



SOCIEDAD CHILENA DE INGENIERÍA HIDRÁULICA
XVI CONGRESO CHILENO DE INGENIERÍA HIDRÁULICA

DIAGNOSTICO DE LA CALIDAD DEL AGUA EN SISTEMAS LOTICOS UTILIZANDO DIATOMEAS Y MACROINVERTEBRADOS BENTONICOS COMO BIOINDICADORES RIO MAIPO (SANTIAGO: CHILE)

JULIA TORO¹, JUAN P. SCHUSTER¹, JUN KUROSAWA²,
ELIZABETH ARAYA⁴, MANUEL CONTRERAS^{3,4}

¹Comisión Nacional de Riego (CNR), ²Agencia para la Cooperación Internacional del
Japón (JICA), ³ Universidad de Chile, ⁴Centro de Ecología Aplicada, Ltda. (CEA)

Av. Suecia 3304, Ñuñoa. Santiago, Chile.

Teléfono: 2741872; Fax: 2742879

e-mail: ean@cea.cl

RESUMEN

La degradación de los recursos acuáticos ha sido motivo de preocupación en las últimas décadas, y aunque la contaminación del agua es ante todo un problema biológico, muchos países han dependido de los parámetros físico-químicos para su evaluación. Como alternativa a estos procedimientos, algunos países han incorporado el biomonitoreo, que a diferencia de la evaluación química que refleja las condiciones puntuales en que fue tomada la muestra, los organismos informan además la situación pasada. Como bioindicadores, microalgas y macroinvertebrados son los más utilizados. Se ha desarrollado en la cuenca del río Maipo una "Metodología para la determinación de la calidad del agua utilizando como bioindicadores a diatomeas y macroinvertebrados bentónicos, apoyados en parámetros físico-químicos de modo de validar su uso". Un total de 30 estaciones fueron evaluadas (curso principal y afluentes). Los resultados esperados son a) Caracterizar el estado actual de la cuenca del río Maipo, mediante análisis de los parámetros comunitarios e índices bióticos utilizando diatomeas y macroinvertebrados bentónicos y validar su correspondencia con los parámetros físico-químicos, c) Validar y/o adaptar el uso de índices ya utilizados en otros países, d) Establecer las bases para desarrollar una metodología de evaluación y monitoreo de la calidad de las aguas de los sistemas lóticos de Chile e) Elaborar mapas de calidad del agua.

ABSTRACT

The degradation of the aquatic resources have been a motive of preoccupation in the last decades, and although the contamination of the water is first of all a biological problem, a lot of countries have depended of the physical-chemical parameters for its evaluation. As an alternative to this procedures, some countries have incorporated the biomonitoring, that unlike of chemical evaluation shows the moment that sample was taked, the organisms shows the present and last situation. Like bioindicator, microalga and benthic macroinvertebrates are most used. In the basin of Maipo river has developed a "Methodology for determination the quality of water using as boindicator diatoms and benthic macroinvertebrates supported in physical-chemical parameters and validate its use". 30 stations were evaluated (main course and afluentes). The awaited results are: a) Characterize the basin of Maipo river, through analysis of community parameters and biotic index using diatoms and benthic macroinvertebrates, b) validate its correspondence with physical-chemical parameters, c) adjust index used in other countries, d) establish the basis to develop a methodology of evaluation and monitoring the quality of water in the lotic system of Chile, e) Elaborate maps the quality of water.



DIAGNOSTICO DE LA CALIDAD DEL AGUA EN SISTEMAS LOTICOS UTILIZANDO DIATOMEAS Y MACROINVERTEBRADOS BENTONICOS COMO BIOINDICADORES RIO MAIPO (SANTIAGO: CHILE)

1. Introducción

La degradación de los recursos acuáticos ha sido motivo de preocupación del hombre en las últimas décadas. Por esta razón, existe un creciente interés por conocer y proteger los ecosistemas fluviales y estudiar sus cambios en el tiempo, desarrollando criterios físicos, químicos y biológicos que permitan estimar el efecto y magnitud de las intervenciones humanas (Norris & Hawkins, 2000).

Aun cuando la contaminación del agua es ante todo un problema biológico, muchos países han dependido esencialmente de parámetros físico-químicos para evaluar la calidad del agua. Para ello, se han desarrollado numerosos métodos e índices que tratan de interpretar la situación real, o grado de alteración de los sistemas acuáticos. Unos se basan exclusivamente en análisis de las condiciones químicas, que si bien “en principio” son de una gran precisión, son testigos, de las condiciones instantáneas de las aguas, y los efectos de los contaminantes se detectan si son dispuestos en el momento. Es decir, los resultados son puntuales en la dimensión cronológica y no revelan mucho de la evolución de una carga contaminante y la capacidad resiliente y amortiguadora de los ecosistemas acuáticos.

