INFORME FINAL DE TRABAJO

EXPERTO DE JICA

MINISTERIO DE AGRICULTURA

JUN KUROSAWA

Junio de 2005

1. Prefacio

El experto que escribe, desde su llegada al Ministerio de Agricultura en junio de 2002 hasta la salida en junio de 2005, ha podido tomar parte en diversas políticas y administraciones ambientales relacionadas con ODEPA y CNR, principalmente en la conservación del medioambiente agrícola, lo cual procede de las colaboraciones del Sr. Hector Jeria, contraparte, el Sr. Nelson Pereira, jefe de Departamento de Política y Coordinación, Sr, Carlos Avilés y los funcionarios de CNR, Sra. Cecilia Rojas y los funcionarios de ODEPA, quedándome sumamente agradecido a ellos.

En el trabajo del presente experto, se incluyeron tanto la coordinación de los proyectos existentes como el de CADEPA en Chillán en colaboración entre Chile y Japón como la formación de nuevos proyectos, y el trabajo principal durante tres años ha sido investigación y estudio sobre el mejoramiento de la calidad de aguas para uso agrícola. Esto se debe a que los temas actuales en la agricultura chilena tratan acerca del mejoramiento de la vida de la población rural y el aseguramiento de la calidad de los productos de exportación a Europa y América. En la primera mitad de la misión también he trabajado en el problema del medioambiente como la administración de los parques nacionales de los que el Ministerio de Agricultura es responsable, y en la segunda mitad el análisis hidrológico de la zona secano del norte de Chile y el problema de derechos de aguas, asunto peculiar de Chile.

Acerca de estos trabajos, siempre los he informado a los interesados, pero en esta oportunidad nuevamente quiero resumir las principales actividades hechas como experto.

2. Resúmen de los trabajos

A continuación se describe el resumén de trabajos realizados en cada año durante la misión como experto.

(1) Año 2002

A principios de la misión de 2002, pude introducir un aparato de eliminación de arsénico en la zona de San Pedro de Atacama en colaboración con la Embajada de Japón. Esto se debe mayormente al esfuerzo del Sr. Sawayama, experto predecesor. También cooperé en el mejoramiento de equipos y materiales de GIS, que son necesarios para la investigación y el diseño del riego, el mejoramiento de instalaciones de observación meteorológica del Instituto Intihuasi de INIA, etc.

También, este año correspondía al año de la evaluación intermedia de los proyectos de CENEREMA y CADEPA, y por lo tanto me dediqué a la coordinación entre las instituciones involucradas chilenas y japonesas, y en cuanto al proyecto de CADEPA al estudio relacionado con el plantío directo.

(2) Año 2003

En este año empecé a toda escala el trabajo de mejoramiento de la calidad de aguas para uso agrícola. En forma concreta, participé en el estudio de la calidad del agua del río Mataquito, y al mismo tiempo comencé la investigación de "la metodología de calidad hídrica mediante los bentos" junto con la Facultad de Biología de la Universidad de Chile. También escribí varios informes sobre el mejoramiento del medioambiente. Además seguía el trabajo relacionado con GIS y la coordinación del proyecto CADEPA. Especialmente en el proyecto CADEPA, en aquel momento empezó a ponerse sobre el tapete, el establecimiento del Banco de Máquinaria Agrícola que está ligado al futuro del plantío directo y medidas para la contención de colibacilo en agua de pozos.

(3) Año 2004

En relación al agua para uso agrícola, este año también continué la investigación sobre metodología de calidad hídrica del río Maipo, y obtuve un cierto fruto presentando el resultado a los interesados. Espero que de ahora en adelante esta metodología se difunda en Chile. En cuanto al trabajo relacionado con el medioambiente, hice estudios sobre el método de conservación de tierras pantanosas en el sur y la educación del ambiente, a petición de la Oficina de JICA. En el área de la agricultura, se aclaró una necesidad de reparar canales de riego desgastados, y por lo tanto formé un proyecto en colaboración con la Embajada. Además, como era la época de la evaluación final de los proyectos de CENEREMA y CADEPA, me encargué del trabajo de coordinación. Los dos proyectos son excelentes, y en torno al proyecto CADEPA se decidió prolongarlo dos años más por tener temas como la continuidad del plantío directo, aseguramiento de fuentes de agua, mejoramiento de calidad de aguas, etc.

(4) Año 2005

A partir de enero me dediqué principalmente al cálculo hidrológico de derretimiento de la nieve en ríos y al tema de derechos de aguas en Chile. En cuanto al primero, se trata de desarrollar un método pronóstico de caudales fluviales aprovechando la peculiaridad de la zona central y septentrional de Chile donde casí no llueve desde la primavera hasta el otoño y que depende de aguas derretidas de nieve de los Andes como fuentes de agua, y en relación al segundo es exponer mi opinión sobre la forma adecuada de existencia de derechos de aguas en Chile. También continúo el trabajo de coordinación del proyecto CADEPA y el mejoramiento de la calidad del agua.

2. Presentación de informes principales

Como informe de trabajo adjunto los informes principales presentados al Ministerio de Agricultura hasta la fecha, y sus resúmenes se escriben a continuación.

(1) "Noción General sobre la calidad del agua de riego"

Explicación general de los puntos importantes como conocimiento previo al abordar los temas particulares, desde el análisis de investigación hasta estudio de medidas, en relación a la conservación de la calidad del agua para uso agrícola

(2) "Introducción de la metodología de calidad hídrica mediante comunidades biológicas en Chile"

Presentación de diversos métodos sobre el uso de organismos vivientes para determinar económicamente la calidad del agua de mediano y largo plazo de las zonas de agues

(3) "Estrategias de control de eutroficación de agua de riego"

Explicación general de causas y medidas sobre la eutroficación de las zonas de aguas que es destacada recientemente en la parte central y austral de Chile. Sobre todo, presenté un plan según casos acerca de medidas prácticas en consideración a la adaptación del lugar.

(4) "Consideración sobre la metodología para la determinación de la calidad del agua mediante las comunidades biológicas en la cuenca del río Maipo"

Informe de resultados de análisis por el método Beck-Tsuda como prueba, en la investigación biológica en el río Maipo realizada en colaboración con JICA, CNR y la Facultad de Biología de la Universidad de Chile en marzo de 2002

(5) "Consideración sobre la metodología para la determinación de la calidad hídrica mediante las comunidades biológicas en la cuenca del río Maipo, Chile"

Como resultado de la investigación biológica del río Maipo durante dos años se confirmó la posibilidad de adaptar el método Beck-Tsuda, y presenté la proposición del método concreto de decisión junto con la propuesta de organismos vivientes que sirven como indicador.

(6) "Sistema de riego en la zona secano del norte de Chile"

Explicación general sobre la construcción de represa subterránea que se considera necesaria en el futuro para la agricultura del norte de Chile, el desarrollo del método pronóstico de aguas derretidas de nieve, método adecuado de reparación de canales de riego desgastados, y la forma adecuada de la existencia de derechos de aguas.

(7) "Investigación sobre análisis de derretimiento de nieve en la cuenca del río Maipo"

Mención al respecto de la posibilidad en el futuro sobre el método de análisis de aguas derretidas de nieve de los Andes, realizando tanto colecciones de datos hidrológicos existentes, tesis de investigación en Chile, informaciones de la lectura distante, etc. como la exploración en el sitio.

(8) "Consideraciones sobre derechos de aguas en Chile"

Consideración sobre derechos de aguas en Chile, régimen mundialmente peculiar, basándome en entrevistas a los interesados e investigaciones existentes. Mención de la necesidad de planear un proyecto de uso de terrenos como política agrícola chilena

4. Epilogo

Lo arriba mencionado es el trabajo realizado por el presente experto, y a lo mejor no es suficiente, pero para mí estoy satisfecho de haber podido llevar a la práctica la metodología para determinar la calidad hídrica de comunidades biológicas, de haber hecho el análisis de derretimiento de la nieve de los Andes y de haber puesto en órden mis ideas sobre derechos de aguas.

Hay muchas cosas a lamentar, y sobre todo siento pena de no haber podido designar según la Convención Ramsar y Parques Nacionales en relación a la protección de alguna tierra pantanosa, de no haber podido hacer pruebas de método de reparación de canales de riego desgastados, de no haber podido desarrollar el análisis de derretimiento de nieve al pronóstico de la cantidad de aguas para uso agrícola, de no haber podido construir instalaciones para mejorar la calidad del agua, y de no haberme referido a la política de aseguramiento de terrenos excelentes a lo largo del país.

Sin embargo, en un corto tiempo de tres años, y a pesar de barreras del idioma, lo que he hecho se debe únicamente a la colaboración de los funcionarios de CNR y ODEPA.

Particularmente agradezco mucho por su amable atención tanto pública como privadamente a los Sres. Gastón Sagredo, Juan Pablo, Julia Toro, y Mónica Pereira. Les expreso de nuevo mi profundo agradecimiento.

Finalmente, deseando un desarrollo cada vez mejor del Sr. Rolando Nuñez y su gente de CNR y los funcionarios de ODEPA que me ayudaron, termino mi informe final.

