecosistemas acuáticos. Esta guía sirve como base técnica para la elaboración y homogenización de las normas secundarias, gestión de programas de vigilancia y para proveer propuestas, criterios, definiciones, clases de calidad, valores, metodologías y parámetros, entre otros aspectos.

3.3.2. Institucionalidad

En 1994, y a partir de la Ley 19.300 de bases del Medio Ambiente, fue creado el ente institucional llamado Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA). Con la creación de esta institución se formó el marco institucional con competencia ambiental, en este participaban:

- Ministerio de Bienes Nacionales
- Ministerio de Salud
- Ministerio de relaciones Exteriores (R.R.E.E.)
- Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones
- Ministerio de Educación (MINEDUC)
- Ministerio de Obras Públicas (MOP)
- Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU)
- Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción (MINECON)

Este modelo de coordinación institucional para la operación de instrumentos de gestión ambiental se hace dificultosa cuando dichos modelos no existen, generando omisión de la intervención o ineficiencia.

Es por esto que en Junio de 2008 se firma el proyecto de Ley que crea el Ministerio de Medio Ambiente y la Superintendencia de Fiscalización Ambiental.

Este nuevo ministerio busca que sea una autoridad la que entregue las directivas normativas y regulatorias con respecto a la protección de los recursos ambientales, con lo cual se ordenará todo, facilitando la coordinación al interior del aparato público.

La gestión de los recursos hídricos responde al marco jurídico - institucional que se ha establecido, dentro del cual el rol que se asigna al Estado y a los individuos define las formas de materializar la gestión y aprovechamiento del recurso.

3.3.3. Organismos del estado con atribuciones en la gestión del recurso hídrico.

La gestión y regulación de las aguas corresponde al Ministerio de Obras Públicas (MOP), a través de la Dirección General de Aguas (DGA), Dirección de Obras Hidráulicas (DOH), Dirección de Planteamiento y Departamento de Defensas Fluviales; el Ministerio de Agricultura, a través de la Comisión Nacional de Medio Ambiente (CONAMA), entre otros organismos (CONAMA, 2007).

El siguiente cuadro muestra algunas de las principales instituciones que tienen atribuciones en la gestión del agua.

Tabla 2: Principales instituciones que poseen atribuciones en la gestión del recurso hídrico².

Entidades	Funciones
DGA	Administración del recurso hídrico Monitoreo de calidad y fiscalización de extracción
CONAMA	Regulación de la calidad de las aguas
CONAMA, CONAF, DGA,	Protección y conservación ambiental

² Fuente: CONAMA, 2007.

DIRECTEMAR, SERNAPESCA, SUBPESCA	
SISS	Regulación de los servicios prestados
CNR, DOH	Labores de desarrollo y fomento
SAG, Seremi de Salud	Fiscalización y control de la calidad de las aguas
SISS, Seremi de Salud	Fiscalización y control de efluentes

3.4. Estrategia nacional de gestión integrada de cuencas

Se creará un consejo Ministerial de Cuencas como organismo asesor del Presidente de la República el que tendrá como misión el supervisar la implementación general de la gestión integrada de cuencas hidrográficas en nuestro país, con el objeto de proteger el recurso hídrico tanto en calidad como en cantidad para resguardar el consumo humano y armonizar objetivos de conservación de los ecosistemas con el aprovechamiento sustentable del recurso por parte de las actividades económicas.

A nivel de cuencas, se crearán organismos de cuencas que tendrán como objetivo la elaboración de propuestas de gestión del recurso hídrico para satisfacer la demanda del mismo, considerando las distintas dimensiones del recurso, esto es; ambiental, económica, social, cultural y escénica, entre otras. La estrategia permitirá fortalecer y mejorar las decisiones de gestión ambiental y del recurso hídrico en las cuencas, ello se logrará mediante la implementación y el desarrollo de instrumentos de gestión público privada, que debieran ser diseñados, seguidos y controlados por organismos de la cuenca, que convocará a los actores locales relevantes para el desarrollo sustentable

de la cuenca. Los instrumentos que serán considerados particularmente en la fase piloto, son: la norma secundaria de calidad de agua y el caudal ecológico mínimo respectivamente. En su aplicación bajo esta iniciativa, se contempla mejorar la eficiencia de los mismos a través de la definición de aspectos que permitan clarificar su ámbito de aplicación. A continuación se promoverá su articulación, lo que supone poder establecer la relación que debe existir entre caudal y calidad de las aguas para efectos de brindar, primeramente, una adecuada protección de los ecosistemas, y establecer los requisitos que afectarán a las actividades productivas para conseguir el aprovechamiento sustentable del recurso. La forma en que se producirá esta articulación quedará establecida en el respectivo Plan de Gestión de la Cuenca (CONAMA, 2007).

3.5. Evaluación de la calidad del agua

Los criterios de calidad del agua están definidos como los niveles esperados de concentraciones de constituyentes (componentes) que aseguran su calidad para usos específicos.

En cambio, los estándares de calidad corresponden a normativas legales que limitan la concentración de diversos parámetros en el agua. De lo anterior se concluye que un criterio de calidad está asociado al logro de un objetivo mientras que un estándar corresponde a un valor límite que permite cumplirlo. Los parámetros más comúnmente utilizados para establecer la calidad de las aguas son (Programa Chile Sustentable, 2004):

- Oxígeno disuelto
- pH
- Sólidos en suspensión
- DBO
- Fósforo

- Nitratos
- Nitritos
- Amonio
- Amoníaco
- Compuestos fenólicos
- Hidrocarburos derivados del petróleo
- Cloro residual
- Zinc total
- Cobre soluble

3.6. Contaminación hídrica en Chile

Los ríos chilenos que drenan la vertiente occidental de la Cordillera de Los Andes tienden a nacer sobre los 3000 m.s.n.m. por ello son de pendiente alta y cortos lo que influye en la alta capacidad erosiva, transporte y contenido de material particulado (CENMA, 2006).

Estas características contribuyen a que los problemas de contaminación tengan un ámbito espacial más reducido y favorecen los procesos de autopurificación de los cauces. En contrapartida, para una amplia zona del país (zonas norte y centro-norte) con escasa disponibilidad de recursos hídricos y una alta magnitud relativa de extracciones, determina que la capacidad de dilución de contaminantes sea baja y que exista, a pesar de la capacidad de autopurificación, una mayor vulnerabilidad frente a los procesos de contaminación (DGA, 1999).

Aún cuando la asignación del recurso hídrico siempre se ha efectuado considerando su renovabilidad; en el pasado, la sustentabilidad del ambiente asociado a este recurso no se ha abordado cabalmente, lo que ha provocado deterioros en la biodiversidad y/o en el valor escénico y turístico asociados a

algunos cuerpos y cursos de agua. Es así como existen derechos de aprovechamiento de aguas superficiales que no consideraron un caudal ecológico, implicando un agotamiento de los recursos hídricos en la mayoría de los cauces de la VIII Región al norte; por ejemplo, existen humedales (vegas) en la zona norte que se han secado; usos no consuntivos que han significado variaciones importantes en los niveles de algunos lagos (Lago Chapo, Laguna de la Laja, entre otros) (DGA, 1999).

Las descargas de aguas servidas y residuos industriales líquidos (Riles) son las principales fuentes de contaminación de los cursos o masas de agua superficiales en Chile. Estas descargas pueden llegar a ser altamente contaminantes, debido a que contienen elementos y compuestos químicos orgánicos y/o inorgánicos que al ser descargados en determinada concentración, cantidad y frecuencia, afectan los ecosistemas y terminan modificando, entre otros aspectos, la biodiversidad de especies, incidiendo además en efectos acumulativos de sustancias, que de acuerdo al proceso de cadena trófica tienen como receptor final al hombre. Las descargas industriales que mayormente contribuyen al deterioro de la calidad del medio acuático provienen de la minería del cobre, fábricas de celulosa y papel, y las industrias pesqueras (Jaeger, 2003).

En la zona sur del país, la calidad de las aguas comienza a mejorar. En el caso de la cuenca del río Bío Bío, sólo el tramo final, desde Santa Juana hasta el sector de la Desembocadura, no se encontraría en buenas condiciones. En la zona Austral del país la calidad de las aguas es muy buena a excepción del estero Las Minas, que atraviesa la ciudad de Punta Arenas, desembocando en el Estrecho de Magallanes, donde la contaminación de las aguas tiene un origen estrictamente urbano, asociados a descargas difusas y eventualmente puntuales (CONAMA, 2007).

3.7. Índices biológicos para evaluar la calidad de agua

Aunque la contaminación del agua es primordialmente un problema biológico, muchos países se han basado en parámetros físicos y químicos para evaluar la calidad del agua. Estas determinaciones pueden ser de gran precisión, pero informan de condiciones puntuales en la dimensión cronológica. Pueden tener grandes fluctuaciones en periodos cortos de tiempo, no revelan mucho de la evolución de una carga contaminante, ni de la capacidad resiliente y amortiguadora de los ecosistemas acuáticos (Toro *et al.*, 2003).

Como una alternativa a estos procedimientos, desde hace varios años muchos países han generado conocimientos y desarrollado técnicas de biomonitorio basados en indicadores biológicos (o bioindicador). Los indicadores biológicos son detectores, que reflejan la existencia de condiciones que son complejas de interpretar resultante de una multitud de factores difíciles de medir directamente. Estos indicadores o bioindicadores se pueden combinar dentro de un índice simple denominado "índice biológico". Desarrollando así, un enfoque de "Integridad Biológica". Este enfoque interrelaciona las variables físicas, químicas y biológicas (CENMA 2006).

En la actualidad, los sistemas de biomonitorio buscan minimizar la diferencia entre el esfuerzo y la eficiencia de los resultados para disminuir el tiempo de obtención y procesamiento de muestras. Por ello, las metodologías y protocolos de monitoreo rápido están adquiriendo cada vez más importancia en los programas de control de contaminación acuática en diferentes países industrializados (Barbuor *et al.*, 1999). La utilización de diferentes grupos de organismos e índices biológicos permite también obtener resultados más fiables, y fáciles de interpretar (Diekmann, 2003).

Los llamados Índices biológicos informan tanto de la situación momentánea como de lo acontecido algún tiempo antes de la toma de muestras (Alba-Tercedor, 1988). Estos índices biológicos, además, nos informan acerca de los efectos sobre la estructura y dinámica de comunidades y ecosistemas. A

su vez, también permiten evaluar la velocidad y el carácter de la respuesta de las comunidades ante acciones dañinas de cualquier índole (Fernández *et al.* 2008).

Los índices biológicos deben ser fáciles de medir, poco sofisticados, tener precisión conocida, proveer posibilidades de comparación, y ser aplicables en forma generalizada. Asimismo, deben explicar cambios durante un periodo de tiempo, poseer algún poder predictivo, en lo posible con una probabilidad conocida (Muhlhauser, 1987).

3.8. Macrófitas como bioindicadores

Todas las comunidades biológicas que habitan un ecosistema son susceptibles de informar sobre la calidad ambiental del mismo y sobre su estado de conservación. Sin embargo, habitualmente se ha prestado más atención a unas comunidades más que a otras en base a su facilidad de identificación, o por albergar muchas especies con alto valor indicador (Suarez *et al.*, 2005)

Las macrófitas de aguas continentales representan algo más del 1% del total de la flora vascular mundial y constituyen un grupo interesante por su alto grado de especialización y simpleza corporal, así también por el uso potencial que tienen como alimento, fertilizantes, productoras de biogás, depuradoras de aguas servidas o como bioindicadores de condiciones límnicas (Ramírez *et al.*, 2006).