Como una alternativa a estos procedimientos, desde hace varios años muchos países han generado conocimientos y desarrollo de técnicas de *biomonitoreo* basados en indicadores biológicos, a través de la evaluación de reacciones e índices de sensibilidad de organismos vivos ante la presencia de sustancias contaminantes en los sistemas acuáticos. Los llamados índices biológicos informan de la situación tanto momentánea como de lo acontecido algún tiempo antes de la toma de muestras, es decir, es como tener información del presente y pasado de lo que esta sucediendo en las aguas (Alba-Tercedor, 1988). La literatura revela que de los organismos acuáticos, los macroinvertebrados y microalgas son los dos grupos que ha menudo se recomienda usar en evaluaciones de la calidad del agua (Hellowell 1986, Christie et al, 1993; Kelly & Whitton, 1995, Roldan 1999).

Microalgas: De las microalgas, las diatomeas son preferidas para los monitoreos debido a que son generalmente el grupo autotrófico dominante, además que la identificación de las especies de diatomeas es más simple que la de otros componentes (Cianobacterias, Chlorophyceae, etc.), además, las diatomeas están presentes a lo largo de todo el río, y presentes a través de todo el año, no presentan complicaciones en su ciclo y ecológicamente son mejor conocidos que otros grupos (Round 1993). Entre los trabajos realizados con diatomeas bentónicas como bioindicadores, destacan los llevados a cabo por Langue-Bertalot, 1979; Fabrí, 1987; Guhl, 1987; Prygiel, 1990; Prygiel & Coste, 1993; Christie et al, 1993; Kelly & Whitton, 1995; Basualto & Tapia, 1997; Steinberg & Schiefele, 1998; Fritz, 1999; Gómez & Licursi, 2001 y Lobo, 1995, 1996, 1997 y 2002. En todos estos trabajos, se han identificado un conjunto de



variables físico-químicas que determinan con mayor frecuencia la presencia de determinadas taxa de diatomeas bentónicas, indicadoras de una condición específica: pH, temperatura, salinidad, nitrógeno, requerimiento de oxígeno, saporidad, estado trófico y mezcla de la columna de agua. No obstante, el uso de diatomeas bentónicas como bioindicadores del estado de los ecosistemas acuáticos, ha sido menos desarrollada que los macroinvertebrados bentónicos. Se asume que esta deficiencia esta dada por la dificultad metodológica y taxonómica que conlleva su utilización. Sin embargo, debido a que estos microorganismos son capaces de responder a los cambios del medio de manera rápida, puesto que su crecimiento depende de la incorporación directa de sustancias disueltas en el agua (nutrientes, sales, metales), pueden ser de gran utilidad como factores de referencia del medio en el que están.

Las ventajas de emplear diatomeas como indicadoras de la calidad de las aguas pueden ser resumidas de la siguiente manera: a) son cosmopolitas, b) algunas especies de este grupo son muy sensibles a los cambios ambientales, mientras otros son muy tolerantes, c) son sensibles a cambios ambientales ya sea en cortos o largos períodos de tiempo (paleolimnología), d) fáciles y rápidas de muestrear en grandes cantidades y sobre pequeñas áreas superficiales, e) el material utilizado para el montaje de las preparaciones, puede ser preservado, re-chequeado y distribuido a otros laboratorios, f) las preparaciones hechas para la identificación son permanentes, entonces, comparaciones pueden ser realizadas por otros investigadores, g) estas algas son particularmente manejables, debido a sus paredes celulares de sílice (generalmente denominadas como frústulos) son raramente dañadas al ser removidas de los sustratos naturales o artificiales, h) son fácilmente cultivables y por lo tanto muy adecuados para trabajos experimentales bajo condiciones controladas para determinar respuestas a cambios, i) existe mucha información ecológica referida a sus rangos de tolerancia ambiental.

Como se menciona más arriba, la habilidad de responder rápidamente a los cambios del medio, le otorga a este grupo gran importancia en la detección de compuestos vertidos ocasionalmente. Asimismo, por el hecho de utilizar un hábitat bentónico, muchos compuestos de condición inestable en la fracción disuelta, pueden ser capturados e incorporados por estos microorganismos desde el sedimento, pudiéndose detectar un evento de contaminación puntual, aunque ya no pueda ser medido dicho elemento en el agua. Por otra parte, su utilidad no se basa únicamente en una aproximación poblacional, sino también en respuestas en el ámbito comunitario, tales como: riqueza, abundancia, índices de diversidad y equidad, entre otros. En relación con esto último, debido a que se trata, en la mayoría de los casos de muchas especies oportunistas y pocas dominantes, resulta más fácil determinar el efecto de un contaminante a nivel comunitario ya sea como: 1) desaparición de los taxa de baja frecuencia y abundancia y/o 2) desaparición de los taxa dominantes.

