

INFORME TECNICO

**MEJORAMIENTO DE CALIDAD DE
AGUAS DE RIEGO**

**EXPERTO DE JICA
COMISION NACIONAL DE RIEGO
MINISTERIO DE AGRICULTURA**

JUN KUROSAWA

Noviembre 2003

COMENTARIOS SOBRE EL INFORME

Las actividades que me han sido encomendadas en Chile, comienzan con mi incorporación al Ministerio de Agricultura de la República de Chile en Junio del año 2002, formando parte de la Comisión Nacional de Riego y efectuando labores principalmente relacionadas con la conservación del medio ambiente agrícola . Quisiera expresar mi más profundo agradecimiento a Don Héctor Jeria, de la contraparte chilena, a los funcionarios de la CNR comenzando con Don Nelson Pereira y a los funcionarios de ODEPA comenzando con Doña Cecilia Rojas, quienes mediante su colaboración se pudo llevar a cabo las actividades realizadas.

Dentro de las actividades efectuadas, se incluyen la coordinación de proyectos ejecutados en conjunto entre los gobiernos de Chile y Japón como el proyecto CADEPA (Conservación del Medio Ambiente y Desarrollo Rural Participativo en el Secano Mediterráneo de Chile) en Chillán, realización de solicitudes de nuevas actividades al Gobierno de Japón, entre otros. Centrándose principalmente en el mejoramiento de la calidad de aguas de riego. Este es un tema de gran importancia en la agricultura nacional en estos momentos, tanto desde el punto de vista de garantizar la calidad de los productos agrícolas chilenos, como la protección del medio ambiente de los habitantes de las áreas agrícolas.

Asimismo, quisiera manifestar la satisfacción de haber concretado la introducción de un sistema de eliminación de arsénico en la localidad de San Pedro de Atacama, la cual me fue encomendada por la Embajada de Japón en el año 2002, cuando recién comenzaba mi labor en Chile. Cabe destacar, que para ello hubo un gran esfuerzo del experto anterior, el Sr. Sawayama. Adicionalmente, durante el año 2002, se instalaron equipos de SIG, de gran importancia para estudios y diseños de proyectos, un centro meteorológico en INIA Intihuasi, entre otros.

Durante el año 2003, se continuó realizando labores comenzadas en el segundo semestre del año pasado, como el estudio de calidad de aguas del río Mataquito y estudios biológicos en el río Maipo, realizándose este último gracias a la cooperación de la Universidad de Chile. Adicionalmente, se efectuaron estudios de un problema de calidad de aguas surgido en el proyecto CADEPA.

Como se menciona en el presente informe, se ejecutaron labores centradas a la problemática de calidad de aguas de riego. Sin embargo, para la solución de un tema concreto en la problemática de esta índole, se requiere de una amplia experiencia administrativa y un profundo conocimiento específico del tema, además de una gran inversión que abarca desde la parte experimental de estudio y análisis hasta la formulación

de proyectos y su ejecución incluyendo construcciones. Por lo mismo, hay una gran parte en donde el esfuerzo de un solo experto no da a vasto. Por ende, en las labores realizadas hasta ahora en relación a la calidad de aguas, podría decirse que tienen relevancia el pequeño número de construcciones y unas cuantas propuestas hechas acerca del mejoramiento de la calidad de aguas.

En el presente informe, se resumen las propuestas realizadas en relación al mejoramiento de la calidad de aguas de riego. En cuanto al contenido, quizás para un experto en calidad de aguas, sea considerado como conocimiento básico. Sin embargo, para las personas del rubro agrícola es un problema relativamente nuevo, y el informe se ha distribuido a cada uno de los encargados, esperando que sea un aporte para ellos. La mayoría de la información es una confirmación de conocimientos ya existentes. A pesar de ello, la aplicación de la Metodología para la Determinación de Calidad Hídrica mediante Comunidades Biológicas en el río Maipo es un nuevo resultado de investigación.

El informe contempla los siguientes temas:

- **Nociones Generales sobre la Calidad de Aguas de Riego**
- **Introducción de la Metodología para la Determinación de Calidad de Hídrica mediante Comunidades Biológicas en Chile**
- **Estrategias de Control de Eutroficación de Aguas de Riego**
- **Consideración sobre la Metodología para la Determinación de la Calidad del Agua mediante Comunidades Biológicas en la Cuenca del Río Maipo**

Las informaciones anteriormente mencionadas fueron escritas durante Diciembre del 2002 y Octubre del presente año. Particularmente, en las informaciones escritas a comienzos del período de trabajo, puede contener una percepción incompleta sobre la situación de Chile. Si lo hubiera, quisiera pedir mis sinceras disculpas al respecto. También, hay informaciones que se reiteran, y la mayoría se refiere a metodologías de estudio, análisis y control para el mejoramiento de la calidad de aguas de riego. Dentro de ello, la investigación sobre la Metodología para la Determinación de Calidad de Hídrica mediante Comunidades Biológicas, fue, personalmente, una gran experiencia en la cual pude aprender muchísimo. Por ello, quisiera expresar mi inmensa gratitud a las personas de CNR y la Universidad de Chile.

Noviembre de 2003

JUN KUROSAWA
Experto de JICA
Comisión Nacional de Riego
Ministerio de Agricultura

**NOCION GENERALES SOBRE LA CALIDAD
DEL AGUA**

Diciembre 2002

NOCIONES GENERALES SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA DE RIEGO

Jun Kurosawa
Experto de JICA

Comisión Nacional de Riego

Ministerio de Agricultura.

Diciembre 2002

1.- INTRODUCCIÓN

Actualmente, están en discusión en todo el mundo y desde diversos puntos de vista, los problemas de la conservación de la calidad del agua y el poder asegurar nuevas fuentes de abastecimiento del recurso, siendo ambos considerados como una tarea urgente. Esto se debe, principalmente, a las siguientes causas:

- El desarrollo acelerado de la industria y la minería está produciendo grandes cantidades de residuos contaminantes que superan la capacidad de tratamiento de los cuerpos de agua.
- La modernización de la agricultura y el alto grado de exigencia de los consumidores, han inducido al uso de grandes cantidades de agroquímicos (fungicidas, herbicidas, insecticidas) y de fertilizantes químicos.
- El incremento de la población y la concentración de ésta en las ciudades, superan la capacidad de la infraestructura de tratamiento de aguas residuales domésticas, las cuales están siendo evacuadas en los cursos del agua, sobrepasando la capacidad de asimilación del ambiente.
- El desarrollo de conocimientos sobre los agroquímicos residuales en los alimentos, constituye una tarea urgente para asegurar la inocuidad en el abastecimiento de productos agrícolas.
- La aceleración del libre comercio de los productos agrícolas, ha generado una nueva barrera, que es el como poder garantizar la inocuidad de los productos agrícolas importados, sobre todo en los países de mayor desarrollo.
- El desarrollo de la conciencia de la población sobre la preservación ambiental, exige la disminución de cargas contaminante al ecosistema.
- La necesidad de asegurar nuevas fuentes hídricas, requiere explorar recursos que hasta ahora se consideraban no aptos, como es el caso de las aguas salinas.

- El aumento significativo de la construcción de grandes represas post Segunda Guerra Mundial, ha aumentado la sedimentación de suelos, arenas y materia orgánica, esto se manifiesta como un problema de la calidad de los recursos hídricos en los cuerpos de agua.

En el caso de Chile, son válidas todas las causas anteriormente expuestas, sin embargo se deben considerar, con especial atención, los siguientes puntos:

a) El problema de la contaminación por metales pesados. Existen dos tipos de esta contaminación, uno es la contaminación natural (ej: arsénico que se filtra desde el Altiplano en la I y II Región) y el otro es la contaminación artificial (ej: contaminantes filtrados desde los residuos mineros ubicados en todo el territorio).

b) El problema de la contaminación por materia orgánica y agroquímicos. La contaminación de los ríos de la Región Metropolitana manifestada por el alto DBO, es una de las contaminaciones típicas, este problema esta surgiendo también en otras regiones, como en el caso del Lago Rapel en la VI Región.

c) El problema de la contaminación por bacterias. Debido a la falta de tratamiento de las aguas servidas, bacterias que afectan la salud humana son evacuadas a los cuerpos de agua, a esto se suma el aumento de los residuos de productos agroquímicos.

El resultado de estas situaciones puede ocasionar trastornos en el desarrollo, la calidad y cantidad de los productos agrícolas. En Chile, donde el fomento de las exportaciones de estos productos, hacia Europa y Estados Unidos, constituye uno de los fundamentos de la política agraria, el tema de asegurar la calidad debe ser prioritario.

La aceleración del libre comercio de los últimos años ofrece a Chile condiciones beneficiosas, sin embargo, los países desarrollados están considerando el control de calidad como una nueva barrera. Desde este punto de vista, la preservación y mejoramiento del agua de riego es un tema relevante para el país.

Ante lo expuesto y considerando la situación actual del país, se analizará el tema de la calidad del agua de riego.

2.- ESTUDIO DE LA SITUACIÓN ACTUAL Y LA METODOLOGÍA DE ANÁLISIS DE LOS DATOS.

Al estudiar la situación actual de la calidad del agua en la agricultura, se efectúan normalmente muestreos para realizar los análisis químicos que permitan evaluarla cuantitativamente. Las metodologías de muestreo para nuevo riego y para mejoramiento del riego existente, son diferentes y se determinan tomando como referencia los resultados obtenidos para la situación actual.

Al realizar muestreos de la situación actual y dejando los detalles de los métodos analíticos a libros especializados, se deben considerar los siguientes puntos.

2.1 Selección del sitio del muestreo

En la selección se deben reunir todos los datos de aguas existentes y que correspondan al área general del estudio. Esto implica recopilar las informaciones provenientes de las instituciones gubernamentales, universidades, instituciones privadas, etc., estudiando los resultados de los análisis y el año de su realización. En base a la información obtenida se selecciona el sitio muestreo. Actualmente se pueden tomar como referencia los datos obtenidos de imágenes satelitales.

En el caso que el objetivo del estudio sea un río, es necesario determinar las fuentes de contaminación, seleccionando algunos puntos en el cauce principal y aguas arriba del punto de confluencia de el o los cauces contaminantes.

2.2 Materia del estudio

A pesar de depender básicamente de la recopilación de los datos del pasado, es preferible analizar en la muestra todos los componentes que aparecen en la Norma Ambiental. Sin embargo, debido al alto costo de los análisis, es importante que estos posteriormente se limiten solamente a los componentes necesarios. Esto es preferible desde el punto de vista de la relación con la frecuencia del muestreo y del análisis de los datos.

Las características que se registran en terreno, tales como turbiedad, color, olor, espuma etc.. no pueden ser omitidas.

2.3 Frecuencia del muestreo

La frecuencia del muestreo varía dependiendo de la situación, sin embargo, es necesario efectuarlo en forma periódica, una vez al mes o una vez cada tres meses, durante un año.

En el caso de los ríos, se requiere conocer anticipadamente el caudal, utilizando la "curva de gasto" y el nivel del agua. Al calcular la carga de contaminación total anual de un río, es importante conocer ésta carga durante las crecidas las que varían considerablemente dependiendo de la región del país.

De acuerdo a la experiencia, el caudal de las crecidas influye fuertemente en el caudal total anual, por lo tanto, no se puede ignorar. Además, la calidad del agua en las crecidas varía fuertemente según la época de deshielos o dependiendo de la cantidad o intensidad de las lluvias, esto hace necesario tomar muestras varias veces en el año. Cuando se dispone de buenos pronósticos de las lluvias, es preferible esperar en el sitio elegido y tomar muestras cada hora, desde el inicio de la lluvia hasta varias horas después de terminada esta.

Se debe registrar también, el nivel del agua en el río. Así junto con el muestreo periódico anual hay que efectuar el muestreo en los momentos de las crecidas.

Al realizar el muestreo en forma periódica, de acuerdo a las características de la zona, hay que examinar cual es la hora en que los muestreos dan el dato más cercano al promedio.

Es preferible reducir al máximo los componentes de los análisis, debido a su elevado costo y al mucho trabajo que exigen. Los análisis químicos tienen ciertos límites y en algunos casos, dejan ciertas dudas sobre si representan la situación real de la calidad del agua del río. En razón de esto se ha desarrollado, en los últimos años, un método de estudio de la calidad del agua que utiliza seres vivos para complementar esta falencia.

2.4 Estudio de la calidad del agua utilizando seres vivos.

Este estudio, hecho a través de seres vivos, también es llamado "Juicio de la Calidad del Agua mediante Seres Vivos", consiste en investigar las larvas de insectos y peces que viven en los ríos y que son sensibles a variaciones de la calidad del agua. Con base en estos análisis, se busca determinar la situación aproximada de la calidad del agua en los ríos.

La ventaja de este método es que muestra la calidad integral del agua en un largo período, al contrario de los análisis químicos que solo la muestran en el momento del análisis. Si el objetivo principal de los estudios es la conservación del ambiente natural, este método se acerca directamente a él. Además, tiene un costo de análisis mas bajo y requiere de una menor frecuencia de muestreos, lo que lo hace más económico.

El defecto de este método es que requiere de un importante volumen de información básica previa para determinar la calidad del agua. Esto implica la determinación de larvas de insectos y peces específicos a ser utilizados como indicadores. A manera de ejemplo, hasta que grado de contaminación resiste una larva efímera de determinada especie de insecto.

De los peces se conoce, que la familia del salmón de río tiene escasa resistencia a la contaminación orgánica y que la familia de la carpa es resistente. Sin embargo, el problema estaría en el caso que no se haya determinado en Chile, la relación de los peces con la contaminación. Otra desventaja del método es que al contrario de los análisis químicos, presenta dificultades en la evaluación cuantitativa, debido a esto, no se puede utilizar como coeficiente para pronosticar la calidad de agua a futuro. Además, en los ríos donde existe la probabilidad de contaminación compuesta, dificulta el análisis de relación causa-efecto.

A pesar de lo expuesto y una vez establecido este método, tiene la ventaja de poder efectuar a simple vista un juicio sobre el nivel de contaminación general y si se utiliza junto con los análisis químicos, puede ser de una gran utilidad.

Aparentemente, este método todavía no se ha introducido en Chile, se estima que en el futuro podría ser un tema interesante de investigación en las universidades. A él se puede tener acceso a través de la biología, la química, ingeniería civil, agronomía, medicina veterinaria, ecología etc.

2.5 Metodología de análisis de los datos

Obtenidos los datos científicos anuales detallados, para cada sitio de muestreo, se debe construir una base de datos. Es necesario tener cuidado en el tratamiento de los datos si aparecen en ellos valores anormales.

Dichos valores deben ser eliminados, si a través de la búsqueda de las causas se encuentra la verdadera situación que los origina (por ejemplo una falla casual en las instalaciones de tratamiento de aguas residuales de una fábrica, la existencia de un error en los análisis de laboratorio, etc.). Sin embargo, en la práctica en muchos casos es imposible encontrar las causas que generan estos valores, por lo tanto, la interpretación de tales situaciones recae en el conocimiento y experiencia del experto.

La información obtenida se combina de distintas formas con otros datos, según los objetivos y de acuerdo a las necesidades. Esto se refleja en la fórmula como el coeficiente para pronosticar la situación a futuro.

Tratándose de un embalse, en el análisis de la situación actual se debe calcular, al menos, la carga de contaminación total, superpuesta con el gráfico hidráulico anual. Además de esto, en el caso de la contaminación artificial, son necesarios los datos sobre la contribución de cada fuente de contaminación, relacionados con la actividad de la supuesta fuente.

En los casos de contaminación natural, en cada área se debe establecer su relación con los índices de forestación y niveles de contaminación en cada área. Es conveniente estudiar la correlación de cada fenómeno, como por ejemplo, el análisis de relación entre los componentes contaminantes y los volúmenes de las cosechas de cultivos. Esto de acuerdo a las necesidades y a la determinación del analista.

3. EL PRONÓSTICO A FUTURO.

Una vez conocida la situación actual y sobre la base de esos conocimientos, es necesario hacer el pronóstico a futuro, cuando se construye una represa o un gran canal de riego.

Sin embargo, lo anterior constituye solo una parte de la "Evaluación ambiental". Cuando se trata de hacer el pronóstico a futuro, aunque sea solamente de la calidad del agua, se requieren fuertes gastos e investigaciones, si se desea obtener valores de mayor precisión.

A manera de ejemplos, si existe algún pueblo en una cuenca, por lo menos hay que proyectar la población a 10 años y sobre ese cálculo se debe pronosticar la carga de DBO. Si existe el proyecto de construcción de una fábrica, se deben hacer dos pronósticos a futuro, uno sin ella y otro con la fábrica construida. Si se está realizando un proceso de forestación, es conveniente poder pronosticar a futuro el índice del área forestada. Si se trata de un embalse, se requiere el pronóstico de la sedimentación de los materiales orgánicos e inorgánicos en un largo período, de los seres vivos que van a invadir el lago artificial, de las sales nutrientes que se disuelven desde el suelo y de los árboles sumergidos, etc. No es una exageración decir que existe una infinidad de componentes que es necesario investigar para poder establecer un pronóstico de esta índole.

Afortunadamente, hoy existen fórmulas de pronóstico a futuro para la mayoría de los componentes, aunque la precisión constituye un problema aparte. Si no se escatima en gastos e investigación, se puede mejorar la precisión en los cálculos. Sin embargo, en la realidad siempre existen limitaciones de recursos para investigación, por lo tanto y siempre que sea posible, se debe realizar el estudio de mayor eficiencia costo-beneficio, con los datos no relacionados directamente con la calidad del agua. En otras palabras, es importante no recopilar datos que no van a ser utilizados.

Lo anterior, requiere organizar y determinar la precisión de la fórmula que se utilizará en el pronóstico a futuro y los nuevos datos que se recopilarán, antes del inicio del estudio.

Cuando se realizan los pronósticos, es importante efectuar su seguimiento una vez terminado el estudio y verificar las hipótesis, aplicando valores reales. Este tipo de verificación se hace poco, no solo en Chile sino también en otros países, esto puede deberse a que la evaluación ambiental inicial de explotaciones a gran escala, es obligatoria en la mayoría de los países, pero la verificación post explotación no lo es.

Sin embargo y tal como se ha mencionado acerca de la escasa precisión de las fórmulas de pronóstico a futuro, sería un importante tema de investigación el mejorar la precisión de los coeficientes y fórmulas, mediante el estudio de hechos reales. En este aspecto, se debe aumentar la inversión en recursos e investigación.

4. LAS MEDIDAS DE PROTECCIÓN AMBIENTAL

Cuando se investiga el problema de la calidad del agua de riego, se requiere considerar algunas medidas de protección ambiental en el caso que se esté produciendo algún efecto negativo en los cultivos o que la construcción de nuevas obras hidráulicas esté afectando a terceros, incluyendo al medio ambiente natural.

En el primer caso la evaluación es efectuada en forma objetiva utilizando volúmenes de producción y precios de mercado de determinados productos agrícolas. Los principales problemas de contaminación del agua de riego en Chile son los siguientes:

- la concentración de sales en la zona norte, que se produce cuando la cantidad de agua utilizada en los cultivos equivale o es inferior a la evapotranspiración;
- la contaminación por bacterias, generada en la cercanía de las ciudades por la evacuación de aguas servidas sin tratamiento a cursos de agua o canales de regadío y;
- la concentración de metales pesados, que antes llegaban al mar, se acumulan en el fondo de los embalses.

En relación al segundo caso, de la construcción de nuevas obras hidráulicas, es necesario comentarlo por cuanto la evaluación se ve afectada por aspectos subjetivos.

A manera de ejemplo, cuando se construye una represa para riego donde antes corría un pequeño río de aguas cristalinas en el que existían algunas truchas, con la construcción del lago artificial comienza la concentración de sales nutritivas y aumenta el número de peces de la familia de las carpas. Esto puede considerarse como la destrucción del ecosistema o

bien como un enriquecimiento del eco ambiente, por la diversificación de especies y el aumento de la cantidad total de los peces. Pueden existir distintos juicios sobre este caso.

Está comprobado que la construcción de grandes estructuras tales como represas, canales, caminos, puentes etc. pueden influir no solo en la calidad del agua, sino también en el medio ambiente que las rodea. Sin embargo, existen aspectos muy importantes, que son los diferentes puntos de vista para apreciar el problema, ya sea como un cambio de eco ambiente o como la creación de un nuevo eco ambiente, no como un simple efecto de destrucción.

Si se establece, por ejemplo, una plantación de árboles frutales regados en medio del desierto, lógicamente la flora y la fauna del entorno se enriquecen. El problema está en los criterios que se utilicen para apreciar los impactos.

La realidad es que cuando se construye alguna estructura de obra civil, generalmente se señala que esta no es deseable desde el punto de vista ambiental, por lo tanto, es conveniente tomar las medidas necesarias y posibles.

4.1 Estudio de las medidas de protección ambiental

En el caso de la preservación de la calidad de agua de riego, existen tres objetivos principales a estudiar: la fuente de contaminación, el sistema de distribución y/o almacenamiento del agua, y los predios agrícolas regados.

Dentro de los sistemas de distribución, se consideran las medidas contra los efectos negativos producidos por la construcción de obras hidráulicas.

Al estudiar las medidas de protección ambiental, se deben buscar aquellas que sean técnica y económicamente viables, sobre la base del estudio mencionado en el punto 2 y en el estudio de impacto ambiental derivado de este. Si resulta difícil encontrar las medidas adecuadas, será necesario revisar el plan de protección desde su inicio.

4.2 Medidas de protección en la fuente de contaminación.

Las fuentes de contaminación se pueden clasificar en naturales y artificiales. En Chile la contaminación por metales pesados puede ser causada en forma natural o artificial, la contaminación por materia orgánica, agroquímicos y bacterias es causada solamente en forma artificial.

En relación a los metales pesados, la contaminación no es de responsabilidad de los agricultores y por lo tanto no tienen la obligación de tomar medidas de protección. Sin embargo, no pueden permanecer indiferentes, pues es la agricultura la que se ve afectada. En el caso de la contaminación artificial minera, se deben tomar medidas de protección en la fuente de contaminación, a través de una buena legislación y, en algunos casos, es necesario construir desvíos de la descarga para evitar que esta llegue a los canales de riego.

En el caso de la contaminación natural por metales pesados, las medidas son difíciles, no hay mucho que hacer al respecto, excepto la forestación de suelos desnudos, cuando es posible, para evitar el escurrimiento de suelos y arenas y construir desarenadores aguas arriba de los embalses.