Las plantas acuáticas, también denominadas macrófitos acuáticos, limnófitos y cormófitos acuáticos, pueden presentar diferentes formas de crecimiento y separarse en los siguientes grupos: hidrófitas, las que a su vez pueden ser errantes y radicales. Las primeras flotan libremente en la superficie o a media agua. Las segundas están arraigadas al fondo del cuerpo de agua, y a su vez pueden dividirse en sumergidas, natantes y emergentes (Figura 1). Las sumergidas permanecen con todo su cuerpo vegetativo al interior del agua,

sobresaliendo sólo sus flores en la época reproductiva, ellas pueden estar arraigadas o no al sustrato; las natantes, en cambio, poseen hojas que flotan en la superficie del agua y están arraigadas al sustrato, las natantes libres flotan sobre la superficie del agua y sus raíces no alcanzan el sustrato subacuático. Las radicales emergentes se caracterizan por presentar una parte de su tallo bajo el agua y la mayor parte de él, la que lleva las hojas y flores, en el aire. A este último grupo se les llama también helófitas, plantas palustres o paludícolas (Ramírez *et al.*, 2006), estas plantas 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 en el aire, donde fotosintetizan como una planta terrestre. A éstas se suman las anfibias, las que habitualmente son terrestres, pero que son capaces de acomodarse a la vida acuática, soportando períodos variables de inundaciones. A veces es muy difícil discernir entre las plantas helófitas y las anfibias, razón por la que en este trabajo se consideran como un solo grupo.

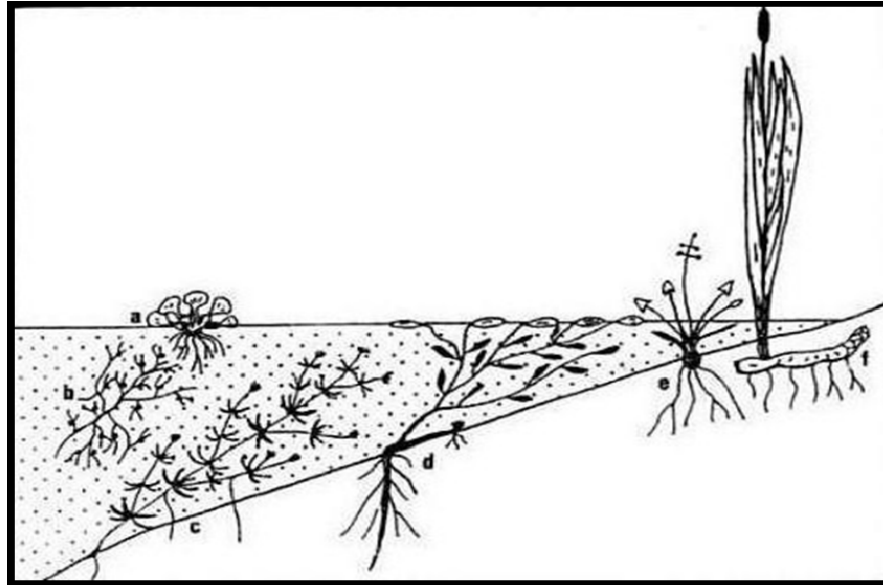


Figura 1: Formas de vida de las macrófitas³

a= flotante libre en superficie, b= flotante libre a media agua, c= sumergida,

d= natante, e= emergida pequeña, f= emergida grande

3.8.1. Índice de Macrófitas (IM)

Suarez *et al.* 2005 describe el desarrollo de un índice de macrófitas, denominado IM, aplicado a la cuenca del Segura. Este índice puede ser calculado fácilmente en terreno, ya que no requiere una alta especialización taxonómica

Para la aplicación del Índice, se consideran principalmente a los hidrófitos en el sentido de Font Quer (1953), evitando a los helófitos aunque, alguno

³ Fuente: Ramírez *et al.*, 2006.

de ellos en su fase juvenil más subacuáticas, se incluyen en el índice (como es el caso de los berros: *Nasturtium*, *Apium*, etc.)

Para el cálculo del índice no es necesaria la identificación específica de cada taxón, ya que esto limitaría su objetivo de facilidad de aplicación. El nivel taxonómico requerido es diferente según el grupo considerado y siempre se opta por el mayor posible que conserve un valor indicador (familia, orden, género, etc.). Se asume que dentro de cada grupo taxonómico existen especies que no se corresponden con el valor indicador asignado.

El IM es un índice aditivo que tiene en cuenta el valor indicador de los taxones, grupos o formaciones consideradas, la diversidad funcional-morfológica de los macrófitos, en el sentido de ocupación y organización en el espacio fluvial, y su abundancia, por lo que se debe recoger información semicuantitativa de la cobertura de cada uno de los grupos. Se establecen tres porcentajes de cobertura: <5%; 5-50% y >50% (Suarez *et al.*, 2003).

Para el IM se establecen 5 clases de calidad (Tabla 3) que se corresponden con las cinco recomendadas por la Comisión Europea.

Tabla 3: Clases de calidad definidas para el índice de Macrófitos⁴

Clases de calidad	Nivel de calidad	Valor del IM	Color
I	Muy Buena	>30	Azul
II	Buena	21-30	Verde
III	Aceptable	13-20	Amarillo
IV	Mala	5-12	Naranja
V	Muy Mala	<5	Rojo

3.9. Valor indicador

La correlación de las especies vegetales y su ambiente, depende principalmente de la amplitud ecológica de la especie, además de la respuesta ecológica o fisiológica. Esto informa un valor indicador de las especies (Diekmann, 2003). En base a la ausencia, presencia o abundancia de ciertas especies en determinados lugares, es posible señalar con rapidez y cierto grado de certeza las cualidades de ese lugar respecto a factores como pH y contenido de nitrógeno.

Usualmente los valores indicadores corresponden a números enteros o categorías referidas a clases de gradientes ambientales cualitativos o cuantitativamente definidos, o ciertas cualidades de sitio. En Chile se han señalado los valores indicadores de 256 malezas de la zona Centro-Sur, para factores de luz, temperatura, acidez del suelo, pH, nitrógeno y humedad (Hauenstein, 2006).

⁴ Fuente: Suarez *et al.*, 2003

El valor indicador para cada taxón o grupo del Índice de macrófitos (IM) se establece de acuerdo a los valores físico y químicos obtenidos en muestreos realizados y datos de otros estudios generales y específicos (Tabla 4). Cada grupo o taxón adquiere cierto valor en función de la cobertura que ocupa en la estación de muestreo.

Tabla 4: Índice de Macrófitas (IM)⁵

	Taxones	Cobertura %		
		<5	5-50	>50
Grupo I	-Musgos, Hepáticas	9	10	8
	-Rodofíceas: (<i>p.e. Batrachospermum</i>)	9	10	8
	-Nostoc, Rivulariaceas, Chaetophorales	9	10	8
Grupo II	- <i>Ranunculus, Myriophyllum</i>	6	7	5
	- <i>Potamogeton</i> (excepto <i>P. pectinatus</i>)	6	7	5
	- <i>Zannichellia</i>	6	7	5
	- <i>Ruppia</i>	6	7	5
	-Charales	6	7	5
	-Clorofíceas filamentosas.	6	7	5
Grupo III	- <i>Nasturtium, Apium, Verónica</i>	3	4	2
	-Xanthophyceas: (<i>Vaucheria</i>)	3	4	2
	-Zygnematales	3	4	2
	-Tapetes continuos de perifiton pardo-amarillento de diatomeas	3	4	2
	-Clorofíceas incrustantes (<i>Epiliton</i>)	3	4	2
Grupo IV	-Oscillatoriales	1	2	0
	- <i>Cladophora</i>	1	2	0
	- <i>Enteromorpha</i>	1	2	0
	- <i>Potamogeton pectinatus</i>	1	2	0
	- <i>Lemna</i>	1	2	0

⁵ Fuente: Suarez *et al.*, 2005

4. PROBLEMA

El mundo se halla ante una crisis provocada por la escasez y mala calidad del agua, que demanda con urgencia estrategias que permitan resolver las numerosas tareas pendientes respecto a la utilización de este vital recurso.

En Chile los ambientes acuáticos continentales han sido evaluados tomando en cuenta sólo sus características físicas y químicas utilizando instrumental adecuado y comparando los resultados con patrones preestablecidos.

De manera complementaria, las normas secundarias de calidad ambiental para la protección de las aguas continentales superficiales contemplan análisis de parámetros físicos y químicos, inorgánicos, orgánicos, metales esenciales, metales no esenciales y microbiológicos. En dichas normas se expresa que los indicadores biológicos podrán ser usados como complemento, teniendo en cuenta que el carácter secundario se refiere a la conservación y /o preservación de los recursos biológicos y a la biodiversidad en todas sus formas.

En el presente trabajo se evalúa la calidad de las aguas del estero Mantagua mediante la aplicación de un Índice biológico (Índice de macrófitas) de fácil aplicación, que puede servir como complemento a los parámetros físicos y químicos ya establecidos, contribuyendo así a una evaluación integral del recurso agua.

5. OBJETIVOS

5.1. Objetivo General

- Evaluar la calidad de las aguas continentales superficiales del estero Mantagua utilizando el Índice de macrófitas (IM).

5.2. Objetivos Específicos

- i. Determinar las especies macrófitas presentes en el estero Mantagua.
- ii. Realizar un catastro florístico con los datos obtenidos.
- iii. Determinar cobertura de las especies que puntúan en el Índice de macrófitas.
- iv. Aplicar el Índice de macrófitas en el estero Mantagua
- v. Caracterizar física y químicamente las aguas del estero Mantagua, utilizando los parámetros de: caudal, batimetría, temperatura, pH, conductividad, sólidos disueltos, nitritos, nitratos, amonio y fosfato.
- vi. Comparar los parámetros físicos y químicos obtenidos en cada estación muestreada, con los resultados obtenidos en el Índice de Macrófitas.

6. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1. Descripción del área de estudio

El área de estudio se encuentra ubicada en la zona central del país (32°34'S y 70°72'W) específicamente en la comuna de Quintero, región de Valparaíso. El estero de Mantagua nace en las ramificaciones de los últimos contrafuertes de la Cordillera de la Costa, en la confluencia de la quebrada Majadillas. Poseen cursos intermitentes que sirven de alimentación secundaria a 1- 2 Km al este de la localidad de Santa Isabel y formado por los aportes del estero Santa Julia (Andalú Consultores Ambientales Ltda., 2003).

Este estero recorre unos 9 – 10 Km para luego unirse con el estero Quintero y desemboca al mar dando origen al humedal de Mantagua, este posee aproximadamente 2 Km de largo, al sur de la playa Ritoque en la comuna de Con-Con.

6.1.1. Características del medio físico

6.1.1.1. Clima predominante en el área de estudio

El área de estudio coincide con la transición entre una zona semiárida y otra mediterránea. Esto determina el predominio de condiciones de buen tiempo, donde la influencia ponderadora del mar y la delimitada influencia del Anticiclón del pacífico se manifiestan determinando las características meteorológicas del área (Andalú Consultores Ltda., 2003). Los meses húmedos son muy marcados, abarcan un periodo de 4 meses (mayo, junio, julio y agosto), existe un equilibrio de humedad en el mes de septiembre. Los restantes 7 meses son secos.

La zona posee una gran influencia marina, debido a esto, la amplitud entre las estaciones cálida y fría varía entre 4 y 5° C. La temperatura máxima en el periodo estival supera los 20°C, mientras que en el periodo frío la mínima oscila entre los 6,5 y 7,0°C.

En cuanto a la humedad relativa del aire, esta varía entre 74 y 82% en el periodo cálido, y en el periodo frío aumenta entre 84 y 87%.

Las precipitaciones en un año normal oscilan entre los 300 y los 350 mm., en los meses de invierno se registra sobre el 70% de las precipitaciones anuales, mientras que en el periodo estival se registra un 2% del total anual (Andalucía Consultores Ambientales Ltda., 2003).