Entre los índices más utilizados en el estudio de diatomeas como indicadores biológicos, que se han utilizado exitosamente en otros países están a) Índice biológico diatómico (IBD), b) Índice biológico general normalizado (IBGN), c) Índice General Diatómico (IDG), d) Índice Sapróbico (SI).



Macroinvertebrados bentónicos: El uso de macroinvertebrados para valorar y determinar la calidad del agua tiene cuando menos 100 años de antigüedad. De estas técnicas, los insectos acuáticos (entre un 70-90% de la fauna de macroinvertebrados dulceacuícolas) han sido el grupo más estudiado para evaluar la calidad del agua por muchos investigadores (Hellawell, 1986; Abel; 1989; Rosenberg & Resh; 1993, 1996).

Los macroinvertebrados acuáticos son generalmente abundantes, relativamente fáciles de recolectar y tienen el suficiente tamaño para ser observados si necesidad del microscopio, o cuando menos se prescinde de infraestructura sofisticada. Presentan las siguientes ventajas de acuerdo a Rosenberg & Resh (1996): a) prácticamente universales, b) son sedentarios, c) son extremadamente sensibles a perturbaciones, d) presentan largos ciclos de vida, e) muestran una respuesta inmediata ante un determinado impacto, f) existe un patrón de estímulo-respuesta ante alteraciones físico-químicas, g) existen métodos de evaluación y conocimiento sobre taxonomía para algunas regiones.

Así por ejemplo, en ríos de montaña de aguas frías, muy transparentes, oligotróficas y muy bien oxigenadas, se espera siempre encontrar poblaciones dominantes de plecópteros, tricópteros y efemerópteros; pero también se espera encontrar en bajas proporciones, odonatos, hemípteros, dípteros, neurópteros, ácaros, crustáceos, y otros grupos menores (Roldán, 1999). Por el contrario, en ríos y quebradas que están siendo contaminadas con materia orgánica, de aguas turbias, con poco oxígeno y eutrofizadas, se espera siempre encontrar poblaciones dominantes de oligoquetos, quironómidos y ciertos moluscos; pero ocasionalmente, pueden presentarse algunos individuos que se consideran indicadores de aguas limpias. La situación así planteada, resulta aparentemente fácil de entender y de aplicar. De hecho, una persona experimentada en reconocer a simple vista todos estos organismos en el campo, en unos pocos minutos después de levantar algunas rocas y troncos sumergidos, y de acuerdo a las características de olor y color de las aguas, puede con certeza dar un diagnóstico rápido acerca de la calidad del agua. En otras palabras, puede afirmar con relativa seguridad si el ecosistema no está perturbado, o si por el contrario, algo preocupante está sucediendo.

Los índices más utilizados para la evaluación de la calidad del agua con macroinvertebrados bentónicos son el Sistema Saprobio (Kolkwitz & Marsson 1909), BMWP (Biological Monitoring Working Party), desarrollado para Gran Bretaña y BMWP' adaptado a la península Ibérica, IBF (Índice Biótico de Familias) utilizado en EEUU. Las ventajas de la mayoría de estos índices, es que para su utilización sólo se necesita conocer a nivel de familia cada uno de los grupos presentes en el sistema acuático, lo que soluciona el gran problema de nuestro país respecto a la falta de especialistas, taxónomos de los estados inmaduros de insectos acuáticos.

Un ecólogo de este tipo, es como un médico experimentado, que con sólo una auscultación general a un paciente lo encuentran bien de salud; o por el contrario, descubre algunos síntomas que lo hacen pensar que algo está afectando dicho paciente. Este símil lleva a pensar como un ecólogo acuático, al igual que un especialista clínico, debe conocer los métodos y los equipos que le permitan hacer una



evaluación más certera del ecosistema. Si a esto se suman una serie de análisis físico-químicos y microbiológicos, el ecólogo acuático o limnólogo, podrá con mayor certeza diagnosticar el verdadero estado del ecosistema. Es por lo tanto, importante reconocer el gran valor que tiene la bioindicación como método para evaluar la calidad del agua. *La presencia de una comunidad en un cuerpo de agua determinado, es un índice inequívoco de las condiciones que allí está prevaleciendo y que las fluctuaciones de contaminación que puedan presentarse, no son lo suficientemente fuertes como para provocar un cambio significativo en la misma.*

Así, por ejemplo, si en una zona determinada de un río se encuentran valores altos de oxígeno, poca turbiedad, bajo color y baja conductividad, pero la fauna encontrada está dominada por oligoquetos, moluscos y quironómidos, no hay duda que en dicho sitio prevalecen la mayor parte del tiempo condiciones de extrema contaminación y que los momentos de alta oxigenación que puedan ocurrir son tan fugaces, que no son suficientes para provocar cambios significativos en la estructura de la comunidad. Estas condiciones se dan, por ejemplo, después de una fuerte lluvia, en que el agua se oxigena por la dilución y la turbulencia.