Junio de 2005
Jun Kurosawa

INDICE

1. **Noción General sobre la calidad del agua de riego**

2. **Introducción de la metodología de calidad hídrica mediante comunidades biológicas en Chile**

3. **Estrategias de control de eutroficación de agua de riego**

4. **Consideración sobre la metodología para la determinación de la calidad del agua mediante las comunidades biológicas en la cuenca del río Maipo**

5. **Consideración sobre la metodología para la determinación de la calidad hídrica mediante las comunidades biológicas en la cuenca del río Maipo, Chile**

6. **Sistema de riego en la zona secano del norte de Chile**

7. **Investigación sobre análisis de derretimiento de nieve en la cuenca del río Maipo**

8. **Consideraciones sobre derechos de aguas en Chile**

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 el. 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 el 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 e 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 consideran 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 algun 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 si, 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 intrínsicamente 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 BIOLOGICAS EN CHILE

—CONSERVACION DE CALIDAD DE AGUAS DE RIEGO—

MARZO 2003

INTRODUCCION DE LA METODOLOGIA PARA LA DETERMINACION DE CALIDAD HIDRICA MEDIANTE COMUNIDADES BIOLOGICAS 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 especiamente 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 rió tiene aguas limpias, con un DBO_5 de menor a 1ppm 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 año1902 (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, Cincinatti, 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, DBO_5, nitrógeno orgánico, cambios de especies biológicas en un supuesto río con un flujo de $100ft^3$, 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) polisaprobiotico (polysaprobic); b) α–mesosaprobiotico (α–mesosaprobic); c) β–mesosaprobiotico (β–mesosaprobic); y d) oligosaprobiotico (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 bibliografica, 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, DBO_5, 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 ODB_5, 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 practica del método de determinación de calidad hídrica mediante comunidades biológicas, considerando las ventajas y desventajas de este, se debe estipular previamente un objetivo especifico, 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. Ademas 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, colectar todos los organismos visibles a simple vista.
e) Identificar taxonómicamente los organismos colectados. Dividir los organismos en tolerantes e intolerantes a contaminación. En el sistema de saprobiotico(saprobic system), los organismos oligosaprobioticos corresponden a los intolerantes a contaminación; los mesosaprobioticos y polisaprobioticos 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,

índice biotico=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 vise 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 colectar 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 aproximádamente 30 minutos. Luego, con los organismos colectados 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 al 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 formula.

índice de contaminación $= \Sigma(S \times h) / \Sigma \times h$

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	*Dugesia gonocephala* *Epeorus latifolium* *Baetiella japonica* *Oyamia gibba* *Hydropsyche ulmeri* *Simulium sp.*
1.51～2.50	βms	*Baetis sp.* *Potamanthus kamonis* *Hydropsychodes brevilineate* *Macronema radiatum* *Tanypodinae* *Spaniotoma sp.*

2.51~3.50	αms	*Asellus hilgendorfi* *Herpobdella lineata* *Bateéis sahoensis* *Notonecta triguttata* *Laccotrephes japonensis* *Ranatra chinensis*
3.51~4.00	Ps	*Tubifex sp.* *Physa acuta* *Chironomus sp.*

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.

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 (ΣSap) para determinar el nivel de contaminación de las aguas del río en estudio.

Promedio de evaluación ΣSap=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	
Ephemera japonica	9	1	0	0	4
Ecdyonurus yoshidae	7	3	0	0	3
Oyamia gibba	8	2	0	0	3
Mataeopsephenus japonicus	3	5	2	0	2
Luciola cruciota	9	1	0	0	4
Chironomus plumosus	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	
Ephemera japonica	5	180	20	0	0	200
Ecdyonurus yoshidae	6	63	28	0	0	91
Oyamia gibba	3	72	18	0	0	90
Mataeopsephenus aponicus	2	12	20	8	0	40
Luciola cruciota	2	12	8	0	0	20
Chironomus plumosus	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

Zβms=zβms x h x g=5 x 2 x 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 colectar 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 oC).

③ Calcular el índice saprobiótico (S; Saprobic Index) mediante la siguiente fórmula.

$$S = \Sigma ns / \Sigma n$$

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
Comisón 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 eutroficacion 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 eutroficacion 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) Eutroficacion: 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 estan 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 Oxigeno (DBO): Es la cantidad de oxigeno que es consumido por la respiración o reproducción de organismos acuáticos en muestras de agua bajo condiciones aeróbicas (gran presencia de oxigeno disuelto) y otras condiciones ambientales establecidas. Normalmente, el índice de contaminación corresponde al monto de oxigeno consumido durante 5 días a 20°C. Mientras mas alto es el valor del índice BOD, mayor es la presencia de elementos en descomposición. Menor a 2,5 ppm, indica aguas oligosapróbicos 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 oxigeno disuelto se hace escaso. La presencia de N-NH4, no solo causa la eutroficacion, sino que tambien 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 eutroficacion sino que también es dañino para el cuerpo humano, ya que dentro de los vasos sanguineos reacciona con la hemoglobina, disminuyendo la eficiencia del transporte de oxigeno. Además, dependiendo de las condiciones, se sabe que se produce nitrosamina, un compuesto altamente cancerigeno.

- 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 eutroficacion. El N-NO3 por si solo no es toxico, sin embargo, una vez dentro del cuerpo humano, se reduce, transformándose en N-NO2 y causando enfermedades. Por ello, en Japón esta 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 mas utilizado como índice de eutroficacion. La cifra limite entre eutroficacion y oligotroficacion es 0.15 a 0.2 mg/lt.
- Nitrógeno Kjerdahl (N-K): es el nitrógeno medido por el método Kjerdahl, 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) esta 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 fosforo extraido del suelo por sobre explotación, fertilizantes o pesticidas aplicados en areas 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 eutroficacion, 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 eutroficacion.

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 eutroficacion. 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 Anavaena. 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 eutroficacion 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 establecio 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 patogenisidad 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 eutroficacion, problemas provocados y estrategias básicas de control

La eutroficacion, 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 eutroficacion seria 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 absorcion 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 orgánios 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 eutroficacion 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 eutroficacion se ramifican en varias areas. Para considerar una estrategia de control, para cada caso de eutroficacion 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 eutroficacion 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 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 eutroficacion.

Actualmente, se están ejecutando controles de eutroficacion 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 regadío.

a) Estrategia de control en fuentes de contaminación

a.1) Estrategia de ingeniería bioecologica.

Como método de tratamiento de aguas de desecho de viviendas, se realizan tratamientos de mantención 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 esta 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 ultimas investigaciones en relación al tratamiento de nitrógeno y fósforo en cuestión, están mostrando una tendencia hacia un sistema de purificación de aguas llamado ingeniería

bioecologica. 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 amoniaco. Continuamente, los microorganismos aeróbicos transforman el amoniaco en nitrito y luego en nitrato. Al devolver esta agua al tanque con microorganismos anaeróbicos, las bacterias denitrificantes ocupan el oxigeno de NO2 y NO3 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 utililiza 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 util, 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 publico. 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 habiten 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 eutroficacion, 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 necesitaríauna 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 oxigeno, y para ello se debe elegir entre usar oxigeno 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 mas que el sistema método de lodo activado, y el tiempo requerido para purificación es mayor, requiriendo de mas 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 seria optimo 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 mas 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 oxigeno 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 eutroficacion. En especial los lagos artificiales como represas, se observan frecuentemente casos de eutroficacion 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 todo 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 oxigeno 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 numero 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 eutroficacion 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 mas 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 rio 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 rio, 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 tambien para poder eliminar el lodo contaminado.

El problema que presenta este método, es que se requiere de un espacio de construcción al lado del rio 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 ultimos.

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 seria el agricultor. Adicionalmente, en los ultimo 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 fosforo. 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 oxigeno 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 mas 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 mas 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, esta 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 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 seria, 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 esta al alcance de todo el publico. Cada institución tiene sus propios datos, y la diseminación de ella es insuficiente, por lo que seria 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 eutroficacion. El aceleramiento de la eutroficacion, 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 eutroficacion, 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 especificas 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 el los tratamientos de aguas servidas. El problema es la posibilidad de producción de tri-halo-metano, que es cancerigeno, 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 tambien complementarse con las estrategias de control de eutroficacion 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 bénticos y diatomea en la Facultad de Ciencias de la Universidad de Chile y se informó junto con el resultado del analisis 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 Rí 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 - - - - DBO_5 menos de 2.5ppm
- β mesosaprobio - - -DBO_5 2.5 – 5ppm
- α mesosaprobio - - -DBO_5 5 – 10ppm
- Polisaprobio - - - - - DBO_5 más de 10ppm

Se utiliza el DBO_5 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 DBO_5, 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 DBO_5, ya que hay pocos datos comparables.

En cuanto a la correlación entre DBO_5, y T-N etc., naturalmente, si DBO_5 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 sólamente.

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 prespuestado 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, BDO_5, 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/m^2, Unidad de DBO_5: 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 DBO_5 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 BDO_5. 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 bénticos y calidad del agua.

Tabla-3 Distribución de los organismos bénticos 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 punots en total, menor cantidad.
Biomphalaria sp.	I	Habitan solo en 3 puntos de B. Menor cantidad.
Blephariceridae indet.	II	Habitan en 3 puntosde A' y en un punto de A, con menor escala.
Camelobaetidius sp.	I	Habitan en 4 punots de B y en un punto de C. Mucha cantidad en C.
Chironomidae indet.	I	Especie predominante que habitan desde A' hasta D, con abundacia. 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 abundacia desde A' aC, con mayor cantidad enC.
Empididae indet.	—	Habitan en abundacia desde A' aC, 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. Pricipalmente 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 representatives que habitan en abundacia 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 catidad medio.
Physa sp.	I	Habitan en 6 puntos de B y en 3 puntos de C, pricipalmente 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 abundacia desde A' a D. Dificultad para determinar I oII.
Smicridae sp.	I	Uno de los especies representativos que habitan en abundacia 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 DBO_5 se puede tener alguna incognita 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 futura 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 organisms 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, igaul que en el caso de los organismos bénticos. Se indicó también la proposición de la clasicicación. 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	Clacificación
BDO_5 (ppm)	2.5>	2.5~5	5~10	10<	
Achnanthes speciosa	49.6	50.4			II
Achnanthes submarina	70.2	13.7	28.5		II
Achnanthidium minut-	92.8	6.9	0.1	0.2	III
Amphora spp	75.6	17.7		6.7	II
Brachysira aponina	98.6	1.4			III
Cocconeis placentula	2.3	93.6	4.1		II
Cymbella affinis	31.5	68.5			II
Cymbella helvetica	99.9			0.1	III
Cymbella pusilla	5.2	94.8			II
Cymbella spp	100.0				III
Denticula elegans	90.7	9.3			III
Denticula kuetzingi	60.6	6.8	21.8	10.9	I
Denticula valida	6.5	93.5			II
Diatoma moniliformis	88.0	0.5	9.7	1.8	II
Diatoma vulgaris		98.8	1.2		II
Encyonema minutum	100.0				III
Encyonema silesiacum	100.0				II
Fragilaria brevistriate		100.0			II
Fragilaria pinnata	56.7	3.1	40.2		II
Gomphonema angust-	91.7	8.3			III
Gomphonema angustu		92.2	7.8		II
Fragilaria brevistriate	72.9	0.2	0.1	26.8	I
Gomphonema parvulu			57.1	42.9	I
Gomphonema spp	20.4	75.5	0.9	3.2	II
Melosira varians		86.0	14.0		II

Navicula atomus	0.3	96.1	3.7		II
Navicula capitatora-		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
Phoicosphenia abbrev-		100.0			II
Rhopalodia conatricta	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 clacificación 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 BDO_5 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 mayoria absoluta, por lo que se necesitan más investigaciones para saber donde está el problema, diferencia de la región, etc.