En Chile, profesionales relacionados con la minería están investigando sobre estos temas, sería aconsejable buscar algunas medidas efectivas a través de la investigación conjunta.

Abundando en este tema, la minería y la agricultura son actividades que tienen alguna relación. En los últimos años los mineros están intentando prospectar nuevos yacimientos a través de ciertas especies de plantas que reflejan la presencia de determinados minerales. En Zambia, se dice que existen yacimientos de cobre donde crece una planta llamada "flor de cobre". Visto desde el lado de la agricultura, se trata investigar sobre que tipo de vegetales absorben mejor los metales pesados y sería interesante avanzar en este tema a través de investigaciones conjuntas.

Respecto de la contaminación orgánica, los elementos que actúan en ella son el nitrógeno y el fósforo contenidos en las aguas servidas domésticas y en las aguas residuales industriales, por lo tanto, están involucrados como contaminantes todos los habitantes, incluyendo a los agricultores.

Científicamente, en la naturaleza el nitrógeno y el fósforo constituyen factores estimulantes de la proliferación del fitoplancton (para mayor exactitud, también lo son algunas vitaminas naturales), por lo tanto, si se actúa para reducir uno de ellos, se podría disminuir la contaminación, sin embargo, en la realidad estos dos elementos se deben considerar como uno solo. Las medidas contra este tipo de contaminación orgánica, son la construcción de alcantarillados y de plantas de tratamiento de aguas servidas domésticas, cuando esto no es posible, se requiere de la instalación de pozos sépticos en cada hogar. Respecto de las aguas residuales industriales, las medidas de protección a tomar son las mismas que para las de los efluentes mineros.

La contaminación natural por materia orgánica es poco probable en Chile, excepcionalmente puede acontecer si se construye un embalse en un lugar cubierto de vegetación, en este caso se puede filtrar materia orgánica desde las plantas y suelos inundados, aun cuando este caso puede ser considerado como una contaminación artificial.

Es necesario insistir nuevamente en la importancia de la prevención de la contaminación por agroquímicos, tanto desde el punto de vista del productor como del consumidor. Sin embargo, en la práctica esto resulta ser es muy difícil, pues para ello se necesita del esfuerzo de los fabricantes de agroquímicos y de la innovación en los métodos de cultivo.

En relación a los métodos de cultivo, se mencionaran solamente dos aspectos. La recomendación del cultivo cero labranza y el control biológico a través del aprovechamiento de insectos predadores.

El primero se inició hace ya 40 años en Chile y actualmente se está investigando seriamente en el INIA-QUILAMAPU, en la VIII Región. No hay dudas en que la aplicación de este método incrementa la producción por horas trabajadas y disminuye algunas cargas contaminantes ambientales. La tarea actual es su difusión y la investigación sobre sus limitantes.

El segundo método está siendo investigado de diversas formas en todo el mundo, sin embargo, parece tener resultados prácticos solamente en invernaderos o en lugares muy aislados. La dispersión de los insectos predadores naturales, le resta utilidad a este método y aun no están claros los efectos que pueden causar estos insectos cuando se dispersan en los alrededores. Resolver estos problemas es una tarea pendiente.

Sin embargo, en un país como Chile que está aislado por el desierto y la cordillera, este método podría ser una medida efectiva, que requiere del desarrollo de investigación en el futuro.

La contaminación bacteriana es un problema muy importante en Chile. Análisis realizados en 1998, en el curso medio del Río Maipo en la Región Metropolitana, arrojó en 2/3 de las muestras un resultado sobre 1000 MPN/100 ml de coliformes fecales, y aproximadamente el 40% de estas muestras por sobre 1 millón MPN/100 ml (Estudio para el Desarrollo Agrícola y Manejo de Aguas del Área Metropolitana:1990, CNR). En este sentido, las normas de permiso de cultivos del SAG Reg. Metropolitana, para verduras específicas como la lechuga, es de menos de 1000 MPN/100 ml.

Donde existen bacterias de mayor tamaño como el colibacilo, que es fácil de identificar con el microscopio, se insinúa la existencia de otras bacterias aun más dañinas. De hecho, en la Región Metropolitana, hubo hace algunos años brotes de cólera, tifoidea, hepatitis etc..

Este problema cobra especial importancia desde el punto de vista de la exportación de productos agrícolas, pues una vez producida la contaminación de los productos de exportación, para recuperar la confianza de los consumidores externos se necesitan, al menos, de varios años.

4.3 Medidas de protección en los sistemas de acumulación y distribución

Los diseñadores de construcciones hidráulicas de riego tienen la importante tarea de disminuir los efectos negativos generados por estas estructuras. En los últimos años se han desarrollado numerosas investigaciones sobre este tema, las que han señalado, en todo el mundo, muchos efectos negativos de las represas, desde el punto de vista de la preservación ambiental. En el caso de Chile, que sigue teniendo la necesidad de construir embalses a futuro, estas investigaciones son un tema importante.

Cuando se ha construido una represa y se procede a llenarla, aumenta el volumen de materia orgánica y de metales en el agua, debido a la acumulación de tierra, arenas y restos de vegetación que entran al lago a través de los cauces naturales. Este proceso básicamente no se puede evitar, aun cuando existen sistemas de descarga en la parte inferior del muro de las represas, pero no siempre funcionan adecuadamente.

Sin embargo, tal como se ha señalado, el aumento de elementos químicos en el agua embalsada no significa necesariamente el deterioro del medio ambiente. El problema surge cuando aumentan, en forma extraordinaria, el fitoplancton y se producen efectos negativos evidentes en el ambiente vital del entorno y en el medio ambiente del lago artificial.

Esto es conocido como el fenómeno de eutroficación. No en tanto, el aumento de la materia orgánica no constituye el problema en sí, pues en la mayoría de los casos está constituido por la proliferación anormal del fitoplancton, alimentado por la materia orgánica. Como referencia, la eutroficación se presenta cuando el nitrógeno llega a 0,2 ppm, y el fósforo a 0,015 ppm, aun cuando hay muchos casos en que estos valores no corresponden a la realidad.

Existen algunas medidas de protección para el problema señalado, tales como: obstruir la luz solar; perturbar el medio ambiente del plancton produciendo corrientes de agua en el embalse; introduciendo peces que se alimenten del plancton; etc. De estas, la obstrucción

de la luz solar es la más efectiva, sin embargo, en represas que ocupan grandes extensiones es difícil de aplicar, ya sea con la cobertura de la superficie con hierbas flotantes o con algún otro método.

Debido a esto, normalmente es aplicado el método de hacer circular el agua de la superficie hacia el fondo, mediante la instalación de un aereador en el embalse. Este método también sirve para evitar la disolución de los metales pesados por reducción, al suministrar oxígeno cuando el estrato inferior pasa al estado anaeróbico, por el avance de la eutroficación.

En este sentido, el requisito para que este método de resultado es que el agua del embalse tenga más de 10 metros de profundidad, para reducir la acción de la luz solar. Se estima que si la profundidad es menor, casi no produce el efecto de evitar la proliferación de plancton. Debido a esto, la descontaminación de un embalse extenso y de baja profundidad, como es el caso del Lago Rapel, es sumamente difícil. El costo de la energía eléctrica para la aereación no parece ser relevante. En diversos países se están experimentando varios otros métodos, además de los ya señalados.

En los canales de regadío se pueden utilizar dos métodos de protección ambiental, el primero obedece al mismo principio utilizado en el tratamiento de aguas servidas con lodos activados, creando un espacio en el mismo canal para el tratamiento con microorganismos, el segundo consiste en desviar el agua hacia un canal lateral y aplicar el mismo tratamiento.

El primer método consiste en colocar en el canal carbón de madera o gravas, que tienen una mayor superficie de contacto, y mediante microorganismos radicados en esta, pueden degradar la materia orgánica. El carbón de madera por sí mismo tiene la ventaja de facilitar la proliferación de microorganismos, ya que contiene partículas de materias con pH alto.

El segundo método, utilizando un canal lateral, puede funcionar con el mismo principio que el primero, o bien se hace una plantación de vegetales acuáticos, para que absorban el nitrógeno y el fósforo y consuman las sales nutrientes.

Ambos métodos presentan problemas por requerir del empleo de mano de obra y de recursos económicos en el tratamiento de lavado de los materiales o eliminación y replantación de los vegetales, una vez terminada su vida útil. Las plantas se pueden picar en pedazos y aplicar como abono enterrándolas en los suelos de cultivo, aun cuando al parecer, este sistema no siempre da buenos resultados.

En cuanto a la contaminación por los metales pesados, se debe dificultar su disolución mediante la oxidación.

4.4 Medidas de protección en suelos agrícolas.

Cuando el agua de riego llega a terrenos agrícolas, pueden surgir problemas de contaminación orgánica y por metales pesados, además de la posible aparición de salinidad en el suelo.

La contaminación orgánica afecta principalmente al riego por goteo, que en Chile ha cobrado especial importancia, el problema no se genera por las sales nutrientes en sí, sino por la obstrucción de los goteros, debido a la proliferación del fitoplancton. Esta obstrucción por fitoplancton y pequeñas partículas de suelo constituye un serio problema por la importancia del riego por goteo en frutales y viñas, para evitarla se utilizan

actualmente solo filtros, pero la contaminación del agua debe solucionarse antes de llegar a esa etapa.

El uso de aguas subterráneas que casi no contienen fitoplancton ni micro partículas, aun cuando pueden incluir nitrógeno y fósforo, es el más apto para el riego por goteo. Debido a esto y a pesar de tener problemas de mayor costo, sería conveniente investigar seriamente la construcción y uso de represas subterráneas.

Respecto del exceso de nitrógeno y fósforo en el agua de riego, si estos elementos permanecen estables, se puede responder a sus efectos ajustando las dosis de fertilizantes.

No se conocen medidas adecuadas para solucionar la contaminación del agua de riego con metales pesados.

Acerca de los problemas de aparición de salinidad en suelos de las zonas áridas, en Chile existe bastante investigación. No en tanto, se trata de cómo aplicar agua a los cultivos o del drenaje de los suelos. La salinidad no se debe intrínsecamente al riego, pues esta puede estar en el suelo, en Djibuti, Africa, se practica como método de protección contra la salinidad, el envolver las raíces de las plantas con bolsas dobles, Esto indica la necesidad de buscar medidas contra la salinidad, no solo a través del agua de riego, sino también por intermedio de los cultivos. Los resultados mas efectivos se obtienen aplicando medidas conjuntas de protección, en el agua de riego y en las plantas.

5.- RECOMENDACIONES

Se ha expuesto en este trabajo, una noción general sobre el tema de la calidad del agua de riego, por lo tanto para completarla y obtener informaciones mas detalladas, se deben consultar publicaciones y libros especializados.

Cuando se estudia el problema de la calidad del agua de riego, es necesario observar el panorama general de la contaminación ambiental, teniendo conocimientos acerca del tema.

Especialmente y como una orientación de investigaciones a futuro, para los profesionales que trabajan en el sector agrícola de la administración pública, se desea poner énfasis en la necesidad de investigar no solo en la agricultura, sino en otras áreas relacionadas con el uso de los recursos hídricos y del medio ambiente.

28/02/03

**INTRODUCCION DE LA METODOLOGIA PARA
LA DETERMINACION DE CALIDAD HIDRICA
MEDIANTE COMUNIDADES BIOLÓGICAS EN
CHILE**

—CONSERVACION DE CALIDAD DE AGUAS DE RIEGO—

MARZO 2003

**INTRODUCCION DE LA METODOLOGIA PARA LA DETERMINACION DE CALIDAD
HIDRICA MEDIANTE COMUNIDADES BIOLÓGICAS EN CHILE**

—Conservación de calidad de aguas de riego—

24 de Marzo, 2003

Jun KUROSAWA

Experto de JICA

Comisión Nacional de Riego

Ministerio de Agricultura

Actualmente, uno de los temas tratados en la política agraria en Chile, es la conservación de la calidad hídrica en aguas utilizadas para la agricultura. Esto es debido a que en los últimos años, la contaminación con metales pesados en la zona norte de Chile, la contaminación con compuestos orgánicos y bacterias en la zona central, entre otros, se han convertido en problemas relevantes para el país. Desde el punto de vista de fomento de exportación de productos agrícolas, aseguramiento de la salud de los consumidores, conservación del medio ambiente de zonas habitadas por seres humanos, mantención del ecosistema natural, entre otros, se exige la elaboración de una estrategia de control ambiental.

Para solucionar este problema, se requiere planificar una estrategia de control en base a aspectos tecnológicos y económicos. Suponiendo que dicha estrategia se ejecute, sería necesario realizar una adecuada investigación sobre la calidad hídrica de la zona de estudio.

En Chile, se han realizado muchas investigaciones hidrológicas en lagos y ríos, los cuales son fundamentalmente a base de estudios analíticos físicos y químicos. El estudio de la calidad hídrica mediante organismos vivos está actualmente en sus etapas iniciales, y tales investigaciones se están realizando principalmente en la Universidad de Chile y en la Universidad de Concepción.

Así como el estudio y la práctica del método de determinación de calidad hídrica mediante comunidades biológicas ha sido un tema de investigación desde hace muchos años en Europa y en Japón, se espera que en Chile, este método también alcance un mayor desarrollo. Este método en especial, cuando se practica previo a un análisis químico, es muy útil para determinar la calidad hídrica de una zona en forma holística y su análisis requiere de

un corto período de tiempo.

En el presente documento, se procederá a explicar el concepto del Método de Determinación de Calidad Hídrica Mediante Comunidades biológicas, y posteriormente, se analizará la forma de aplicación de este método en los ríos de Chile.

1. Antecedentes históricos del método de determinación de Calidad hídrica Mediante Comunidades Biológicas.

La diversidad de especies de organismos que habitan en ambientes acuáticos, como lagos y ríos, difiere dependiendo del grado de contaminación del medio acuático. Existen especies que tienen preferencia por aguas limpias, y, asimismo, especies que prefieren aguas contaminadas. Dentro de esta biodiversidad de especies del medio acuático, se elige especialmente las especies que tengan una definida relación entre su condición de sobrevivencia y la condición ambiental determinada por el nivel de contaminación de las aguas. El presente método, consiste en analizar la biodiversidad del medio acuático; estudiar la relación entre calidad hídrica y las condiciones vitales del hábitat de las especies y; mediante los datos anteriores, determinar el grado de contaminación del agua.

Por ejemplo, suponiendo que en un determinado punto en el río en estudio, se realizó un muestreo y se colectó *Epeorus curvatulus* (especie de efímeras). Esta especie colectada, permite inferir que dicho río tiene aguas limpias, con un DBO₅ de menor a 1 ppm o 2 ppm como máximo, libre de toxinas, río con fondo pedregoso, con una velocidad de la corriente de 1m/seg. aproximadamente y la temperatura del agua es baja incluso en verano.

Este concepto, fue propuesto en el año 1902 (en algunos data 1908) por los investigadores alemanes KOLKWITZ y MARSSON. Posteriormente, se han realizado varias modificaciones y se han elaborado nuevos métodos a partir de ello. Entre ellas, se cuenta el método de determinación de calidad hídrica propuesto por BECK (1955) y que actualmente sigue vigente. En 1960, para uniformar las condiciones de puntos o lugares de muestreo, el científico japonés TSUDA modificó el método de BECK, y desde ese momento, se utilizó y denominó como método BECK-TSUDA. Asimismo, en 1955, PENTLE y BUCK idearon un método de determinación de grado de contaminación del agua de acuerdo a las especies de organismos indicadores y la frecuencia de aparición.

Posteriormente, en 1959, A. F. BARTSCH y W. M. INGRAM del Centro de Ingeniería Ambiental Robert A. Tafa, Cincinnati, Ohio, USA, diseñaron un cuadro que explica la relación entre contaminación hídrica de ríos y los seres biológicos presentes en ella. Esto no corresponde a un método de determinación de calidad hídrica. Sin embargo, es un cuadro bastante útil, en donde se estiman el contenido de oxígeno disuelto, DBO₅, nitrógeno orgánico, cambios de especies biológicas en un supuesto río con un flujo de 100ft³, en el punto de 0 millas se vierte agua servida de una ciudad de 40.000 habitantes y la temperatura del agua es de 25°C.

Actualmente, además de los métodos mencionados anteriormente, se utiliza también el método MARVAN, el cual se considera como un método con alto grado de certeza, y otros, por ejemplo, que utilizan aglomeración de diatomeas como indicador de contaminación. Con respecto a estos métodos, se entrará en detalle más adelante.

Existen varios tipos de metodologías para determinar la calidad hídrica mediante comunidades biológicas, y afortunadamente, para cualquiera de estos métodos, los parámetros utilizados para la determinación de la calidad del agua son los mismos. Así, la calidad se clasifica en 4 niveles: a) polisaprobótico (polysaprobic); b) α -mesosaprobótico (α -mesosaprobic); c) β -mesosaprobótico (β -mesosaprobic); y d) oligosaprobótico (oligosaprobic).

De acuerdo a estas clasificaciones, se han realizado diversos estudios en casi todos los ríos importantes de Europa, USA y Japón, y asimismo, se han elaborado cuadros de los diferentes grados de calidad hídrica determinados mediante organismos vivos.

2. Ventajas y Desventajas del Método de Determinación de Calidad hídrica Mediante Comunidades Biológicas.

Para justificar las ventajas del método de calidad hídrica mediante comunidades biológicas, generalmente se compara con el análisis químico. En toda revisión bibliográfica, como ventajas del método mediante seres vivos, se señala lo siguiente. " El análisis químico para determinar la calidad hídrica consiste en sacar una muestra de agua y analizar directamente el nivel de nitrógeno, fósforo, DBO₅, etc. Debido a que como resultado de cada análisis se obtiene con valores numéricos, este método es apto para estimar o calcular la causa y/o grado de contaminación. Sin embargo, sólo es posible determinar la calidad

hídrica al momento del muestreo. Para realizar una comparación entre diferentes años, u observar el cambio a largo plazo, se requiere hacer análisis en forma periódica y continua a través del tiempo. Además, no se puede obtener información adicional que no sea los ítem analizados. Por otro lado, el método de determinación de calidad hídrica mediante comunidades biológicas, aún con una baja frecuencia de análisis, es posible estudiar el cambio cualitativo a largo plazo, debido a que se puede determinar la calidad hídrica holísticamente analizando la ecología de las comunidades biológicas. Además, con dicho análisis, se tiene una visión más amplia del ecosistema en su totalidad, y es posible estimar la presencia de elementos contaminantes que no serían detectados con un análisis químico habitual, a menos de que se incluyan más elementos a analizar en la lista de ítem del análisis químico”.

Por otra parte, como desventaja del método mediante el uso organismos vivos, no es posible obtener valores numéricos en los ítem de análisis de las especies, como es en el caso de un análisis químico. De acuerdo a ello, no se puede establecer un pronóstico o diagnóstico del medio acuático con fórmulas matemáticas; no se puede clasificar la calidad en los diferentes niveles si no existen los correspondientes especies indicadoras; como premisa en este tipo de análisis, es necesario definir previamente las especies indicadoras; y, principalmente, los resultados de nivel de calidad hídrica son en general de rangos amplios.

Se han realizado diversas investigaciones sobre la relación existente entre el método mediante organismos vivos y el análisis químico. En general, se indica la relación entre el grado de calidad hídrica de acuerdo a los organismos biológicos presentes y el ODB₅, como se menciona a continuación.

Nivel de calidad hídrica (organismos biológicos)	DBO ₅
β-oligosaprobio	<1ppm
α- "	1~2,5ppm
β-mesosaprobio	2,5~5ppm
α- "	5~10ppm
β-polisaprobio	10~50ppm
α- "	>50ppm

3. Forma de aplicación del Método de Determinación de Calidad Hídrica mediante Comunidades biológicas en Chile.

En caso de establecer la práctica del método de determinación de calidad hídrica mediante comunidades biológicas, considerando las ventajas y desventajas de este, se debe estipular previamente un objetivo específico, y también pensar en su utilización en forma complementaria a un análisis químico. Desde este punto de vista, en caso de introducir el método para determinar el nivel calidad hídrica y el grado de contaminación de aguas de riego, se debe considerar lo siguiente.

- a) La mayoría de los canales de riego son canales de tierra o riachuelos, en los cuales se podrían encontrar diversos organismos vivos, exceptuando algunos casos geográficos especiales en zonas del norte o sur del país.
- b) La mayor parte del territorio chileno se ubica en la zona templada, por lo tanto, es posible utilizar datos de referencia de investigaciones realizadas en Europa, USA y Japón.
- c) La contaminación puede ser por metales pesados o compuestos orgánicos. En Chile, hay muchas zonas donde es posible la presencia de ambos, por lo tanto si se realiza sólo análisis químico, es inevitable realizar varios de ellos.
- d) En Chile, y también en otros países, existe una limitante en cuanto al costo y duración de un análisis habitual, especialmente, en casos de que el costo sea responsabilidad del agricultor. Por lo tanto, es necesario realizar un estudio de factibilidad.
- e) La metodología para determinar la calidad hídrica, se utiliza en la mayoría de los casos en situación de establecimiento de nueva estrategias de control con el objeto de mejorar la calidad de las aguas, o para estimar el impacto que producirían nuevas obras de riego en un determinado lugar. Por lo tanto, es indispensable un análisis químico con datos cuantificables numéricamente.

Consecuentemente, en caso de que se ejecutara un estudio de calidad hídrica para aguas de riego, primeramente se determina la calidad hídrica mediante comunidades biológicas en las zonas de ríos adyacentes al terreno agrícola que podrían tener influencia sobre las aguas en cuestión. Si los organismos indicadores han sido predefinidos, es factible realizar el estudio a bajo costo y en un corto período de tiempo. De acuerdo a ello, se puede determinar el grado de contaminación hídrica a mediano y largo plazo, además de detectar el origen de la fuente de la contaminación hídrica. Posteriormente, se realizarían análisis

químicos de los ítem requeridos y luego se procedería a analizar los datos necesarios para diseñar una nueva estrategia o hacer un pronóstico del nivel de calidad del agua. De acuerdo a esta combinación de estudios, es posible obtener una determinación razonable del nivel de calidad hídrica.

Para su aplicación, al igual que en Europa, USA y Japón, se requiere definir las especies de organismos indicadores para los diferentes niveles de calidad hídrica. Es preferible elaborar un cuadro con los diferentes niveles de calidad hídrica, de acuerdo a los organismos vivos presentes en los principales ríos del país, lo cual es un tema de investigación científica necesario.