6.1.1.2. Geomorfología del área de estudio

El valle del estero Mantagua presenta laderas de pendientes moderadas, en donde discurre por una planicie en la cual se encuentran algunos sectores de riego. Se trata de un sector formado por depósitos sedimentarios recientes de origen aluvial (SONACOL, 1999).

La planicie de sedimentación fluvial del estero ha sido formada por aportes de los cerros que delimitan la cuenca hacia el este.

Junto a esta planicie se distinguen las siguientes unidades (Andalucía Consultores Ambientales Ltda., 2003):

- Dunas fósiles: Abarcan el tramo más bajo de la cuenca, tienen una altura que alcanza los 100 m respecto a su base, son de pendiente baja a moderada (8°). La textura suelta y arenosa en superficie posibilita que en algunos sectores se presenta erosión al manto. Este tipo de erosión genera mayor impacto en las partes altas y cabeceras de drenaje que en aquellos sectores de menor altura.
- Codillera de la Costa: Aproximadamente a partir de los 4 kilómetros desde cruce Mantagua-Quintero, se está en presencia de la estribación occidental de la Cordillera de la Costa. De origen intrusivo.

- Campo Dunario de Ritoque: Corresponde a uno de los campos dunarios de relevancia en la zona central de Chile; esta compuesto mayoritariamente por dunas libres (pendiente suave a barlovento y abrupta a sotavento). Su emplazamiento en la terraza litoral ha generado una alteración en el curso normal de los esteros, lo que provoca la formación de áreas de inundación a uno y otro lado de los esteros Mantagua y Quintero.

6.1.1.3. Hidrografía del área de estudio

Producto de la capacidad de erosión de las condiciones ambientales, el estero ha sufrido un redondeamiento de sus formas y bordes, generando un drenaje de tipo dendrítico.

La presencia de un campo dunario sobre la planicie litoral produce una alteración del escurrimiento del estero Mantagua hacia el sur; a raíz de esto es que se produce estancamiento de las aguas, formando lagunas y humedales.

El estero presenta un régimen pluvial, lo que genera dos situaciones, por una parte los bajos caudales que transporta el estero en periodos secos limitan el desarrollo de la agricultura en este periodo. Y por otra parte las crecidas excepcionales de este mismo estero generan anegamiento de algunos sectores cercanos (Andalú Consultores Ltda., 2003).

6.1.1.4. Vegetación y flora existente en el área de estudio

En esta macro región mediterránea semi-húmeda, hay estepas arbustivas en las terrazas litorales, bosques esclerófilos ralos en la cordillera de la Costa, bosques esclerófilos abiertos y matorral espinoso en la zona pre-andina.

En el campo dunario se desarrolla una vegetación básicamente samófito. Al interior, se observan dunas semi-estabilizadas, con presencia de matorrales caméfitos, mientras que en los sectores más deprimidos se encuentran bosques esclerófitos de boldo y litre (Prieto, 2007).

6.1.1.5. Fauna existente en el área de estudio

En relación a la fauna íctica, los sistemas fluviales de la región poseen una riqueza intermedia de peces, SONACOL (1999) realizó un muestreo del estero encontrando dos especies endémicas: Pejerrey (*Basilichthys australis*) y Pocha (*Cheirodon pisciculus*), y una introducida: Trucha café (*Salmo trutta*). Además de estas especies, Prieto (2007) identificó dos especies nativas: Lisa (*Mugil cephalus*) y Pejerrey de escama chica (*Basilichthys microlepidotus*). Tres especies introducidas: Gambusia manchada (*Cnesterodon decenmaculatus*), Gambusia común (*Gambusia holbrooki*) y Pocha (*Cheirodon interruptus*).

En relación a la avifauna, en el estero es posible encontrar 97 especies, de estas sólo cuatro son endémicas (Prieto, 2007). La mayor parte de éstas se caracteriza por su carácter migratorio. En las visitas a terreno fue posible avistar Perritos (*Himantopus mexicanus*), Garzas cuca (*Ardea alba*), Run run (*Hymenope perspicillatus*), Trile (*Agelaius thilius*), Pato jergón (*Anas georgica*) y Queltehues (*Vanellus chilensis*) (Hoffmann, 2000).

6.2. Metodología

6.2.1. Ubicación del área de estudio

El estero fue dividido en 7 estaciones, estas fueron establecidas aleatoriamente, incluyendo la mayor variedad de hábitats posibles (pozas, rápidos, charcas marginales, etc.), y a su representatividad (Prieto, 2007). Cada estación fue georreferenciada en terreno mediante un GPS (Tabla 5) y representada en el mapa del lugar (Figura 2) con el programa computacional ArcGIS 9.2.

Tabla 5: Coordenadas y altura de las estaciones de muestreo

Estación	Ubicación geográfica (UTM)		Altura (m.s.n.m)
	Este	Norte	
E1	0270357	6361522	22
E2	0269670	6361445	21
E3	0268415	6361195	8
E4	0266693	6361010	5
E5	0266697	6361037	1
E6	0266380	6360494	4
E7	0265240	6358813	6

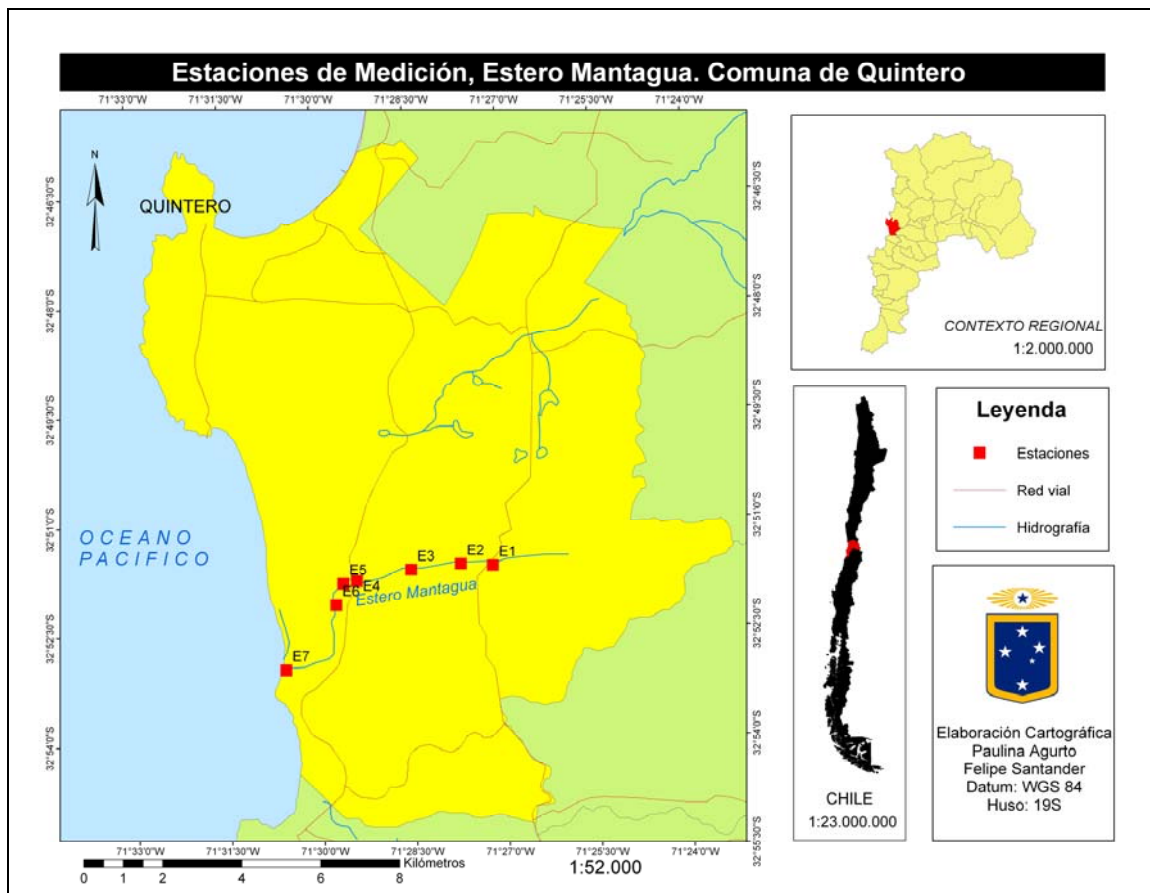


Figura 2: Ubicación de las Estaciones de muestreo en el estero Mantagua.

6.2.2. Descripción de las estaciones de muestreo

- La primera estación (E1) es básicamente de tipo ritral. Su sustrato es de tipo rocoso de bolones.

Esta estación es un brazo del estero, el cual se encuentra dentro del fundo Santa Isabel de Duñamuno, en la bifurcación al camino viejo a la localidad de Valle Alegre. Sobre esta estación se ubica un puente, este separa el estero en dos secciones distintas. La primera sección (Figura 3A) posee un curso de agua relativamente rápido, y la segunda sección (Figura 3B) de aguas más lentas.

- La segunda estación (E2) se ubica dentro de una propiedad privada. Presenta un sustrato rocoso de bolones medianos, piedras y arena. Posee características de tipo ritral (Figura 3C).
- La tercera estación (E3) posee sedimento de tipo lodo, ripio y bolones pequeños. Existe un aumento de la vegetación ribereña (Figura 3D).
- La cuarta estación (E4) se encuentra ubicada a un costado del camino a Quintero (Figura 3E). Se observa un cambio de la estructura sedimentaria, esta es básicamente arena. En este lugar se observa una transición entre un curso de agua de tipo ritral a uno de tipo potamonal.
- La quinta estación (E5) posee sedimento de tipo fango – arenoso. Se caracteriza por su configuración plana, amplia y enmarcada por las dunas (Figura 3F).
- La sexta estación (E6) se caracteriza por ser una zona húmeda por su cercanía al mar, y al igual que la estación 5, esta enmarcada por las dunas (Figura 3G).
- La séptima estación es la más amplia de todas. Posee una vegetación arbustiva y acuática muy importante para la alimentación, protección y reproducción de aves nativas.

Sus aguas son bastante quietas, y poseen un color marrón (esto se explica por la influencia marina). Además, esta estación es cruzado por la línea férrea que va a Ventanas. Y al final de esta estación el estero desemboca en el mar (Figura 3H).



Figura 3: Estaciones de muestreo.

6.2.3. Identificación de la flora

Por medio de las visitas a terreno se identificó in situ las especies encontradas en los distintos sitios de muestreo con la ayuda de un experto.

En relación a las características del presente estudio no se considero el estrato arbóreo, por lo que estas se encuentran ausentes dentro del respectivo inventario.

Los censos se realizaron en las 7 estaciones escogidas. En cada estación se considero un tramo de 100 metros lineales que incluyera la mayor cantidad de hábitats posibles, esto se realizó según la metodología Braun-Blanquet, (1964), basada en la premisa que la composición florística total de una porción de la vegetación es la que mejor expresa las relaciones entre los distintos tipos de vegetación y el ambiente. Esta metodología consiste en el levantamiento de censos por medio de parcelas, cuyo tamaño debe incluir a todas aquellas especies representativas de la comunidad vegetal a muestrear y no ser demasiado grande para representar sitios no homogéneos, por lo que CONAMA & TESAM (1996) sugieren que para cubierta herbácea el tamaño de las parcelas debe ser de 1-2 m², debido a esto se utilizaron parcelas de 2m², realizándose 10 lanzamientos al azar en cada estación, el número total de parcelas fue de 70 .