2. Situación en Chile: En Chile existe poca información respecto a los organismos acuáticos utilizados como bioindicadores de la calidad del agua. En contraste a lo ocurrido en la mayor parte del hemisferio norte, las comunidades de macroinvertebrados bentónicos de los ecosistemas acuáticos continentales chilenos han sido abordadas recién en las últimas décadas (Campos et al. 1984; Valdovinos et al. 1993; Arenas, 1995; Habit et al. 1998; Valdovinos & Araya, 1998; Valdovinos & Figueroa, 2000; Muñoz et al., 2001; Valdovinos, 2001; Moya et al., 2002). En nuestro país, el único trabajo donde se han utilizados al grupo de los macroinvertebrados bentónicos dulceacuícolas como indicadores de la calidad del agua pertenece a Figueroa et al. (2003) que utiliza el índice IBF (Índice biótico de Familias, Hinselhoff 1988), donde se evalúa la calidad del agua del río Damas (Osorno) con una muy buena aproximación respecto a lo obtenido en la evaluación físico-química. Respecto al grupo de las diatomeas, entre los escasos trabajos realizados en ríos de Chile, destacan el llevado a cabo por Basualto y Tapia (1997), quienes utilizaron diatomeas como bioindicadores de metales pesados en dos cuerpos de agua de la VII región (río Claro y estero Piduco), donde fueron descritas asociaciones características de microalgas representativas de condiciones ambientales distintas. Otros trabajos desarrollados en el mar, específicamente en la Bahía de Antofagasta (II Región-Chile), dan cuenta también de la importancia de las diatomeas como indicadores de contaminación de diversos tipos (Rodríguez, 1999).

España y EEUU son uno de los países donde el uso de bioindicadores para la evaluación de la calidad del agua ha tenido mayor relevancia y aceptación. En España, la Directiva Marco del Agua (2000/60/CE) obliga a mantener o lograr un buen estado ecológico en todos los ecosistemas acuáticos que pertenecen a los estados miembros de la comunidad europea, para cumplir este objetivo, el uso de los bioindicadores es uno de sus métodos de evaluación esencial, desarrollando interesantes métodos de evaluación integrada entre índices biológicos y químicos.



En Chile, Muchas de las normativas para controlar los impactos negativos que se están sucediendo en los sistemas acuáticos, están sólo recién siendo elaboradas o aplicadas y sólo en este último año se ha presentado un *Instructivo Presidencial* el cual imparte instrucciones para la dictación de normas secundarias de calidad ambiental para aguas continentales superficiales y aguas marinas, donde CONAMA se encuentra coordinando este proceso (2003). Los parámetros y límites a considerar para la elaboración de las normas secundarias tendrían por objetivo general “Proteger, mantener y recuperar la calidad de las aguas continentales superficiales de manera de salvaguardar la salud de las personas, el aprovechamiento del recurso, la protección y conservación de las comunidades acuáticas y de los ecosistemas lacustres, maximizando los beneficios sociales, económicos y medioambientales”.

Esto permite subentender que la conservación de las comunidades acuáticas debe ser evaluada a través de una calidad “ecológica del sistema”, desde un punto de vista físico y químico pero indudablemente también biológico. Asimismo, esta norma deja abierta la opción para el uso de bioensayos de toxicidad y los indicadores biológicos (Instructivo Presidencia: Il. 8), que pueden ser utilizados como herramientas complementarias para determinar el impacto producido por situaciones relacionadas con la conservación de las comunidades acuáticas, los usos prioritarios o el estado trófico de los lagos, canales, fiordos y estuarios. Como decíamos anteriormente, la presencia de una comunidad en un cuerpo de agua determinado, es un índice inequívoco de las condiciones que allí están prevaleciendo, la calidad ambiental de un sistema acuático no siempre es evaluada con certeza a través de los análisis químicos.

3. Río Maipo (Santiago, Chile): El creciente interés por conocer el estado de los cuerpos acuáticos y monitorear su evolución en el tiempo, mediante datos técnico-científicos y estadísticos que validen los resultados, ha estimulado una fuerte investigación durante las últimas décadas en la búsqueda de establecer estándares que permitan satisfacer las demandas de los diferentes sectores de uso del recurso.