(Comentario)

En las siguientes páginas se presentan las diferentes metodologías, entre las cuales se deberá seleccionar la más adecuada para la situación del país. Primero, se requiere investigar la diversidad de organismos vivos en ríos chilenos y observar si hay similitud de especies con Europa, USA o Japón. En caso de que las especies sean prácticamente las mismas, se debiera verificar los organismos indicadores (especies en Chile y su relación con DBO_5), hacer un pequeño ajuste y hacer uso de índices utilizados en otros países. Se podrían utilizar los métodos desde BECK-TSUDA hasta los de clasificación de diatomeas. En caso de que no se haya encontrado gran similitud de especies, se recomienda utilizar el método BECK-TSUDA (α) para el método de muestreo, o el método más tradicional y menos sofisticado de KOLWITZ-MARSSON-LIEBMANN. El método β es de mayor certeza que el método α , sin embargo, se considera que es necesario mayor experiencia en el tema.

El método PENTLE U. BUCK y el método MARVAN, son metodologías más bien teóricas y detalladas. Sin embargo, es un poco complicado la práctica si no se tiene la suficiente cantidad de datos. El método mediante clasificación de diatomeas, es ventajoso en el sentido de que a diferencia de los otros organismos acuáticos, no existe estacionalidad (en verano, la población de insectos acuáticos disminuye), y además, se estima que se encuentran en gran cantidad en los canales de riego. Sin embargo, su clasificación taxonómica es muy demorosa y es muy difícil la identificación a menos de que sea analizado por un experto de gran trayectoria.

Como organismos indicadores, podrían utilizarse especies de peces, los cuales por

su tamaño son fácilmente identificables. Sin embargo, no son organismos adecuados como indicadores debido a que se trasladan fácilmente de un lugar a otro dentro del río, y al número limitado de especies existentes en ríos chilenos, que en los canales de riego se estima que sea aún menor.

Así, por el momento, se estima más adecuado que el estudio e investigación se centre en organismos que habitán en el fondo de los ríos, como insectos, o diatomeas.

METODO BECK-TSUDA

En ambientes de agua dulce, los organismos visibles a simple vista y que habitan en el fondo de un río (benthos) son mayoritariamente insectos acuáticos. Además entre otras especies, se observan especies de crustáceos, sanguijuelas, lombrices y moluscos. Considerando estos organismos como indicadores, mediante el método BECK-TSUDA, es posible determinar niveles de contaminación. Este método fue ideado originalmente por BECK (1955), pero, más tarde TSUDA realizó algunas modificaciones para facilitar su aplicación. Existen dos métodos, α y β , los cuales se denominan índice biótico (α) e índice biótico(β) respectivamente.

1. Índice biótico (α) (biotic index (α))

- a) Sacar una muestra del fondo pedregoso de un río con corriente.
- b) Elegir un lugar de muestreo es donde haya mayor cantidad de piedras de tamaños menor a una sandía y mayor a una mandarina, y cuya velocidad de la corriente sea 100-150cm/seg.
- c) La profundidad del lugar de muestreo debe ser hasta la altura de las rodillas.
- d) Estandarizar el área de muestreo. Colocar un marco de metal de 50cm x 50cm en el fondo del río, y dentro de esa área, coleccionar todos los organismos visibles a simple vista.
- e) Identificar taxonómicamente los organismos coleccionados. Dividir los organismos en tolerantes e intolerantes a contaminación. En el sistema de saprobio(saprobic system), los organismos oligosaprobios corresponden a los intolerantes a contaminación; los mesosaprobios y polisaprobios se consideran tolerantes. Las especies de organismos indicadores que se utilizan en esta clasificación se nombrarán más adelante.
- f) Para calcular el índice biótico, el número de especies intolerantes corresponde a A y los tolerantes B, entonces,

$$\text{índice biótico} = 2A + B$$

- g) Hacer un muestreo 2 veces utilizando el marco de metal de 50 cm x 50 cm, calcular el índice biótico, y se considera como índice biótico del lugar el correspondiente al mayor valor numérico.

Los puntos a) la c) corresponden a medidas para uniformar lo más posible las

condiciones medio ambientales del lugar de muestreo.

El punto f) está basado en un principio ecológico (THIENEMANN), el cual menciona que " en los lugares con condiciones medio ambientales favorables habita un gran número de especies, mientras menos equilibrado sea el ambiente, el número de especies disminuye (aunque aumenta el número dentro de una misma especie)". Mientras más limpio es el río, mayor es la diversidad de especies y vice versa. Esta es la razón de por qué en 2A+B, las especies intolerantes (A) corresponde al doble del valor de los tolerantes (B).

De acuerdo a los índices bióticos, la clasificación de los niveles de los medios acuáticos es el siguiente.

2A + B	Niveles
>20	oligosaprobio
11~19	β-mesosaprobio
6~10	α-mesosaprobio
0~5	polisaprobio

2. Índice biótico (β) (biotic Index (β))

Este método, a diferencia del índice biótico (α), en el cual sólo se hace un muestreo en un área determinada, se procede a coleccionar la mayor cantidad de organismos en un punto o lugar de muestreo. Una persona sostiene una red, y otras personas ubicadas río arriba remueven las piedras y las hacen rodar. Los insectos adheridos a las piedras se sueltan, fluyen en dirección de la corriente y son atrapados en la red. Este método es apto para obtener una muestra con grandes cantidades de insectos. También se pueden hacer un muestreo con redes los ríos con fondos de arena, barro, orillas de ríos. Se realiza el muestreo con 4 a 5 personas por aproximadamente 30 minutos. Luego, con los organismos coleccionados se calcula el índice biótico. Debido a que el resultado del índice biótico (β) es mayor que el índice biótico (α), el cuadro de clasificación de niveles de calidad hídrica también es diferente.

2A + B	Niveles
>30	oligosaprobio
15~29	β- mesosaprobio
6~14	α- mesosaprobio
0~5	polisaprobio

El método BECK-TSUDA, al igual que el método tradicional de KOLKWITZ-MARSSON-LIEBMANN, se basa en la cantidad de especies colectadas. De acuerdo a ello, es posible determinar el nivel de calidad hídrica, observando en que niveles de calidad se ubican cada una de las especies colectadas y en cuál nivel se encuentra la mayor cantidad de organismos. En este caso, no se considera la totalidad de organismos que viven en ese medio acuático, sino, sólo se toman en cuenta los organismos visibles a simple vista que habitan en los fondos del río. Por lo tanto, se considera como un método relativamente simple.

METODO PUNTLE U. BUCK

Este método fue elaborado por PUNTLE y BUCK en 1955. Los organismos colectados en la muestra, se clasifican en 4 niveles, desde oligosaprobios (oligosaprobic; Os) a polisaprobios (polysaprobic; Ps), en los cuales se atribuyen valores numéricos de 1 a 4 respectivamente. De acuerdo a esos valores y a la frecuencia de aparición de cada especie, se calcula el índice de contaminación (Pollution index) mediante la siguiente fórmula.

$$\text{Índice de contaminación} = \frac{\sum (S \times h)}{\sum x h}$$

S : índice de niveles de contaminación h: frecuencia de aparición

S=1 oligosaprobio	h=1 <10%
S=2 β-mesosaprobio	h=2 11~29%
S=3 α-mesosaprobio	h=3 >30%
S=4 polisaprobio	

Niveles de calidad hídrica en base a índices de contaminación (en Japón)

Índice de contaminación	Nivel de calidad hídrica	Especies representativas
1.00~1.50	Os	<i>Dugesia gonocephala</i> <i>Epeorus latifolium</i> <i>Baetiella japonica</i> <i>Oyamia gibba</i> <i>Hydropsyche ulmeri</i> <i>Simulium sp.</i>
1.51~2.50	βms	<i>Baetis sp.</i> <i>Potamanthus kamonis</i> <i>Hydropsychodes brevilineate</i> <i>Macronema radiatum</i> <i>Tanypodinae</i> <i>Spaniotoma sp.</i>

2.51~3.50	α ms	<i>Asellus hilgendorfi</i> <i>Herpobdella lineata</i> <i>Bateéis sahoensis</i> <i>Notonecta triguttata</i> <i>Laccotrephes japonensis</i> <i>Ranatra chinensis</i>
3.51~4.00	Ps	<i>Tubifex sp.</i> <i>Physa acuta</i> <i>Chironomus sp.</i>

METODO MARVAN

Este método consiste en determinar la calidad hídrica mediante el porcentaje de aparición de insectos acuáticos de acuerdo al nivel de contaminación del medio acuático, y también mediante la cantidad de ejemplares de cada especie colectada.

- Evaluar la calidad hídrica en 4 niveles de clasificación.
- Atribuir un valor numérico inherente a los insectos acuáticos dependiendo de la especie a que pertenecen. (valor saprobiológico (saprobiological value) y valor indicador(indicator value))
- Considerar el valor numérico más alto del promedio de evaluación (Σ Sap) para determinar el nivel de contaminación de las aguas del río en estudio.

Promedio de evaluación Σ Sap= Σ (zi x hi x gi) / Σ (hi x gi)

zi : valor saprobiológico (saprobiological value)

hi : número de ejemplares de cada especie colectada en el muestreo.

gi : valor indicador de cada especie (indicator value).

Valor Saprobiológico y Valor Indicador (en Japón)

Especie	Valor Saprobiológico				Valor Indicador
	Os	β ms	α ms	Ps	
<i>Ephemera japonica</i>	9	1	0	0	4
<i>Ecdyonurus yoshidae</i>	7	3	0	0	3
<i>Oyamia gibba</i>	8	2	0	0	3
<i>Mataeopsephenus japonicus</i>	3	5	2	0	2
<i>Luciola cruciata</i>	9	1	0	0	4
<i>Chironomus plumosus</i>	0	0	3	7	3

- La especie *Ephemera japonica* habita 90% en Os y 10% en β ms. El valor indicador 4 se considera alto.

- La especie *Chironomus plumosus* habita 70% en Ps y 30% en αms. El valor indicador es 3.

Ejemplificación del método Marvan

Especie	No. de ejemplares	Zi=zi x hi x gi				Total
		Os	βms	αms	Ps	
<i>Ephemera japonica</i>	5	180	20	0	0	200
<i>Ecdyonurus yoshidae</i>	6	63	28	0	0	91
<i>Oyamia gibba</i>	3	72	18	0	0	90
<i>Mataeopsephenus aponicus</i>	2	12	20	8	0	40
<i>Luciola cruciata</i>	2	12	8	0	0	20
<i>Chironomus plumosus</i>	1	0	0	9	21	30
Total	16	339	94	17	21	471
Promedio de evaluación ΣSap(%)		72.0	20.0	3.6	4.5	100

Ejemplo: Los valores de *Mataeopsephenus aponicus* en Zβms son:

Valor saprobiológico zβms=5

Número de ejemplares h=2

Valor indicador g=2

$$Z\beta ms = z\beta ms \times h \times g = 5 \times 2 \times 2 = 20$$

En los resultados del ejemplo anterior, de acuerdo al promedio de evaluación (ΣSap), se observa que el valor de Os=72% es el más alto. Consecuentemente, la calidad hídrica de este río se determina como Os (oligosaprobio).

METODO DE CLASIFICACION DE GRUPOS DE DIATOMEAS

Las diatomeas se presentan desde los niveles oligosaprobios a polisaprobios. Las propiedades especiales de las diatomeas que permiten la aparición de ellas en diferentes niveles de calidad hídrica han sido motivo de muchas investigaciones. Los diferentes grupos clasificados de acuerdo a las propiedades especiales de aparición se denomina grupo de diatomeas.

- a) **Grupo de diatomeas (A):** Especies que aparecen en niveles polisaprobios. Pueden habitar en aguas más limpias, sin embargo, en esas condiciones, también prolifera

bastante bien especies de otros grupos, lo cual hace que el porcentaje de las especies de este grupo disminuya en la totalidad. En Japón existen 10 especies que poseen esta propiedad.

- b) **Grupo de diatomeas (B):** Las condiciones del medio acuático de ríos en donde se encuentran la mayor cantidad de diatomeas están entre los niveles β -mesosaprobio y α -mesosaprobio, con un DBO_5 que va de 4 a 7. En estas condiciones, las diatomeas del grupo B son las que aparecen en altas concentraciones. Ninguna de ellas habita en niveles saprobios. En Japón existen 64 especies que corresponden a este grupo (mesosaprobios).
- c) **Grupo de diatomeas (C):** Este grupo de diatomeas no presenta formas particulares de aparición como las del grupo A o B. Son muy susceptibles a la contaminación, y no pueden sobrevivir en los niveles α -saprobios (son oligosaprobios). En los ríos de Japón, normalmente se identifican aproximadamente 350 especies de diatomeas, y los que no se clasifican en A o B, están en este grupo.

El método de determinación de calidad hídrica es el siguiente.

- ① Definir el índice de nivel de contaminación para cada especie (valor saprobiótico: s). Para el grupo de diatomeas A se atribuye un valor A=4, para B=2,5 y para C=1.
- ② Para coleccionar muestras de diatomeas, se escobilla la superficie de una piedra, cuyo diámetro debe ser mayor a 15 cm. Preparar las muestras con un número constante de diatomeas e identificar taxonómicamente. Posteriormente, clasificarlas en los distintos grupos de clasificación de diatomeas (A, B o C).
- ③ Calcular el índice saprobiótico (S; Saprobic Index) mediante la siguiente fórmula.

$$S = \frac{\sum ns}{\sum n}$$

s: valor saprobiótico 1~4

n: número de exoesqueletos de cada especie

Norma para determinar los diferentes niveles de calidad hídrica

Índice saprobiótico	Calidad hídrica
1.0~1.5	Oligosaprobio
1.5~2.5	β -mesosaprobio
2.5~3.5	α -mesosaprobio
3.5~4.0	polisaprobio

**ESTRATEGIAS DE CONTROL DE
EUTROFICACION DE AGUAS DE RIEGO**

Septiembre 2003

ESTRATEGIAS DE CONTROL DE EUTROFICACION DE AGUAS DE RIEGO

Septiembre, 2003

Jun KUROSAWA

Experto de JICA

Comisión Nacional de Riego

Ministerio de Agricultura

I. INTRODUCCION

El mejoramiento de calidad de aguas de riego es un factor de gran importancia para un país como Chile, que esta fomentando la exportación de productos agrícolas bajo el régimen de libre comercio. En especial, en casos de exportaciones a USA o UE, además del control de elementos tóxicos en los productos agrícolas en si, también hay reglamentos que rigen el control de calidad de los procesos de cultivo. Han habido casos en que aunque el producto haya podido ser exportado, se les ha bajado el precio por el uso de aguas de riego de mala calidad en el proceso productivo.

Dejando de lado las consideraciones que cada uno de los países europeos o USA tiene para la protección de sus propios productos agrícolas, desde el punto de vista del exportador, el mejoramiento de la calidad de las aguas de riego es un problema que no puede ser evitado.

Por otro lado, en Chile, en estos últimos años, en zonas cercanas a grandes ciudades o zonas agrícolas, se ha observado un deterioro en el hábitat de la población producto del deterioro de la calidad de las aguas no solo de riego sino también de ríos. La posibilidad de resguardar los alimentos básicos, el avance de estudios medio ambientales, entre otros, pueden ser manifestaciones de una mejor calidad de vida de la sociedad. Sin embargo, en ciertas zonas del país se esta convirtiendo en un problema social. La aparición de arsénico en agua potable de la zona norte, la contaminación bacteriana como *E.coli* en ciudades, la eutrofication del lago Rapel son casos representativos de estos problemas sociales. En ciudades, se observa un gran avance en lo que es tratamiento de aguas servidas, sin embargo, se observa una sobrecarga de ello debido al gran desarrollo industrial, lo cual hace que en la totalidad, no se pueda evitar la tendencia a aumentar la contaminación de las aguas.

Los agentes contaminantes son originados, especialmente, en rubros como la agricultura y aguas servidas, cuyas fuentes de contaminación son difíciles de controlar. Adicionalmente, la eutrofication de zonas acuáticas principalmente por compuestos difíciles de tratar como son el nitrógeno y el fósforo, son problemas de suma importancia desde el punto de vista de la producción agrícola y la salud de la población.

En el presente informe, se mencionaran las distintas estrategias que se han estudiado y que se ejecutan actualmente en varios países.

II. CAUSAS DE LA EUTROFICACION

1. Definición de términos importantes

- a) **Eutroficación:** Aumento del valor nutritivo de ríos, lagos y mar debido a la afluencia de sales nutritivas de nitrógeno, fósforo, entre otros, y como resultado, hay un aumento de la población biológica. En la naturaleza, dentro de los elementos esenciales para el ser biológico están el nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K), que tienden a escasear. En zonas acuáticas por ejemplo, muchas veces el N y P son factores de control de la reproducción de plancton.
- b) **Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO):** Es la cantidad de oxígeno que es consumido por la respiración o reproducción de organismos acuáticos en muestras de agua bajo condiciones aeróbicas (gran presencia de oxígeno disuelto) y otras condiciones ambientales establecidas. Normalmente, el índice de contaminación corresponde al monto de oxígeno consumido durante 5 días a 20°C. Mientras más alto es el valor del índice BOD, mayor es la presencia de elementos en descomposición. Menor a 2,5 ppm, indica aguas oligosapróbicas y mayor a 10 ppm indica aguas polisapróbicas.
- c) **Nitrógeno (N):** Los compuestos nitrogenados (N-T nitrógeno total) en medios acuáticos, se clasifican en nitrógeno inorgánico (N-I) y orgánico (N-O). Dentro del N-I se dividen en nitrógeno amoniacal (N-NH₄), nitritos (N-NO₂) y nitratos (N-NO₃). Los N-O se dividen en proteicos y no proteicos.

El N-O es transformado a N-NH₄ por organismos microbiológicos. En ambientes aeróbicos, este es transformado a N-NO₂ y luego a N-NO₃. En ambientes anaeróbicos, la transformación es inversa, de NO₃ a NO₂, y de NO₂ a nitrógeno amoniacal. Simultáneamente, parte de NO₃ y NO₂ es transformado a nitrógeno gaseoso por bacterias denitrificadoras y es dispersado al medio.

El N-I, en todas sus formas, es utilizado directamente por plantas como sales nutritivas y es un factor muy importante en la problemática de contaminación de aguas.

- **Nitrógeno amoniacal (N-NH₄ o N-NH₃):** Es un índice de contaminación, que es originado principalmente por orina, descomposición de materia orgánica en ductos de aguas servidas o agua de desechos industriales. En el medio acuático, la transformación a partir de N-NO₃ y/o N-NO₂ ocurre gradualmente, por lo cual, si se detecta N-NH₄, generalmente, significa que la contaminación fue inmediata o, que el nivel de contaminación orgánica es tan alta que el nivel de oxígeno disuelto se hace escaso. La presencia de N-NH₄, no solo causa la eutroficación, sino que también se estimula al aumento de consumo de cloro para el tratamiento de purificación de las aguas.
- **Nitritos (N-NO₂):** Se produce principalmente por oxidación de N-NH₄, y es un

compuesto muy inestable. En ambientes aeróbicos se transforma en N-NO₃, y en ambientes anaeróbicos se transforma rápidamente en N-NH₄. Por lo tanto, la detección de N-NO₂ indica que la contaminación con aguas servidas u orina fue reciente. El N-NO₂, no solo es agente causal de la eutroficación sino que también es dañino para el cuerpo humano, ya que dentro de los vasos sanguíneos reacciona con la hemoglobina, disminuyendo la eficiencia del transporte de oxígeno. Además, dependiendo de las condiciones, se sabe que se produce nitrosamina, un compuesto altamente cancerígeno.

- **Nitratos (N-NO₃):** es el producto final de muchas oxidaciones de varios compuestos nitrogenados. Es un compuesto muy estable y es una causa directa de la eutroficación. El N-NO₃ por si solo no es tóxico, sin embargo, una vez dentro del cuerpo humano, se reduce, transformándose en N-NO₂ y causando enfermedades. Por ello, en Japón está reglamentado el nivel de N-NO₂ y N-NO₃ en aguas potables, siendo este <10 ppm/ lt. La mayoría de los agentes contaminantes de aguas, en el momento de ser infiltrados en el suelo, son degradados por microorganismos del suelo, o son adheridos a los componentes del suelo. Sin embargo, el N-NO₃ es difícilmente adherido al suelo (debido a su carga negativa al igual que el suelo), por lo cual es un problema en ciertos suelos de uso agrícola ya que contamina las aguas subterráneas.
 - **Nitrógeno total (N-T):** el nitrógeno total engloba todos los compuestos mencionados anteriormente, y es el más utilizado como índice de eutroficación. La cifra límite entre eutroficación y oligotroficación es 0.15 a 0.2 mg/lt.
 - **Nitrógeno Kjeldahl (N-K):** es el nitrógeno medido por el método Kjeldahl, y corresponde a la suma de N orgánico y N amoniacal. Debido a que en aguas servidas, el nivel de N-NO₂ y N-NO₃ es bajo, hay ocasiones en que se utiliza N-K como N-T.
- d) **Fósforo (P):** Los compuestos fosfatados en medios acuáticos se clasifican en inorgánicos y orgánicos; solubles y partículas. Los inorgánicos a su vez se subdividen en ortofosfatos y polifosfatos. Dentro de los ortofosfatos, el fósforo fosfatado (P-PO₄) está presente como ion fosfato, y es como se encuentra la mayoría del fósforo inorgánico en el medio acuático. Los polifosfatos y fosfatos orgánicos después de ser descompuestos biológica o químicamente finalmente quedan como P-PO₄.

La procedencia de los compuestos fosfatados en medios acuáticos, naturalmente es de extracciones de rocas o suelo, o descomposición de fosfatos orgánicos de restos animales, vegetales y desechos biológicos. Sin embargo, el aporte de estos en zonas acuáticas es mínima. Dentro de los compuestos fosfatados desechados por la actividad humana, se

puede mencionar el fósforo extraído del suelo por sobre explotación, fertilizantes o pesticidas aplicados en áreas agroforestales, aguas servidas, desechos biológicos, aguas de desechos industriales, aguas de desechos de ganadería, entre otros.

Además, en el tratamiento de aguas (hasta el tratamiento secundario) casi no se elimina el fósforo, por lo tanto, el agua que es liberado después del tratamiento de purificación también es una gran fuente de contaminación.