Se elaboró un catálogo florístico (Tabla 6), el cual incluye todas las especies registradas, tomándose en cuenta las especies obtenidas en los censos y en colectas intensivas. Se indicó para cada especie su correspondiente nombre científico, nombre común, familia, origen fitogeográfico y forma de vida, lo cual se basó en Hoffmann (1998), Prieto (2007), y Ramírez *et al.* (2006).

6.2.4. Cobertura de las especies que puntúan en el Índice de Macrófitas

En cada censo se determinó el número de especies presentes dentro de cada parcela y la cobertura de ellas, expresando esta última como el porcentaje de la superficie total de la parcela, mediante apreciación visual directa con ayuda de un experto. Para las especies que presentaron coberturas menores al 1%, se utilizaron los signos “+” y “r”, donde el primero indica la presencia de varios individuos de la especie en cuestión y el segundo solo una o dos. Finalmente se tabularon solo las especies que puntúan dentro del índice.

6.2.5. Determinación de la calidad del agua del estero Mantagua mediante el índice de macrófitas (IM)

Se calculó el Índice de macrófitas siguiendo el protocolo que se muestra en el Anexo 2. De las especies macrófitas identificadas anteriormente (catálogo de flora), se seleccionan las que puntúan dentro del índice, y se calculó la puntuación parcial en función de la cobertura. Si en la estación de muestreo aparecen dos o más taxones incluidos en la misma entrada (línea) hay que considerar que sólo puntúa una vez. La cobertura, sin embargo será la total ocupada por todos los taxones incluidos en la línea.

El índice de macrófitas fue calculado para cada estación, de esta manera se obtuvieron siete valores finales, que llevados a la Tabla 3 del marco teórico del presente trabajo, establecen la clase y calidad del agua en cada una de las estaciones de muestreo.

6.2.6. Parámetros físicos y químicos.

Cada parámetro fue medido en las siete estaciones de muestreo.

Se calculo el caudal para el estero Mantagua a fin de obtener las variaciones hidrológicas desde su origen hasta su desembocadura. En cada estación se midieron las variables hidráulicas de: velocidad, ancho y profundidad.

El ancho fue medido mediante huinchas de medir. La profundidad se midió paralelamente con un batímetro.

Se midió in situ los parámetros de: velocidad, temperatura, pH, conductividad y sólidos disueltos mediante un equipo Hanna mod HI 98130. La medición de nitratos, nitritos, amonio y fosfato se realizó según Wáter Pollution Control Federation (1992). La metodología es detallada en el Anexo 1.

Para establecer la relación entre el Índice de Macrófitas IM y las variables físicas y químicas se utilizó el índice de correlación de Spearman (Wessa, 2009).

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1. Identificación de la flora

En el estero Mantagua se reconocieron 48 especies agrupadas en 37 familias y 4 clases (Tabla 6).

Ninguna de las especies se presentó en todas las estaciones muestreadas, lo que indica una heterogeneidad florística en la zona.

Tabla 6: Catálogo de la flora registrada en los sitios de muestreo.

N°	Nombre Científico	Familia	Nombre Común	O	F.V	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7
CLASE LICOPSIDA												
1	<i>Equisetum bogotense</i>	<i>Equisetaceae</i>	Hierba del Platero	N	Ge	•	•	•	•			
2	<i>Azolla filiculoides</i>	<i>Azollaceae</i>	Flor del pato	N	Hel		•					•
CLASE MAGNOLIOPSIDA												
3	<i>Carpobrotus aequilaterus</i>	<i>Aizoáceas</i>	Doca	N	He							•
4	<i>Schinus latifolius</i>	<i>Anacardiaceae</i>	Molle	E	Mi			•				
5	<i>Apium nodiflorum</i>	<i>Apiaceae</i>	Apio de Agua	A	He	•	•	•	•			
6	<i>Hydrocotyle ranunculoides</i>	<i>Apiaceae</i>	Hierba de la plata	N	Hi	•	•		•			
7	<i>Conium maculatum</i>	<i>Apiaceae</i>	Cicuta	A	Na		•	•	•		•	
8	<i>Foeniculum vulgare</i>	<i>Apiaceae</i>	Hinojo	A	He							•
9	<i>Cardus pycnocephalus</i>	<i>Asteraceae</i>	Cardo negro	A	Te			•				
10	<i>Centaurea melitensis</i>	<i>Asteraceae</i>	Cizaña	A	Te				•			
11	<i>Baccharis marginalis</i>	<i>Asteraceae</i>	Chilca	E	Na	•			•			
12	<i>Helenium aromaticum</i>	<i>Asteraceae</i>	Manzanilla	A	Te						•	
13	<i>Leontodon saxatilis</i>	<i>Asteraceae</i>	Hierba del chancho	A	He	•	•	•				
14	<i>Gunnera magellanica</i>	<i>Gunneraceae</i>	Nalca	N	He		•					
15	<i>Nasturtium officinale</i>	<i>Brassicaceae</i>	Berro	N	Hel		•	•	•	•	•	
16	<i>Euphorbia pepplus</i>	<i>Euphorbiaceae</i>	Pichoga	A	Te	•						
17	<i>Otholobium Glandulosum</i>	<i>Fabaceae</i>	Culen	N	Na	•	•	•	•		•	
18	<i>Lemna gibba</i>	<i>Lemnaceae</i>	Lenteja de Agua	A	Hi	•						
19	<i>Ludwigia peploides</i>	<i>Onagraceae</i>	Pepinillo de Agua	N	Hi	•	•		•	•		
20	<i>Trifolium pratense</i>	<i>Papilionaceae</i>	Trébol blanco	A	He	•	•					
21	<i>Polygonum persicaria</i>	<i>Polygonaceae</i>	Duraznillo de Agua	A	Hel	•	•		•			•
22	<i>Rumex crispus</i>	<i>Polygonaceae</i>	Romaza	N	He	•	•	•	•			•
23	<i>Rubus Constrictus muel</i>	<i>Rosaceae</i>	Zarzamora	A	Na	•	•	•	•			
24	<i>Veronica anagallis-aquatica</i>	<i>Scrophulariaceae</i>	Verónica	A	He	•	•	•	•			
25	<i>Nasturtium palustris</i>	<i>Brassicaceae</i>	Berro Amarillo	E	He	•	•					
26	<i>Verbena litoralis</i>	<i>Verbenaceae</i>	Verbena	N	He	•			•			
27	<i>Plantago lanceolata</i>	<i>Plantaginaceae</i>	Llantén	A	He	•	•	•	•		•	

28	<i>Sonchus oleraceus</i>	Asteraceae	Cerrajilla	A	Te				•						
29	<i>Parietaria debilis</i>	Urticaceae	Parietaria	A	He	•									
30	<i>Taraxacum officinalis</i>	Asteraceae	Diente de león	A	He	•									
CLASE LILIOPSIDA															
31	<i>Juncus buffonis</i>	Juncaceae	Junquillo	A	Hel	•	•	•	•	•	•				
32	<i>Cyperus eragrostis</i>	Cyperaceae	Cortadera	N	Hel	•	•	•	•						
33	<i>Juncus sp</i>	Juncaceae	Junco Redondo	A	Hel	•		•	•			•	•		
34	<i>Potamogeton bertereanus</i>	Potamogetonaceae	Huiro	N	Hi		•		•	•					•
35	<i>Scirpus californicus</i>	Cyperaceae	Trome	N	Hel				•						•
36	<i>Typha angustifolia</i>	Typhaceae	Totora	N	Hi										•
37	<i>Polypogon linearis trin</i>	Poaceae	Colita de ratón	A	Te	•									
38	<i>Polypogon australis</i>	Poaceae	Colita de zorro	N	He	•	•	•	•	•					
39	<i>Agrostis capillaris</i>	Poaceae	Chépica	A	He	•	•	•	•						•
40	<i>Distichlis spicata L</i>	Poaceae	Pasto salado	N	He										•
CLASE ROSOPSIDA															
41	<i>Mentha pulegium L</i>	Lamiaceae	Poleo	A	He		•		•						
42	<i>Chenopodium ambrosioides</i>	Chenopodiaceae	Paico	N	He			•	•						
43	<i>Phyla canescens</i>	Verbenaceae	Hierba de la virgen maría	A	He										•
44	<i>Mentha piperita</i>	Lamiaceae	Menta	A	He			•							
45	<i>Galega officinalis L.</i>	Fabaceae	Galega	A	He	•	•	•	•	•					
46	<i>Ranunculus chilensis DC</i>	Ranunculaceae	Botón de oro	A	He		•	•	•	•	•	•	•		•
47	<i>Gnaphalium cymatoides kunze</i>	Asteraceae	Vira-vira	N	He				•						
48	<i>Callitriche palustris</i>	Callitrichaceae	Calitriche	A	He		•	•	•					•	
Riqueza total 48						26	26	22	30	7	9	13			

O = Origen; N = Nativo, E = Endémico, A = Adveno

F.V. = Forma de Vida: Ge = Geófitos, Hi = Hidrófitos, He = Hemicriptófitos, Mi = Microfanerófitos, Na = Nanofanerófitos, Te = Terófitos, Hel = Helófitos, Me = Mesofanerófitos, Fsc = Fanerófitos escandentes.

El grupo mejor representado es la clase Magnoliopsida con 28 especies, éstas se encontraron representadas por 8 especies nativas, 17 advenas y 3 endémicas, correspondiendo a un 58% del total de la flora registrada. Le sigue de la clase Liliopsida con 10 especies, siendo de ella 6 especies nativas y 4 especies advenas, representando un 21% del total. A continuación se encuentra la clase Rosopsida con 8 especies, 2 de ellas nativas y 6 advenas, lo que representa un 17% del total. Finalmente se encuentra la clase Licopsida con solo 2 especies, ambas nativas, esto corresponde sólo al 4% del total de la flora registrada (Figuras 4 y 5).

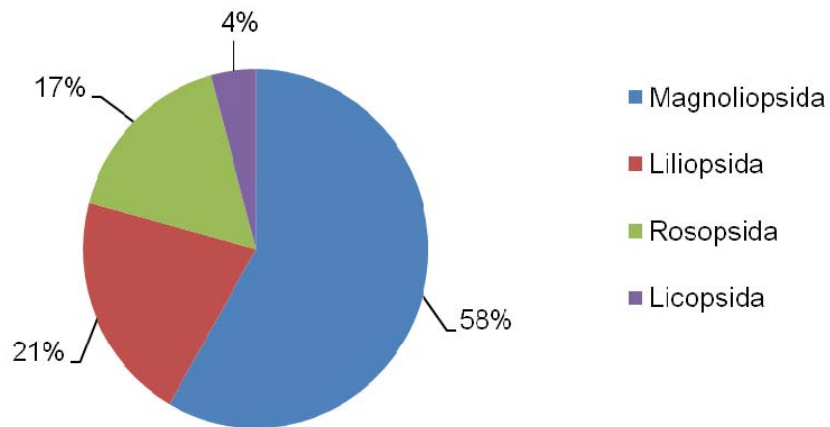


Figura 4: Distribución porcentual de los taxones presentes en los sitios de muestreo

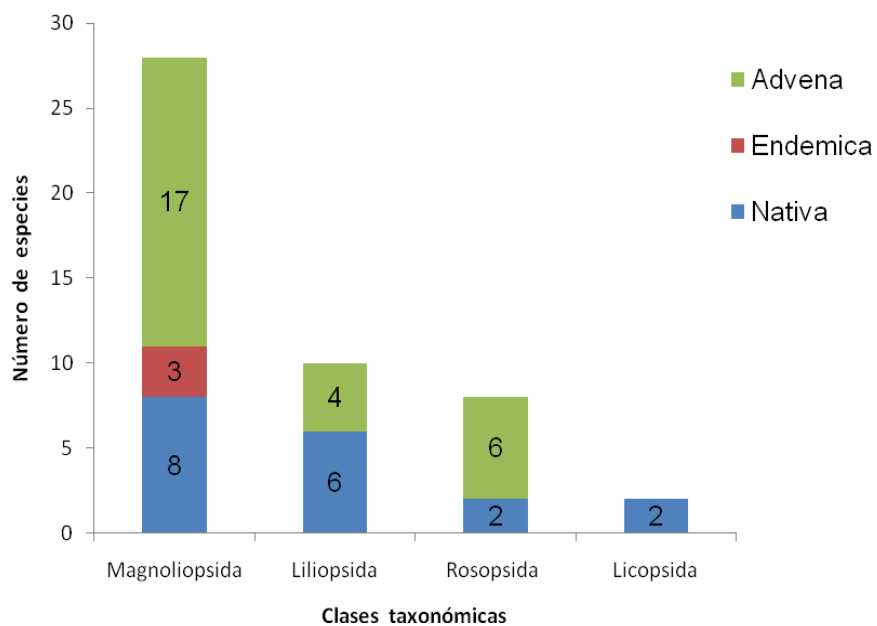


Figura 5: Distribución taxonómica en relación al origen fitogeográfico de las especies muestreadas.