La Comisión Nacional de Riego, es un organismo de Gobierno, organizada en un Consejo de Ministros integrado por los titulares de Agricultura, Economía, Fomento y Reconstrucción; Hacienda; Obras Públicas y, Planificación y Cooperación. Opera a través de una Secretaría Ejecutiva, la cual tiene como función principal ejecutar los acuerdos que el Consejo adopte. Se encuentra desarrollando varios estudios en el marco de la estrategia de producción limpia “Diagnóstico y análisis de la calidad de agua de riego en las cuencas de Huasco y Mataquito”; “Manejo de Aguas y Fomento de Agricultura Limpia”; y en el estudio denominado “*Diagnóstico y aprovechamiento de las aguas servidas tratadas del río Maipo*” donde se incorporó “el estudio “Metodología para la determinación de la calidad del agua mediante comunidades biológicas”, con el objeto de validar un método que ha mostrado una muy buena correlación con el estado ambiental de los recursos hídricos. El estudio está siendo realizado por profesionales de la CNR (Comisión Nacional de Riego), JICA (Agencia para la Cooperación Internacional del Japón), Universidad de Chile y CEA Ltda. (Centro de Ecología Aplicada), como ejemplo además de un grupo de trabajo interdisciplinario e interinstitucional.



Objetivo General

- Desarrollar una metodología para la determinación de la calidad del agua del río Maipo mediante comunidades biológicas utilizando como bioindicadores a diatomeas y macroinvertebrados bentónicos, apoyados en parámetros físicos y químicos de modo de validar su uso.

Objetivos Específicos

- Caracterizar la calidad físico-química del río Maipo y sus principales afluentes.
- Caracterizar la calidad del agua del río Maipo y principales afluentes mediante el análisis de los parámetros comunitarios de diatomeas y macroinvertebrados bentónicos.
- Caracterizar la calidad del agua del río Maipo y principales afluentes mediante la aplicación de índices bióticos.
- Encontrar taxa indicadoras de una buena, regular y mala calidad de las aguas de la cuenca del río Maipo mediante análisis multivariados.
- Comparar los resultados obtenidos mediante la aproximación físico-química, con los índices de diversidad, índices bióticos y análisis multivariados.

Para llevar a cabo los objetivos propuestos se realizó una campaña de muestreo entre los días 6 y 13 de Mayo del 2003, donde se seleccionaron 30 estaciones en distintos tramos del río y principales afluentes, esperando encontrar diferencias en la calidad del agua, debido a las diferencias en el grado de alteración a la que se encuentra sometida la cuenca, donde se han localizado efluentes del tipo puntual (efluentes domésticos, efluentes industriales, residuos aguas tratadas, entre otros), que descargan directamente al río. De las 30 estaciones seleccionadas (Figura 1), 23 de ellas (M1-M23) fueron ubicadas longitudinalmente en el curso principal, desde el nacimiento del río hasta su desembocadura, y 7 estaciones (T1-T7) en distintos afluentes de modo que abarcaran las diferentes zonas de la cuenca del río Maipo (sector alto, medio y bajo). Algunas estaciones fueron ubicadas aguas inmediatamente arriba y abajo de los efluentes puntuales, además de las zonas de impacto, para así obtener la mayor variabilidad de escenarios en relación con la calidad del agua.

En cada una de las estaciones fueron evaluados parámetros físicos y químicos *in situ* como temperatura, pH, conductividad, oxígeno disuelto, porcentaje de saturación, salinidad, granulometría, velocidad y profundidad. En laboratorio, fueron analizados parámetros como Turbiedad, DBO, SST, SDT, Macroelementos, Nutrientes, Materia orgánica particulada/ fondo y Metales (disuelto y particulado). Todos los análisis fueron realizados siguiendo métodos estándares dados por Standard Methods (APHA 1995). Con respecto al muestreo biológico, se tomaron muestras de los organismos pertenecientes al grupo de las diatomeas y macroinvertebrados bentónicos dulceacuícolas en las 30 estaciones seleccionadas. Se tomaron 6 réplicas por estación (muestras cuantitativas) más una muestra cualitativa. La metodología utilizada para la obtención de las muestras de diatomeas correspondió al propuesto por Davis & Gee (1993), que consiste en un cilindro de acrílico de aproximadamente 20 ml, que tiene adosado un émbolo más un cepillo en su extremo de manera de barrer, en el área del



cilindro, toda la cobertura de perifiton. La metodología utilizada para la obtención de las muestras de macroinvertebrados bentónicos fue a través de una red Surber de 0,1 m² de área de superficie de muestreo y 250 µm de abertura de malla, siguiendo las especificaciones de la norma ASTM (1989).

Se utiliza un método de ordenación, *Análisis de correspondencia canónica*, para aplicar y predecir las abundancias y presencia de los organismos evaluados a partir de las variables ambientales (parámetros físico-químico). A partir de este análisis, se validan y/o adaptan los índices utilizados en otros países a la realidad taxonómica de Chile.