En cuanto a las aguas de desechos de viviendas, la mayor fuente de fosfato (principalmente el triple fosfato) proviene de componentes de detergentes (compuesto que disminuye la dureza del agua y favorece la formación de espuma), lo cual se ve la necesidad de desfosforilar los detergentes.

Como indicador de eutroficación, se utiliza el fósforo total (P-T) y es de 0.02 mg/lt.

e) **Carbono orgánico total (COT):** es la cantidad de compuestos orgánicos representado en cantidades de carbono medidos en carbono orgánico total. Si se mide el líquido filtrado, se obtiene el carbono orgánico disuelto (COD), y este corresponde al indicador de la cantidad de algas relacionados con la eutroficación.

Clorofila a: la clorofila se clasifica en clorofila a, b, c y bacteriana. Dentro de ellas, la clorofila a esta presente en todos los vegetales verdes, con excepción de las bacterias fotosintetizadoras, y por ello es un indicador de presencia de algas.

f) **Potencial de crecimiento de algas (AGP; Algal Growth potential):** es un indicador directo del nivel de eutroficación. Corresponde al peso seco (mg/lt) de la máxima cantidad de algas que fueron inoculadas y reproducidas en una muestra de agua bajo condiciones ambientales y periodo determinados. Generalmente, el AGP de un lago oligotrófico es <1 mg/lt, y el de un lago eutrófico es de 10 a 99 mg/lt.

g) **Water-bloom:** es el plancton vegetal que se reproduce en aguas eutroficadas, tornando los lagos o lagunas de color verde. Los principales causantes son *Microcystis*, *Oscillatoria* y *Anabaena*. Se expanden ampliamente por toda la superficie acuática en forma de bandas o se reúnen formando una alfombra gruesa. Aparte de tener un olor peculiar no agradable, lo que no da una buena impresión del lugar, en muchos países se están observando apariciones de water-bloom venenosos debido a la eutroficación de lagos y lagunas, lo cual es un gran problema. Como ejemplo de ello, se puede nombrar la microcistina, toxina producida por *Microcystis*, y la toxicidad en humanos y animales es mayor que cianuro potásico. Por ello, la Organización Mundial de la Salud estableció una normativa para nuevas toxinas como la microcistina como un indicador de calidad de agua potable.

h) **Grupo de coliformes:** se denomina grupo de coliformes a las bacterias que parasitan en el cuerpo humano y animal, y las que se distribuyen ampliamente en la naturaleza como en suelos y aguas. Su patogenicidad es baja, sin embargo, si se encuentran en grandes

cantidades, hay una alta probabilidad de que las aguas estén contaminadas con distintas bacterias coliformes procedentes del aparato digestivo.

Por otro lado, debido a que estas bacterias se encuentran normalmente en intestinos de seres humanos y animales, al detectarse en las aguas indican que hay contaminación por desechos biológicos.

2. Causas de la eutroficación, problemas provocados y estrategias básicas de control

La eutroficación, como se menciono anteriormente, es el aumento del valor nutritivo de ríos, lagos y mar debido a la afluencia de sales nutritivas de nitrógeno, fósforo, entre otros, y como resultado, hay un aumento de la población biológica.

Desde este punto de vista, la causa de la eutroficación sería el suministro de nitrógeno y fósforo que generalmente estarían en déficit, y son elementos esenciales para los seres biológicos acuáticos. En realidad, se nombran otros minerales mas, pero usualmente estos 2 elementos serian las causas. Además de la disposición suficiente de nutrientes, hay otras condiciones importantes para la reproducción de microorganismos, como adecuada temperatura del agua, suficiente energía luminosa y ausencia de compuestos tóxicos.

Los problemas provocados por la eutroficación se pueden dividir en tres. El primero sería el surgimiento de los daños provocados por el aumento del nitrógeno y del fósforo. Entre ellos se encuentran daños provocados en la salud humana por ingesta de agua con altos contenidos de nitrógeno (en especial N-NO₂) y daños provocados en la agricultura debido a la excesiva absorción de nitrógeno y fósforo por los cultivos (caída de plantas por excesivo crecimiento vegetativo). El segundo problema causado sería daños provocados por la reproducción excesiva de plancton vegetal, producto del aumento de nitrógeno y fósforo. Ello se refleja en la producción de compuestos toxinas por water-bloom venenosos como las Microcystis, que causarían daños directos al ser humano, olor desagradable en el medio, arruinando el paisaje. En la agricultura, se observan obstrucción en los agujeros del sistema de riego por goteo, adhesión de restos de plancton en las hojas y frutos. El tercer problema, es el daño provocado por aumento de compuestos orgánicos que induce el aumento de nitrógeno y fósforo, el cual se estima una alta posibilidad de contaminación bacteriana y flujo de fertilizantes y pesticidas. El aceleramiento de una eutroficación indica una gran actividad productiva, pero a la vez indica que los desechos de la producción no son debidamente tratadas, lo cual hace pensar en la posibilidad de presencia de otros tipos de contaminación. Todo ello resulta en una influencia negativa para la producción agrícola, provocando incertidumbres sobre la calidad del producto y una baja en el precio.

De esta forma, los problemas surgidos por la eutroficación se ramifican en varias areas. Para considerar una estrategia de control, para cada caso de eutroficación se debe analizar la

causa principal y los problemas provocados. Una vez enfocados los factores anteriores, se debe buscar una estrategia de control. Si se trata de enfrentar la eutroficación como un problema general, y no puntual, puede obtenerse algún resultado, pero en muchos casos no se soluciona el problema central.

Como estrategia básica de control, considerando las causas y los problemas provocados, se puede mencionar lo siguiente.

- a) Eliminar las fuentes de suministro de nitrógeno y fósforo.
 - a.1) absorción o descomposición de fuentes de contaminación mediante microorganismos aeróbicos y anaeróbicos acuáticos
 - a.2) absorción o descomposición de fuentes de contaminación mediante microorganismos aeróbicos y anaeróbicos del suelo.
 - a.3) cambios en la población de un medio acuático anaeróbico mediante la introducción de aire.
 - a.4) eliminación física de materia orgánica por medio de filtración con arena.

- b) Eliminar el suministro de energía luminosa.
 - b.1) sombreamiento con planchas de plumavid, mallas entre otros.
 - b.2) sombreamiento por medio de aumento de plantas flotantes, o producción de olas artificiales
 - b.3) en lagos profundos, sombreamiento generado por la corriente de aguas superficiales hacia el fondo

- c) Suministrar elementos tóxicos para el plancton, como sulfato de cobre.

- d) Recuperar el nitrógeno y el fósforo liberados al medio acuático.
 - d.1) plantación artificial de plantas con gran capacidad de absorción de nutrientes.
 - d.2) colocar piedras, carbón, plástico o fibras para que crezcan los microorganismos que absorban tales elementos.

- e) Eliminar plancton vegetal producidos en el medio acuático.
 - e.1) recolección mediante una red tirada por un barco.
 - e.2) liberación de peces que se alimenten de plancton vegetal.
 - e.3) incorporación de un producto formador de conglomerados de macromoléculas y hacer que precipiten.

- f) Esterilizar agentes patógenos como *E. coli* con cloro o radiación ultravioleta.

g) Disminuir fuentes de contaminación mediante el establecimiento de un cultivo que requiera una menor aplicación de fertilizante, pesticidas y herbicidas.

Es necesario seleccionar la estrategia de control de acuerdo al objetivo, y para ello, se debe considerar el lugar donde se va a llevar a cabo el control. Es decir, si es la fuente de contaminación (fabrica, vivienda, superficie agrícola, bosque, mina, etc), o es la ruta de distribución de agua (ríos, agua subterránea, canales, represas, etc) o el lugar mismo de cultivo.

La estrategia g) se excluye debido a que no se relaciona con el propósito del presente informe. En esta estrategia se contemplan temas como la agricultura orgánica, cero labranza, control biológico de plagas, entre otros, los cuales se prefiere entrar en detalle en otro tema de especialización.

Por ende, se mencionaran ejemplos de las otras estrategias de control.

3. Resumen de las estrategias de control de la eutroficación.

Actualmente, se están ejecutando controles de eutroficación en varios países dependiendo de las condiciones en que se produjeron. Sin embargo, no existen estrategias efectivas para la totalidad del problema, y muchos están aun en etapas de investigación. Se han ideado varias estrategias de control, y en el presente informe se trataran las principales estrategias según el punto de vista técnico. Las estrategias se clasifican de acuerdo al lugar donde se ejecutara el control. Según ello, se encuentran las a) fuentes de contaminación como vivienda, fabricas y superficies agrícolas; b) las rutas de distribución de agua como ríos, canales; y c) zonas agrícolas que utilicen canales de riego.

a) Estrategia de control en fuentes de contaminación

a.1) Estrategia de ingeniería bioecológica.

Como método de tratamiento de aguas de desecho de viviendas, se realizan tratamientos de mantenimiento de alcantarillados y tanques de purificación. Sin embargo, el problema de este método es que no se realizan tratamientos contra el nitrógeno y el fósforo. Un tratamiento de mayor tecnología no está difundido en muchos países. Esto es debido a que el tratamiento de estos compuestos son muy difíciles, y aun no se ha establecido un método que económicamente sea posible de ejecutar. En cuanto al tanque de purificación, hay muchos que solo tratan específicamente desechos biológicos, lo cual se hace necesario la implementación de tanques de tratamientos combinados, en el cual se purifiquen aguas de desecho de cocinas junto con los del baño.

Las últimas investigaciones en relación al tratamiento de nitrógeno y fósforo en cuestión, están mostrando una tendencia hacia un sistema de purificación de aguas llamado ingeniería

bioecológica. Este combina 2 rubros de la ingeniería ecológica, que son ingeniería biológica o bio-ingeniería, que trata el nitrógeno y el fósforo eliminándolos en el tanque de purificación, y la ingeniería ecológica o eco-ingeniería, que utiliza las máximas capacidades propias de plantas y suelo para el tratamiento de estos contaminantes.

- **Bio-ingeniería:** esta es un sistema de tratamiento avanzado en tanques de purificación que utiliza microorganismos para eliminar nitrógeno y fósforo. Dentro del tanque se combinan adecuadamente microorganismos aeróbicos y anaeróbicos, los cuales se encargan de purificar el agua contaminada. Al entrar agua contaminada en el tanque, las bacterias anaeróbicas transforman el nitrógeno orgánico, como aminoácidos y proteínas, en amoníaco. Continuamente, los microorganismos aeróbicos transforman el amoníaco en nitrito y luego en nitrato. Al devolver esta agua al tanque con microorganismos anaeróbicos, las bacterias denitrificantes ocupan el oxígeno de NO_2 y NO_3 para la respiración, liberando el nitrógeno remanente como gas.

Por otra parte, el fósforo, que es un elemento esencial para la formación estructural de los cuerpos de los microorganismos, se elimina gradualmente de las aguas contaminadas a medida en que los microorganismos se reproducen. Además, si se combina adecuadamente los microorganismos aeróbicos y anaeróbicos, aumentan los microorganismos que acumulan fósforo, obteniéndose una eficiente eliminación de tal elemento. Esta es la mecánica del sistema de tanques de tratamientos de purificación avanzada que utiliza la bio-ingeniería.

La particularidad que tiene esta metodología es que al método de purificación común que utiliza microorganismos aeróbicos, se le puede adicionar microorganismos anaeróbicos en proporciones adecuadas y se puede obtener un tratamiento mas efectivo.

- **Eco-ingeniería:** En la naturaleza ecológica, existen suelos y plantas que utilizan materia orgánica. La combinación de estos con técnicas ingenieriles, aumentando su funcionamiento, es el método que utiliza la eco-ingeniería.

Pero, en casos de utilizar plantas para la purificación de aguas, es necesario tambien eliminar estas después de su vida útil, y ese es un problema mas. Si se dejan abandonadas estas plantas que han absorbido el nitrógeno y el fósforo, se secan y quedan en el fondo, generándose otro problema. Como métodos de eliminación se nombran el compostaje, utilización de plantas para consumo humano, entre otros, lo cual indica la importancia de pensar en el ciclo de reciclaje de los recursos.

- **Bio-eco ingeniería:** es una técnica que combina las dos anteriores. Como una primera etapa, se trata el agua contaminada en tanques de purificación con microorganismos aeróbicos y anaeróbicos. Luego, el agua que sale de los tanques, se incorpora al sistema de tratamientos de suelo o al sistema de tratamientos de cultivo hidropónico. Finalmente, el

agua que sale de estos sistemas se libera a la zona acuática de uso público. En este sistema, también se han desarrollado técnicas con el propósito de mínimo costo económico y energético, el cual no requiere de una fuente de energía aplicada. Tal sistema consiste en la instalación de un tanque de purificación que habitan microorganismos anaeróbicos, luego, el agua pasaría al suelo, en donde se ha dispuesto una caja con piedrecillas, conectado a una tubería. La disposición de varios de estos sistemas en serie llevarían a un sistema de purificación de aguas contaminadas. Experimentalmente, se ha utilizado una muestra de agua con la siguiente característica, BOD 200mg/lt, N 50 mg/lt y P 5mg/lt al ingresar al sistema. A la salida, se midió nuevamente y se obtuvo BOD 5 mg/lt, N 5 mg/lt y P <0.1 mg/lt. Cabe destacar que para la estrategia de control de la eutroficación, el objetivo es obtener en los alcantarillados o en los tanques combinados de purificación N 10 mg/lt y P <1.0 mg/lt.

Con este método, se puede disminuir el costo de instalación y mantención a menos de la mitad de un sistema de común de método de lodo activado. En cuanto a energía eléctrica que utilizaría es menos de 1/10 del sistema método de lodo activado, debido a que solo se necesitaría una bomba para ingresar el agua al sistema de tratamientos de suelo o de plantas. Sin embargo, es necesario un amplio terreno, y quizás eso aumentaría el gasto, descompensando el bajo consumo de energía eléctrica. Para el tratamiento de aguas, es necesario oxígeno, y para ello se debe elegir entre usar oxígeno natural del aire o incorporar mediante una bomba. En caso de un tratamiento de suelo, se indica que es necesario un amplio terreno, 10 veces más que el sistema método de lodo activado, y el tiempo requerido para purificación es mayor, requiriendo de más terreno si se utiliza el método de tratamiento con plantas. Además, en el caso de tratamientos de suelo, si se incorpora demasiada cantidad de agua, se saturaría. Es decir, si hay mucha materia orgánica en el agua contaminada, aumentarían los hongos y las bacterias que ocuparían los poros del suelo. Si se incorporan lombrices a este suelo, ayudaría a la aireación del suelo. Esto es debido a que las lombrices se alimentarían de estos hongos y bacterias, además de que abren espacios al moverse. Sin embargo, la capacidad de abrir espacios es limitado.

Comparando las aptitudes para las condiciones de contaminación, el tratamiento de suelo sería óptimo funcionalmente, y también hay un efecto de filtración del agua a través de la tierra. En casos de tratamientos con plantas, se ha visto que el tratamiento de cultivo hidropónico con berros, es 10 veces más eficaz que con cañas.

a.2) Estrategia de la Laguna Aireada: este método consiste en ingresar agua contaminada a una laguna de poca profundidad, suministrando oxígeno natural o artificialmente, fomentando el tratamiento de materia orgánica por organismos biológicos. La laguna se utiliza tanto como grandes lagunas o como piscinas de pre-tratamiento de aguas servidas. El principio es el mismo,

pero el organismo biológico utilizado varia ampliamente, desde plantas acuáticas como berros o cañas, a microorganismos aeróbicos. En casos de utilizar microorganismos anaeróbicos, se le denomina estanque de estabilización (stabilization pond). El método de eco-ingeniería mencionado anteriormente es un tipo de método de la laguna aireada.

En conceptos amplios, esta laguna aireada es establecido no solo en las fuentes de contaminación, sino que también en las rutas de distribución, o en campos de cultivo previos a los canales de irrigación.

b) Estrategias de control en rutas de distribución.

b.1) Estrategia de control en lagos y pantanos: en lagos y pantanos, debido al escaso movimiento del agua, las sales nutritivas sedimentan, la temperatura superficial del agua aumenta. Condiciones que son optimas para la reproducción de plancton vegetal, y hace que aumente la posibilidad surgimiento daños a causa del proceso de eutroficación. En especial los lagos artificiales como represas, se observan frecuentemente casos de eutroficación debido al estrato vegetal natural existentes en el fondo previo a la construcción de ellas, y la fuente de nitrógeno y fósforo es abundante.

Una estrategia representativa para lagunas de almacenamiento hídrico, es el tubo de inyección intermitente de aire. Para ello, se dispone de un tubo cilíndrico en el fondo de la laguna. Desde la superficie terrestre se manda aire al fondo mediante un compresor de aire. Una vez acumulada cierta cantidad de aire en el fondo, este pasa a través del tubo y emana. El movimiento de agua que genera este impulso de aire produce una corriente circular en toda la laguna. Como resultado, la fase acuática superior baja a fases inferiores, generando un movimiento vertical del agua. Los efectos, aunque depende de los casos, son los siguientes.

- Al entrar aguas superficiales a zonas mas profundas, se intercepta la energía solar y se limita la reproducción del plancton vegetal.
- Se incorpora oxígeno a zonas profundas lo cual acelera la descomposición de materia orgánica del lodo que esta en el fondo.
- Se uniforma la temperatura de las fases acuáticas superiores e inferiores, manteniendo estable la temperatura del agua.
- Con la generación de corriente de agua el hábitat del plancton se desorganiza.
- Al generarse olas en la superficie, se evita el paso de energía solar al fondo de la laguna.

Dentro de los efectos mencionados, el que se dice ser mas efectivo es la intercepción de energía solar mediante la generación de corriente de agua vertical. Para ello, se estima necesario la intercepción por a lo menos 5 días. Por ende, para que obtener un efecto, es necesario una profundidad del lago de aproximadamente 10 m, para que tome suficiente tiempo en la circulación de agua a fases profundas. En lagunas mas superficiales no se

espera tal efecto.

El método de inyección intermitente de aire es utilizado ampliamente en lagunas de almacenamiento de pequeña escala como son las represas. Además de los resultados positivos, el mantenimiento es simple, ya que como maquinaria, solo se requiere la instalación de un compresor de aire. En cuanto a su instalación, junto con la selección del equipo de acuerdo a la dimensión de la laguna, forma, nivel de calidad de agua, es necesario determinar el número de compresores a instalar.

Como otra metodología para lagos y lagunas, se utiliza también el sistema con plantas acuáticas, que se mencionara en forma aparte. Este sistema es ejecutado en zonas puntuales con evidente contaminación dentro de la totalidad del lago. Además, se realizan métodos de eliminación de plancton con mallas especiales o filtros de cilios largos. También se están estudiando métodos como utilización de peces o animales primitivos que se alimenten de este plancton. Sin embargo, puede presentarse casos en que también se alimenten de plancton animal y aumente ciertas especies de plancton vegetal. Y esto afectaría al equilibrio de los seres de ese hábitat, por lo tanto es de suma importancia hacer un detallado estudio y tomar las precauciones necesarias para tal decisión. En caso de peces hay que considerar también su ciclo de reciclaje, por ejemplo ver si son aptos para el consumo o no.

b.2) Estrategias en ríos: en ríos o canales de riego, no se observan casos de producción de plancton vegetal como en lagos y lagunas. Sin embargo, como son rutas de distribución de agua, siendo este transporte una función fundamental en la naturaleza, es importante para evitar la eutrofización en estos lugares. Para ello, se mencionan 2 métodos. El primero es utilizar los ríos o canales de regadío como lugar de tratamiento. El segundo es, tratar las aguas en orillas de ríos o fuera de la zona acuática y luego devolverlas purificados a su cauce normal.

El primer método, es disponer de un material de contacto en zonas de ríos o canales de riego que tengan baja velocidad. Se eliminan los compuestos DBO, que son materia orgánica y sólidos en suspensión (SS), mediante los microorganismos que crecen en material de contacto formando una película biológica. La metodología más común era el tratamiento de purificación con piedras. Este método consistía en disponer piedras en el fondo, y los microorganismos que se adherían a estas piedras actuaban como filtros biológicos. Como material de contacto, también se utilizaban fibras tipo cuerda, materiales plásticos o carbón, cada uno con características que activan la reproducción de los microorganismos. Por ejemplo, en las fibras tipo cuerda, las pequeñas fibras individuales aumentan la superficie de contacto. En el centro se adhieren los microorganismos anaeróbicos y en la superficie los aeróbicos. Formando así una

cadena equilibrada, disminuyendo también la producción de lodo contaminado. El carbón contiene muchos orificios, lo cual aumenta la superficie de adhesión. Debido a que es levemente alcalino, facilita el crecimiento de microorganismos. Sin embargo, el problema que presenta este método, es cuando aumenta la velocidad de crecimiento de los microorganismos en material de contacto, se forma una gran capa, lo cual disminuye la superficie de adhesión. Esta capa puede desprenderse y ser transportados por la corriente, o se quedan en el lugar produciendo un olor desagradable. Por lo tanto, es necesario considerar también una limpieza de material de contacto. Adicionalmente, en los últimos años, en lugares específicos donde hay un gran aumento de materia orgánica, se están estudiando las posibilidades de incorporar aire desde la superficie terrestre para aumentar los microorganismos aeróbicos y así aumentar la capacidad auto purificación.

El segundo método, de instalar un sistema aparte a los lados del río o canal para purificar las aguas y luego devolver al cauce original, presenta la ventaja de hacer mas eficiente la purificación natural en un medio artificial, al igual que la facilidad de manejo de purificación o tratamiento de lodo contaminado en ella. Por ejemplo, se puede construir un canal de cemento al lado del río, en donde se disponen cuerdas o material de contacto de plástico con forma de panal de abeja, donde se efectúa la descomposición de materia orgánica por microorganismos y también se precipita los materiales que están en suspensión. En todos estos sistemas, se diseña también para poder eliminar el lodo contaminado.

El problema que presenta este método, es que se requiere de un espacio de construcción al lado del río o canal, y hay un costo de construcción y mantenimiento.