Se registró una gran cantidad de especies advenas (56%), esto según Hauenstein *et al.* (1988) se puede interpretar como un área de fuerte degradación e intervención humana, ya que el origen fitogeográfico es un buen elemento para visualizar la acción antrópica sobre comunidades vegetales.

En relación a las formas de vida de la flora vascular registrada en los sitios de muestreo, ésta estuvo mayormente representada por los hemicriptófitos, encontrando un total de 24 especies bajo esta forma de vida, lo que correspondió al 50% del total de la flora identificada. Seguido por los helófitos con 7 especies, lo que correspondió a un 15% del total. A continuación se encuentran los terófitos con un 6%, hidrófitos con un 10%, nanofanerófitos con un 8% y en último lugar los microfanerófitos y geófitos ambos con un 2% del total de la flora identificada.

Estudios realizados por San Martín *et al.* (2001), Prieto (2007) y Arancibia (2007) realizados en los esteros Reñaca, Mantagua y Viña del Mar respectivamente, muestran la misma tendencia; la mayoría de las especies encontradas son advenas con una gran presencia de hemicriptófitos. La dominancia en el número de especies de hemicriptófitos, es al igual que el origen fitogeográfico, un indicador de intervención humana, ya que esta forma de vida es muy resistente al corte y al pisoteo que acompaña al hombre en el proceso de antropización de los ecosistemas (San Martín *et al.*, 2001). Hay que considerar que la flora hidrófila es una flora azonal, o sea que su presencia esta determinada por la disponibilidad de agua del sustrato, antes que el microclima (Ramírez *et al.*, 2006).

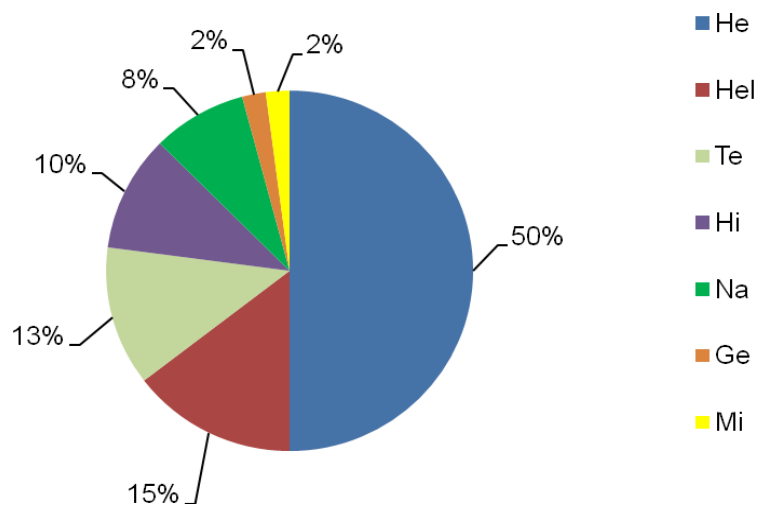


Figura 6: Formas de vida en porcentaje de la flora registrada. (He = Hemicriptófito, Hel = Helófitos, Te = Terófitos, Hi = Hidrófitos, Na = Nanofanerófitos, Ge = Geófitos, Mi = Microfanerófitos)

Cabe destacar que un área débil en el conocimiento de los macrófitos de Chile corresponde a la revisión taxonómica de algunos géneros de familias importantes, como *Cyperaceae*, *Juncaceae*, *Potamogetonaceae* y *Poaceae*. Además del escaso conocimiento sobre su ecofisiología, desconociéndose en la mayoría de los casos su capacidad de bioacumulación de minerales, y su comportamiento como bioindicadoras y biodepuradoras de aguas (Hauenstein ,2006).

7.2. Cobertura de las especies que puntúan en el Índice de macrófitas (IM)

En relación a la cobertura las especies que son consideradas para el índice de macrófitas, las con mayor cobertura fueron: *Apium nodiflorum*, *Nasturtium officinale*, *Potamogeton berteroanus* y *Lemna gibba*, siendo las dos últimas, indicadoras de fuerte contaminación orgánica (San Martín *et al.* 2003). *Apium*

nodiflorum es una especie que por su proliferación excesiva produce embancamientos en los canales de la zona central de Chile (Ramírez *et al.*, 2006)

Tabla 7: Cobertura en porcentaje (%) de las especies por estación.

Especie	Estaciones						
	E1 (%)	E2 (%)	E3 (%)	E4 (%)	E5 (%)	E6 (%)	E7 (%)
<i>Apium nodiflorum</i>	10,2	21	14,4	10,3	-	-	-
<i>Nasturtium officinale</i>	-	1	42,5	2	-	-	10
<i>Potamogeton berteroanus</i>	-	7	-	4,8	25	-	0,27
<i>Nasturtium palustris</i>	0,25	0,50	-	-	-	-	-
<i>Ranunculus chilensis DC</i>	-	0,5	0,93	0,5	0,5	0,25	0,83
<i>Lemna gibba</i>	0,75	-	10	-	-	-	20
<i>Veronica anagallis-aquatica</i>	1	1,25	12,5	1,25	-	-	0,27
Clorofíceas ⁶	-	0,5	3,12	-	-	-	-

La ocurrencia de pocas especies que puntúan dentro del índice puede ser tomado como un factor limitante. Para evitar interpretaciones erróneas se debe procurar trabajar con al menos 5 taxones indicadores (Thiebaut *et al.* 2002).

Los valores indicadores permiten cuantificar con bastante precisión el estado en que se encuentra un biotopo, a partir de un censo de las especies vegetales presentes en un lugar determinado se puede obtener un diagnóstico, considerando el valor ecológico de las especies presentes. Si se considera la cobertura, esto resulta aun mas preciso, ya que la presencia o ausencia de una especie no puede considerarse como indicadora de las condiciones del medio.

⁶ Se incluyen dentro del Índice de Macrófitas, por lo que se considera su cobertura.

Kimmins (1990) menciona la importancia de determinar con que abundancia se presenta cada especie. Así, sumando los valores ponderados (cobertura + valor indicador) de todas las especies, se hace posible establecer un valor indicador.

Si un índice va a ser aplicado en un país diferente al cual fue desarrollado, el valor indicador de los taxones locales puede ser poco acertado. Sin embargo, los valores de las especies indicadoras no son sustancialmente diferentes entre países, es por esto que muchos índices requieren la cobertura de los taxones indicadores presentes en el río para tener un resultado fiable (Schneider, 2007).

Es importante mencionar que el valor indicador dado por la cobertura está influido por variaciones anuales e interanuales, por esto su uso como indicador de la calidad del agua está limitado, y debe acotarse dentro de cada tipo de masa de agua, y analizarse para un periodo de tiempo de varios años (Confederación hidrográfica del Ebro, 2005)

7.3. Determinación de la calidad del agua del estero Mantagua mediante el Índice de Macrófitas (IM).

El Índice de Macrófitas fue aplicado en las 7 estaciones seleccionadas, obteniendo los siguientes puntajes (Tabla 9):

Tabla 8: Puntaje asignado por el IM a los taxones del estero Mantagua

	Taxones	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7
Grupo II	- <i>Ranunculus, Myriophyllum</i>	-	6	6	6	6	6	6
	- <i>Potamogeton</i> (excepto <i>P. pectinatus</i>)	-	7	-	6	7	-	6
	-Clorofíceas filamentosas.	-	6	4	-	-	-	-
Grupo III	- <i>Nasturtium, Apium, Veronica</i>	4	4	4	4	-	3	3
Grupo IV	- <i>Lemna</i>	1	-	1	-	-	-	1
TOTAL:		5	23	15	16	13	9	16

De acuerdo a los valores arrojados por el Índice de macrófitas, las aguas de las siete estaciones muestreadas en el estero Mantagua tienen una calidad variable entre II y IV (buena y mala calidad, respectivamente) (Tabla 9).

Las aguas de las estaciones 1 Y 6 presentaron una calidad Mala (categoría IV). En la estación 1 existe un bosque de galería, que por su densidad puede limitar la entrada de luz, esto se puede deber a que el índice de macrófitas posee una escasa relación con la vegetación ribereña (Suárez *et al.*, 2005). El índice, además, se muestra sensible a efectos de regulación de caudales (Suárez *et al.*, 2005), y dicha estación se encuentra sometida a los impactos derivados de la regulación de flujos de agua por los fondos aledaños, lo que provoca cambios muy bruscos en su caudal.

Las estaciones E3, E4, E5 y E7 presentaron una calidad Aceptable (categoría III), siendo la estación E2 la única que presenta una categoría II (Buena).

Tabla 9: Calidad del agua de acuerdo con el índice de macrófitas (IM)

Estación	Valor IM	Categoría	Calidad
E1	5	IV	Mala
E2	23	II	Buena
E3	15	III	Aceptable
E4	16	III	Aceptable
E5	13	III	Aceptable
E6	9	IV	Mala
E7	16	III	Aceptable

Aplicando esto (Tabla 9) al mapa del lugar, se observan las calidades desde su origen hasta su desembocadura (Figura 7):



Figura 7: Estaciones de muestreo según calidad otorgada por el índice de macrófitas (IM)

El uso de Índices bióticos para evaluar la calidad del agua requiere la adopción de metodologías que sean de fácil aplicación por parte de gestores y personal no especialista, lo que ha conducido a la creciente popularidad de índices bióticos basados en niveles taxonómicos superiores al específico, tales como género o familia, como es el caso del índice de macrófitas. Una de las limitaciones importantes de este índice, es su forma de obtención; al ser un índice aditivo, en el que prima la riqueza sobre el valor indicador, la resolución taxonómica (menor de género) influye decisivamente en su efectividad para la evaluación del estado trófico del sistema (Moreno *et al.*, 2006). Así, por ejemplo, se podría haber encontrado la especie *Ranunculus Repens*, ésta, según San Martín *et al.* (2003) es una especie indiferente al factor nitrógeno, ya que se encuentra en cualquier rango de él y, por ello no sirve para evaluar biótupos acuáticos. Pero de acuerdo al índice de macrófitas, esta especie, estaría dentro del Grupo II (Tabla 4), y en función de su cobertura puntuaría dentro del índice.

Prieto (2007) aplicó para el estero Mantagua el IBF (índice biótico de familia), a través del cual concluyó que la calidad del estero variaba entre las calidades “relativamente malo” y “muy malo”. Esta calidad de agua puede haber variado en los años transcurridos hasta la aplicación del índice de macrófitas, pero aún así, las estaciones 1 y 6 siguen en la calidad “malo”, lo que evidencia una intervención humana en el lugar, debido a su escasa protección.