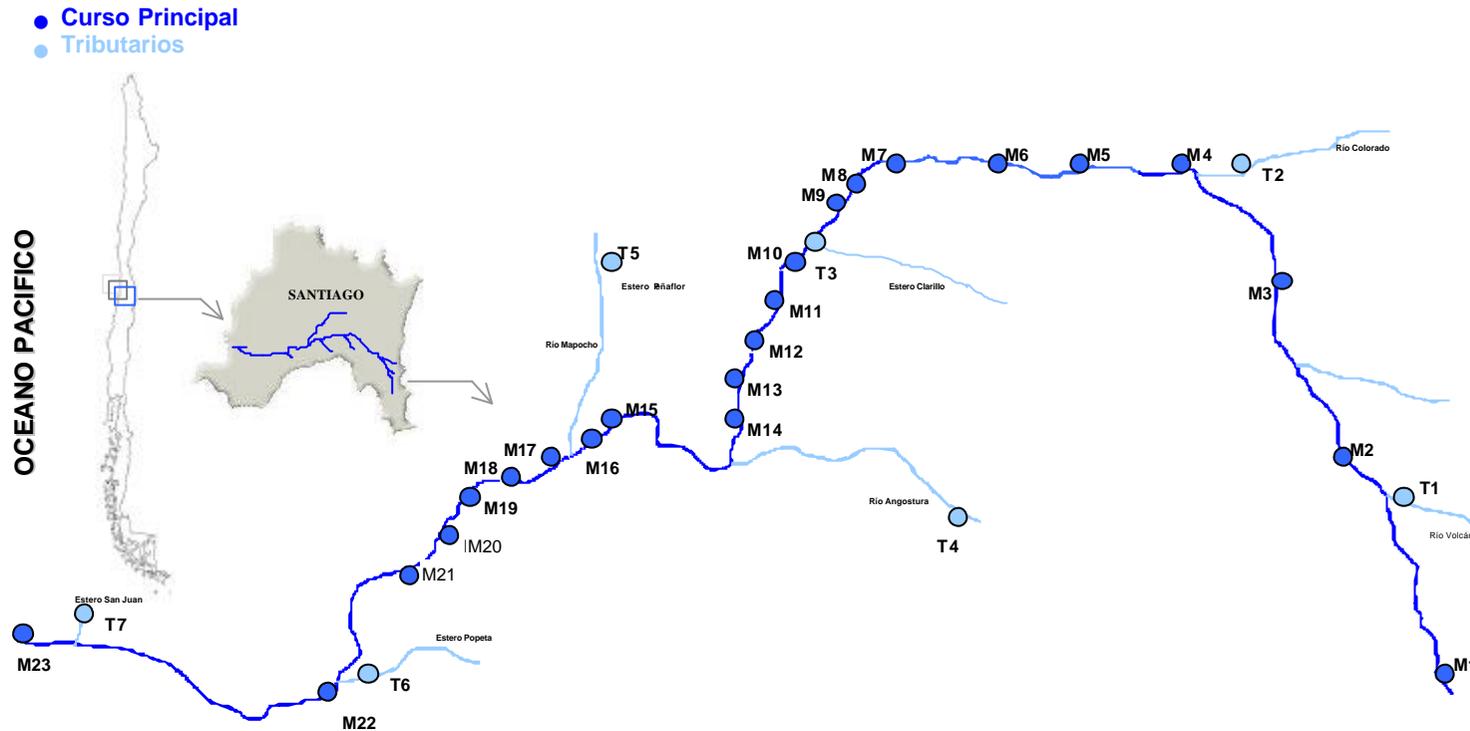
4. Resultados esperados

- a) Poder caracterizar el estado actual de la cuenca del río Maipo, mediante el análisis de los parámetros comunitarios e índices bióticos utilizando a diatomeas y macroinvertebrados bentónicos como indicadores de la calidad de las aguas. Validar su correspondencia con los parámetros físicos y químicos.
- b) Validar el uso de índices ya utilizados en otros países con la situación taxonómica chilena.
- c) Establecer las bases para desarrollar una metodología para la evaluación y monitoreo de la calidad de las aguas de los sistemas lóticos de Chile utilizando a organismos como indicadores .
- d) Elaborar mapas de calidad de las aguas utilizando los organismos indicadores y parámetros físico-químicos