Ahora, la estrategia en ríos tiene como objetivo el tratamiento de materia orgánica, por lo que no se espera el tratamiento de nitrógeno y fósforo. A modo de ejemplo, se puede mencionar un acueducto con material de contacto, cuya agua de entrada presentaba DBO 10-30 mg/lt. El porcentaje de eliminación fue DBO 50-70%, N-T 16-22%, SS 70-90%, P-T 15-18%. Comparando el BOD y SS con N-T y P-T, se observa que casi no hay eliminación de estos últimos.

c) Estrategias de control en campos de cultivo

En caso de que llegue agua contaminada al campo de cultivo desde una fuente de contaminación, y a través de canal de riego, con nitrógeno, fósforo y además con plancton vegetal originado por los anteriores, es necesario hacer un tratamiento previo a la entrada al campo. La característica que tiene esta estrategia en el campo de cultivo, es que requiere de gran superficie y reducción del cargo del receptor de aguas limpias, que en este caso sería el agricultor. Adicionalmente, en los últimos años, se solicita poner atención en la apreciación del paisaje. En este sentido, en campos de cultivo se suele utilizar la metodología de la laguna

aireada. En otras palabras, es un método de purificación de aguas mediante plantas acuáticas en lagunas poco profundas.

c.1) purificación de aguas mediante el uso de plantas acuáticas: se sabe que en los ríos, los microorganismos juegan un rol muy importante en el tratamiento de purificación de aguas, sin embargo, las plantas acuáticas también realizan su aporte. Las plantas acuáticas absorben directamente el nitrógeno y el fósforo. Con su tallo disminuye la velocidad del caudal acelerando la precipitación de las materias en suspensión (SS). Las hojas interceptan la luz. La presencia de estas plantas hace que aumente la población de microorganismos, y a través de sus tallos y raíces suministran oxígeno al fondo.

Para este método, se plantan water hyacinth, cañas, berros, papiro, kenaf, entre otros. Para la elección de la especie, se debe tomar en consideración los siguientes puntos.

- Capacidad de absorción de los elementos a absorber.
- Adaptabilidad de la especie en el lugar de establecimiento.
- Metodología de eliminación de rastrojos
- Posibilidad de utilizarlos como plantas comestibles
- Posibilidad de combinar con otras técnicas de tratamientos de agua.

Como ejemplo de este tipo de estrategia, se puede mencionar el uso de water hyacinth, que además es uno de los más experimentados. Esta planta tiene una gran capacidad de absorción de nitrógeno y fósforo, sus hojas interceptan bastante bien la luz. Sin embargo, en Japón, esta especie se seca en invierno, y su eliminación ha sido un gran problema. Se han propuesto varios métodos de utilización de este rastrojo, tales como incorporación a la tierra como abono orgánico, alimento para ganado, alimento para peces, pero aun no se ha encontrado una solución definitiva.

Por otro lado, en campos de cultivo, se utiliza bastante el almacenar aguas de canales de riego en lagunas o tanques. En estas lagunas o tanques es donde se reproducen fácilmente los plancton vegetales, por lo tanto es importante tapar estos para evitar la exposición a luz solar.

4. Palabras finales

En el presente informe, se mencionaron unas cuantas estrategias de control para evitar malas influencias en la agricultura causado por el exceso de nitrógeno y el fósforo. Sin embargo, es posible que actualmente hayan otras metodologías más eficaces y que este informe no sirva como referencia. Particularmente en Chile, en donde zonas del norte al centro la precipitación es escasa, y por ende también el agua de riego, posiblemente la purificación de aguas mediante plantas acuáticas sea bastante difícil. Actualmente, el Servicio Agrícola y Ganadero (SAG) del Ministerio de Agricultura, está estudiando la posibilidad de utilizar bio-filtros de álamos y alfalfas, que tienen gran capacidad de absorción de nitrógeno, y se estima que mejorara la calidad de

agua tanto superficial como subterránea. En el caso de Chile, el mejoramiento de calidad de aguas superficiales y subterráneas es un tema de gran importancia. Las aguas subterráneas, a diferencia de las superficiales, son difíciles de tratar con estrategias de control en rutas de distribución, por lo que se ve la importancia de aplicar una estrategia de control en la fuente de contaminación.

No obstante, como ensayo general, se estima que se han mencionado la mayoría de los métodos de eliminación de nitrógeno y fósforo. El siguiente trabajo sería, a partir de las metodologías mencionadas, encontrar formas de combinación de estrategias de control que consideren el medio ambiente natural y social de la zona, o ir realizando adecuaciones a un método ya pre-establecido. Para ello, es necesario la colección de datos fidedignos y una conversación con los residentes de la zona y los ejecutores responsables de las estrategias de control.

En Chile, los datos de calidad de agua varían según la zona, y se estima que hay suficiente información al respecto. Sin embargo, el problema es que esta información no está al alcance de todo el público. Cada institución tiene sus propios datos, y la diseminación de ella es insuficiente, por lo que sería necesario mejorar el sistema de difusión de la información. Se entiende que al ser una institución administrativa independiente, sea necesario resguardar sus pertenencias, sin embargo, la información debería difundirse en forma gratuita y amplia, aumentando la eficiencia administrativa y financiera de todo el país.

Continuamente, el caso de Chile, se estima necesario establecer una normativa ambiental y de liberación de desechos relacionados con el nitrógeno, el fósforo y la eutrofización. El aceleramiento de la eutrofización, no solo provoca daños en la agricultura o en el medio ambiente, sino que también hay riesgos en la salud humana, por ejemplo la producción de NO₃ y toxinas liberadas por algas *Microcystis*, generando un problema bastante serio.

Finalmente, aunque se desvía un poco del punto de vista de la eutrofización, cabe mencionar el problema causado por bacterias coliformes. En Chile, en cuanto a la cantidad de coliformes, SAG ha establecido una normativa que permite el cultivo de especies específicas como la lechuga, bajo condiciones de <1000 MPN/ml, debido al daño que provoca en el ser humano y a las restricciones para la exportación. Estas bacterias son eliminadas en parte por la eliminación de SS o materia orgánica. Sin embargo, en tratamientos con microorganismos o plantas, la eliminación es insuficiente y se requiere de una estrategia adicional.

Como estrategia de control de estas bacterias, se mencionan principalmente 3.

- **Desinfección con cloro:** este es un tratamiento de bajo costo, y se utiliza masivamente en los tratamientos de aguas servidas. El problema es la posibilidad de producción de tri-halo-metano, que es cancerígeno, y también el aceleramiento de pudriciones de maquinarias y tuberías.

- **Esterilización con ozono:** este método no tiene los problemas anteriores, pero es de alto costo. La desventaja es que es necesario descomponer el ozono no reactivo, y no tiene efectos prolongados de esterilización.
- **Esterilización con luz ultravioleta:** este método tampoco tiene los problemas de la desinfección con cloro, pero también es de alto costo y no tiene efectos prolongados de esterilización.

Por consiguiente, para la elección de alguna de las estrategias anteriores se debe estudiar según la necesidad. Pudiendo también complementarse con las estrategias de control de eutroficación para asegurar la salud de la población, la seguridad de los productos agrícolas y recuperar el medio ambiente natural.

**CONSIDERACIONES SOBRE LA METODOLOGIA
PARA LA DETERMINACION DE LA CALIDAD
DEL AGUA MEDIANTE COMUNIDADES
BIOLOGICAS EN LA CUENCA DEL RIO
MAIPO**

Octubre 2003

Consideraciones sobre la Metodología para la Determinación de la Calidad del Agua mediante Comunidades Biológicas en la Cuenca del Río Maipo

Octubre, 2003

Jun Kurosawa

Experto de JICA

Comisión Nacional de Riego

Ministerio de Agricultura

Se realizó en el sitio, una investigación sobre la Metodología para la Determinación de la Calidad del Agua mediante Comunidades Biológicas en la Cuenca del Río Maipo, conjuntamente por la Comisión Nacional de Riego del Ministerio de Agricultura (CNR) y JICA en Mayo del año 2003. Posteriormente, continuó el proceso de identificación de las muestras de organismos béticos y diatomea en la Facultad de Ciencias de la Universidad de Chile y se informó junto con el resultado del análisis químico de los materiales de la agua recogida.

Quisiera manifestarle un respeto hacia las personas y entidades correspondientes, ya que la cantidad y especies de los organismos que se cuantificaron e identificaron son enormes, tal como aparecen en el informe publicado por CNR. Para poder retribuir ese esfuerzo, informaré sobre el resultado de mi propio análisis. Los objetivos de este análisis son los siguientes:

- (1) **¿Es posible determinar los organismos indicadores en diferentes grados de la calidad del agua del Río Maipo, referente a los organismos biológicos y diatomea?**

- (2) **¿Es posible establecer la Metodología para la Determinación de la Calidad del Agua mediante Comunidades Biológicas, a través de la utilización del Método Beck-Tsuda etc., pudiendo determinar los organismos indicadores?**

Como ésta es la primera investigación de esta índole, no va a ser posible cumplir cabalmente los objetivos, sin embargo, es importante que tenga sentido como una prueba.

1. Comentario General sobre la totalidad del Río Maipo:

Esta investigación se realizó en el Río Maipo, en 23 puntos del agua arriba al agua abajo

y en 7 puntos de los afluentes. El resultado, desde el punto de vista del análisis químico y biológico, fue el oligosaprobio que correspondería principalmente al agua arriba en el punto M-7. Posteriormente, hacia el agua media, aparece el polisaprobio entre los puntos M-8 y M-9. y finalmente, aparecen alternativamente β mesosaprobio y α mesosaprobio desde el punto M-10 (ver informacion publicado por CNR). Para confirmar la relación entre los diferentes grados de calidad del agua determinados mediante organismos biológicos y análisis químico para calidad del agua es:

- Oligosaprobio DBO₅ menos de 2.5ppm
- β mesosaprobio . . . DBO₅ 2.5 – 5ppm
- α mesosaprobio . . . DBO₅ 5 – 10ppm
- Polisaprobio DBO₅ más de 10ppm

Se utiliza el DBO₅ como parámetro en el análisis químico de calidad del agua, debido a que es ocupado para esos fines en el tema de la contaminación orgánica de los ríos y el estudio referente con los organismos está bastante avanzado. Además del DBO₅, como parámetro, se utilizan Nitrógeno total (T-N), Fósforo total (T-P), Carbón total (T-C) etc. pero, en este informe, nos concentramos principalmente en el DBO₅, ya que hay pocos datos comparables.

En cuanto a la correlación entre DBO₅, y T-N etc., naturalmente, si DBO₅ fuera mayor, los demás también tienden a serlo. Sin embargo, en esta investigación, no se demostró esa tendencia (ver detalle en el dato adjunto). Este es uno de los problemas del análisis químico que da el resultado de un solo momento, se necesitan varios análisis por período prolongado para saber la media del punto del muestreo.

Los elementos importantes para investigar la correlación entre organismos y calidad del agua son los elementos orgánicos y los metales pesados, pero afortunadamente para el estudio, en el río en cuestión podremos decir que habrá poca o ninguna contaminación a causa de los metales pesados. Esto se debe a que los resultados del análisis para todos los items (Al, As, Cu, Cd, Fe, Pb y Zn) fueron, salvo un punto (M-3 Cd), inferiores que los estandares establecidos en Chile como Estandares para Aguas de Regadío, Requisito para al Agua Potable y Norma de residuos líquidos industriales. Naturalmente, no se puede diagnosticar con un solo muestreo de una investigación, y tampoco negar que exista la posibilidad de la contaminación por los metales pesados fuera de los items analizados, pero básicamente, podemos considerar que, el caso de este río, determinará los organismos por contaminación orgánica sólomente.

2. Posibilidad de definir los organismos indicadores:

Como un comentario general, del resultado de las investigaciones en varios países del mundo, notamos una tendencia que limita las especies de los organismos según el grado de contaminación orgánica en el río. Sin embargo, dependiendo de la especie, existen unos que pueden vivir en diferentes niveles de calidad del agua y otros en los que esta es un limitante. Dentro de estos, seleccionamos los que habitan en cierta calidad del agua lo que constituye como los organismos indicadores de ese río o de alrededores. El resultado de esta investigación se traspoló a este fundamento y los resultados son como sigue.

Para el análisis, se refirió a los resultados de los 23 puntos en la corriente principal del Río Maipo. Tenia presupuestado verificarlo con el de 7 puntos de afluente, pero no se pudo realizar la inspección ya que la calidad del agua de este era practicamente buena y además la formación del río era diferente. Por lo tanto, se refiere solo el resultado de la corriente principal.

(1) Organismo Béntico

Según la clasificación de organismos bénticos por parte de la Universidad de Chile, en información adjunta, existen 47 especies incluyendo las que no se pueden determinar. Hay en total 23 especies luego de eliminar las que no se pudieron encontrar en 23 puntos de la corriente principal y las que se pudo encontrar en solo uno de ellos. Resumiendo, BDO₅, número de especie, cantidad por cada punto, en la tabla a continuación.

Tabla-1

Condición de calidad del agua y los organismo béntico total por cada punto de muestreo

Punto	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
BDO ₅	0.78	1.36	1.16	0.78	1.55	0.97	1.55	122.0	44.0	4.07	4.00	4.65
Calidad	A	A	A	A	A	A	A	D	D	B	B	B
Especie	9	9	9	11	10	9	6	4	5	11	8	7
Cant.	683.5	728.1	776.1	1859.3	681.6	918.6	1431.6	387.0	153.8	2818.7	5407.5	1820.5

	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
BDO ₅	3.30	6.79	2.91	2.52	3.10	4.85	5.43	7.56	3.88	3.49	3.49
Calidad	B	C	B	B	B	B	C	C	B	B	B
Especie	6	7	7	17	15	12	12	15	10	12	9
Cant.	1950.1	2365.0	3196.4	37947.3	28933.4	16917.0	19485.3	21052.0	5409.4	2933.4	6835.2

Grado A : Oligosaprobio, B : β mesosaprobio, C : α mesosaprobio, D : Polisaprobio

Unidad de la cantidad: numero/m², Unidad de DBO₅: ppm

Si se ordena por el grado de calidad del agua, como sigue:

Tabla-2 Cantidad promedio de especies y número por diferente grado de agua

Calidad del agua	A	B	C	D	Promedio
Especies Prom.	9	10.4	11.3	4.5	8.8
Números Prom.	1011.3	10379.0	14300.8	270.4	6490.4
Puntos	7	11	3	2	

Del resultado de las tablas, debemos considerar:

- ① Hay muy poca cantidad tanto del número de especies promedio como de las cantidades promedio en la clasificación D que corresponde al polisaprobio. Esto coincide con que los valores del DBO₅ en la clasificación D son tan altos como 122ppm y 44ppm. Sin embargo, es necesario verificar, aumentando el número de análisis químicos por que el resultado de otros valores de análisis (conductividad eléctrica, nitrógeno total T-N, fósforo total T-P etc.) no eran tan altos en estos 2 puntos como los de BDO₅. Si el resultado de estos análisis demuestra que la calidad del agua de estos 2 puntos fuera muy mala, así vemos que la metodología para evaluar la calidad del agua mediante comunidades biológicas puede ser efectivo porque se determinó con una sola investigación.
- ② Sobre el numero de especies, no existen grandes diferencias en la calidad del agua de A a C, teniendo la tendencia de aumentar ligeramente hacia C. En general, hay una pequeña contradicción de que aumentaría el número de especies si la calidad del agua es mejor. Esto podría suceder por el efecto del ambiente, del agua arriba y agua media, en donde habitan los organismos bénticos, en vez de la calidad del agua. Existe la posibilidad de que la condición en el agua media, tal como la velocidad y temperatura del río fuesen más beneficiosas para que los organismos pudieran habitar. En cuanto al número de especies, tal como se estipulan en varios métodos de determinación biológicos, hay que considerar las especies más resistentes a la contaminación, y por lo tanto, no se puede determinar correctamente por solo el número de especies. Se analizará detalladamente más adelante.
- ③ Sobre la cantidad y número de especies, hay una tendencia de aumento hacia C desde A. Sin embargo, esta es más notoria que en el caso del número de especies.

Podría pensarse que la razón es la misma que en el caso de calidad del agua.

A continuación, la tabla que muestra la relación entre cada especie de los organismos béticos y calidad del agua.

Tabla-3 Distribución de los organismos béticos en diferentes calidad del agua en %

	A'	A	B	C	D
BDO ₅ (ppm)	1 >	1-2.5	2.5-5	5-10	10 <
Acari indet.	-	14.7	47.2	38.1	
Athericeidae indet.	28.1	63.9	7.9	-	
Biomphalaria sp.	-	-	100.0	-	
Blephariceridae indet.	89.3	10.7	-	-	
Camelobaetidius sp.	-	-	16.3	83.7	
Chironomidae indet.	6.7	4.7	39.9	47.1	1.7
Collembolla sp.	-	-	91.8	8.2	
Deceptiviosa sp.	59.1	40.4	0.5	-	
Dugesia sp.	-	-	47.0	53.0	
Elmidae indet.	0.4	0.3	19.9	79.5	
Empididae indet.	47.5	5.7	37.8	5.1	3.9
Ephrydidae indet.	-	-	39.5	60.5	
Gundlachia gayana	-	-	88.5	11.5	
Hirudinea sp.	-	-	49.9	50.1	
Hydra sp.	-	-	13.2	86.9	
Hydrobiosidae indet.	79.7	20.3	-	-	
Littoridina cummingi	-	-	97.8	2.2	
Meridialaris sp.	8.7	91.3	-	-	
Metrichia sp.	-	-	5.6	94.4	
Nais sp.	0.3	0.2	58.9	40.4	0.3
Nematode indet.	-	-	72.2	27.8	
Notoperlopsis sp.	32.6	66.6	0.8	-	
Physa sp.	-	-	25.8	74.2	
Psychodidae indet.	-	-	13.2	57.5	29.3
Simuliidae indet.	10.9	50.4	30.2	-	8.6
Smicridae sp.	2.3	1.6	22.1	74.0	0.1

En esta tabla, el oligosaprobio se separó en A' y A, para poder distinguir cada organismo en diferentes calidades del agua. De este resultado, se puede observar claramente que existe una correlación entre los organismos que pueden habitar y sus correspondientes grados del agua. Como se podrían determinar los organismos indicadores, los siguientes son los planes a seguir.

La idea es aplicar 2 tipos de Método de Beck-Tsuda (ver información adjunta sobre Método Beck-Tsuda).

Cuadro - 4 Niveles de indicadores de Organismos Bénticos (2 tipos)

Especies	Clase	Comentario
Acari indet.	I	Casi todos en B y C, pero habitan solo en un punto de A. 6 puntos en total, menor cantidad.
Athericeidae indet.	II	Mayor cantidad en A, pero también habitan en A' y B. 9 puntos en total, menor cantidad.
Biomphalaria sp.	I	Habitan solo en 3 puntos de B. Menor cantidad.
Blephariceridae indet.	II	Habitan en 3 puntos de A' y en un punto de A, con menor escala.
Camelobaetidius sp.	I	Habitan en 4 puntos de B y en un punto de C. Mucha cantidad en C.
Chironomidae indet.	I	Especie predominante que habitan desde A' hasta D, con abundancia. Mayor cantidad en B y C, y el mayor en D.
Collembolla sp.	I	Habitan en 4 puntos de B y en un punto de C, con la cantidad medianamente abundante.
Deceptiviosa sp.	II	Habitan en 3 puntos de A' y A, y en un punto de B. Pocos en B.
Dugesia sp.	I	Habitan en 4 puntos de B y en un punto de C, con la cantidad compartida.
Elmidae indet.	I	Habitan en abundancia desde A' a C, con mayor cantidad en C.
Empididae indet.	—	Habitan en abundancia desde A' a C, con mayor cantidad en A' y B. No podría asignarlo como organismo indicador, de este resultado.
Ephrydidae indet.	I	Habitan en 4 puntos de B y en un punto de C. Principalmente en B, con menor cantidad.
Gundlachia gayana	I	Habitan en 3 puntos de B y en un punto de C. Principalmente en B, con menor cantidad.
Hirudinea sp.	I	Habitan en un punto de B y en 2 puntos de C. Cantidad compartida, pero menor escala en ambos.
Hydra sp.	I	Habitan 5 puntos de B y en 2 puntos de C. Principalmente en C, pero abundancia en ambos.

Hydrobiosidae indet.	II	Habitan en 5 puntos en A' y A juntos, con menor cantidad.
Littoridina cummingi	I	Habitan en 3 puntos de B y en 2 puntos de C. Especialmente mayor cantidad en M-16.
Meridialaris sp.	II	Habitan en 5 puntos en A' y A juntos, con la cantidad promedio.
Metrichia sp.	I	Habitan en 6 puntos de B y en 2 puntos de C, con mayor cantidad en C.
Nais sp.	I	Uno de los especies representativas que habitan en abundancia desde A' hasta D. Mayor cantidad en B y C.
Nematode indet.	I	Habitan en 4 puntos de B y en un punto de C, con menor cantidad en C.
Notoperlopsis sp.	II	Habitan en 7 puntos totales de A' y A, y en un punto en B con cantidad medio.
Physa sp.	I	Habitan en 6 puntos de B y en 3 puntos de C, principalmente en C. Mayor cantidad.
Psychodidae indet.	I	Habitan en 2 puntos de B y en un punto de C y pocos en D. Menor cantidad.
Simuliidae indet.	II	Habitan en abundancia desde A' a D. Dificultad para determinar I o II.
Smicridae sp.	I	Uno de los especies representativas que habitan en abundancia desde A' a D con mayor existencia en C.

I : Especies Tolerantes a la contaminación (B, C y D por calidad del agua)

II : Especies Intolerantes a la contaminación (A' y A por calidad del agua)

Como se aprecia en la tabla-3, los organismos bénticos, exceptuando Empididae Indet., se clasifican en 2 tipos vistos en la tabla-4. Este fenómeno es muy notorio desde el resultado de esta investigación (no está confirmado en el caso de Simuliidae Indet.). Sin embargo, es preferible realizar 4 análisis estacionales, en vez de uno solo en otoño, para asegurar la correlación entre la calidad del agua y los organismos bénticos, ya que con un solo resultado del análisis DBO₅ se puede tener alguna incógnita por no tener consistencia del análisis químico, además de la existencia de una menor cantidad de especies. Es importante comparar este resultado con los organismos indicadores de otros países, ya que la probabilidad aumenta si lo consideramos desde el punto de vista biológico. Podemos creer que, continuando las investigaciones, es muy probable determinar los organismos indicadores. Aquí es donde esta investigación adhiere mucho significado.

De las 4 especies que habitan en la categoría D (polisaprobio), 3 de ellas se observaron también en la categoría A' (α oligosaprobio). En general, como no podrían habitar las especies polisaprobios en un ambiente oligosaprobio, la duda queda. Una tarea para futuras investigaciones.