3. Posibilidad de establecer la medodología 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 presición. 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 siguentes. 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 frecuancia 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 calculo 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 aparicidos 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	
Clacificación	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) ÷3=14. 7

A = (14+13+15+8) ÷4=12. 5

B = (14+9+7+7+6+17+14+12+9+12+9) ÷11=10. 5

C = (7+11+14) ÷3=10. 6

D = (5+5) ÷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 determinacón 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 cífras 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 occure 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 clacificadas en I y III) : 2.5 puntos

III (Diatomea intorelante al agua contaminada) : 1 punto

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

$S = \Sigma ns \ / \ \Sigma n$

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) ÷ 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)÷11=2.02

C=(2.14+2.46+2.50)÷3=2.37

D=(2.32+2.27)÷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. Resúmen 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. Ademas 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, colectar todos los organismos visibles a simple vista.
e) Identificar taxonómicamente los organismos colectados. Dividir los organismos en tolerantes e intolerantes a contaminación. En el sistema de saprobiotico(saprobic system), los organismos oligosaprobioticos corresponden a los intolerantes a contaminación; los mesosaprobioticos y polisaprobioticos 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,

índice biotico=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 vise 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 colectar 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 aproximádamente 30 minutos. Luego, con los organismos colectados 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 1al 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 formula.

Índice de contaminación $= \Sigma(S \times h) / \Sigma \times h$

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	*Dugesia gonocephala* *Epeorus latifolium* *Baetiella japonica* *Oyamia gibba* *Hydropsyche ulmeri* *Simulium sp.*

1.51~2.50	βms	*Baetis sp.* *Potamanthus kamonis* *Hydropsychodes brevilineate* *Macronema radiatum* *Tanypodinae* *Spaniotoma sp.*
2.51~3.50	αms	*Asellus hilgendorfi* *Herpobdella lineata* *Bateéis sahoensis* *Notonecta triguttata* *Laccotrephes japonensis* *Ranatra chinensis*
3.51~4.00	Ps	*Tubifex sp.* *Physa acuta* *Chironomus sp.*

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 (ΣSap) para ar el nivel de contaminación de las aguas del río en estudio.

Promedio de evaluación ΣSap=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	
Ephemera japonica	9	1	0	0	4
Ecdyonurus yoshidae	7	3	0	0	3
Oyamia gibba	8	2	0	0	3
Mataeopsephenus japonicus	3	5	2	0	2
Luciola cruciota	9	1	0	0	4
Chironomus plumosus	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	
Ephemera japonica	5	180	20	0	200
Ecdyonurus yoshidae	6	0			91
Oyamia gibba	3	63	28	0	90
Mataeopsephenus aponicus	2	0			40
Luciola cruciota	2	72	18	0	20
Chironomus plumosus	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 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 colectar 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 oC).

③ Calcular el índice saprobiótico (S; Saprobic Index) mediante la siguiente fórmula.

$$S = \Sigma ns / \Sigma n$$

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

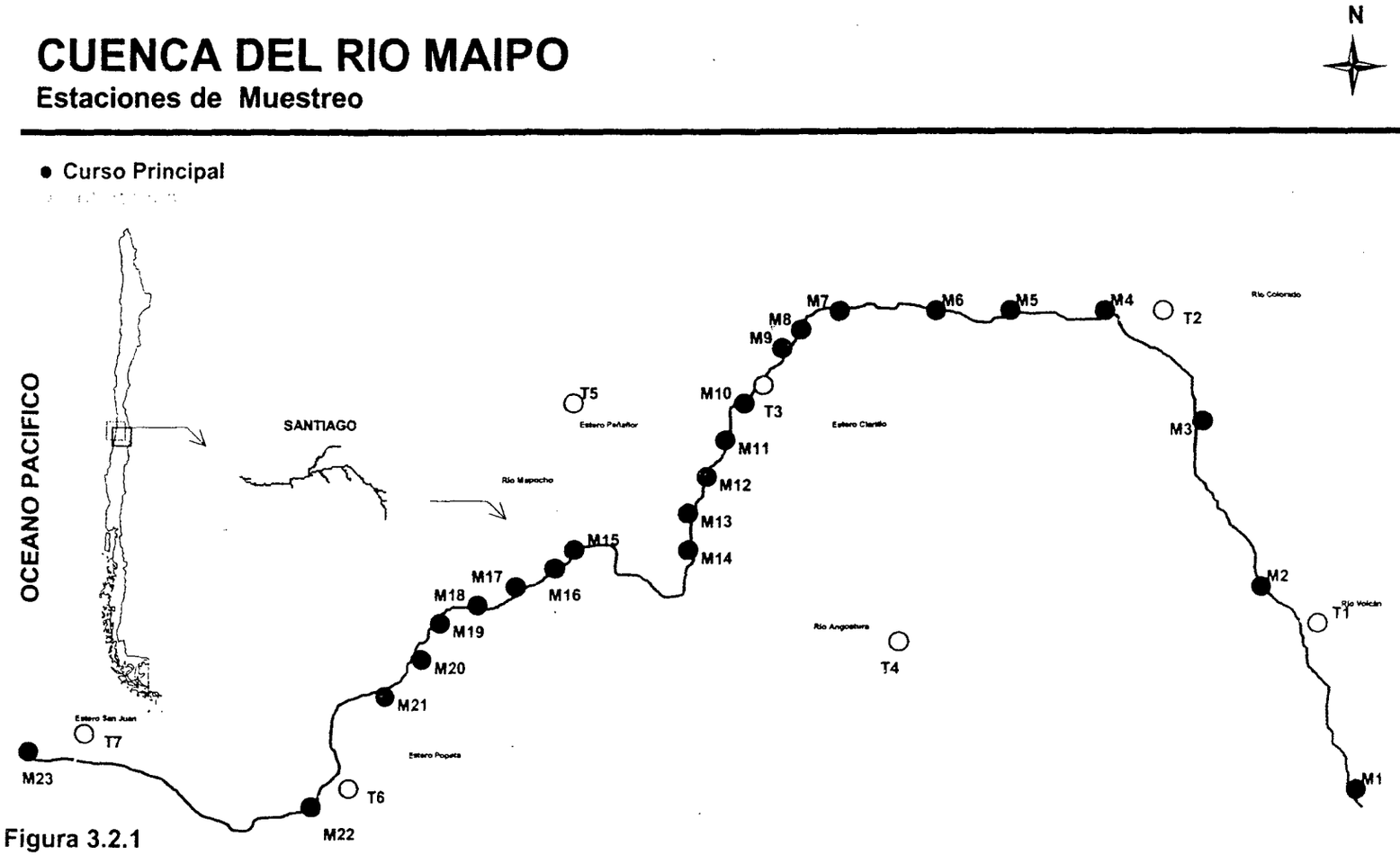


Figura 3.2.1

M1: Río Maipo sector Las Melosas, **M2:** Río Maipo sector Ingenio, **M3:** Río Maipo sector de San Alfonso, **M4:** Río Maipo aguas abajo desembocadura rió 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:** Rio 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 rió Mapocho, **M17:** Río Maipo aguas abajo desembocadura río Mapocho, **M18** Río Maipo en sector Chiñihue (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 M<aipo 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 Peñaflor, **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
$SO4^{=}$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
$SiO3^{=}$ /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	ºC	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	5,50	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 las7 estaciones de muestreo en la cuenca del río Maipo. Tributarios.