CUENCA DEL RÍO MAIPO

Estaciones de Muestreo



M1: Río Maipo sector Las Melosas, **M2:** Río Maipo sector Ingenio, **M3:** Río Maipo sector de San Alfonso, **M4:** Río Maipo aguas abajo desembocadura río Colorado, **M5:** Río Maipo sector la Lajas, **M6:** Río Maipo sector Las Vertientes, **M7:** Río Maipo aguas arriba efluentes aguas servidas e industriales, **M8:** Río Maipo inmediatamente aguas abajo alcantarillado industrial (matadero), **M9:** Río Maipo a 100 m de alcantarillado aguas industriales (matadero), **M10:** Río Maipo aguas arriba alcantarillado aguas servidas, sector Los Morros, **M11:** Río Maipo a 1 Km. aguas abajo alcantarillado aguas servidas, sector Los Morros, **M12:** Río Maipo en Panamericana, **M13:** Río Maipo aguas arriba alcantarillado aguas servidas, sector Viconto, **M14:** Sector Valdivia de Paine, bajo 2 alcantarillados aguas servidas, **M15:** Sector Viconto sector Naltahua, **M16:** Río Maipo antes de la desembocadura río Mapocho, **M17:** Río Maipo aguas abajo desembocadura río Mapocho, **M18:** Río Maipo en sector Chihue (Juncal), **M19:** Río Maipo aguas arriba industria Bata y efluente aguas tratadas, sector Melipilla, **M20:** Río Maipo inmediatamente aguas abajo Planta de tratamiento aguas servidas, **M21:** Río Maipo en sector Quincagüe, **M22:** Río Maipo en sector Cabimbao, **M23:** Río Maipo aprox. a 4 km. de la desembocadura, **T1:** Estero Volcán, **T2:** Estero Colorado, **T3:** Estero Clarillo, **T4:** Estero Angostura (Carretera Panamericana), **T5:** Vertientes sector Trapiche, sector de Peñafior, **T6:** Estero Popeta, en puente Codigua, **T7:** Estero San Juan, sector desembocadura

Figura 1. Estaciones de muestreo. Cuenca del río Maipo.



5. Referencias

- ABEL, P.** Water pollution biology. Ellis Horwood, Chichester, England. 1989. 387 pp.
- ALBA-TERCEDOR, J.** Un método rápido y simple para evaluar la calidad biológica de las aguas corrientes basado en el de Hellawell (1978). *Limnética*, 4: 51-56. 1988.
- APHA, AWWA & WFF.** Standard Methods: for the examination of water and wastewater. 1995. 19 Edition.
- ARENAS, J.N.** Composición y distribución del macrozoobentos del curso principal del río Biobío, Chile. *Medio Ambiente* 12 (2): 39-50. 1995.
- ASTM.** Standard guide for selecting grab device for collecting benthic macroinvertebrates. American Society for Testing and Materials. ASTM D/ 4387. 1989. 84 pp.
- BASUALTO, S. & TAPIA, J.** Fitobentos como indicador de metales pesados. *Bol. Soc. Chil. Quím.* (42). 1997. 371-377 pp.
- CAMPOS, H., ARENAS, J., JARA, C., GONSER, T. & R. PRINS.** Macrozoobentos y fauna íctica de las aguas límnicas de Chiloé y Aysén continentales (Chile). *Medio Ambiente* 7: 52-64. 1984.
- CHRISTIE, C. & J. SMOL.** Diatom Assemblages as Indicators of Lake Trophic Status in Southeastern Ontario Lakes. *J. Phycol.* 29: 575-586. 1993.
- CONAMA.** Instructivo presidencial para el establecimiento de las normas de las normas secundarias de calidad ambiental para aguas continentales superficiales y marinas. 2003. 19 pp.
- DAVIES, A. & J., GEE.** A simple periphyton sampler for algal biomass estimates in streams. *Freshwater Biology* 30:47-51. 1993
- FABRI, R.** Bio-indicateurs et signification des indices diatomiques de qualité des eaux. *Cah. Biol. Mar.* 28:285-289. 1987
- FIGUEROA, R., VALDOVINOS, C., ARAYA, E. & O. PARRA.** Macroinvertebrados bentónicos como indicadores de calidad del agua de ríos del sur de Chile. *Revista Chilena de Historia Natural.* 7:275-285. 2003
- FIGUEROA, R., ARAYA, E. & C. VALDOVINOS.** Deriva de macroinvertebrados bentónicos en un sector de rítrón: Río Rucúe, Chile Centro-Sur. *Boletín de la Sociedad de Biología de Concepción (Chile).* 71: 23-32. 2000.
- FRITZ, S.** Diatoms as Indicators of Hydrologic and Climatic Change in Saline lake. In **STOERMER, E.F. & J.P. SMOL.** The Diatoms Applications for the environmental and Earth Sciences. Cambridge University Press. 1999.
- GÓMEZ, N. & M. LICURSI.** The Pampean Diatom Index (IDP) for Assesment of Rivers and Streams in Argentina. *Aquatic Ecology* 35: 173-181. 2001.
- GUHL, W.** Aquatic Ecosystem Characterizations by Biotic Indices. *Int. Revue ges. Hydrobiol.* 72 (4): 431-455. 1987.
- HABIT E., BELTRÁN, C., ARÉVALO, S. & P. VICTORIANO** Benthonic fauna of the Itata river and irrigation canals (Chile). *Irrigation Sciences*, 18: 91-99. 1998.
- HELLAWELL, J.M.** Biological indicators of freshwater pollution and environmental management. Elsevier, England. 1986. 546 pp.
- HILSENHOFF, W.** Rapid field assesment of organic pollution with a family level biotic index. *Journal of the North American Benthological Society* 7:65-68. 1988.
- KELLY, M. & B. WHITTON.** The Trofic Diatom Index: a New Index for Monitoring Eutrofication in River. *Journal of Applied Phycology* 7: 433-444. 1995.