7.4. Parámetros físicos y químicos.

La profundidad, ancho y velocidad de cada estación fue variable. La profundidad varía entre 0,11 m (E5) y 0,45 m (E7), las plantas acuáticas y palustres colonizan de preferencia la zona litoral y rara vez crecen a profundidades mayores a 8 metros (Ramírez *et al.*, 2006).

Velocidades mayores a 1 m/s pueden ser un factor limitante para el crecimiento o presencia de macrófitas (Barendregt *et al.*, 2003). La mayor velocidad que se

registró fue de 0,31 m/s (E1), por lo que este parámetro no constituye un factor limitante dentro del estero Mantagua para el índice de macrófitas (considerando una velocidad constante).

En relación al ancho, este varió desde 2,68 m (E1) a 38 m (E7) y el caudal fluctuó entre 0,12 m³/s y 1,52m³/s.

Tabla 10: Variables hidráulicas medidas en el estero

Estación	Ancho (m)	Profundidad Promedio (m)	Velocidad (m/s)	Caudal (m ³ /s)
E1	2,68	0,17	0,31	0,14
E2	3,55	0,16	0,22	0,12
E3	4,81	0,16	0,20	0,15
E4	5,20	0,15	0,18	0,14
E5	5,75	0,11	0,19	0,12
E6	4,64	0,16	0,20	0,20
E7	38	0,45	0,10	1,52

- Conductividad: Esta osciló entre los 570 µS/cm (E1) y 4210 µS/cm, es en la última estación (E7) donde se presenta la mayor conductividad, siendo catalogada por esto como clase 4 (mala calidad) según la guía CONAMA para el establecimiento de las normas secundarias.

La mayoría de las especies macrófitas chilenas prosperan en agua dulce (81%). Sin embargo, varias especies se comportan como eurihalinas, pudiendo crecer en amplios rangos de salinidad, desde aguas dulces continentales, pasando por las salobres de estuarios hasta las de alta salinidad en los salares del Norte (Ramírez *et al.*, 2006).

- Temperatura: En la Norma Secundaria se presenta un rango de variación con respecto a la temperatura normal que debe tener un curso de agua. En este caso se asume la temperatura normal del curso de agua como 15°C (Prieto, 2007), siendo así el rango de variación $\Delta T = 1,3$ y $4,4$, clasificando las aguas entre las clases 1 y 4. Los valores de temperatura variaron entre 16,3 (E1 y E7) y 19,4 °C (E6). Las estaciones 6 y 7 presentan una calidad superior a la clase 3, lo que indica un agua de mala calidad.
- pH: El rango de variación fue de 8,24 – 8,66. Las aguas del estero se encuentran ligeramente alcalinas. En la guía CONAMA para el establecimiento de las normas secundarias se establece un rango de 6,5 a 8,5 para todas las clases.
- Sólidos Disueltos: Estos tuvieron valores entre 320 mg/l y 1670 mg/l, es en la última estación (E7) donde se observa la mayor concentración, otorgándole a las aguas una clase 4 (muy mala). En las demás estaciones los sólidos no variaron demasiado, permaneciendo entre los 330mg/l – 490 mg/l
- Nitritos: Varían su concentración de 0,009 mg/l (E1) y 0,004 mg/l (E2, E4 y E6), estableciéndose una clase excepcional para todas las estaciones según la guía CONAMA para el establecimiento de normas secundarias..
- Nitratos: La menor concentración de estos se encuentra en la estación 1 (0,008 mg/l). Su mayor concentración se presentó en la estación 6 (0,011 mg/l). Este parámetro no se encuentra incluido en la Guía CONAMA para el establecimiento de las normas secundarias.
- Amonio: En las estaciones 5 y 6, se observa la misma cantidad de amonio (0,036 mg/l). La menor y la mayor concentración fue 0,023 mg/l (E6) y 0,041mg/l (E7) respectivamente.
- Fosfato: A diferencia de los anteriores parámetros mencionados (nitrito, nitrato y amonio), se observa la mayor concentración de fosfato en la estación 2

(66,32 mg/l) y la menor concentración en la estación 4 (14,21 mg/l). Este parámetro no se encuentra incluido en la Guía CONAMA para el establecimiento de las normas secundarias.

Cuando las aguas son contaminadas con nutrientes, principalmente nitratos y fosfatos (aguas eutrofizadas), los macrófitos adquieren un desarrollo exuberante. Sin embargo, un exceso de contaminación puede resultar perjudicial también para ellos. Pocos macrófitos son capaces de soportar altos grados de eutrofización, entre éstos: la flor del pato (*Azolla filiculoides*) y la hierba de la plata (*Hydrocotyle ranunculoides*) (Ramírez *et al.*, 2006).

Tabla 11: Parámetros Físicos y Químicos medidos en el estero Mantagua.

Estación	pH	Conductividad (µS/cm)	Temperatura (°C)	Oxígeno disuelto (mg/l)	Sólidos Disueltos (mg/l)	Nitrato (mg/l)	Nitrato (mg/l)	Amonio (mg/l)	Fosfato (mg/l)
E1	8,43	570	16,3	13,2	320	0,009	0,008	0,026	0,043
E2	8,48	840	16,6	7,6	330	0,004	0,011	0,033	0,025
E3	8,37	900	16,8	7,5	420	0,005	0,010	0,023	0,018
E4	8,24	980	16,6	8,1	430	0,004	0,010	0,033	0,013
E5	8,3	990	17,3	5,4	440	0,005	0,009	0,02	0,021
E6	8,66	3500	19,4	5,2	490	0,004	0,011	0,023	0,023
E7	8,66	4210	19,1	4,1	1670	0,005	0,009	0,036	0,020

Tabla 12: Clases de calidad establecidas para cada parámetro según la guía CONAMA para el establecimiento de normas secundarias de calidad ambiental para aguas continentales superficiales.

Estación	Conductividad (µS/cm)	Temperatura (°C)	Oxígeno disuelto (mg/l)	Sólidos Disueltos (mg/l)	Nitrito (mg/l)	Amonio (mg/l)
E1	Excepcional	Clase 1	Excepcional	Excepcional	Excepcional	Excepcional
E2	Clase 2	Clase 3	Excepcional	Excepcional	Excepcional	Excepcional
E3	Clase 2	Clase 3	Clase 1	Clase 1	Excepcional	Excepcional
E4	Clase 2	Clase 3	Excepcional	Clase 1	Excepcional	Excepcional
E5	Clase 2	Clase 3	Clase 3	Clase 1	Excepcional	Excepcional
E6	Clase 4	Clase 4	Clase 3	Clase 1	Excepcional	Excepcional
E7	Clase 4	Clase 4	Clase 4	Clase 4	Excepcional	Excepcional

Es importante mencionar que esta normativa solo presenta rangos de clasificación por parámetro (no se pueden ponderar varios parámetros para obtener una clasificación general para un tramo del estero). Esta guía solo orienta y sirve como base técnica para la elaboración y homogeneización de este tipo de normas⁷. Esta óptica no contempla la heterogeneidad del recurso desde la zona norte hasta la zona sur (CONAMA, 2007). No obstante se contempla el establecimiento de una normativa específica para cada río (anteproyecto de normas secundarias), tomando en cuenta todos aquellos parámetros respecto de los que hoy se tiene información para tener un conocimiento de cuál es la condición de base y a partir de ella plantear objetivos que permitan mejorar la calidad del recurso hídrico.

La elaboración y dictación de las normas secundarias requiere ser asumido por cada región del país, incorporando su realidad ambiental, económica y

⁷ ARANEDA, S. 2009. Guía CONAMA para el establecimiento de normas secundarias (entrevista). Valparaíso, CONAMA Región de Valparaíso.

social de dicho territorio, pero también deben ser procesos homogéneos y estandarizados acordes con criterios nacionales de calidad.

En relación a la concentración de nutrientes y procesos de descomposición orgánica, el Índice de macrófitas presenta correlación significativa y positiva con el amonio ($r = 0,571$, $p < 0,01$), negativa y significativa con el fosfato ($r = - 0,424$, $p < 0,05$) y nitrito ($r = - 0,301$, $p > 0,05$), aunque este último al poseer una probabilidad mayor a 0,05, nos indicaría una correlación menos fiable. Los demás parámetros muestreados no poseen correlaciones significativas (Tabla 13).

Tabla 13: Correlación de Spearman (r) y probabilidad (p) para parámetros físicos y químicos medidos en el estero en relación con el índice de macrófitas (IM).

Parámetro	Correlación de Spearman (r)	Probabilidad (p)
pH	0,061	< 0,05
Conductividad	0,114	< 0,05
Temperatura	- 0,016	> 0,05
Oxígeno disuelto	- 0,126	< 0,05
Sólidos Disueltos	- 0,097	< 0,05
Nitrito	-0,319	> 0,05
Nitrato	0,182	>0,05
Amonio	0,571	< 0,01
Fosfato	- 0,424	< 0,05
Caudal	- 0,137	> 0,05

Las correlaciones encontradas en el estero Mantagua, entre el valor del índice de macrófitos y las concentraciones de fosfatos en el agua indicarían que el índice es sensible a la presencia de fosfatos. Es decir; al aumentar las concentraciones de fosfatos en el agua, disminuye el valor del índice de macrófitas (disminuyendo así la calidad del agua).

Suárez *et al.* (2006) y Moreno *et al.* (2006) aplicaron índices de macrófitas (de diferente resolución taxonómica) para la cuenca del Segura y Castilla-La Mancha, respectivamente. En ambos estudios se encontró una relación significativa y negativa con el fosfato. Con relación al amonio, ambos estudios obtuvieron correlaciones negativas, pero no significativas en el caso de la cuenca del Segura ($r_{\text{amonio}} = -0,289$, $p < 0,05$) lo que destaca la débil respuesta de este parámetro con el índice de macrófitas realizado por Suárez *et al.*, (2006) (Moreno *et al.*, 2006). En el presente estudio se observa una correlación positiva y significativa con el amonio, esto puede deberse a que las características geográficas, geológicas y climáticas se reflejan en la diversidad de tipos físicos y químicos de ríos, por lo que se debe tener especial precaución a la hora de comparar valores de índices entre ríos de tipos diferentes (Thiebaut *et al.*, 2002).

Irma Vila⁸ menciona la importancia de los factores ambientales para el crecimiento de los organismos que habitan un determinado hábitat. Existen rangos de tolerancia (campana de gauss), dentro de los cuales las especies presentes se pueden desarrollar adecuadamente. Un aumento o disminución de este factor en el medio puede significar un cambio en la diversidad y distribución. Maria Suarez⁹ estableció rangos de tolerancia en los cuales se desarrollan las macrófitas en la cuenca del Segura para los parámetros de conductividad, nitrito, nitrato, fosfato y amonio. Estos se encuentran dentro de los rangos observados en el estero Mantagua, por lo

⁸ Vila, I. 2009. Rangos de tolerancia (entrevista). Santiago, Universidad de Chile.

⁹ Suarez, M. 2009. Valores límite para distintos parámetros físicos y químicos para los grupos del Índice de Macrófitas (correo electrónico). Murcia, Universidad de Murcia.

que estos parámetros no son factores limitantes para ningún grupo dentro del índice de Macrófitas.

8. CONCLUSIONES

Se registraron 48 especies macrófitas en las 7 estaciones de muestreo, de las cuales la forma de vida predominante correspondió a los hemicriptófitos (50%).

El origen fitográfico de la flora muestreada es en su mayoría adveno (27 especies), esto, junto con la forma de vida predominante indicarían una fuerte intervención antrópica.

De las especies registradas en el catastro florístico, solo 6 puntúan dentro del índice de macrófitas (además de las clorofíceas). Estas son: *Apium nodiflorum*, *Nasturtium officinale*, *Potamogeton berteroanus*, *Nasturtium palustres*, *Ranunculus chilensis DC*, *Lemna gibba* y *Veronica anagallis-aquatica*.