Estación/Parámetro	Unidad	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
Temperatura	ºC	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+l	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
HCO3-	mg/l	237,03	159,84	196,57	135,92	255,90	310,95	304,36
CO3=	mg/l	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
$SO4^{=}$	mg/l	96,75	118,05	110,36	25,74	75,44	99,70	8,58
$SiO3^{=}$ 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-NO2	µg / l	D	D	2,34	37,6	8,92	D	N.D
N-NO3	µg / l	168,50	163,50	583,50	978,50	858,50	563,50	68,53
N-NH4	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-PO4	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/mm^2) 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
Achnanthes aff. gibbula												15,5																		
Achnanthes brevipes																														
Achnanthes minutissima v saprophila																														
Achnanthes speciosa			46,9							26,5		7,8				40,9										31,3			8017,9	
Achnanthes spp																														
Achnanthes submarina			140,7	487,8						2,0		15,5		109,6												31,3				
Achnanthidium minutissimum	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
Amphora acutiuscula										2,0																				
Amphora aff. copulata																														
Amphora atacamae																														
Amphora carvajaliana												7,8																		
Amphora lineolata v. calamae																														
Amphora spp			140,7						3,5	4,0	44,7															16,4		381,5		
Asterionella formosa																							381,7							
Bacillaria paradoxa																														
Brachysira aponina				97,6						2,0																				
Céntrica																			2,4											
Cocconeis placentula v. euglypta				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
Cyclotella ocellata																														
Cyclotella spp																														
Cymatopleura solea																														
Cymbella affinis		27,3	348,8	440,7						12,0			2779,5													32,3				
Cymbella helvetica	12427,8	49,2	697,6	6196,2		187,1	1520,2		7,1															113,3	10,4					
Cymbella microcephala																				183,3										
Cymbella pusilla				97,6								15,5	2779,5																	
Cymbella spp			93,8	211,9		207,7	288,6																	55,9	192,4					
Cymbellonitzschia sp.																														
Denticula elegans			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	
Denticula kuetzingi			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
Denticula subtilis					122,9																									
Denticula thermalis		2,7																											2672,6	
Denticula valida						20,6		5,9		319,5		139,5																		
Diatoma moniliformis	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
Diatoma vulgaris																40,9	9,4	31,0	9,6		1900,2	673,5	212,5			156,1		100,4	5345,3	
Encyonema minutum			140,7	16,8		10,3	577,3																	70,3						
Encyonema silesiacum	801,8	49,1		33,7			240,5																	13,9	192,4					
Fragilaria bicapitata																														
Fragilaria brevistriata										8,0	21,6	31,0																		
Fragilaria capuchina v. gracilis																											359,2			
Fragilaria capuchina v. vaucheriae				16,8																										
Fragilaria construens v. venter										52,9																				4639,7
Fragilaria pinnata		13,6					346,4					31,0		109,6																
Fragilariaceae																	4,7													
Frustulia sp.																														
Gomphonema angustatum	801,8	11,0	969,4			233,4	346,4															336,8			10,4	16,4				
Gomphonema angustum																			9,6		418,5							8,2		88,2
Gomphonema olivaceum	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		
Gomphonema parvulum									7,1										14,4									79,6		
Gomphonema spp		11,0	235,7					11,0		4,0					261,4			140,6	4,8		687,9	336,8				215,5	149,7	125,1		
Gyrosigma sp.																						336,8								
Hannaea arcus			93,8																											
Hantzschia amphioxys					122,9																									
Mastogloia elliptica																														
Mastogloia sp.																														
Melosira varians																		7,8	172,4		618,2	3199,2	70,8					252,5		
Microcostatus andinus																														
Navicula aff. veneta																														
Navicula atomus		2,7									1,4	67,4			433,0		18,7	62,0	16,8		853,9	168,4				268,0		310,1	5345,3	
Navicula bulnheimii			33,7																											
Navicula capitatoradiata																	23,0	15,5	4,8		1185,9	505,1								
Navicula cincta																														
Navicula cryptotenella						187,1													4,8		139,5	336,8	141,6						8017,9	
Navicula goeppertiana																			4,8											
Navicula gregaria				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	
Navicula lanceolata			187,6									15,5			89,8		15,3	23,3	151,5		4329,7	505,1	708,2					119,8		
Navicula pseudogracilis																														
Navicula spp							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
Navicula subminuscula																														
Navicula symmetrica																	9,4				418,5							4,1		
Navicula tripunctata						10,3										81,8	32,4		4,8		139,5							54,0		
Naviculaceae			336,8	496,2		10,3						56,9			89,8			7,8						28,3			239,5	12,6		
Nitzschia acicularis																										16.4				
Nitzschia aff. fonticola																														
Nitzschia aff. liebetruthii																														
Nitzschia bacillum			46,9							2,0																				
Nitzschia compressa																														
Nitzschia constricta																	9,4											8,2	2672,6	
Nitzschia dissipata			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		
Nitzschia fonticola																														
Nitzschia frustulum																												1574,6		
Nitzschia inconspicua			93,8								15,5	134,7			882,8	80,2	9,4		24,1		279,0		1754,9			3191,7	957,9	200,2		
Nitzschia nana										4,0																		8,2	5345,3	
Nitzschia palea				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		
Nitzschia perminuta														57,5																
Nitzschia pusilla										8,0																				
Nitzschia spp			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
Nitzschia valdecostata			33,7									23,3		54,8													74,8			
Pinnularia microstauron					122,9																									
Planothidium aff. chilense										4,0															10,4					
Planothidium lanceolatum																												8,2		331,4
Planothidium spp								17,6										109,6	4,8					14,2						
Reimeria sinuata	256,6						671,9																							
Rhoicosphenia abbreviata																		31,0			139,5	336,8						28,8		
Rhopalodia brebissonii																														
Rhopalodia constricta						93,5						7,8																		
Scoliopleura spp													53,5																	
Sellaphora pupula																														
Surirella aff. Angusta																												8,2		
Surirella ovalis	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				
Surirella sella				97,6		280,6			3,5	52,9		15,5		112,3		40,9			2,4						5,2			8,2		
Synedra acus																														
Synedra ulna																			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/m^2) 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
Hydra 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
Gordius sp.																										1,9				
Dugesia sp.																22,2	14,8	1,9		14,8		3,7				9,3	222,2	748,1	433,3	581,5
Littoridina cummingi																1274,1	98,1	1,9	9,3	1,9								38,9	514,8	
Gundlachia gayana										40,7				1,9		7,4					1,9					35,2		5,6	9,3	
Biomphalaria sp.																1,9	1,9	1,9												
Physa 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
Pisidium sp.																3,7														14,8
Lumbriculus sp.																										63,0			9,3	3,7
Nais 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
Hyallela sp.																1,9								5,6				596,3		
Aegla sp.																												1,9		
Acari indet.							1,9					1,9	1,9				7,4			3,7	5,6					1,9			3,7	1,9
Collembolla sp.										1,9								33,3		1,9		29,6	13,0							7,4
Anisoptera sp.																												1,9		
Notoperlopsis sp.		1,9	3,7	16,7	48,1	3,7	1,9			1,9															16,7					
Limnoperla jaffueli																													29,6	
Camelobaetidius sp.			-													28,9	68,5		22,2	129,6		3,7					14,8			
Deceptiviosa sp.	5,6	11,1	24,1	48,1	24,4	7,4				1,9														14,8	14,8			5,6		
Andesiops sp.			1,9																							63,0	103,7	55,6		159,3
Meridialaris sp.	3,7	51,9	46,3		5,6	3,7																		1,9	1,9					
Smicridea 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
Metrichia 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
Oxyethira 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					
Parasericostoma 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																					1,9						14,8			
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						1,9		35,2	7,4	3,7	14,8			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					
Ephrydidae 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		
Aphrophila bidentata																					1,9									

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

CONSIDERACIONES SOBRE LA METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD HÍDRICA MEDIANTE LAS COMUNIDADES BIOLÓGICAS EN LA CUENCA DEL RÍO MAIPO, CHILE.

Junio 2004

CONSIDERACIONES SOBRE LA METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD HÍDRICA MEDIANTE LAS COMUNIDADES BIOLÓGICAS EN LA CUENCA DEL RÍO MAIPO, CHILE.

Junio, 2004
Elizabeth Araya
Centro de Ecología Aplicada, Universidad de Chile
Julia Toro
Comisión Nacional de Riego, Ministerio de Agricultura
Jun Kurosawa
(Experto de JICA)
Comisión Nacional de Riego, Ministerio de Agricultura

I Introducción

Actualmente, uno de los temas tratados en la política agraria en Chile, es la conservación de la calidad hídrica en aguas utilizadas para la agricutura. Esto es debido a que se detectan a menudo en los ríos, es prncipal fuente del agua de riego en Chile, la presencia de los metales pesados, compuestos orgánicos y las bactérias relacionadas con éstos últimos sobre la normativa de la calidad del agua. Originandose así, se acusan del impacto hacia la salud humana que habitan cercanía y el riesgo también en la caída de la calidad de los productos agrícolas de exportación como frutas etc. Por lo tanto, el gobierno deberá tomar una política de medida de control urgentemente.

La causa de este tipo de falla de la calidad del agua varia según las regiones, pero a groso modo, podemos decir que en el norte de Chile, la contaminación es en base a metales pesados tales como cobre, arsénico etc. desde las zonas de la minería y en centro y sur, la contaminación proviene de los compuestos orgánicos desde las ciudades y también por los fertilizantes y pesticidas desde las zonas agrícolas.

Así es que, el Ministerio de Agricultura de Chile ha empezado últimamente el estudio e investigación, para tomar medidas sobre la contaminación del agua de regadío. Y dentro de este proyecto, ha estudiado la posibilidad de la introducción de la metodología para la determinación de la calidad hídrica mediante comunidades biológicas.

No se ha introducido este método a Chile todavía, sin embargo, hemos visto muchos estudios exitosos sobre él en Europa, USA y Japón hace varios años, han sido utilizados en la práctica y se reconocen también como una herramienta de la educación ambiental. Pero, la investigación sobre los organismos bénticos del río, base de este método, ha sido estudiado por la Universidad de Chile y otras instituciones relacionadas y como estas poseen muchos conocimientos sobre esta metodología, poseen la base para introducirla y desarrollarla.

La razón por la que el Ministerio de Agriculura, especialmente la Comisión Nacional de Riego, quien es el encargado del uso de agua de regadío, ha estudiado la intruducción de este método, porque de este modo puede conocer el medio ambiente de los ríos a mediano y largo plazo en forma global con menos tiempo de investigación. También se consideró que el costo del análisis se disminuye, por lo tanto se origina el gasto menor para los agricultores pudiendo así combinarlo con el análisis químico de donde se obtiene un análisis de la calidad del agua tan amplia que va desde los ríos hasta los canales de regadíos en una forma racional y económica.