Mientras la tabla-4 es la clasificación de los organismos indicadores con 2 tipos, por el Método Beck-Tsuda, la siguiente tabla-5 es por el Método Puntle u. Buck con 4 tipos.

Tabla-5 Niveles de indicadores de Organismos Bénticos (4 tipos)

Especies	Clasicicacion	Especies	Clasificación
Acari indet.	2 (2. 5)	Hirudinea sp.	3 (2. 5)
Athericeidae indet.	1	Hydra sp.	3
Biomphalaria sp.	2	Hydrobiosidae indet.	1
Blephariceridae indet.	1	Littoridina cummingi	2
Camelobaetidius sp.	3	Meridialaris sp.	1
Chironomidae indet.	4 (2~4)	Metrichia sp.	3
Collembolla sp.	2	Nais sp.	2 (2~4)
Deceptiviosa sp.	1	Nematode indet.	2
Dugesia sp.	3 (2. 5)	Notoperlopsis sp.	1
Elmidae indet.	3	Physa sp.	3
Empididae indet.	1 (1. 5)	Psychodidae indet.	4 (2~4)
Ephrydidae indet.	3	Simuliidae indet.	4 (1~4)
Gundlachia gayana	2	Smicridae sp.	3

4: Polisaprobio 3: α mesosaprobio 2: β mesosaprobio 1: Oligosaprobio

Comparado con el método de clasificación por 2 tipos, éste método de 4, aumentaría la duda, por tener más opciones. Especialmente, en relación a los casos de especies habitables en el polisaprobio. Con la marca (-) están las especies de la clacificación difícil. Sin embargo, es posible clasificar claramente, más de la mitad, aun siendo la clacificación de 4 tipos. Como no se pretende determinar todos organismos indicadores, es posible solo seleccionar los organismos indicadores idoneos de esta lista. Sin embargo, la cantidad de especies de los organismos indicadores será demasiado pequeño por el resultado de esta investigación (clasificación de 4 tipos).

(2) Diatomea

Dentro del Fitoplankton, diatomea aparecen ampliamente desde el agua oligosaprobio hasta el polisaprobio, y muchos investigadores han estudiado la forma de aparición por calidad del agua. Por lo tanto, es posible determinarlo como el organismo indicador para la clasificación de calidad del agua de río, al igual que los organismos bénticos.

En esta invstigación, se clasificó 102 especies de diatomea. Hay en total 46 especies luego de eliminar las que no se pudieron encontrar en ninguna parte y las que se pudo

encotrar en solo uno de ellos. En la tabla-6 se comparó el número de células por especie por la calidad del agua, igual que en el caso de los organismos béticos. Se indicó también la proposición de la clasicación. En esta proposición de clasificación, se utilizó la de 3 tipos, ya que tiene antecedentes en la determinación de la calidad del agua utilizando el diatomea.

Tabla-6 Distribución y Clasificación de Algas por calidad del agua (3 tipos) %

Especies	A	B.	C	D	Clasificación
BDO ₅ (ppm)	2.5>	2.5~5	5~10	10<	
<i>Achnanthes speciosa</i>	49.6	50.4			II
<i>Achnanthes submarina</i>	70.2	13.7	28.5		II
<i>Achnanthidium minut-</i>	92.8	6.9	0.1	0.2	III
<i>Amphora spp</i>	75.6	17.7		6.7	II
<i>Brachysira aponina</i>	98.6	1.4			III
<i>Cocconeis placentula</i>	2.3	93.6	4.1		II
<i>Cymbella affinis</i>	31.5	68.5			II
<i>Cymbella helvetica</i>	99.9			0.1	III
<i>Cymbella pusilla</i>	5.2	94.8			II
<i>Cymbella spp</i>	100.0				III
<i>Denticula elegans</i>	90.7	9.3			III
<i>Denticula kuetzingi</i>	60.6	6.8	21.8	10.9	I
<i>Denticula valida</i>	6.5	93.5			II
<i>Diatoma moniliformis</i>	88.0	0.5	9.7	1.8	II
<i>Diatoma vulgaris</i>		98.8	1.2		II
<i>Encyonema minutum</i>	100.0				III
<i>Encyonema silesiacum</i>	100.0				II
<i>Fragilaria brevistriate</i>		100.0			II
<i>Fragilaria pinnata</i>	56.7	3.1	40.2		II
<i>Gomphonema angust-</i>	91.7	8.3			III
<i>Gomphonema angustu</i>		92.2	7.8		II
<i>Fragilaria brevistriate</i>	72.9	0.2	0.1	26.8	I
<i>Gomphonema parvulu</i>			57.1	42.9	I
<i>Gomphonema spp</i>	20.4	75.5	0.9	3.2	II
<i>Melosira varians</i>		86.0	14.0		II

Navicula atomus	0.3	96.1	3.7		II
Navicula capitator		99.0	1.0		II
Navicula cryptotenella	31.6	66.5	1.9		II
Navicula gregaria	6.3	88.8	4.0	0.8	II
Navicula lanceolata	4.5	87.0	8.5		II
Navicula spp	3.5	80.9	14.1	1.5	II
Navucula symmetrica		100.0			II
Navicula tripunctata	5.7	88.2	6.1		II
Naviculaceae	93.1	6.9			III
Nitzschia bacillum	97.1	2.9			III
Nitzschia dissipata	8.4	91.3	0.3		II
Nitzschia inconspicua	4.3	93.1	2.6		II
Nitzschia palea	6.7	44.7	48.6		II
Nitzschia spp	7.8	77.4	10.7	4.1	II
Nitzschia valdecostata	19.0	8.3	72.6		II
Planothidium spp		49.0	7.8	43.1	I
Reimeria sinuata	100.0				III
Phocosphenia abbrev		100.0			II
Rhopalodia constricta	95.0	5.0			III
Surirella ovalis	65.9	32.9		1.2	II
Suriella sella	52.0	9.5	36.8	1.7	II

A : Oligosaprobio B : β mesosaprobio C : α mesosaprobio D : Polisaprobio

Clasificación I : Diatomea tolerante al agua contaminada

Clasificación III : Diatomea intolerante al agua contaminada

Clasificación II : No determinados como I o III

Se omitieron algunos nombres de especies

Observando la tabla-6, se puede concluir que existen varias especies apropiadas para la clasificación de 3 tipos como organismos indicadores. Sin embargo, tal como se estableció en el caso de los organismos bénticos, la confiabilidad del resultado de la clasificación está en duda puesto que queda una interrogación en los valores del BDO₅ si son promedios. Además, como se hizo una sola investigación en otoño, hay interrogantes por lo que se debe continuar con las investigaciones para mayor confiabilidad. En cuanto al contenido de la tabla, hay 4 especies de diatomea tolerantes al agua contaminada, y otras 12 intolerantes al agua contaminada y otras 30 que no corresponden a ninguna de las clasificaciones anteriores. Según el estudio hecho en

Japón, la existencia de especies no tolerantes es mayoría absoluta, por lo que se necesitan más investigaciones para saber donde está el problema, diferencia de la región, etc.

3. Posibilidad de establecer la metodología para la determinación de calidad del agua mediante comunidades biológicas:

Tal como se ha manifestado hasta ahora, la posibilidad de determinar los organismos indicadores es alta. A pesar de estar todavía en etapa de proyección, se pudo obtener el resultado esperado de esta investigación. Acumulando los datos y con la deliberación, se puede esperar mayor precisión. Por otro lado, consideramos la siguiente determinación mediante comunidades biológicas.

(1) Organismos bénticos

La metodología para la determinación de calidad del agua mediante comunidades biológicas utilizando los organismos bénticos, existen el Método Beck-Tsuda, el Método Puntle u. Buck y el Método Marvan (existen varias más), y las características son las siguientes. El detalle del cálculo en la información adjunta.

Método Beck-Tsuda: Se separan las especies recogidas en tolerantes e intolerantes. Se considera doble la cantidad de las especies intolerantes y luego se suma esta cantidad con la de las especies tolerantes. Resulta ser oligosaprobio siendo mayor el número. La idea es dar doble de valor a las especies intolerantes y no dar importancia a la cantidad total ni al peso.

Método Puntle u. Buck: Se separan las especies recogidas en 4 clasificaciones de calidad del agua, evaluándolos de 1 a 4 puntos. Además, se clasifica la frecuencia de aparición en 3, poniendo de 1 a 3 puntos. Se multiplica, se suman estos números y luego se divide por la suma de la frecuencia de aparición. La menor cifra será el oligosaprobio. Su característica es que da la importancia a la calidad del agua existente y tomar la frecuencia de aparición como un elemento para determinar.

Método Marvan: Se determina por la frecuencia de aparición por especie recogida en 4 clasificaciones. Al mismo tiempo, se clasifican los valores como índice de la confiabilidad como indicadores, poniendo nota de 1 a 4. Se determina el mejor nivel de calidad del agua tomando en cuenta la cantidad de especies. La idea es considerar el valor del especie indicador y cantidad de especies.

Al aplicar estos 3 métodos en esta investigación, veremos que el Método Puntle u. Buck

es difícil de adaptar ya que los puntos de muestreo fueron pocos. Esto se debe a que, dentro de 23 puntos existían solo 3 de α mesosaprobios y 2 de polisaprobios. En cuanto al Método Marvan, después de haber hecho el cálculo estimativo, determinamos que no era idóneo para la clasificación de la calidad del agua ya que, en esta investigación, las 3 especies Chironomidae indet., Nais indet. y Smicridae indet. ocupaban más de la mitad de la cantidad total y no era representativo por tener una influencia fuerte concentrado en solo 3 especies. Por lo tanto, en esta investigación, usamos principalmente el Método Beck-Tsuda.

En primer lugar, se calculó con el Método Beck-Tsuda, los 2 tipos de organismos indicadores y especies aparecidos en cada punto que se estipula en la tabla 4. Para ser más exacto, se dividió el oligosaprobio en α y β .

Tabla-7 Cálculo por el Método Beck-Tsuda (1)

Punto	%											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Clasificación	A'	A	A	A'	A	A'	A	D	D	B	B	B
Acari indet.							1					1
Athericeidae indet.		2	2	2	2					2	2	
Biomphalaria sp.												
Blephariceridae inde	2	2		2		2						
Camelobaetidius sp.												
Chironomidae indet.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Collembolla sp.										1		
Deceptiviosa sp.	2	2	2	2	2	2				2		
Dugesia sp.												
Elmidae indet.	1	1	1	1						1	1	1
Empididae indet.												
Ephrydidae indet.												
Gundlachia gayana										1		
Hirudinea sp.												
Hydra sp.												
Hydrobiosidae indet.	2		2	2	2	2						
Littoridina cumming												
Meridialaris sp.	2	2	2		2	2						
Metrichia sp.												

Nais sp.	1	1		1	1		1	1	1	1	1	1
Nematode indet.												
Notoperlopsis sp.		2	2	2	2	2	2			2		
Physa sp.											1	
Psychodidae indet.									1			
Simuliidae indet.	2			2	2	2	2	2	2	2	2	2
Smicridea sp.	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1	1
Total	14	14	13	16	15	14	8	5	5	14	9	7

Tabla-7 Cálculo por el Método Beck-Tsuda (2)

Punto	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	
Clasificación	B	C	B	B	B	B	C	C	B	B	B	
Acari indet.	1				1			1	1			I
Athericeidae indet.												II
Biomphalaria sp.				1	1	1						I
Blephariceridae inde												II
Camelobaetidius sp.				1	1		1	1		1		I
Chironomidae indet.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	I
Collembolla sp.						1		1		1	1	I
Deceptiviosa sp.												II
Dugesia sp.				1	1	1		1		1		I
Elmidae indet.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	I
Empididae indet.												—
Ephrydidae indet.						1		1	1	1	1	I
Gundlachia gayana		1		1					1			I
Hirudinea sp.				1			1	1				I
Hydra sp.			1	1	1	1	1	1			1	I
Hydrobiosidae indet.												II
Littoridina cumming				1	1	1	1	1				I
Meridialaris sp.												II
Metrichia sp.				1	1	1	1	1	1	1	1	I
Nais sp.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	I
Nematode indet.				1	1		1			1	1	I
Notoperlopsis sp.												II

Physa sp.		1	1	1	1	1	1	1	1			I
Psychodidae indet.		1		1	1							I
Simuliidae indet.	2			2						2		II
Smicridea sp.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	I
Total	7	7	6	17	14	12	11	14	9	12	9	

El cálculo del valor promedio por la calidad del agua por clasificación según la tabla-7:

$$A' = (14 + 16 + 14) \div 3 = 14.7$$

$$A = (14 + 13 + 15 + 8) \div 4 = 12.5$$

$$B = (14 + 9 + 7 + 7 + 6 + 17 + 14 + 12 + 9 + 12 + 9) \div 11 = 10.5$$

$$C = (7 + 11 + 14) \div 3 = 10.6$$

$$D = (5 + 5) \div 2 = 5$$

El resultado está al revés, en parte, entre B (β mesosaprobio) y C (α mesosaprobio), pero el resto está de acuerdo con la teoría del Método Beck-Tsuda que postula: las cifras serán mayores en los puntos no contaminados. Especialmente, este fenómeno aparece claramente en A' y D, por lo tanto, podría sugerir establecer la metodología para la determinación de calidad del agua mediante comunidades biológicas, adecuando este método para la región.

Sin embargo, al observar detalladamente cada punto, encontramos algunas contradicciones con la teoría, como por ejemplo; teniendo mayor cifra, M-16 corresponde al β mesosaprobio (BDO_5 es de 2.52ppm) y siendo Oligosaprobio el punto M-7 (BDO_5 es de 1.55ppm) tiene sólo 8 puntos, etc.

Esas cifras son menores que las que determinó Tsuda en Japón (más de 30 para el oligosaprobio, más de 15 para el β mesosaprobio, más de 6 para el α mesosaprobio. Más detalles en la información en el estudio adjunto). Ahora, no habrán problemas porque la cantidad de especies es menor en esta región, pero de todos modos es necesario determinar el valor para la evaluación.

La razón porque ocurre el fenómeno de la adversidad en los puntos B y C, es debido a que hay más especies habitadas en el punto C. Para corregir este problema, se han dividido las clasificaciones I y II y asignado -1 puntos a la especie más tolerante. Resultado en la tabla-8.

Tabla-8 Clasificación del los organismos bénticos (4 tipos)

Especies	Clasificación	Especie	Clasificación
Acari indet.	- 1	Hirudinea sp.	- 0. 5
Athericeidae indet.	2	Hydra sp.	- 1
Biomphalaria sp.	0	Hydrobiosidae indet.	4
Blephariceridae indet.	4	Littoridina cummingi	0
Camelobaetidius sp.	- 1	Meridialaris sp.	2
Chironomidae indet.	-0. 5	Metrichia sp.	- 1
Collembolla sp.	0	Nais sp.	- 0. 5
Deceptiviosa sp.	3	Nematode indet.	0
Dugesia sp.	- 0. 5	Notoperlopsis sp.	2
Elmidae indet.	- 1	Physa sp.	- 1
Empididae indet.	2	Psychodidae indet.	- 1
Ephrydidae indet.	- 0. 5	Simuliidae indet.	1
Gundlachia gayana	0	Smicridae sp.	- 1

Se distribuyeron los puntos: 4 al oligosaprobio y - 1 al polisaprobio, de acuerdo a la calidad del agua

Se utilizó la tabla-8 y el resultado fué:

A' = 1 4. 2 A= 9. 1 B= - 2. 5 C= - 5. 3 D= 0

Se ordena claramente desde A' a C, pero ésta vez se pone al revés el D. Así, en este momento, es difícil establecer un método de determinación con un resultado absolutamente explicable, por lo tanto, es necesario acumular los datos y con el método modificado del Beck-Tsuda, establecer cual es el más idóneo. Deberán considerarse también los Métodos Puntle u. Buck y Marvan, a medida que se acumulen los datos.

(2) Diatomea

Actualmente, los métodos de determinación de la calidad del agua que se conocen son:

① Se distribuyen los puntos de acuerdo a la clasificación de especies

- I (Diatomea tolerante al agua contaminada) : 4 puntos
- II (Diatomea no clasificadas en I y III) : 2.5 puntos
- III (Diatomea intorelante al agua contaminada) : 1 punto

② Se calcula Índice de Contaminación S (Saprobic Index) como sigue:

$$S = \frac{\sum ns}{\sum n}$$

n: puntos según especie (4 - 1)

s: cantidad de los especies

- ④ Los parámetros de la determinación de la calidad del agua por el índice de contaminación son los siguientes:

Indice de Contaminación S	Clasificación
1. 0 ~ 1. 5	Oligosaprobio
1. 5 ~ 2. 5	β Mesosaprobio
2. 5 ~ 3. 5	α Mesosaprobio
3. 5 ~ 4. 0	Polisaprobio

Como los valores de parámetros variarían de acuerdo a la región, es importante recordar que el valor se aumentará de oligosaprobio a polisaprobio, si aplicara este método.

De acuerdo a este, se calcularon los índices de cada punto, tomando en cuenta Célula/mm² del resultado de la investigación y tabla-6.

Tabla-9 Indice de la contaminación del Diatomea por puntos

Punto	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Clasificación	A	A	A	A	A	A	A	D	D	B	B	B
Indice de contaminación	1.20	1.58	1.83	1.39	1.00	1.77	1.38	2.32	2.27	2.74	2.21	1.91
Punto	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	
Clasificación	B	C	B	B	B	B	C	C	B	B	B	
Indice de Contaminación	1.21	2.14	1.74	2.10	2.30	2.05	2.46	2.50	2.28	2.15	1.54	

Se calcula el índice promedio de la contaminación por la calidad del agua como sigue:

$$A=(1.2+1.58+1.83+1.39+1.00+1.77+1.38) \div 7 = 1.45$$

$$B=(2.74+2.21+1.91+1.21+1.74+2.10+2.30+2.05+2.28+2.15+1.54) \div 11=2.02$$

$$C=(2.14+2.46+2.50) \div 3=2.37$$

$$D=(2.32+2.27) \div 2=2.30$$

Los resultados se revierten entre C y D, pero otros se establecen correctamente. Sin embargo, la diferencia de los valores no es significativo. Es posible obtener el método idóneo para la determinación de la calidad del agua mediante la acumulación de los datos, pero en la actualidad, la confiabilidad es baja. Tal como se estableció en el párrafo anterior, existe un problema, en este método, del aumento de las especies intolerantes a la contaminación, importante es continuar el tema para estudios a futuro.

4. Resumen del resultado y sugerencias

A través de los resultados obtenidos por la investigación realizada en organismos bénticos y los diatomea, consideramos la posibilidad de determinar los organismos indicadores y establecer la metodología para conocer la calidad del agua mediante comunidades biológicas. Lo resumimos como sigue:

- ① Se observa alguna inconsistencia en relación al análisis químico de la calidad del agua entre los elementos obtenidos por el DBO_5 y otros métodos, hay también probabilidades de que no esté demostrando el valor promedio en el resultado de ésta investigación, se recomienda en continuar con análisis químicos.
- ② En relación a la determinación de organismos indicadores, existen muchas especies que son susceptibles al cambio en la calidad del agua, pero de todos modos, es recomendable continuar acumulando datos para aumentar la precisión. Sin embargo, es sorprendente saber que las especies que habitan en el Polisaprobio, habitan también en Oligosaprobio: tarea para el futuro.
- ③ En cuanto a la metodología para la determinación de la calidad del agua mediante comunidades biológicas, básicamente se puede adaptar el Método Beck-Tsuda para organismos bénticos, pero como las especies son pocas y existen contradicciones, no se puede concluir sin tener resultados adicionales posteriores. También es necesario más estudios, en caso del diatomea, para establecer los organismos indicadores. Sin embargo, en los organismos bénticos, la determinación de los Oligosaprobio y Polisaprobio se podrá establecer aproximadamente por las especies habitantes y también por la cantidad de especies por esta investigación. Es recomendable continuar el estudio en este tema.

Ahora, otras características del análisis químico son: la poca presencia de los metales pesados y el abundante nitrógeno orgánico y nitrógeno nitrito en el agua media a agua abajo. Esto significa que una considerable cantidad de agua servida sin tratar con menor tiempo afluye al Río Maipo. Además, como los valores del BDO_5 en los puntos M-8 y 9 son exageradamente altos (no lo son tanto en nitrógeno y fósforo), se debe seguir estudiando el tema y si resulta que estos valores son normales, sería necesario investigar la causa.

Por último, quisiera recordarles que el resultado obtenido en esta investigación es resultado del gran trabajo de la Universidad de Chile en la indentificación de los

organismos. Por eso, quisiera manifestarles mis agradecimientos y respetos por su capacidad y esfuerzo. Esperamos continuar en la senda de esta investigación.

Este es un comentario sobre el siguiente informe:

“Metodología para la determinación de la calidad hídrica mediante comunidades biológicas en la cuenca del Río Maipo” por Comisión Nacional de Riego.

Octubre de 2003.

METODO BECK-TSUDA

En ambientes de agua dulce, los organismos visibles a simple vista y que habitan en el fondo de un río (benthos) son mayoritariamente insectos acuáticos. Además entre otras especies, se observan especies de crustáceos, sanguijuelas, lombrices y moluscos. Considerando estos organismos como indicadores, mediante el método BECK-TSUDA, es posible determinar niveles de contaminación. Este método fue ideado originalmente por BECK (1955), pero, más tarde TSUDA realizó algunas modificaciones para facilitar su aplicación. Existen dos métodos, α y β , los cuales se denominan índice biótico (α) e índice biótico(β) respectivamente.

1. Índice biótico (α) (biotic index (α))

- a) Sacar una muestra del fondo pedregoso de un río con corriente.
- b) Elegir un lugar de muestreo es donde haya mayor cantidad de piedras de tamaños menor a una sandía y mayor a una mandarina, y cuya velocidad de la corriente sea 100-150cm/seg.
- c) La profundidad del lugar de muestreo debe ser hasta la altura de las rodillas.
- d) Estandarizar el área de muestreo. Colocar un marco de metal de 50cm x 50cm en el fondo del río, y dentro de esa área, coleccionar todos los organismos visibles a simple vista.
- e) Identificar taxonómicamente los organismos coleccionados. Dividir los organismos en tolerantes e intolerantes a contaminación. En el sistema de saprobio(saprobic system), los organismos oligosaprobios corresponden a los intolerantes a contaminación; los mesosaprobios y polisaprobios se consideran tolerantes. Las especies de organismos indicadores que se utilizan en esta clasificación se nombrarán más adelante.
- f) Para calcular el índice biótico, el número de especies intolerantes corresponde a A y los tolerantes B, entonces,

$\text{índice biótico} = 2A + B$

- g) Hacer un muestreo 2 veces utilizando el marco de metal de 50 cm x 50 cm, calcular el índice biótico, y se considera como índice biótico del lugar el correspondiente al mayor valor numérico.