Al aplicar el índice de macrófitas en las 7 estaciones escogidas, se obtuvo una calidad variable entre buena (estación 2), aceptable (estación 3, 4,5 y 7) y mala (estación 1 y 6).

Los parámetros físicos y químicos incluidos en la Guía CONAMA para el establecimiento de normas secundarias de calidad ambiental para aguas continentales superficiales y marinas (no se incluyen los nitratos y fosfatos) mostraron que la calidad del estero varió entre clase 4 (mala calidad) y clase excepcional. Según esta normativa, la última estación (estación 7) presenta la peor calidad con respecto a los parámetros de conductividad, temperatura, oxígeno disuelto, sólidos disueltos y nitritos.

El Índice de macrófitas presenta correlación significativa y positiva con el amonio ($r = 0,571$, $p < 0,05$) y nitrato ($r = 0,182$, $p > 0,05$). Negativa y significativa con el fosfato ($r = - 0,424$, $p < 0,05$), y nitrito ($r = - 0,319$, $p > 0,05$). Lo que indicaría una relación con los dos últimos parámetros.

Es importante la existencia de un cuerpo normativo que regule de manera integral, fiscalice y sancione la introducción de sustancias dañinas a los cursos de agua y sus respectivas fuentes de contaminación, para así mantener, preservar y

conservar el equilibrio tanto de los ecosistemas acuáticos, como de los ecosistemas terrestres, ya que este recurso cumple una función necesaria para todo ser vivo.

9. REVISION BIBLIOGRÁFICA

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

ALBERTI, M. & PARKER, J. 1991. Indices of Environmental Quality: The Search For Credible Measures. *Environmental Impact Assessment Review*, 11: 95-101.

ANDALUE CONSULTORES AMBIENTALES LTDA. 2003. Estudio Impacto Ambiental "Campo Deportivo Mantagua". 460 pp.

ARANCIBIA, J. 2007. Flora vascular del estero de Viña del Mar. *Anales Museo de Historia Natural de Valparaíso*. En revisión.

BARENDREGT, A. & BIO, A. 2003. Relevant variables to predict macrophytes communities in running waters. *Ecological Modelling* 160: 205 – 217.

BRAUN – BLANQUET. 1964. *Fitosociología*. Base para el estudio de las comunidades vegetales. Editorial Blumes. Madrid. 820 pp.

CENMA. 2006. Manual de Evaluación de Calidad del Agua. Proyecto SAG N° C3-73-14-42. 104 pp.

CENTRO DEL TERCER MUNDO PARA EL MANEJO DEL AGUA. 2003. Situación de los recursos hídricos en Chile. 109 pp.

CONAMA & TESAM. 1996. Metodologías para la caracterización de la calidad Ambiental. Chile. 239 pp.

CONAMA. 2005. Guía para el Establecimiento de las Normas Secundarias de Calidad Ambiental para Aguas Continentales Superficiales y Marinas. 18 pp.

CONAMA. 2006. Biodiversidad de Chile: Patrimonios y Desafíos. 1º Edición. Santiago. 637 pp.

CONAMA. 2007. Estrategia nacional de gestión integrada de cuencas hidrográficas. 1º Edición. Santiago. 57 pp.

CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL EBRO. 2005. Metodología para el estado ecológico según la directiva marco del agua, protocolos de muestreo y análisis para macrófitos. 33 pp.

CEPAL. 2006. Estado de arte y lecciones de la gestión y la valoración de cuencas hidrográficas para la gestión atmosférica en grandes urbes de América Latina. Santiago de Chile. 97 pp.

DIEKMANN, M. 2003 Species indicator values as an important tool in applied plant ecology – a review. Basic and Applied Ecology. 4: 493- 506.

DGA 1987. Balance hídrico de Chile. Ministerio de Obras Públicas, Transporte y Telecomunicaciones. Dirección General de Aguas. Chile.

DGA 1999. Política Nacional de recursos Hídricos. Ministerio de Obras Públicas, Transporte y Telecomunicaciones. Dirección General de Aguas. Chile.

FERNÁNDEZ- JÁUREGUI. 2001. El agua como fuente de conflictos: repaso de los focos de conflictos en el mundo. Oficina Regional de Ciencia y Tecnología. Unesco. *Afers Internacionals* 45: 179-194.

FERNÁNDEZ, N & F. SOLANO. 2008. Índices de calidad y contaminación del agua, 2ª edición (digital) Pamplona, Colombia Universidad de Pamplona, 146 pp.

FONT QUER, P. 1953. Diccionario de Botánica. Anagrama. Barcelona. 1244 pp.

HAUENSTEIN E, C RAMIRÉZ, M LATSAGUE & D CONTRERAS. 1988. Origen Fitogeográfico y espectro biológico como medida del grado de perturbación antrópica en comunidades vegetales. *Medio Ambiente* 9 (1): 140-142.

HAUESNTEIN, E. 2006. Visión sinóptica de los macrófitos dulceacuícolas de Chile. *Gayana* 70 (1):16-23

HOFFMANN A. 1998. Flora silverstre de Chile, zona central. 4ª Edición, Santiago, Editorial fundación Claudio Gay. 254 pp.

HOFFMANN A. 2000. Aves de Chile. 2ª Edición, Santiago, Ril Editores. 145 pp.

JAEGER, P. 2003. Disponibilidad y uso del agua. En: Administración de derechos de agua. Roma: FAO, Servicio del derecho para el desarrollo, oficina jurídica de la FAO. H. Garduño. Roma. 323 pp.

KIMMINGS JP .1990. Monitoring the condition of the Canadian forest environment the relevance of the concept of ecological indicators. Environment and Monitoring Assessment. 15: 231-240.

MORENO, J. L., NAVARRO, C. & 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): 821-838.

MUHLHAUSER, H. 1987. Generalidades sobre el uso de índices de cambios ecológicos en ecosistemas acuáticos temperados. Una revisión. Departamento de Ciencias Ecológicas, Facultad de Ciencias, Dpto. Técnico y de Investigación (Proyecto N° 2450-8613). Universidad de Chile, Santiago, Chile. 10pp.

PRIETO, M. 2007. Diagnostico Ambiental de las Características Bióticas y Abióticas del Estero Mantagua, Comuna de Quintero, Región de Valparaíso, Valparaíso. Tesis para optar al Título Profesional de Ingeniero Ambiental, Universidad de Valparaíso, Valparaíso. 141 pp.

PROGRAMA CHILE SUSTENTABLE. 2004. Recursos Hídricos en Chile: Desafíos para la sustentabilidad. Programa Chile Sustentable ISBN: 956-7889-20-1. Primera Edición. 172 pp.

RAMIREZ, C & C. SAN MARTÍN. 2006. Macrófitas de Chile. En: Macrófitas y vertebrados de los sistemas límnicos de Chile. I. Vila, A. Veloso, R. Schlatter & C. Ramírez (editores) Editorial Universitaria. Santiago. 190 pp.

SAN MARTÍN, C., C. RAMÍREZ, J. SAN MARTÍN & R. VILLASEÑOR. 2001. Flora y vegetación del estero Reñaca (V Región, Chile). *Gayana Botánica* 58: 31-46.

SAN MARTIN, C., C. RAMÍREZ, M. ALVAREZ. 2003. Macrófitos como bioindicadores: una propuesta metodológica para caracterizar ambientes dulceacuícolas. *Revista Geográfica de Valparaíso*. 34: 243-253.

SCHNEIDER, S. 2007. Macrophyte indicator values from a European perspective. *Limnologica* 37: 281-289.

SONACOL. 1999. Estudio de Impacto Ambiental "Construcción red de ductos Quintero - Con Con". 1300 pp.

SUÁREZ. M., A. MELLADO, M. SÁNCHEZ, M. VIDAL. 2005. Propuesta de un índice de macrófitos para evaluar la calidad ecológica de los ríos de la cuenca del Segura. *Limnética* 24(3-4): 305-318.

THIEBAUT, G., GUEROLD, F. & MULLER S. 2002. Are trophic and diversity indices based on macrophyte communities pertinent tools to monitor water quality?. *Water Research*, 36: 3602-3610.

TORO J., SCHUSTER J. P., KUROSAWA J., ARAYA E., CONTRERA M. 2003. "Diagnóstico de la calidad del agua en sistemas lóticos utilizando diatomeas y macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores. Rio Maipú (Santiago, Chile). XVI Congreso Chileno de Ingeniería Hidráulica. 13 y 14 de Noviembre.

UNIVERSIDAD DE CHILE. 2006. Estado del Medio Ambiente en Chile. Instituto de asuntos públicos. 371pp.

WATER POLLUTION CONTROL FEDERATION. 1992. Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales. Ediciones Días de Santos. 1816pp.

WESSA, P. 2009. Free Statistics Software, Office for Research Development and Education, version 1.1.23-r4, URL <<http://www.wessa.net/>>

PAGINAS WEB

❖ AVES DE CHILE

<http://www.avesdechile.cl>

❖ ORGANIZACION MUNDIAL DE LA SALUD (OMS)

<http://www.who.int/publications/es/index.html>

❖ CONAF

www.conaf.cl

❖ CONAMA

<http://www.conama.cl>

❖ DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS

<http://www.dga.cl/>

10. ANEXOS

ANEXO1: TIPOS DE CLASES PARA LA CALIDAD DEL AGUA, NORMA SECUNDARIA DE CALIDAD AMBIENTAL PARA LA PROTECCIÓN DE LAS AGUAS CONTINENTALES (EN TRAMITACIÓN).

Las normas secundarias de calidad asociadas a la protección de las aguas continentales superficiales, para la protección y conservación de las comunidades acuáticas y para los usos prioritarios, deberán considerar las clases de calidad que a continuación se indican:

a) Excepcional: Indica un agua de mejor calidad que la Clase 1, que por su extraordinaria pureza y escasez, forma parte única del patrimonio ambiental de la República.

Esta calidad es adecuada también para la conservación de las comunidades acuáticas y demás usos definidos cuyos requerimientos de calidad sean inferiores a esta Clase.

b) Clase 1: Muy buena calidad. Indica un agua adecuada para la protección y conservación de las comunidades acuáticas, para el riego irrestricto y para los usos comprendidos en las Clases 2 y 3.

c) Clase 2: Buena calidad. Indica un agua adecuada para el desarrollo de la acuicultura, de la pesca deportiva y recreativa, y para los usos comprendidos en la Clase 3.

d) Clase 3: Regular calidad. Indica un agua adecuada para bebida de animales y para riego restringido.

Las clases de calidad comprendidas entre la Clase Excepcional y la Clase 3, son aptas para la captación de agua para potabilizarla, según el tratamiento que se utilice.

Las aguas que excedan los límites establecidos para la Clase 3, indicarán un agua de mala calidad (Clase 4), en general no adecuada para la conservación de las comunidades acuáticas o su aprovechamiento para los usos prioritarios sin el tratamiento adecuado.

En el caso que un cuerpo o curso de agua, la calidad natural sea de una calidad inferior a la Clase 3 o al estado mesotrófico, deberá ser protegido hasta el valor de su calidad natural, con el objeto de que ésta no empeore.

ANEXO 2: PROTOCOLO PARA LA APLICACIÓN DEL INDICE DE MACRÓFITAS (IM)

Pasos a seguir:

- **Selección del tramo a muestrear**

Seleccionar un tramo lo suficientemente extenso para que incluya la mayor variedad de hábitats posible (pozas, rápidos, remansos, charcas marginales)

- **Selección de la época de muestreo**

Primavera es la mejor época del año para encontrar el mayor numero de taxones.

- **Muestreo del pecton**

Para extraer las muestras de pecton utilizar una navaja.