La diferencia entre el análisis químico y este método es que este último no se puede cuantificar en forma numérica y por lo tanto no es posible efectuar un pronóstico en esos términos. También este incluye otros elementos para la determinación de Biota, y como Chile no posee los datos históricos de la investigación se estimaba prematura la introducción de este método.

Considerando todo esto, la Comisión Nacional de Riego, el Experto de JICA que pertenece a ella y la Universidad de Chile (Centro de Ecología Aplicada) han determinado, después de discutir la justificación y la metodología para la introducción de este método hacia Chile, llevar a cabo los siguientes pasos

1. Estudiar la justificación de la introducción de la metodología para la determinación de la calidad del agua mediante comunidades biológicas en un río como el ejemplo.
2. En el río en cuestión, se estudia en primer lugar la posibilidad de seleccionar los organismos indicadores sobre la contaminación orgánica en ríos, después de la investigación biológica.

3. Si es posible seleccionar los organismos indicadores, se estudia la acción apropiada para esta región, después de comparar con las metodologías para la determinación de la calidad del agua mediante comunidades biológicas practicada en Europa, USA y Japón.
4. El seleccionado es el río Maipo que cruza desde la falda de la cordillera de Los Andes hacia el Oceano Pacífico a través de los subúrbios de la ciudad de Santiago, la capital. Este tiene poca contaminación con metales pesados pero no así con los compuestos orgánicos.
5. La investigación se realizará 2 veces, la primera con todos los ítems del análisis químico en general, los organismos bénticos y diatomeas, y la segunda con los ítems necesarios luego de analizar el resultado de la primera investigación.
6. Se analiza el resultado para estudiar la justificación de la introducción de este método en el país.

Si se considera válida la introducción de este método en base a sus resultados, se realizarán mas investigaciones y luego se establecerá la metodología para la determinación de la calidad hídrica mediante comunidades biológicas la que traerá muchos beneficios para el desarrollo de la investigación de la calidad del agua de una form racional y económica, objetivo del Ministerio de Agricultura.

Este documento relata el resultado sobre el estudio de la metodología para la determinación de la calidad hídrica mediante comunidades biológicas utilizando los organismos bénticos, dentro de los varios resultados.

II. Resumen de la investigación

1. Condiciones de la zona

El río Maipo que es el objetivo de la investigación, se origina en la cordillera de Los Andes, cerca de la frontera con Argentina y fluye de este a oeste casi en línea directa a través de los subúrbios de Santiago, la capital (ver Diagrama 1). Longitud del río es de 197km, su superficie es de 15,157m^2, el caudal promedio en su desembocadura es de 100m^3/S, agua arriba es básicamente el río natural de la cordillera de Los Andes y en agua media tiene un fuerte impacto debido a las actividades humanas.

El suelo del area periférico es de roca sedimentaria y volcánica de la época Jurásica y Cretáceo debido al levantamiento de la cordillera de Los Andes por la intrusión de la placa desde el Océano Pacífico. La temperatura promedio anual es de 16 grados, la precipitación promedio anual es de 438mm, la época de lluvia es de Abril a Septiembre y época de sequía es de Octubre a Marzo. Se concentra casi 90% de la precipitación en esta época de lluvia. Sin embargo, los ríos originados desde la cordillera de Los Andes tienen caludal mayor en la época de sequía, compuesto casi en su totalidad por deshielos.

2. Lugar de muestreo

Se obtienen las muetras de organismos y aguas en 23 estaciones, considerando los puntos de confluencias con los afluentes y puntos de entradas de agua servidas etc., desde agua arriba hacia agua abajo del río Maipo. Además agregamos 7 estaciones de muestreo en los afluentes para la primera investigación (ver Diagrama 1).

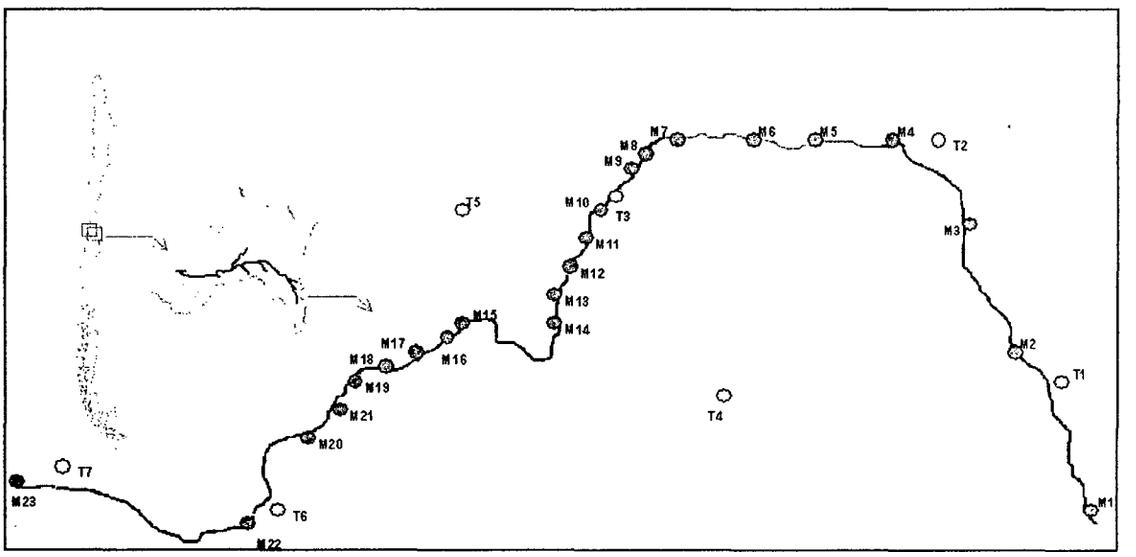


Diagrama – 1: Mapa de río Maipo y las estaciones de la investigación

La característica de las estaciones de investigación se demuestra en la Tabla – 1.
Desde la estación M8, empeza a tener fuerte influencia por la descarga de la ciudad de Santiago, pero también tenía entradas de las descargas desde los pueblos pequeños.

Tabla – 1 Característica de las estaciones de investigación

Estación	Característica	Estación	Característica
M 1	Sector Las Molosas	M 1 6	Agua arriba del punto de la confluencia con Río Mapocho
M 2	Sector Ingenio	M 1 7	Agua abajo del punto de la confluencia con Río Mapocho
M 3	Sector San Alfonso	M 1 8	Sector Juncal
M 4	Confluencia con el afluente Colorado	M 1 9	Agua arriba del punto de entrada del agua servida de la sector Melipilla
M 5	Sector La Lajas	M 2 0	Agua abajo del punto de entrada del agua servida de la sector Melipilla
M 6	Sector Las Vertientes	M 2 1	Sector Quincague
M 7	Agua arriba del punto de confluencia de la descarga de los mataderos	M 2 2	Sector Cabimbao
M 8	Agua abajo del punto de confluencia de la descarga de los mataderos	M 2 3	4km desde la desembocadura del río
M 9	100m agua abajo del punto de confluencia de la descarga del mataderos	T 1	Quebrada Volcán
M 1 0	Agua arriba del punto de entrada del agua servida de la Sector Los Morros	T 2	Quebrada Colorado
M 1 1	3Km agua abajo del punto de entrada del agua servida de la Sector Los Morros	T 3	Quebrada Clarillo
M 1 2	Sector Panamericana	T 4	Quebrada Angostura
M 1 3	Agua arriba del punto de entrada del agua servida de la Sector Viconto	T 5	Quebrada Peñaflor
M 1 4	2 puntos de agua abajo de la entrada del agua servida de la Sector Valdivia de Paine	T 6	Quebrada Popeta

M 1 5	Sector Viconto	T 7	Quebrada San Juan

Nota) M es río Maipo, T es afluente

3. Alineamiento para la primera investigación

La primera investigación se realizó desde el día 6 de Mayo de 2003 al día 13 del mismo en 30 estaciones de muestreos (ver Cuadro – 1) de los organismos bénticos, diatomeas y aguas, además de la muestra de agua y del análisis de la calidad del mismo en terreno del río Maipo y los afluentes. Luego, se realizó el estudio de la posibilidad de la determinación de los organismos indicadores y la metodología para la determinación de la calidad del agua mediante comunidades biológicas por el resultado de la identificación de los organismos, la cantidad de la especie por m^2, la cantidad de las células de diatomeas por m^2 y análisis químico del agua, en el Centro de Ecología Aplicada, principalmente.

Las muestras de organismos bénticos fueron obtenidos de acuerdo a la norma ASTM (Nota 1), por medio de una red Surber de $0.1m^2$ con la malla de 250 μ m en la profundidad de 50cm desde el fondo del río. Se tomaron 6 muestras de diatomeas de las piedras del fondo del río tal como se establece el método de Davis & Gee (Nota 2).
El análisis de la calidad del agua se realizó de acuerdo a los ítems y la metodología que exige el gobierno de Chile, midiendo la temperatura, Ph y la conductividad eléctrica etc. en terreno y el análisis de DBO, y nitrógeno, fósforos, etc. los elementos relacionados con los compuestos orgánicos y los metales pesados en el laboratorio. Aunque el objetivo de esta investigación es saber la relación entre la contaminación con compuestos orgánicos y los organismos, incluimos también varios análisis que no eran necesarios tales como el de los metales pesados. Pero, como esta es la primera investigación, incluimos todos los ítems de análisis para verificar la calidad del agua del río Maipo que se supone no contiene metales pesados en abundancia.

La razón por que eligimos los organismos bénticos y diatomeas como objetivo de la investigación biológica, es que se realizaron varios estudios sobre los organismos bénticos en Europa, USA y Japón por tener muchas variedades y además no son móviles como peces. En cuanto a los diatomeas, como ellos habitan en el vasto rango de medio acuático de oligosaprobio hasta polisaprobio, hicieron muchos estudios (Nota 3) sobre ellos en

estos años. Además, como el objetivo final de esta investigación es desarrollar la metodología de determinación de la calidad del agua racional y económicamente, es necesario seleccionar los organismos bénticos relativamente fáciles de identificar. Sin embargo, debido a las condiciones topográficas y climáticas de esta zona, se eligió también los diatomeas que se supone tendrían varias especies a pesar de que sea mas difícil de identificarlos.