Los puntos a) la c) corresponden a medidas para uniformar lo más posible las condiciones medio ambientales del lugar de muestreo.

El punto f) está basado en un principio ecológico (THIENEMANN), el cual menciona que " en los lugares con condiciones medio ambientales favorables habita un gran número de especies, mientras menos equilibrado sea el ambiente, el número de especies disminuye (aunque aumenta el número dentro de una misma especie)". Mientras más limpio es el río, mayor es la diversidad de especies y vice versa. Esta es la razón de por qué en 2A+B, las especies intolerantes (A) corresponde al doble del valor de los tolerantes (B).

De acuerdo a los índices bióticos, la clasificación de los niveles de los medios acuáticos es el siguiente.

2A+B	Niveles
>20	oligosaprobio
11~19	β -mesosaprobio
6~10	α -mesosaprobio
0~5	polisaprobio

2. Índice biótico (β) (biotic index (β))

Este método, a diferencia del índice biótico (α), en el cual sólo se hace un muestreo en un área determinada, se procede a coleccionar la mayor cantidad de organismos en un punto o lugar de muestreo. Una persona sostiene una red, y otras personas ubicadas río arriba remueven las piedras y las hacen rodar. Los insectos adheridos a las piedras se sueltan, fluyen en dirección de la corriente y son atrapados en la red. Este método es apto para obtener una muestra con grandes cantidades de insectos. También se pueden hacer un muestreo con redes los ríos con fondos de arena, barro, orillas de ríos. Se realiza el muestreo con 4 a 5 personas por aproximadamente 30 minutos. Luego, con los organismos coleccionados se calcula el índice biótico. Debido a que el resultado del índice biótico (β) es mayor que el índice biótico (α), el cuadro de clasificación de niveles de calidad hídrica también es diferente.

2A+B	Niveles
>30	oligosaprobio
15~29	β - mesosaprobio
6~14	α - mesosaprobio
0~5	polisaprobio

El método BECK-TSUDA, al igual que el método tradicional de KOLKWITZ-MARSSON-LIEBMANN, se basa en la cantidad de especies colectadas. De acuerdo a ello, es posible determinar el nivel de calidad hídrica, observando en que niveles de calidad se ubican cada una de las especies colectadas y en cuál nivel se encuentra la mayor cantidad de organismos. En este caso, no se considera la totalidad de organismos que viven en ese medio acuático, sino, sólo se toman en cuenta los organismos visibles a simple vista que habitan en los fondos del río. Por lo tanto, se considera como un método relativamente simple.

METODO PUNTLE U. BUCK

Este método fue elaborado por PUNTLE y BUCK en 1955. Los organismos colectados en la muestra, se clasifican en 4 niveles, desde oligosaprobios (oligosaprobic; Os) a polisaprobios (polysaprobic; Ps), en los cuales se atribuyen valores numéricos de 1 a 4 respectivamente. De acuerdo a esos valores y a la frecuencia de aparición de cada especie, se calcula el índice de contaminación (Pollution index) mediante la siguiente fórmula.

$$\text{Índice de contaminación} = \frac{\sum (S \times h)}{\sum x h}$$

S : índice de niveles de contaminación h: frecuencia de aparición

S=1 oligosaprobio h=1 <10%

S=2 β-mesosaprobio h=2 11~29%

S=3 α-mesosaprobio h=3 >30%

S=4 polisaprobio

Niveles de calidad hídrica en base a índices de contaminación (en Japón)

Índice de contaminación	Nivel de calidad hídrica	Especies representativas
1.00~1.50	Os	<i>Dugesia gonocephala</i> <i>Epeorus latifolium</i> <i>Baetiella japonica</i> <i>Oyamia gibba</i> <i>Hydropsyche ulmeri</i> <i>Simulium sp.</i>

1.51~2.50	β ms	<i>Baetis sp.</i> <i>Potamanthus kamonis</i> <i>Hydropsychodes brevilineate</i> <i>Macronema radiatum</i> <i>Tanypodinae</i> <i>Spaniotoma sp.</i>
2.51~3.50	α ms	<i>Asellus hilgendorfi</i> <i>Herpobdella lineata</i> <i>Bateéis sahoensis</i> <i>Notonecta triguttata</i> <i>Laccotrepes japonensis</i> <i>Ranatra chinensis</i>
3.51~4.00	Ps	<i>Tubifex sp.</i> <i>Physa acuta</i> <i>Chironomus sp.</i>

METODO MARVAN

determin Este método consiste en determinar la calidad hídrica mediante el porcentaje de aparición de insectos acuáticos de acuerdo al nivel de contaminación del medio acuático, y también mediante la cantidad de ejemplares de cada especie colectada.

- a) Evaluar la calidad hídrica en 4 niveles de clasificación.
- b) Atribuir un valor numérico inherente a los insectos acuáticos dependiendo de la especie a que pertenecen. (valor saprobiológico (saprobiological value) y valor indicador(indicator value))
- c) Considerar el valor numérico más alto del promedio de evaluación (Σ Sap) para ar el nivel de contaminación de las aguas del río en estudio.

Promedio de evaluación Σ Sap= Σ (zi x hi x gi) / Σ (hi x gi)

zi : valor saprobiológico (saprobiological value)

hi : número de ejemplares de cada especie colectada en el muestreo.

gi : valor indicador de cada especie (indicator value).

Valor Saprobiológico y Valor Indicador (en Japón)

Especie	Valor Saprobiológico				Valor Indicador
	Os	βms	αms	Ps	
<i>Ephemera japonica</i>	9	1	0	0	4
<i>Ecdyonurus yoshidaë</i>	7	3	0	0	3
<i>Oyamia gibba</i>	8	2	0	0	3
<i>Mataeopsephenus japonicus</i>	3	5	2	0	2
<i>Luciola cruciata</i>	9	1	0	0	4
<i>Chironomus plumosus</i>	0	0	3	7	3

- La especie *Ephemera japonica* habita 90% en Os y 10% en βms. El valor indicador 4 se considera alto.
- La especie *Chironomus plumosus* habita 70% en Ps y 30% en αms. El valor indicador es 3.

Ejemplificación del método Marvan

Especie	No. de ejemplares	Zi=zi x hi x gi				Total
		Os	βms	αms	Ps	
<i>Ephemera japonica</i>	5	180	20	0	200	
<i>Ecdyonurus yoshidaë</i>	6	0			91	
<i>Oyamia gibba</i>	3	63	28	0	90	
<i>Mataeopsephenus japonicus</i>	2	0			40	
<i>Luciola cruciata</i>	2	72	18	0	20	
<i>Chironomus plumosus</i>	1	0			30	
		12	20	8		
Total	16	0			471	
		12	8	0		
		0				
		0	0	9		
		21				
		339	94	17		
		21				
Promedio de evaluación ΣSap(%)		72.0	20.0	3.6	100	
		4.5				

Ejemplo: Los valores de *Mataeopsephenus aponicus* en $Z\beta ms$ son:

Valor saprobiológico	$z\beta ms=5$
Número de ejemplares	$h=2$
Valor indicador	$g=2$

$$Z\beta ms = z\beta ms \times h \times g = 5 \times 2 \times 2 = 20$$

En los resultados del ejemplo anterior, de acuerdo al promedio de evaluación (ΣSap), se observa que el valor de $Os=72\%$ es el más alto. Consecuentemente, la calidad hídrica de este río se determina como Os (oligosaprobio).

METODO DE CLASIFICACION DE GRUPOS DE DIATOMEAS

Las diatomeas se presentan desde los niveles oligosaprobios a polisaprobios. Las propiedades especiales de las diatomeas que permiten la aparición de ellas en diferentes niveles de calidad hídrica han sido motivo de muchas investigaciones. Los diferentes grupos clasificados de acuerdo a las propiedades especiales de aparición se denomina grupo de diatomeas.

- a) **Grupo de diatomeas (A):** Especies que aparecen en niveles polisaprobios. Pueden habitar en aguas más limpias, sin embargo, en esas condiciones, también prolifera bastante bien especies de otros grupos, lo cual hace que el porcentaje de las especies de este grupo disminuya en la totalidad. En Japón existen 10 especies que poseen esta propiedad.
- b) **Grupo de diatomeas (B):** Las condiciones del medio acuático de ríos en donde se encuentran la mayor cantidad de diatomeas están entre los niveles β -mesosaprobio y α -mesosaprobio, con un DBO_5 que va de 4 a 7. En estas condiciones, las diatomeas del grupo B son las que aparecen en altas concentraciones. Ninguna de ellas habita en niveles saprobios. En Japón existen 64 especies que corresponden a este grupo (mesosaprobios).
- c) **Grupo de diatomeas (C):** Este grupo de diatomeas no presenta formas particulares de aparición como las del grupo A o B. Son muy susceptibles a la contaminación, y no pueden sobrevivir en los niveles α -saprobios (son oligosaprobios). En los ríos de Japón, normalmente se identifican aproximadamente 350 especies de diatomeas, y los que no se clasifican en A o B, están en este grupo.

El método de determinación de calidad hídrica es el siguiente.

- ① Definir el índice de nivel de contaminación para cada especie (valor saprobiótico: s). Para el grupo de diatomeas A se atribuye un valor A=4, para B=2,5 y para C=1.
- ② Para coleccionar muestras de diatomeas, se escobilla la superficie de una piedra, cuyo diámetro debe ser mayor a 15 cm. Preparar las muestras con un número constante de diatomeas e identificar taxonómicamente. Posteriormente, clasificarlas en los distintos grupos de clasificación de diatomeas (A, B o C).
- ③ Calcular el índice saprobiótico (S; Saprobic Index) mediante la siguiente fórmula.

$$S = \frac{\sum ns}{\sum n}$$

s: valor saprobiótico 1~4

n: número de exoesqueletos de cada especie

Norma para determinar los diferentes niveles de calidad hídrica

índice saprobiótico	Calidad hídrica
1.0~1.5	Oligosaprobio
1.5~2.5	β-mesosaprobio
2.5~3.5	α-mesosaprobio
3.5~4.0	polisaprobio

CUENCA DEL RIO MAIPO

Estaciones de Muestreo



● Curso Principal

○ Estero

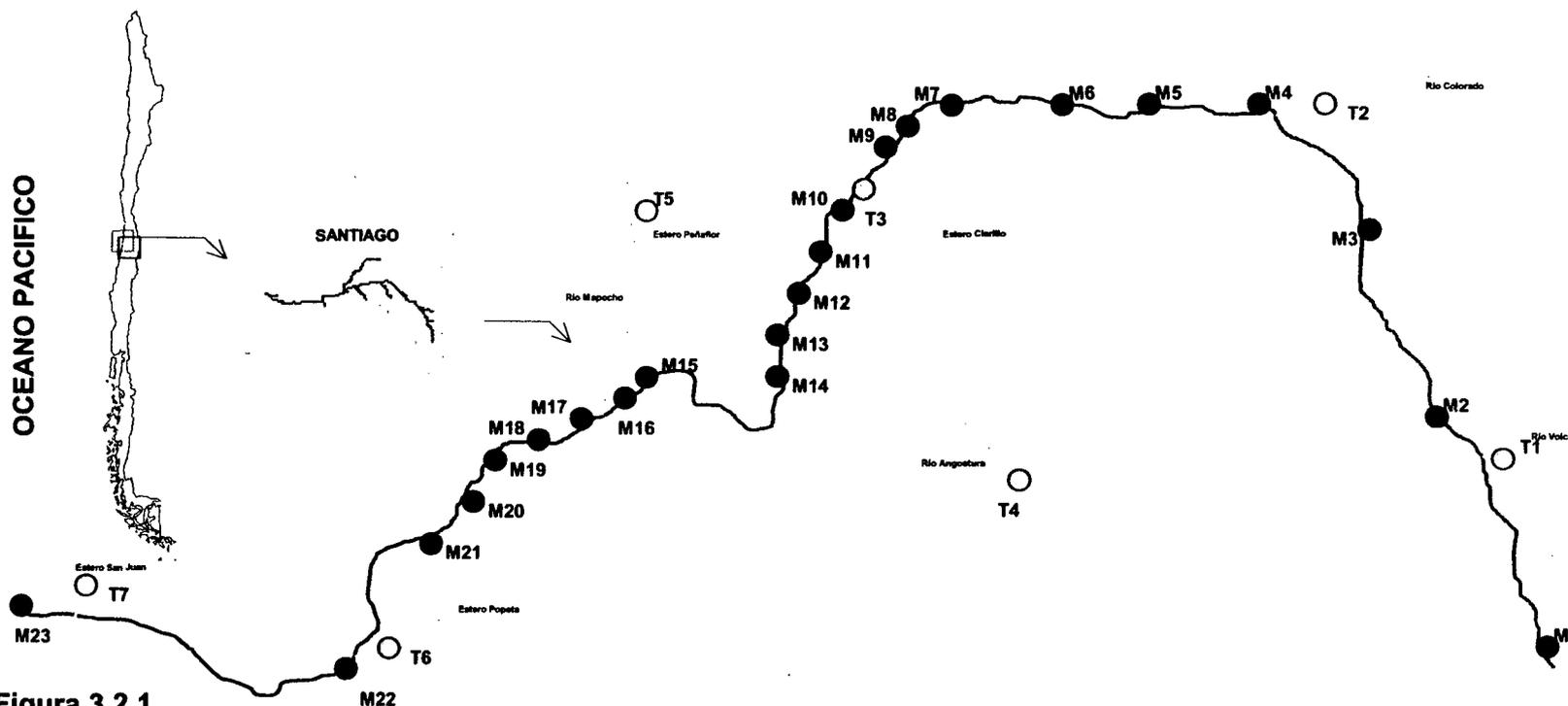


Figura 3.2.1

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 Chihueh (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 Peñaflo, **T6:** Estero Popeta, en puente Codigua, **T7:** Estero San Juan, sector desembocadura

Tabla 5.1.2. Resultados de los análisis físico-químicos en las 23 estaciones de muestreo en la cuenca del río Maipo. Curso Principal.

Estación	Unidad	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11
Temperatura	°C	6,7	7,5	10,2	10,9	10,1	9,9	11,9	11,4	13,1	9,8	11,4
PH		8	8,3	7,9	7,9	7,8	8	8,3	8,2	8,2	8,2	8,2
Conductividad	µS/cm	1665	1435	1387	1326	1230	1215	1284	1317	1315	1293	1302
Oxígeno disuelto	mg/L	10,3	10,6	10,2	10,1	10,4	10,5	10,3	10,4	9,7	10,8	10,3
Porcentaje de saturación	%	98,3	101,1	102,7	101,9	103	91,2	103,8	102,5	96,6	105,6	100,9
Salinidad	‰	0,6	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Color	UPC	270	150	230	130	120	110	160	250	560	170	170
Turbiedad	UNT	52,18	35,33	58,46	31,02	35,59	29,83	46,32	67,35	148,3	51,94	42,11
Alcalinidad T	mgCaCO3/l	80,06	100,07	92,06	100,07	100,07	92,06	101,07	114,08	116,08	102,07	105,07
STS	mg/l	31,20	16,26	64,00	22,29	23,74	21,69	35,74	31,57	171,04	42,76	32,31
STD	mg/l	1046,00	950,00	928,00	869,00	848,00	869,00	866,00	895,00	897,00	891,00	840,00
M. org. Particulada*	(%)	8,32	8,07	3,31	10,49	5,64	5,60	4,57	10,21	6,64	7,00	7,99
DBO ₅	mg/l	0,78	1,36	1,16	0,78	1,55	0,97	1,55	122,00	44,00	4,07	4,00
Na+	mg/l	110,80	75,94	71,14	68,66	59,58	60,24	58,56	58,12	59,71	53,87	55,35
K+/mg/l	mg/l	4,98	4,25	4,05	3,84	3,74	3,79	3,90	4,25	4,17	3,84	3,83
Ca+2 /mg/l	mg/l	103,30	109,40	107,30	105,20	106,40	105,70	101,00	110,90	109,30	106,20	107,50
Mg+2 /mg/l	mg/l	13,99	13,53	13,05	12,77	14,34	14,26	14,94	14,93	15,16	14,59	14,71
Cl- /mg/l	mg/l	259,28	184,87	177,89	160,45	148,82	141,85	147,66	140,68	143,01	137,20	160,45
HCO3-/mg/l	mg/l	121,13	126,07	131,64	128,02	125,73	128,18	131,32	151,65	150,56	135,05	135,97
CO3= /mg/l	mg/l	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
SO4 ²⁻ /mg/l	mg/l	112,72	111,54	105,62	105,62	105,62	112,13	107,99	103,85	106,80	125,15	111,54
SiO3 ²⁻ /mg/l	mg/l	8,41	8,53	7,63	8,62	9,43	8,35	8,46	8,75	9,35	8,01	8,71
N- org. Total	µg / l	D	D	D	D	D	D	D	833,8	565,8	373,8	D
N-NO2	µg / l	D	7,07	2,6	3,65	2,07	2,6	D	D	D	N.D	N.D
N-NO3	µg / l	88,55	98,50	98,50	78,45	108,50	133,50	128,50	78,45	128,50	118,61	83,50
N-NH4	µg / l	53,37	30,87	59,62	28,37	29,62	25,87	D	N.D	23,37	30,87	12,12
P-Total	µg / l	14,8	16,8	66,8	24,83	30,01	20,85	40,79	324	90,01	78,8	36,42
P-PO4	µg / l	D	13,5	D	D	D	D	D	D	D	15,16	D
Al (Total)	mg/l	1,2530	0,8349	0,7507	0,2285	0,2092	0,3665	0,7673	2,3250	0,8652	0,4590	0,8545
As (Total)	mg/l	0,0127	0,0121	0,0125	0,0074	0,0109	0,0127	0,0125	0,0121	0,0127	0,0134	0,0141
Cu (Total)	mg/l	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Cd (Total)	mg/l	0,0134	0,0104	0,1488	0,0064	0,0043	0,0102	0,0087	0,0174	0,0102	0,0084	0,0096
Fe (Total)	mg/l	1,8660	1,2180	1,1680	0,4460	0,3441	0,5190	0,9632	2,8930	0,9725	0,6622	1,2180
Pb (Total)	mg/l	0,0044	0,0039	0,0025	0,0056	0,0025	0,0059	0,0066	0,0049	0,005	0,0017	0,0027
Zn (Total)	mg/l	0,0297	0,0221	0,0248	0,0252	0,0108	0,0155	0,0262	0,0224	0,0125	0,0124	0,085
Al (Disuelto)	mg/l	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
As (Disuelto)	mg/l	0,0084	<0,004	0,0076	0,0063	0,0082	0,0089	0,0045	0,0093	0,0125	0,0105	0,0093
Cu (Disuelto)	mg/l	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Cd (Disuelto)	mg/l	0,0048	0,0049	0,0046	0,0044	0,004	0,0039	0,0037	0,0039	0,0033	0,0039	0,0025
Fe (Disuelto)	mg/l	0,0017	0,0013	< 0,0008	< 0,0008	< 0,0008	< 0,0008	< 0,0008	0,0406	0,0036	0,0043	< 0,0008
Pb (Disuelto)	mg/l	0,0044	0,0038	0,0023	0,0051	0,0014	0,0045	0,004	0,0048	0,0048	< 0,0005	0,0021
Zn (Disuelto)	mg/l	0,0035	0,0036	0,0034	0,0024	0,0045	0,0053	0,0063	0,0059	0,0030	0,0049	0,0024