- LOBO, E.** Estudo da Qualidade da Água do Rio Pardinho, Municipio de Santa Cruz do Sul, Rio Grande do Sul, Brasil. Tecno-Lógica. Santa Cruz do Sul, v.1, n.1, p.11-36. 1997.
- LOBO, E.** Pollution Tolerant Diatom from Lotic System in the Jacuí Río Grande do Sul, Brazil. IHERINGIA, Sér. Bot., Porto Alegre, n.47, p. 45-72. 1996.
- LOBO, E.** Utiliza?ão de Algas Diatomáceas Epilíticas como Indicadores da Qualidade da Água em rios e Arroios da Região Hidrográfica do Guaíba, RS, Brasil. Editora da UNISC (Universidad Santa Cruz do Sul). 2002.
- LOBO, E.** Response of Epilithic Diatom Assemblages to Water Pollution in Rivers in the Tokyo Metropolitan Area, Japan.. Freshwater Biology 34: 191-204. 1995.
- MOYA, C., VALDOVINOS, C. & V. OLMOS.** Efecto de un embalse sobre la deriva de macroinvertebrados en el río Biobío (Chile Central). Boletín de la Sociedad de Biología de Concepción, Chile. 73. (en prensa). 2002.
- MUÑOZ S., MENDOZA, G. & C. VALDOVINOS.** Evaluación rápida de la biodiversidad en 5 sistemas lénticos de Chile Central: Macroinvertebrados bentónicos. Gayana 65: 173-180. 2001.
- NORRIS, R. & C. HAWKINS.** Monitoring river health. Hydrobiología 435: 5-17. 2000.
- PRYGIEL, J. & M. COSTE.** Utilization des indices diatomiques pour la mesure de la qualité des eaux du bassin Artois-Picarde : bilan et perspectives. Annls Limnol. 29 (3-4): 255-267. 1993.
- PRYGIEL J.** Diatomées et Qualité des eaux. Principales méthodes indiciaires utilisées en France. DAIPO de Watanabe, Annexe Methodologique. 1990.
- RODRÍGUEZ, L.** Revisión sobre fitoplancton y mareas rojas en masas de agua de la zona Antofagasta. Seminario taller: Estado del Conocimiento sobre ENSO en el norte de Chile, Coquimbo, Chile. 1999.
- ROLDÁN, G.** Los macroinvertebrados y su valor como indicadores de la calidad del agua. Rev. Acad. Colomb. Cienc. 23 (88): 375-387. 1999.
- ROSENBERG, D. M. & V.H. RESH.** Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates. Chapman & Hall, New York .1993. 488 pp.
- ROSENBERG, D. M. & V.H. RESH.** Use of aquatic insects in biomonitoring *In: Aquatic Insects of North American*, Ed. By R.W. Merrit & K.W. Cummins. Third Ed. Dubuque, Iowa, Kendall / Hunt Publishing. Company. Pp. 87-97. 1996.
- ROUND, F.E., CRAWFORD, R.M. & D.G. MANN.** The diatoms. Biology & Morphology of the genera. Cambridge University Press, pp. 1993. 747.
- STEIBERG, C. & S. SCHIEFELE.** Biological Indication of Trofy and Pollution of Running Waters. Z. Wasser-Abwasser-Forsch. 21, 227-234. 1988.
- VALDOVINOS, C. & E. ARAYA.** Zoobentos. Documentos de síntesis. Estudio de línea de base para la evaluación del impacto ambiental del complejo Forestal industrial Itata, Centro Eula-Chile, Universidad de Concepción: 67-77. 1998.
- VALDOVINOS, C. & R. FIGUEROA.** Benthic community metabolism and trophic conditions of four South American lakes. Hydrobiología 429:151-156. 2000.
- VALDOVINOS, C.** Riparian leaf litter processing by benthic macroinvertebrates in a woodland stream of central Chile. Revista Chilena de Historia Natural 74: 445-453. 2001.
- VALDOVINOS, C., STUARDO, J. & J. ARENAS.** Estructura comunitaria del macrozoobentos de la zona de transición rítrón-potamón del río Biobío. Monografías científicas Eula (Chile) 12:217-247. 1993.