4. Alineamiento para la segunda investigación

La segunda investigación se realizó desde el día 16 de Febrero de 2004 al 26 del mismo, fue debidamente modificado el contenido de la investigación tomando en cuenta el resultado de la primera. Los siguientes son los puntos modificados:

a. Se determinó a los organismos bénticos como únicos organismos indicadores. Tal como comentaremos mas adelante, esto se debe a que cerca de 50 especies de los organimos bénticos fueron recolectados en la primera investigación y nos da la certeza de que es posible seleccionar los organismos indicadores y estudiar la metodología para la determinación de la calidad del agua mediante comunidades biológicas.
b. Determinar solo el curso principal del río Maipo como la zona de investigación. Esto se debe a que los valores de DBO de los afluentes son relativamente bajos y tienen mas variaciones en el curso principal, por lo que se concluyó que es posible realizar el análisis de la investigación solamente en el.
c. No analizar los metales pesados y analizar solo los ítems relacionados a los contaminantes orgánicos. Esto se debe a que según el resultado de la primera investigación, quedó claro de que el río Maipo no tiene un impacto importante con los metales pesados y se concluyó que es posible estudiar la relación entre la contaminación orgánica y los organismos.
d. Aumentar el lugar de investigación cercanos a las estaciones M8 y M9 donde se mostraron los valores extremadamente altos en la primera investigación. Además realizará la investigación tanto en el día como en la noche.
e. Realizar las investigaciones en la cercanía del embalse que se ubica en agua arriba de la estación M10. Esto se debe a que es necesario estudiar el impacto de ese embalse sobre la fauna.

III. Resultado de la investigación y consideraciones

Este documento reporta solo la validez de la introducción de la metodología para la determinación de la calidad del agua mediante comunidades biológicas en base a la primera investigación realizada en el año 2003 y la segunda en el año 2004, utilizando la selección de los organismos bénticos como organismos indicadores. Otros resultados de las investigaciones deberán ser consultados en el informe que posee la Comisión Nacional de Riego (ver Nota 4).

Muchos estudios sobre los organismos bénticos se han realizados en Europa, USA y Japón en el pasado y el análisis de este documento se basará en ellos, también. Es decir, la relación entre la contaminación orgánica y los organicmos bénticos determina la relación entre DBO (demanda bioquímica de oxígeno) y los organismos bénticos. La relación entre los diferentes grados de calidad hídrica determinados mediante organismos biológicos y DBO será como sigue:

- oligosaprobio - - - - DBO menos de 2.5ppm
- β mesosaprobio - - DBO 2.5 – 5.0ppm
- α mesosaprobio - - DBO 5.0 – 10.0ppm
- polisaprobio - - - - - DBO más de 10.0ppm

1. Resultado de la primera investigación y consideraciones

Se indentificaron 47 especies de organismos bénticos en la primera investigación. Dentro de ellas, hay en total 26 especies luego de eliminar las que no se pudieron encontrar en el curso principal y las que se encontraron en una sola estación de investigación. Se deberán analizar solo estas especies. Eliminamos la especie encontrada en una sola estación, porque hay posibilidades de que se encontrara allí por otra causa fuera de la contaminación orgánica o por una casualidad, ya que no fué habida en otras estaciones con similar valores de DBO. Datos detallados en el Anexo–1:

Resumiendo el Anexo – 1, BDO, número de especies, cantidad por cada punto, en la Tabla – 2 a continuación.

Tabla – 2 Datos de DBO y los organismos bénticos por cada estación de muestreo

Est.	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12
DBO	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

Est.	M13	M14	M15	M16	M17	M18	M19	M20	M21	M22	M23
DBO	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

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

Nota) Unidad de la cantidad: numero/m^2, Unidad de DBO: ppm

Si se ordena por grado de calidad del agua, puede ver en la Tabla – 3 a continuación y se puede considerar que:

Tabla – 3 Cantidad promedio de especies y número de organismos bénticos 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
Estaciones	7	11	3	2	

Nota) Unidad del números de ejemplares promedios es por m^2

a. El número de especies promedio y de números promedio es muy bajo en la clasificación de la calidad del agua D, correspondiente al polisaprobio. Podemos considerar que tendrá estrecha relación con que los valores de DBO en M8 y M9, que corresponden a la clasificación D, son tan altos como 122ppm y 44ppm. Hemos de suponer que los valores de DBO de las 2 estaciones son altos por las influencias de las descargas de los mataderos y de aguas servidas, tal como aparecen en la Tabla – 1. Sin embargo, como el valor numérico es demasiado alto, es recomendable repetir la investigación incluyendo la diferencia entre día y noche ya que pudo haber sido un valor singular. Uno de los

problemas del análisis químico del agua es que demustra el resultado de un solo momento, tal como se aprecia aquí.

b. No hay muchas variaciones en el número de especies desde la clasificación A hacia C, aumentando levemente hacia C. Esto se contradice un poco con la teoría de que aumetaría la cantidad de especies donde hay mejor calidad del agua, pero en este caso, podría considerarse que es debido a la diferencia entre agua arriba y agua media del ambiente del habitat de los organismos bénticos, mas que por la calidad del agua. Es posible que la condición del ambiente del habitat en agua media sea mas beneficiosa que la de agua arriba del río Maipo ya que es muy rápida y fria puesto que corresponde a la cordillera de Los Andes. En cuanto al número de especies, tal como se estipula en varios métodos de la determinación de la calidad del agua mediante comunidades biológicas, hay que considerar las especies más vulnerables a la contaminación, y por lo tanto, no se puede determinar la relación con la calidad del agua por solo el número de especies.

c. En la cantidad de ejemplares, al igual que el número de especies, existe una tendencia de aumento desde A hacia C. 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 número de especies.

(1) Determinación de los organismos indicadores

En base al resultado de esta investigación, examinaremos la selección de los organismos indicadores para el requisito previo de la introducción de la metodología para la determinación de la calidad del agua mediante comunidades biológicas. Para esto, primero, reordenaremos el Anexo – 1 para examinar la distribución de los organismos bénticos por especies por la clasificación de la calidad hídrica. Tal como aparecen en la Tabla – 2, las 3 estaciones dentro de 7, del valores de DBO de la clasificación de la calidad del agua A (DBO menos de 2.5ppm) son inferior a 1.0ppm, asignamos a ellas como AA y dividimos en 5 categorías, que aparecen en la Tabla–4.

Tabla – 4 Distribución de los organismos bénticos en diferentes calidad hídrica en %

Clasificación de la calidad hídrica	AA	A	B	C	D
DBO (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

Del resultado de la Tabla – 4, se puede considerar la selección de los organismos indicadores ya que existe cierta limitación de los organismos que pueden habitar en sus correspondientes grados del agua. Existen algunas proposiciones sobre la determinación de los organismos indicadores en sus correspondientes grados del agua. En este documento, examinaremos el método de clasificación por 2 tipos de Beck – Tsuda (Nota 5) y por 4 tipos de Puntle u. Buck (Nota 6) que tenga alta posibilidad de introducir por estatus de la acumulación de los datos.

Primero, el principio de Beck – Tsuda es separar en 2 tipos, uno con especies tolerantes a la contaminación (especies que habitan en las clasificaciones B, C y D por calidad del agua) y otro con especies intolerantes a la contaminación (especies que habitan en la clacificación A y AA por calidad del agua). La Tabla – 5 es el resultado de la clasificación a partir de la Tabla – 4.

Tabla – 5 Distribución de los indicadores de Organismos Bénticos (2 tipos)

Especies	Clase	Comentario
Acari indet.	I	Casi todas en B y C, habitan en una sola estación en A. 6 estaciones en total, menor cantidad.
Athericeidae indet.	II	Mayor cantidad en A, también habitan en AA y B. 9 estaciones en total, menor cantidad.
Biomphalaria sp.	I	Habitan solo en 3 estaciones de B. Menor cantidad.
Blephariceridae indet.	II	Habitan en 3 estaciones de AA y en una estación de A, con menor escala.
Camelobaetidius sp.	I	Habitan en 4 estaciones de B y en una estación de C. Abundancia en C.
Chironomidae indet.	I	Especie predominante que habitan desde AA hasta D, con abundancia. Mayor cantidad en B y C, y el mayor en D.
Collembolla sp.	I	Habitan en 4 estaciones de B y en una estación de C, con la cantidad medianamente abundante.
Deceptiviosa sp.	II	Habitan en 3 estaciones de AA y A, una estación de B. Menor cantidad en B.
Dugesia sp.	I	Habitan en 4 estaciones de B y en una estación de C, con la cantidad compartida.
Elmidae indet.	I	Habitan en abundacia desde AA aC, con mayor cantidad enC.
Empididae indet.	—	Habitan desde AA aC, con mayor cantidad en AA y B. No podría asignarlo como organismo indicador, de este resultado.
Ephrydidae indet.	I	Habitan en 4 estaciones de B y en una estación de C. Principalmente en B, con menor cantidad.
Gundlachia gayana	I	Habitan en 3 estaciones de B y en una estación de C. Principalmente en B, con menor cantidad.
Hirudinea sp.	I	Habitan en una estación de B y en 2 estaciones de C.