- **Muestreo del plocon**

Las algas que constituyen el plocon, se pueden recolectar con la mano o con una red surber.

- **Identificación y cobertura (campo)**

Anotar la cobertura sobre el lecho del cauce de cada taxón. Para la determinación precisa de los especímenes, fijar las muestras necesarias en formol 4% y examinar posteriormente en el laboratorio (lupa y microscopio).

- **Identificación precisa (laboratorio)**

Bajo el microscopio, utilizar lugol para detectar presencia de almidón, azul de metileno para visualizar estructuras parietales y carmín acético para teñir núcleos.

- **Calculo del Índice**

Para el cálculo del Índice, sumar puntuaciones parciales dentro de cada grupo y obtener la puntuación global de los grupos presentes. Si en el tramo aparecen más de dos taxones incluidos en la misma entrada (línea), puntuaran como uno.

ANEXO 3: METODOS NORMALIZADOS PARA EL ANALISIS QUIMICO DE AGUAS POTABLES Y RESIDUALES.

1) DETERMINACIÓN DE N-NH₃ MÉTODO DE LA SAL DE FENOL (4500-NH₃ D)

PROCEDIMIENTO

a) Reactivos:

1. Solución fenol. Pese 12 g de fenol y dilúyalos a 100ml con alcohol al 95%. Prepare solución semanalmente.
2. Nitroprusiato de sodio 0,5%. Pese 0,5 g de la sal y dilúyalos en 100ml de agua desionizada. Guardelos en botella ámbar por 1 mes.
3. Citrato alcalino 20%. Pese 20 g de citrato de sodio y 10 g de NaOH, se diluyen en 100ml de agua desionizada.
4. Hipoclorito de sodio, solución comercial, 5%. Reemplace cada dos meses.
5. Solución oxidante. Mezcle 100ml de citrato alcalino con 25ml de hipoclorito de sodio. Prepare esta solución diariamente.
6. Solución stock de NH₃. Disuelva 3,819 g de NH₄Cl anhidro en agua a 1000ml, 1ml = 1,00 mg N = 1,22 mg NH₃.

b) Preparación de la curva de calibración:

1. Prepare una curva que cubra el rango de 0,1 a 10µg N/l. Diluir 1ml de la solución stock a 100ml con agua exenta de amonio, 1ml = 10 µg N. (Solución madre).
2. De la solución madre de NH₃ tome alícuotas de 1, 2, 4, 6 y 8 ml. Lleve cada una de las alícuotas a 100 ml (aforados) con agua destilada.

c) Tratamiento de la muestra y estándares:

1. A 100 ml de muestra y estándares agregue 1ml de solución de fenol, Agite.
2. Luego agregue 1ml de solución de nitroprusiato de sodio. Agite.
3. Por último agregue 2,5ml de solución oxidante. Agite y deje desarrollar el color por una hora.
- 4.- Lea a 640 nm hasta 24 horas después.

* Si luego del desarrollo del color las muestras presentan turbiedad , se deben filtrar a través de un filtro cualitativo.

* Si las muestras están ácidas se deben neutralizar antes de tratarlas.

TRATAMIENTO DE DATOS

Se grafican las absorbancias obtenidas para las soluciones estándar contra el contenido absoluto de NH_3 . Luego se interpola en el gráfico las lecturas de las muestras. Se corrigen las diluciones realizadas y se calcula el contenido de NH_3 en ellas.

2) DETERMINACIÓN DE NITRITOS MEDIANTE MÉTODO COLORIMETRICO (4500 – NO_2^- B)

PROCEDIMIENTO

a) Reactivos:

1. Reactivo color. A 80ml de agua destilada, agregue 10 ml de H_3PO_4 al 85% y 1g de sulfanilamida. agregue 0,1g de n-1naftiletilendiamina dihidrocloruro. Mezclar hasta disolver y diluir a 100ml. La solución permanece estable por un mes, cuando se guarda en botella ámbar y refrigerada.
2. Solución stock de nitrito. Pese 123,02 mg de NaNO_2 y diluya a 100ml con agua destilada. Se utiliza este reactivo de a lo menos 99% de pureza, debido a que el

NO_2^- es oxidado rápidamente en presencia de humedad. Use una botella nueva para preparar la solución stock y manténgala cerrada herméticamente, para prevenir el ingreso de aire cuando no esté en uso. Cada ml de esta solución contiene 250 ug de N-nitrito

3. Solución patrón de $\text{NO}_2\text{-N}$. Diluya 1ml de la solución stock de nitrito a 100ml con agua destilada.

b) Tratamiento de las muestras:

1. Tome 100ml de muestra o una alícuota que no contenga más de $20\mu\text{g/ml}$ de $\text{NO}_2\text{-N}$

2. Agregue 2ml del reactivo color, deje que el color se desarrolle por 20 minutos.

3. Realizar un blanco y tratarlo del mismo modo que las muestras.

4. Luego lea la muestra a 540nm. contra un blanco de agua destilada.

c) Tratamiento de los estándares:

1. Prepare la curva de calibración a partir de la solución patrón de $\text{NO}_2\text{-N}$, agregando a matraces aforados de 100ml, 3,0ml, 5,0ml, 7,0ml y 10ml llevando hasta el aforo con agua destilada.

2. Someta los estándares al mismo tratamiento que las muestras.

3. Lea a 540nm., contra un testigo de agua destilada.

TRATAMIENTO DE DATOS

Se grafican las absorbancias obtenidas para las soluciones estándar contra el contenido absoluto de $\text{NO}_2\text{-N}$. Luego se interpolan en el gráfico las lecturas de las muestras. Se corrigen las diluciones realizadas y calcule el contenido de $\text{NO}_2\text{-N}$ en ellas.

3) DETERMINACIÓN DE NITRATOS MEDIANTE MÉTODO REDUCCIÓN DE CADMIO (4500 – NO₃⁻ E)

El NO₃⁻ se reduce casi cuantitativamente a nitrito (NO₂⁻) en presencia de cadmio (Cd). Este método utiliza Cd comercial en gránulos tratado con sulfato de cobre (CuSO₄) y como relleno de una columna de vidrio.

PROCEDIMIENTO

a) Reactivos:

1. Reactivo color. A 80ml de agua destilada, agregue 10 ml de H₃PO₄ al 85% y 1g de sulfanilamida. agregue 0,1g de n-1naftiletildiamina dihidrocloruro. Mezclar hasta disolver y diluir a 100ml. La solución permanece estable por un mes, cuando se guarda en botella ámbar y refrigerada.

2. Solución diluida de cloruro de amonio-EDTA: Dilúyanse 300 ml de NH₄Cl-EDTA a 500 ml con agua.

2. Solución stock de nitrito. Pese 123,02 mg de NaNO₂ y diluya a 100ml con agua destilada. Se utiliza este reactivo de a lo menos 99% de pureza, debido a que el NO₂⁻ es oxidado rápidamente en presencia de humedad. Use una botella nueva para preparar la solución stock y manténgala cerrada herméticamente, para prevenir el ingreso de aire cuando no esté en uso. Cada ml de esta solución contiene 250 ug de N-nitrito

3. Solución patrón de NO₂-N. Diluya 1ml de la solución stock de nitrito a 100ml con agua destilada.

b) Tratamiento de las muestras:

1. Reducción de la muestra. Añádase 75 ml de solución NH₄Cl-EDTA a 25,0 ml de muestra o a una porción diluida a 25,0 ml, y mézclese. Viértase la muestra mezclada en la columna y recójase a una tasa de 7 a 10 ml/min. Deséchense los primeros 25 ml. Reúnase el resto en el matraz original de la muestra. No es

necesario lavar las columnas entre muestras, pero si no se van a utilizar durante varias horas o más, viértanse 50 ml de solución $\text{NH}_4\text{Cl-EDTA}$ en la parte superior y déjese pasar a través del sistema. Consérvese la columna Cu-Cd en esta solución, no dejando nunca que se seque.

2. Tome 100ml de muestra o una alícuota que no contenga más de $20\mu\text{g/ml}$ de $\text{NO}_2\text{-N}$
3. Agregue 2ml del reactivo color, deje que el color se desarrolle por 20 minutos.
4. Realizar un blanco y tratarlo del mismo modo que las muestras.
5. Luego lea la muestra a 540nm. contra un blanco de agua destilada.

c) Tratamiento de los estándares:

1. Prepare la curva de calibración a partir de la solución patrón de $\text{NO}_2\text{-N}$, agregando a matraces aforados de 100ml, 3,0ml, 5,0ml, 7,0ml y 10ml llevando hasta el aforo con agua destilada.
2. Someta los estándares al mismo tratamiento que las muestras.
3. Lea a 540nm., contra un testigo de agua destilada.

TRATAMIENTO DE DATOS

Se grafican las absorbancias obtenidas para las soluciones estándar contra el contenido absoluto de $\text{NO}_3\text{-N}$. Calcúlense las concentraciones de la muestra directamente a partir de la curva patrón. Exprésense como miligramos de N oxidado por litro (la suma de $\text{NO}_3\text{-N}$ más $\text{NO}_2\text{-N}$) a no ser que se determine separadamente la concentración de $\text{NO}_2\text{-N}$ y se reste.

4) DETERMINACION DE ORTOFOSFATOS EN AGUAS METODO DEL CLORURO ESTAÑOSO (4500-P D).

PROCEDIMIENTO

a) Preparación de soluciones

1a.- Solución indicadora de fenolftaleína. Se disuelven 0,50 gs de fenolftaleína en 50 ml de alcohol y se agrega agua destilada hasta completar 100 ml.

1b. Solución ácido concentrada. Se agregan lentamente 30 ml de ácido sulfúrico a unos 60 ml de agua destilada, se enfría la solución, se agregan 0,4 ml de ácido nítrico concentrado y se diluye a 100 ml. -

1c- Solución ácidoconcentrada de molibdato de amonio. Se disuelven 25 gs de $(\text{NH}_4)_6\text{M}_074\text{H}_2\text{O}$ en 175 ml de agua destilada. Se agregan, con mucho cuidado, 280 ml de H_2SO_4 concentrado a 400 ml de agua destilada, se enfría y se le agrega la solución de molibdato de amonio y se diluye a 1000 ml.

1d.- Solución de cloruro estañoso. Se disuelve 2,5 g de $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ en 10 ml de ácido clorhídrico y se diluye a 100 ml con agua destilada.

1e.- Solución madre de fosfato. Se disuelven hasta un litro, en agua destilada, 0,7165 g de ortofosfato monopotásico, KH_2PO_4 . 1 ml = 0,500 mg de PO_4

1f.- Solución patrón de fosfato. Se diluyen 10 ml de la solución anterior a 100 ml con agua destilada. 1 ml = 50 μg de PO_4^{3-} .

b) Tratamiento de las muestras

Tome 50 ml de muestra filtrada que se encuentre libre de color y turbiedad o una alícuota de esta muestra diluida a 50 ml y se le agregan dos gotas de fenolftaleína. Si se pone rosada agregue solución ácidoconcentrada hasta desaparición del color rosa.

Se agregan, mezclando perfectamente después de cada adición, 4,0 ml de molibdato de amonio y 0,5 ml de cloruro estañoso cuidando que la temperatura no varíe más de 2 grados. Después de 10 minutos lea el color de la solución a 690 nm y se compara la lectura con una curva de calibración construida en el rango de 0,1 a 1,0 mg/l de PO_4^{3-} .

TRATAMIENTO DE DATOS

Se grafican las absorbancias obtenidas para las soluciones estándar contra el contenido absoluto de PO_4^{3-} . Luego se interpolan en el gráfico las lecturas de las muestras. Se corrigen las diluciones realizadas y calcule el contenido de PO_4^{3-} en ellas.