* Materia Orgánica Particulada

Continuación Tabla 5.1.2

Estación/Parámetro	Unidad	M12	M13	M14	M15	M16	M17	M18	M19	M20	M21	M22	M23
Temperatura	°C	12,5	9,4	11,7	13,5	13,7	13,8	13,4	14,1	14,6	13,1	14,3	13,7
pH		8,1	8,2	8,1	8	8	8,1	8	8,2	8,2	8,3	8,2	8,1
Conductividad	µS/cm	1300	1312	1337	1219	1221	1256	1334	1293	1295	1351	1357	1352
Oxígeno disuelto	mg/L	10,1	11,2	9,4	11,9	10	9,9	10,8	10,9	10,7	13,1	10,5	10,6
Porcentaje de saturación	%	101	102,5	90,7	118,5	98,8	99,8	105,2	107,7	106,8	124,6	102,9	101,8
Salinidad	‰	0,4	0,4	0,5	0,4	0,4	0,4	0,5	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5
Color	UPC	120	680	940	200	100	140	0	0	0	0	0	0
Turbiedad	UNT	33,07	165,5	363	54,5	48,85	46,08	25,45	35,83	31,29	31,29	33,38	37,19
Alcalinidad T	mgCaCO3/l	212,15	128,09	122,09	152,11	156,11	168,12	188,13	164,11	164,11	180,13	168,12	184,13
STS	mg/l	17,71	166,80	123,60	33,49	19,71	27,69	20,04	28,01	22,67	10,91	14,69	22,96
STD	mg/l	1048,00	916,00	887,00	838,00	879,00	943,00	899,00	863,00	859,00	912,00	962,00	943,00
M. org. Particulada*	(%)	15,84	3,47	4,47	8,04	9,92	9,09	13,27	10,62	11,61	12,19	13,39	10,56
DBO ₅	mg/l	4,65	3,30	6,79	2,91	2,52	3,10	4,85	5,43	7,56	3,88	3,49	3,49
Na+	mg/l	54,46	54,57	70,35	58,05	55,94	54,19	59,48	55,80	58,21	65,28	65,50	64,03
K+	mg/l	3,87	3,90	5,03	4,49	4,86	4,83	5,95	5,49	5,59	6,49	6,51	6,37
Ca+2	mg/l	109,00	100,20	104,20	102,80	108,40	108,00	111,80	109,50	110,70	111,10	111,50	109,30
Mg+2	mg/l	14,74	14,44	15,26	19,19	19,61	19,16	21,15	20,02	20,64	23,08	23,14	22,83
Cl-	mg/l	148,82	152,31	154,64	117,43	119,76	117,43	134,87	137,20	127,89	136,03	146,50	146,50
HCO3l	mg/l	135,96	108,43	148,12	207,04	210,29	217,13	245,00	229,49	224,13	282,88	273,90	286,99
CO3=	mg/l	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
SO4"	mg/l	113,31	114,50	105,62	93,79	99,11	96,75	96,75	97,93	102,07	99,11	96,15	98,52
SiO3"	mg/l	8,23	9,01	9,46	12,70	12,44	12,23	11,63	11,10	11,89	11,77	11,74	12,07
N- org. Total	µg / l	593,8	D	793,92	296	319,8	359,8	361,8	651,8	533,8	391,8	459,8	D
N-NO2	µg / l	D	N.D	3,39	D	20,5	21,81	81,28	93,13	85,76	81,28	75,5	67,34
N-NO3	µg / l	78,45	83,50	16,50	1053,50	878,48	868,50	923,50	978,50	798,50	608,50	638,50	688,50
N-NH4	µg / l	D	N.D	1345,87	20,87	73,37	68,37	783,37	670,87	530,87	367,12	294,62	162,12
P-Total	µg / l	38,8	176,8	740,59	124	182,89	162,8	508,79	504,8	452,8	738,66	752,56	700,58
P-PO4	µg / l	N.D	15,16	200,16	33,5	70,2	70,2	358,5	335,16	308,5	518,5	545,16	475,16
Al (Total)	mg/l	0,4714	3,4690	1,6630	0,5435	0,4043	0,4880	0,3030	0,4478	0,2795	<0,003	0,2455	0,4343
As (Total)	mg/l	0,0104	0,0068	0,0056	0,0084	0,0056	0,0072	0,0100	0,0070	0,0052	0,0045	0,0121	0,0104
Cu (Total)	mg/l	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Cd (Total)	mg/l	0,0104	0,0167	0,0120	0,0068	0,0067	0,0095	0,0091	0,0095	0,0085	0,0064	0,0088	0,0106
Fe (Total)	mg/l	0,7395	3,5040	1,4670	0,6060	0,5899	0,5938	0,4983	0,5569	0,4294	0,0264	0,4173	0,7070
Pb (Total)	mg/l	0,0076	0,0059	0,0063	0,0027	0,0027	0,0049	0,0015	0,0059	0,0074	0,0059	0,0063	0,0057
Zn (Total)	mg/l	0,0144	0,0325	0,0137	0,0156	0,0081	0,0079	0,0166	0,0213	0,0140	0,0193	0,0265	0,0243
Al (Disuelto)	mg/l	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
As (Disuelto)	mg/l	0,0084	0,0043	<0,004	0,0082	0,0046	0,004	0,0062	0,0068	0,005	<0,004	0,0094	0,0086
Cu (Disuelto)	mg/l	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Cd (Disuelto)	mg/l	0,0040	0,0050	0,0029	0,0020	0,0038	0,0044	0,0032	0,0035	0,0032	0,0052	0,0043	0,0030
Fe (Disuelto)	mg/l	< 0,0008	< 0,0008	0,0016	< 0,0008	0,0012	0,0016	0,0015	0,0018	0,0027	0,0074	0,0033	0,0032
Pb (Disuelto)	mg/l	0,0072	0,0037	0,0061	< 0,0005	0,0025	0,0050	0,0015	0,0032	0,0067	0,0055	0,0062	0,0058
Zn (Disuelto)	mg/l	0,0024	0,0017	0,0082	0,0033	0,0022	0,0028	0,0169	0,0047	0,0044	0,0119	0,0051	0,0052

* Materia Orgánica Particulada

Tabla 5.1.3. Resultados de los análisis físico-químicos en las 7 estaciones de muestreo en la cuenca del río Maipo. Tributarios.

Estación/Parámetro	Unidad	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
Temperatura	°C	7,5	9,9	9,3	14,4	13,6	10,9	11,6
pH		8,4	7,86	7,9	7,9	7,5	7,8	7,6
Conductividad	µS/cm	1168	1033	1265	427	1095	1333	589
Oxígeno disuelto	mg/L	10,2	10,51	11,1	9,9	8,5	9,8	9,4
Porcentaje de saturación	%	98,3	101	103,9	101,3	85,5	89	86,2
Salinidad	‰	0,3	0,2	0,4	-	0,3	0,4	-
Color	UPC	0	170	60	0	0	0	0
Turbiedad	UNT	4,45	45,5	33,59	5,84	8,05	14,94	5,85
Alcalinidad T	mgCaCO3/l	180,13	92,06	104,07	84,06	156,11	168,12	170,12
STS	mg/l	1,26	26,74	17,26	3,62	2,38	9,82	2,53
STD	mg/l	736,00	744,00	868,00	347,00	753,00	915,00	32+9,00
M.org. Particulada	(%)	13,79	3,99	9,55	32,09	22,53	16,79	35,91
DBO ₅	mg/l	0,39	0,78	2,33	3,10	1,16	2,33	1,55
Na+	mg/l	55,08	34,37	63,29	12,79	32,41	57,14	54,27
K+	mg/l	4,23	3,28	4,87	2,07	3,79	6,06	3,532
Ca+2	mg/l	92,30	104,90	111,00	40,78	112,70	119,70	46,43
Mg+2	mg/l	12,51	18,94	17,00	11,41	19,65	26,74	20,89
Cl-	mg/l	109,29	63,95	127,89	23,17	110,45	129,06	76,74
HCO ₃ -	mg/l	237,03	159,84	196,57	135,92	255,90	310,95	304,36
CO ₃ =	mg/l	ND						
SO ₄ ²⁻	mg/l	96,75	118,05	110,36	25,74	75,44	99,70	8,58
SiO ₃ ²⁻ l	mg/l	10,75	10,53	12,22	10,89	12,12	11,31	6,19
N- org. Total	µg / l	D	D	349,8	431,8	D	280,33	533,8
N-NO ₂	µg / l	D	D	2,34	37,6	8,92	D	N.D
N-NO ₃	µg / l	168,50	163,50	583,50	978,50	858,50	563,50	68,53
N-NH ₄	µg / l	D	17,12	24,62	193,37	18,37	807,12	25,87
P-Total	µg / l	22,91	50,8	78,8	150,47	100,8	280,8	30,8
P-PO ₄	µg / l	15,2	13,5	40,16	108,5	80,16	205,16	20,16
Al (Total)	mg/l	<0,003	0,3406	0,9507	0,0498	<0,003	0,0113	<0,003
As (Total)	mg/l	0,0056	0,0185	0,0084	<0,004	0,0048	0,0061	0,0068
Cu (Total)	mg/l	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Cd (Total)	mg/l	0,0039	0,0077	0,0097	0,0102	0,0070	0,0067	0,0083
Fe (Total)	mg/l	0,0499	0,4034	1,0500	0,1181	0,1453	0,1732	0,3862
Pb (Total)	mg/l	0,0040	0,0046	0,0071	0,0037	0,0064	0,0081	0,0039
Zn (Total)	mg/l	0,0078	0,0136	0,0260	0,0214	0,0356	0,0190	0,0166
Al (Disuelto)	mg/l	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
As (Disuelto)	mg/l	<0,004	0,0132	0,0066	<0,004	0,0048	0,0060	0,0064
Cu (Disuelto)	mg/l	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
Cd (Disuelto)	mg/l	0,0035	0,0030	0,0041	0,0043	0,0063	0,0032	0,0047
Fe (Disuelto)	mg/l	0,0025	< 0,0008	0,0071	0,0049	0,1529	0,0014	0,0188
Pb (Disuelto)	mg/l	0,0038	0,0040	0,0068	0,0031	0,0057	0,0022	0,0026
Zn (Disuelto)	mg/l	0,0053	0,0052	0,0037	0,0052	0,0314	0,0051	0,0095

Tabla 5.2.2. Abundancias promedios (Células/mm²) de la flora de diatomeas bentónicas registrados en las 30 estaciones de muestreo en la cuenca del río Maipo. Campaña Mayo del 2003.

Taxa/ Estaciones	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M15	M16	M17	M18	M19	M20	M21	M22	M23	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
<i>Achnanthes aff. gibbula</i>												15,5																		
<i>Achnanthes brevipes</i>																														
<i>Achnanthes minutissima v. saphrobia</i>																														
<i>Achnanthes speciosa</i>			46,9							26,5		7,8				40,9										31,3			8017,9	
<i>Achnanthes spp</i>																														
<i>Achnanthes submarina</i>			140,7	487,8						2,0		15,5		109,6												31,3				
<i>Achnanthidium minutissimum</i>	2127,4	136,6	1623,6	3079,1	909,8	1022,9	22193,6	11,8	7,1	8,0	5,7	227,7	2779,5			81,8	18,7	125,1	9,6				381,7	316,3	10,4	6600,0		8,2		331,4
<i>Amphora acutuscula</i>										2,0																				
<i>Amphora aff. copulata</i>																														
<i>Amphora atacamae</i>																														
<i>Amphora carvajalana</i>												7,8																		
<i>Amphora lineolata v. calamae</i>																														
<i>Amphora spp</i>			140,7						3,5	4,0	44,7															16,4		381,5		
<i>Asterionella formosa</i>																							381,7							
<i>Bacillaria paradoxa</i>																														
<i>Brachysira aponina</i>				97,6						2,0																				
<i>Céntrica</i>																			2,4											
<i>Cocconeis placentula v. euglypta</i>				8,4		20,6						7,8				81,8	34,9	31,0	21,6		505,1	673,5	474,1		5,2	31,3		54,0		352,8
<i>Cyclotella ocellata</i>																														
<i>Cyclotella spp</i>																														
<i>Cymatopleura solea</i>																														
<i>Cymbella affinis</i>		27,3	348,8	440,7						12,0			2779,5													32,9				
<i>Cymbella helvetica</i>	12427,8	49,2	697,6	6196,2		187,1	1520,2		7,1															113,3	10,4					
<i>Cymbella microcephala</i>																							183,3							
<i>Cymbella pusilla</i>				97,6								15,5	2779,5																	
<i>Cymbella spp</i>			93,8	211,9		207,7	288,6																		55,9	192,4				
<i>Cymbellonitzschia sp.</i>																														
<i>Denticula elegans</i>			187,6		1721,2	410,2		5,5		187,2	1,4	93,0			89,8										5,2	31,3	74,8	4,1	1635,7	
<i>Denticula kuetzingi</i>			2702,4	195,1	381,1	280,6	40,1		184,4	4,0		15,5	267,3	555,9			4,7	344,2							96,2	218,9	823,2		27544,2	331,4
<i>Denticula subtilis</i>					122,9																									
<i>Denticula thermalis</i>		2,7																												2672,6
<i>Denticula valida</i>						20,6		5,9		319,5		139,5																		
<i>Diatoma moniliformis</i>	267,3	11,0	382,5	1310,3		61,7	346,4		14,2	20,0	11,3	98,4		109,6	89,8		7,7		2,4						10,4	32,9		12,6		

Continuación Tabla 5.2.2

Taxa/ Estaciones	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M15	M16	M17	M18	M19	M20	M21	M22	M23	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
<i>Diatoma vulgare</i>																40,9	9,4	31,0	9,6		1900,2	673,5	212,5			156,1		100,4	5345,3	
<i>Encyonema minutum</i>			140,7	16,8		10,3	577,3																	70,3						
<i>Encyonema silesiacum</i>	801,8	49,1		33,7			240,5																	13,9	192,4					
<i>Fragilaria bicapitata</i>																														
<i>Fragilaria brevistriata</i>										8,0	21,6	31,0																		
<i>Fragilaria capuchina v. gracilis</i>																											359,2			
<i>Fragilaria capuchina v. vaucheriae</i>				16,8																										
<i>Fragilaria construens v. venter</i>										52,9																				4639,7
<i>Fragilaria pinnata</i>		13,6					346,4					31,0	109,6																	
<i>Fragilariaceae</i>																	4,7													
<i>Frustulia sp.</i>																														
<i>Gomphonema angustatum</i>	801,8	11,0	969,4			233,4	346,4															336,8			10,4	16,4				
<i>Gomphonema angustum</i>																			9,6		418,5							8,2		88,2
<i>Gomphonema olivaceum</i>	1047,7	106,5	2821,5	627,4		696,0	4830,0	23,5	1041,2			15,5					26,4		4,8					119,3		123,3		20,5		
<i>Gomphonema parvulum</i>									7,1																			79,6		
<i>Gomphonema spp</i>		11,0	235,7					11,0		4,0				261,4		140,6	4,8				687,9	336,8			215,5	149,7	125,1			
<i>Gyrosigma sp.</i>																						336,8								
<i>Hannaea arcus</i>			93,8																											
<i>Hantzschia amphioxys</i>					122,9																									
<i>Mastogloia elliptica</i>																														
<i>Mastogloia sp.</i>																														
<i>Melosira varians</i>																	7,8	172,4			618,2	3199,2	70,8					252,5		
<i>Microcostatus andinus</i>																														
<i>Navicula aff. veneta</i>																														
<i>Navicula atomus</i>		2,7									1,4	67,4			433,0		18,7	62,0	16,8		853,9	168,4			268,0		310,1	5345,3		
<i>Navicula bulnheimii</i>			33,7																											
<i>Navicula capitatoradiata</i>																	23,0	15,5	4,8		1185,9	505,1								
<i>Navicula cincta</i>																														
<i>Navicula cryptotenella</i>						187,1													4,8		139,5	336,8	141,6						8017,9	
<i>Navicula goeppertiana</i>																			4,8											
<i>Navicula gregaria</i>				195,1			230,9	16,4					106,9	109,6	485,9		32,7		7,2		2701,2	5893,2	212,5		96,2	120,1		160,3	16035,8	
<i>Navicula lanceolata</i>			187,6									15,5			89,8		15,3	23,3	151,5		4329,7	505,1	708,2					119,8		
<i>Navicula pseudogracilis</i>																														
<i>Navicula spp</i>							57,7		7,1		1,4	7,8		54,8	212,5		59,1		43,3		209,3	1178,6	357,1		103,6		75,2	5345,3		

Continuación Tabla 5.2.2

Taxa/ Estaciones	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M15	M16	M17	M18	M19	M20	M21	M22	M23	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	
<i>Navicula subminuscula</i>																															
<i>Navicula symmetrica</i>																	9,4				418,5								4,1		
<i>Navicula tripunctata</i>						10,3										81,8	32,4		4,8		139,5								54,0		
<i>Naviculaceae</i>			336,8	496,2		10,3						56,9			89,8			7,8						28,3			239,5	12,6			
<i>Nitzschia acicularis</i>																										16,4					
<i>Nitzschia aff. fonticola</i>																															
<i>Nitzschia aff. liebetruithii</i>																															
<i>Nitzschia bacillum</i>			46,9								2,0																				
<i>Nitzschia compressa</i>																															
<i>Nitzschia constricta</i>																	9,4											8,2	2672,6		
<i>Nitzschia dissipata</i>			93,8	228,8	172,1	56,6	519,6				4,0	453,3			2661,9	81,8	26,4		14,4		1926,7	3872,7	9260,2			82,2	255,7				
<i>Nitzschia fonticola</i>																															
<i>Nitzschia frustulum</i>																												1574,6			
<i>Nitzschia inconspicua</i>			93,8								15,5	134,7			882,8	80,2	9,4		24,1		279,0		1754,9			3191,7	957,9	200,2			
<i>Nitzschia nana</i>										4,0																		8,2	5345,3		
<i>Nitzschia palea</i>				50,5		238,5					43,3	150,2	106,9	876,6	89,8		9,4	31,0	19,2		2929,7		95,4			295,9	125,1				
<i>Nitzschia perminuta</i>														57,5																	
<i>Nitzschia pusilla</i>										8,0																					
<i>Nitzschia spp</i>			161,2	16,8			230,9		61,5	8,0		240,8	106,9	219,2	477,9	81,8	32,4	234,7	21,6	366,7	1395,1	2188,9	1613,2	28,3		223,7	149,7	166,2	9653,6	176,4	
<i>Nitzschia valdecostata</i>			33,7									23,3		54,8														74,8			
<i>Pinnularia microstauron</i>					122,9																										
<i>Planothidium aff. chilense</i>										4,0																10,4					
<i>Planothidium lanceolatum</i>																												8,2	331,4		
<i>Planothidium spp</i>								17,6									109,6	4,8						14,2							
<i>Reimeria sinuata</i>	256,6						671,9																								
<i>Rhoicosphenia abbreviata</i>																			31,0			139,5	336,8					28,8			
<i>Rhopalodia brebissonii</i>																															
<i>Rhopalodia constricta</i>						93,5						7,8																			
<i>Scoliopleura spp</i>													53,5																		
<i>Sellaphora pupula</i>																															
<i>Surirella aff. Angusta</i>																													8,2		
<i>Surirella ovalis</i>	1582,2	86,0	93,8	962,2	737,6	72,0	1419,2	11,8	14,2			49,2			996,6						1385,5	1178,6	283,3	49,0		151,3					
<i>Surirella sella</i>				97,6		280,6			3,5	52,9		15,5		112,3	40,9				2,4						5,2			8,2			
<i>Synedra acus</i>																															
<i>Synedra ulna</i>																				4,8								119,7			
Otras diatomeas		11,0	93,8	211,9	245,9	98,7	737,6				32,5		90,6	1389,8	54,8	224,5	40,9	17,0	219,2	7,2	183,3	538,8	841,9	951,2	7,1	192,4	158,0	119,7	205,0	8017,9	176,4

Tabla 5.3.3a. Abundancia promedio (Nº de individuos/m²) de la fauna de macroinvertebrados bentónicos en cada una de las estaciones definidas para la cuenca del río Maipo. Campaña Mayo del 2003.

Taxa /Estaciones	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M15	M16	M17	M18	M19	M20	M21	M22	M23	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	
<i>Hydra</i> sp.															3,7	7,4	13,0	42,2	14,8	72,2			5,6			1,9					
Nematoda indet.																5,6	3,7		3,7			3,7	22,2				29,6		1,9	1,9	
<i>Gordius</i> sp.																										1,9					
<i>Dugesia</i> sp.																22,2	14,8	1,9		14,8		3,7				9,3	222,2	748,1	433,3	581,5	
<i>Littoridina cummingi</i>															1274,1	98,1	1,9	9,3	1,9									38,9	514,8		
<i>Gundlachia gayana</i>										40,7			1,9		7,4						1,9					35,2		5,6	9,3		
<i>Biomphalaria</i> sp.															1,9	1,9	1,9														
<i>Physa</i> sp.											1,9		1,9	1,9	114,8	81,5	16,7	77,8	116,7	9,3						13,0	133,3	133,3	455,6	427,8	
<i>Pisidium</i> sp.															3,7															14,8	
<i>Lumbriculus</i> sp.																										63,0			9,3	3,7	
<i>Nais</i> sp.	13,0	9,3		33,3	3,7		18,5	14,8	14,8	1014,8	1524,1	200,0	522,2	1770,4	644,4	10577	13077	555,6	3755,6	896,3	500,0	140,7	2761,1			3935,2	20088	63,0	20,4	25,9	
Hirudinea sp.																9,3			1,9	1,9						1,9	251,9			1,9	
<i>Hyallela</i> sp.																1,9									5,6				596,3		
<i>Aegla</i> sp.																													1,9		
Acani indet.							1,9					1,9	1,9				7,4			3,7	5,6					1,9			3,7	1,9	
<i>Collembola</i> sp.										1,9								33,3		1,9		29,6	13,0							7,4	
Anisoptera sp.																													1,9		
<i>Notoperlopsis</i> sp.		1,9	3,7	16,7	48,1	3,7	1,9			1,9																16,7					
<i>Limnoperla jaffueli</i>																														29,6	
<i>Camelobaetidium</i> sp.																28,9	68,5		22,2	129,6		3,7						14,8			
<i>Deceptiviosa</i> sp.	5,6	11,1	24,1	48,1	24,4	7,4				1,9																14,8	14,8		5,6		
<i>Andeslops</i> sp.			1,9																								63,0	103,7	55,6		159,3
<i>Meridialaris</i> sp.	3,7	51,9	46,3		5,6	3,7																			1,9	1,9					
<i>Smicridea</i> sp.	105,6	92,6	183,3	279,6	107,4	42,6	7,4	11,1		1,9	18,5	40,7	131,5	27,8	703,7	4763,0	3542,6	4488,9	6135,2	7833,3	479,6	396,3	79,6	153,7	150,0	564,8	2400,0	1394,4	1825,9	22,2	
<i>Metrichia</i> sp.																66,7	57,4	157,4	103,7	1818,5	109,3	24,1	1,9				46,3	14103	2727,8	1650,0	57,4
<i>Oxyethira</i> sp.																3,7												29,6	1,9	4,4	218,5
Hydrobiosidae indet.	3,7		1,9	5,6	1,9	1,9																			3,7	9,3					
<i>Parasericostoma</i> sp.				1,9																											
Elmidae indet.	1,9	1,9	1,9	1,9						20,4	14,8	5,6	5,6	7,4	5,6	183,3	275,9	131,5	368,5	483,3	201,9	42,6	64,8				138,9	1763,0	63,0	111,1	
Hydrophilidae																															
Hydraenidae indet.					1,9																										
Simuliidae indet.	1,9			55,6	42,6	9,3	370,4	22,2	13,0	63,0	242,6	301,9	68,5			1,9															1394,4
Chironomidae indet.	522,2	551,9	505,6	1379,6	446,3	840,7	1031,5	338,9	122,2	1648,1	3559,3	1263,0	1220,4	550,0	1835,2	14853	11675	11501	8990,7	9666,7	4083,3	2283,3	3887,0	2159,3	142,6	6100,0	15600	4374,1	1007,4	700,0	
Empididae indet.			1,9	27,8	3,7	7,4			1,9	22,2	44,4	7,4			1,9	9,3	13,0		1,9	1,9	3,7	1,9			3,7	7,4	29,6	1,9			
Blephariceridae indet.	25,9	5,6		7,4		1,9																			9,3	5,6					
Ephryidae indet.																		1,9		9,3	14,8	1,9	3,7						7,4		
Ceratopogonidae indet.																												29,6			1,9
Athericidae indet.		1,9	7,4	3,7	1,9					1,9	1,9														3,7	1,9	3,7				
Psychodidae indet.									1,9				5,6		5,6	1,9														1,9	
<i>Aphrophila bidentata</i>																															

(•) Taxa registrados en el muestreo de tipo cualitativo.