		Cantidad compartida, pero menor escala en ambos.
Hydra sp.	I	Habitan 5 estaciones de B y en 2 estaciones de C. Pricipalmente en C, abundancia en ambos.
Hydrobiosidae indet.	II	Habitan en 5 estaciones de AA y A, con menor cantidad.
Littoridina cummingi	I	Habitan en 3 estaciones de B y en 2 estaciones de C. Especialmente mayor cantidad en M-16.
Meridialaris sp.	II	Habitan en 5 estaciones AA y A juntos, con la cantidad mediana.
Metrichia sp.	I	Habitan en 6 estaciones de B y en 2 estaciones de C, con mayor cantidad en C.
Nais sp.	I	Una de las especies representativas que habitan en abundacia desde AA hasta D. Mayor cantidad en B y C.
Nematode indet.	I	Habitan en 4 estaciones de B y en una estación de C, con menor cantidad en C.
Notoperlopsis sp.	II	Habitan en 7 estaciones totales de AA y A, y en una estacón en B con catidad medio.
Physa sp.	I	Habitan en 6 estaciones de B y en 3 estaciones de C, pricipalmente en C. Mayor cantidad.
Psychodidae indet.	I	Habitan en 2 estaciones de B y en una estación de C y pocos en D. Menor cantidad.
Simuliidae indet.	-	Habitan en abundacia desde AA a D. Dificultad para determinar I oII.
Smicridae sp.	I	Una de las especies representativas que habitan en abundacia desde AA a D con mayor existencia en C.

Nota) I : Especies Tolerantes a la contaminación (B, C y D por calidad del agua)
II : Especies Intolerantes a la contaminación (AA y A por calidad del agua)

Nota) Normalmente la clasificación se denomina con A, B pero para evitar la confusión con la calidad del agua, pusimos I, II

En la distribución de la Tabla – 5, podemos ver que Empididae Indet. habita abundantemente en la clasificación AA y B, y Simuliidae indet. habita abundantemente en la clasificación A y B, por lo que los consideramos inadecuados para ser asignados como organismos indicadores (ver Tabla – 4). Dentro de las 6 especies habitadas en la clasificación D, catalogamos las 4 especies exceptuando Empididae Indet. y Simuliidae indet. como tolerantes a la contaminación, sin embargo 3 de estas 4 especies habitan en la

clasificaciones AA y A, también. Generalmente, como las especies polisaprobios no habitan en el ambiente acuático oligosaprobio, la duda queda. Sin duda, las estaciones M8 y M9 que corresponden a la clasificación D, tienen fuertes influencias de los compuestos orgánicos, tal como se demuestra en la Tabla – 1, también existe la posibilidad de que sea un valor anormal, por lo que puede ser inadecuado en determinar como clasificación D, con una sola investigación.

Sin embargo, como se puede dividir claramente las 24 especies dentro de 26, en las especies tolerantes e intolerantes a la contaminación, podríamos concluir que es posible adaptar el método de clasificación por 2 tipos de Beck – Tsuda.

A continuación, examinamos el método de clasificación por 4 tipos de Puntle u. Buck y obtuvimos la siguiente Tabla – 6.

Tabla – 6 Distribución de los indicadores de Organismos Bénticos (4 tipos)

Especies	Clasificación		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

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

Comparado con el método de clasificación por 2 tipos, este método de 4 tipos aumentaría la duda, por el método de clasificación en esta investigación. Especialmente, en relación con los casos de especies habitables en la clasificación 4 que corresponden al polisaprobio y son

las que pueden habitar en el, la duda arriba mencionada persiste. Las marcas ( ) son las especies de clacificaciones difíciles y pusimos los valores que podrían corresponder. De esta forma, se concluiría que el método por 4 tipos es difícil de aplicar. Pero, como pudimos clasificar 18 especies en esta investigación, que es mas de la mitad, podríamos así aplicar este método por 4 tipos si aumentara la frecuencia de la investigación que atraería el aumento del muestreo de especie y análisis del agua, y por consiguiente un aumento de los organismos indicadores.

(2) Metodología para la determinación de la calidad del agua mediante comunidades biológicas

Dentro de las metodologías para la determinación de la calidad del agua mediante comunidades biológicas que utilizan organismos indicadores arriba mencionados para determinar la calidad del agua, existen Método Beck – Tsuda, Puntle u. Buck y Marvan (ver Nota 7), y sus características son los siguentes:

a. Método Beck–Tsuda: Se separan las especies recogidas en tolerantes e intolerantes a la contaminación. Se considera doble la cantidad de las especies intolerantes y luego se suma esta cantidad con tolerantes. Resulta ser oligosaprobio siendo mayor el número, tal como aparece en la siguiente tabla. La idea es dar doble de valor a las especies intolerantes y sin importar la cantidad total ni el peso.

2A+B	Calidad del agua
>20	Oligosaprobio
11～20	β mesosaprobio
6～10	α mesosaprobio
0～5	Polisaprobio

Nota) A: Número de especies intolerantes a la contaminación

B: Número de especies tolerantes a la contaminación

- Método de muestreo según Biotic Index (α) del Método Beck－Tsuda (ver Nota 5).

b. 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 especie encontrada por cada clasificación de la calidad del agua y toma la frecuancia de aparición como un elemento para determinar.

c. 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 organismos indicadores, poniendo nota de 1 a 4. Además se considera la cantidad del número de especies para determinar el nivel de calidad del agua mas adecuado. La idea es considerar la certeza y la cantidad como el indicador de las especies.

Al aplicar los resultados de esta investigación en estos 3 métodos, consideramos que el Método Puntle u. Buck es difícil de adaptar ya que las estaciones de muestreo fueron pocas. Esto se debe a que, dentro de 23 estaciones 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 este, las 3 especies Chironomidae indet., Nais indet. y Smicridae indet. ocupaban más de la mitad de la cantidad total de especies y no era representativo por tener una influencia fuerte concentrada solo en 3 de ellas. Básicamente, hay varias discusiones sobre el considerar la cantidad y peso de la especie dentro de las determinaciones de la calidad del agua. Cuando se determina la calidad del agua de la estación del muestreo, no podemos negar la necesidad de considerar la especie prioritaria dentro de la variedad de estas. Sin embago, si ponemos prioridad en la cantidad, las especies pequeñas tendrán una mayor, y si ponemos prioridad en el peso, las especies grandes tendrán una mayor también. El método de seleccionar las especies prioritarias adecuadas es una tarea muy compleja.
Considerando estos puntos, realizamos el análisis de esta investigación con el Método Beck – Tsuda. Esto se debe a que este es el mas fácil de usar y uno de los métodos mas confiables según antecedentes conseguidos en Japón.

Como se considera doble la cantidad de las especies intolerantes a la contaminación para el Método Beck–Tsuda, distribuimos 2 puntos para las especies de la clasificación II y 1 para la especies tolerantes a la contaminación. Luego, se suman estos valores en cada una

de las 23 estaciones de investigación. Podemos confirmar la justificación de la aplicación de este método, si el valor obtenido disminuyera limpiamente desde aguas oligosaprobio hacia polisaprobio. El resultado de este cálculo se demuestra en la Tabla – 7 y adelante. Sin embargo, 2 especies, Empididae indet. y Simuliidae indet. fueron excluidas del cálculo por no ser aptas para organismos indicadores desde el punto de vista ya mencionado anteriormente.

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

Estación	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Clasificación	AA	A	A	AA	A	AA	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
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			

Smicridea sp.	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1	1
Total	12	14	13	14	13	12	6	3	3	12	7	5

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

Estación	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	
Clacificación	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
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
Smicridea sp.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	I
Total	5	7	6	15	14	12	11	14	9	10	9	

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

AA = (12+14+12) ÷3=12. 7

A = (14+13+13+6) ÷4=11. 7

B = (12+7+5+5+6+15+14+12+9+10+9) ÷11=9. 5

C = (7+11+14) ÷3=10. 6

D = (3+3) ÷2=3

El resultado está al revés, en parte, entre la clasificación B (β mesosaprobio) y C (α mesosaprobio), pero el resto está de acuerdo con la teoría del Método Beck-Tsuda el cual postula: que las cifras serán mayores en los puntos menos contaminados.

Sin embargo, al observar detalladamente cada estación, encontramos algunas inconsistencias con la teoría, como por ejemplo; teniendo mayor cifra, M-16 corresponde al β mesosaprobio (BDO es de 2.52ppm) y siendo Oligosaprobio la estación M-7 (BDO es de 1.55ppm) tiene sólo 6 puntos.

Esas cífras son menores que las que determinó Tsuda en Japón (más de 20 para el oligosaprobio, entre 11 – 19 para el β mesosaprobio, entre 6 – 10 para el α mesosaprobio, entre 0 – 5 para el polisaprobio). Esto no es un problema de teoría sino que la cantidad de supuestas especies indicadoras fué menor, esto se demuestra que es necesario determinar separadamente el valor para la evaluación.

La razón porqué occure el fenómeno de la adversidad en las estaciones B y C, es debido a que hay mayores especies habitadas en la estación C. Para corregir este problema, se han dividido las clasificaciones I y II y asignando –1 punto a la especie más tolerante. Resultado en la Tabla – 8 .

Tabla – 8 Proposición de la clasificación del los organismos bénticos

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
Ephrydidae indet.	−0．5		Psychodidae indet.	−1
Gundlachia gayana	0		Smicridae sp.	−1

Nota) Se distribuyeron los puntos: 4 al oligosaprobio y − 1 al polisaprobio, base a la Tabla − 4

De esta clasificación, igual que lo de la Tabla − 7, calculamos el valor promedio por la calidad del agua por clasificación:

AA = (10 + 12 + 13.5) ÷ 3 = 11.8

A = (10 + 10.5 + 11 − 1) ÷ 4 = 7.6

B = (4 − 2 − 4 − 4 − 5 − 8 − 9.5 − 6.5 − 6.5 − 6 − 5.5) ÷ 11 = − 4.8

C = (− 5 − 7.5 − 9.5) ÷ 3 = − 7.3

D = (− 2 − 2) ÷ 2 = − 2

Se disminuye ordenadamente el valor desde la clacificación AA a C, pero se pone al revés la clasificación D con C. Naturalmente, este es un cálculo tentativo, por lo tanto no es necesario preocuparse del resultado. Lo importante es; a pesar de que es difícil crear una metodología para la determinación íntegra sin ninguna contradicción por esta investigación, a través de la metodología modificada del Método Beck − Tsuda, tenemos cierta posibilidad del desarrollo para la metodología de determinación apropida para el río Maipo después de acumular los datos necesarios.

Como requisito previo para este tipo de análisis, es importante realizar la investigación de DBO con mayor frecuencia para obtener valores promedios confiables de cada estación de la investigación. Si se logra eso, se establece una metodología para la determinación de la calidad del agua mediante organismos y se podrá determinar, así la calidad del agua a mediano a largo plazo con casi una sola investigación biológica sin realizar investigaciones de DBO con frecuencia.

2. Resultado de la segunda investigación y consideraciones

En la segunda investigación realizada en Febrero de 2004, se recolectaron 35 especies en total, a pesar de que era verano y nos preocupaba que pudiese disminuir la cantidad de estas. Se puede referir el informe que posee la Comisión Nacional de Riego de Chile para el resultado completo de esta investigación (Nota 4). Dentro de estas 35 especies, incluye 22 de 24 especies que se identificaron como posible organismos indicadores en la primera

investigación. Detalle de estas 22 especies en el Anexo – 2. De esta manera, con la segunda investigación, es posíble mejorar la precisión de la identificación de los organismos indicadores y la metodología para la determinación de la calidad del agua mediante comunidades biológicas examinadas en anterior investigación.

Podríamos pensar que existen los organismos indicadores dentro de las especies nuevas aparecidas en la segunda investigación, pero el objetivo de esta no es seleccionar los organismos indicadores, sino verificar si la metodología para la determinación de la calidad del agua mediante comunidades biológicas practicadas en Europa, USA y Japón es aplicable en Chile. Es decir, la verificación de la aplicabilidad de la selección de los organismos indicadores sobre la contaminación del agua en el río Maipo, por lo tanto, consideramos solo 22 especies para el análisis en este informe desde el punto de vista de seleccionar los organismos indicadores con mayores posibilidades.
Ahora, sobre la metodología para la determinación de la calidad del agua mediante comunidades biológicas, verificaremos esta metodología ya que el Método Beck – Tsuda (o su versión modificada) sería mas apropiado para la aplicación en esta investigación que no tiene suficiente datos acumulados, según la consideraciones dada en la primera.

(1) Identificación de los organismos indicadores

Primero, reordenamos el Anexo – 2 para analizar la distribución por especie y clasificación de la calidad del agua de las 22 especies que aparecieron en ambas investigaciones como posibles indicadoras. Se resume en la Tabla – 9.
En la primera investigación, dividimos la clacificación de la calidad A (DBO menos de 2.5ppm) en AA y A para poder realizar un análisis mas detallado. Sin embargo, en esta segunda investigación, analizaremos a través de la metodología por 4 tipos de A a D para poder comparar con las metodologías generales.

Tabla–9 Distribución de los organismos bénticos por la clacificación de la calidad hídrica (segunda investigación)

Clasificación	A	B	C	D	Clasificación	Clasif.
Clas. DBO (ppm)	2. 5>	2.5-5	5-10	10<	2da invest.	1ra nvest.
Hydra sp.	-	100.0	-	-	I	I
Dugesia sp.	20.8	79.2	-	-	I	I
Hirudinea sp.	62.4	37.6	-	-	☆	I

Nais Sp.	17.2	6.2	76.5	0.1	I	I
Littoridina cummingi	1.7	97.5	0.8	-	I	I
Biomphalaria sp.	-	100.0	-	-	I	I
Gundlachia gayana	-	100.0	-	-	I	I
Physa sp.	6.0	38.0	55.9	-	I	I
Collembolla sp.	-	100.0	-	-	I	I
Meridialaris sp.	97.8	2.2	-	-	II	II
Camelobaetidius sp.	1.4	94.4	2.8	1.4	I	I
Deceptiviosasp.	92.2	4.4	0.6	2.8	II	II
Notoperlopsis sp.	97.3	1.1	0.3	1.4	II	II
Hydrobiosidae indet.	77.4	11.3	-	11.3	☆	II
Smicridae sp.	38.9	60.9	0.2	-	I	I
Metrichia sp.	92.5	7.5	-	-	II	I
Elmidae indet.	47.3	51.2	1.4	0.1	I	I
Blephariceridae indet.	100.0	-	-	-	II	II
Athericidae indet.	100.0	-	-	-	II	II
Psychodidae indet.	-	-	59.6	40.4	I	I
Chironomidae Indet.	59.4	34.7	5.6	0.4	☆	I
Ephydridae indet.	-	-	100.0	-	I	I

Nota) Clasificación: I es tolerante a la contaminación (clasificación del agua B、C、D)、
II es intolerante a la contaminación (clacificación del agua A)

Nota) ☆: las especies no asignadas como organismos indicadores de acuerdo a la segunda investigación

Ahora comparamos la Tabla – 4 de la primera investigación con esta Tabla – 9 y podemos concluir lo siguiente:

a. Se pudo verificar la confiabilidad de los organismos indicadores por tener resultados similares en la primera investigación y en la segunda.
b. Sin embargo, es difícil determinar si Hirudinae sp. y Hydrobiosidae indet., de segunda investigación, son tolerantes o intolerantes a la contaminación.
c. Metrichia sp. es claramente tolerante a la contaminación, de acuerdo al resultado de la primera investigación (ver Tabla – 4), pero se debe considerar como intolerante según la segunda. Por lo tanto, no se lo podrá asignar como organismo indicador.

De estos resultados, consideramos 18 especies como organismos indicadores ya que las 3 de ellas, Metrichia sp., Hirudinae indet. y Hydrobiosidae indet. no podrán ser consideradas como tal.

Resumimos las características ecológicas de estas 18 especies en la Tabla – 10.

Tabla – 10　　Características de los organismos indicadores del río Maipo

Especie	Clasificación y características ecológicas
Hydra sp.	· Cnidaria, Hydrozoa · Pequeño organismo del dulceacuícolas, aproximadamente 10mm de longitud. Se conoce solo en forma de pólipo en el sistema de la vida. Captura Daphnia, Rotífero etc. con su tentáculo. En Chile ----
Dugesia sp.	· Platyhelminthes, Tricladida · Una de las especies de dugesiidae con algunos milímetros a 10mm de largo. Es famoso por tener forma de sanguijuela y el brote de regeneración. Generalmente habita en el río limpio y es carnívoro. Se define como organismo indicador de clasificación A en Japón. En Chile -----
Nais Sp.	· Annelida, Oligochaeta · Una de las especies de Nadidae. Tiene cuerpo de 1～ 2 mm con forma de hilo blanco. En Chile -----. Esta familia abunda en Japón en la clacificación B.
Littoridina cummingi	· Mollusca, Gastropoda · Una de las especies de Amnicolidae. En Chile · · ·
Biomphalaria sp.	· Mollusca, Gastropoda · Una de las especies de Planorbidae y es anfitrión intermediario de Schistosoma. En Chile · · ·
Gundlachia gayana	· Mollusca, Gastropoda · Una de las especies de Ancylidae y se alimenta de diatomeas. Generalmente, está pegada detrás de la hoja que flota en el agua. En Chile · · ·
Physa sp.	· Mollusca, Gastropoda · Una de las especies de Physidae y es tolerante a la contaminación. Puede ser indicador de la deterioración ambiental. En Chile · · ·
Collembolla sp.	· Arthropoda, Insecta · Una de las especies mas antiguo de los insectos que fue hallada en el estrato de la era Debonian. Habitan mayoritariamente en el suelo, pero también en la costa y en dulceacuícola. En Chile · · ·

Meridialaris sp.	・Arthropoda, Insecta, Ephemeroptera ・Una de las especies de Leptophlebiidae con cuerpo de 6～10mm. Se habitan en amplia zona desde agua arriba a agua abajo. Se alimentan de diatomeas pegado en las piedras. En Chile・・・. Esta familia abunda en Japón en las clasificaciones A y B
Camelobaetidius sp.	・Arthropoda, Insecta, Ephemeroptera ・Una de las especies de Baetidae. Se mueve rápido y habita en amplia zona desde agua arriba a agua abajo. Se alimenta de diatomeas pegados en las piedras, hojas caidas y restos de insectos etc. En Chile・・・. Esta familia abunda en Japón en las clasificaciones A y B
Deceptiviosasp.	・Arthropoda, Insecta, Ephemeroptera ・Un de las especies de Baetidae・・・・. En Chile・・・
Notoperlopsis sp.	・Arthropoda, Insecta, Plecoptera ・Una de las especies de Gripopterygiidae・・・。 En Chile・・・
Smicridae sp.	・Arthropoda, Insecta, Trichoptera ・Una de las especies de Hydropsychidae. Pone el nido en el superficie y abertura de la piedra. Omnívoro. En Chile・・・.Esta familia abunda en Japón en las clasificaciones A y B
Elmidae indet.	・Arthropoda, Insecta, Coleoptera ・Una de las especies de Elmidae. La larva es tipo oruga con forma de tubo e imago tiene un cuerpo de 1 – 5 mm en forma rectanglar u ovalado. Tanto la larva como imago habitan en el agua y se alimentan de diatomeas de las piedras. En Chile・・・。 Esta familia abunda en Japón en las clasificaciones A y B.
Blephariceridae indet.	・Arthropoda, Insecta, Diptera ・Una de las especies de Blephariceridae. Posee 2 antenas en la cabeza y se adhiere a las rocas en la corriente torrentoso con sus 6 ventosas en el abdomen. Su cuerpo es menos de 10mm. Es un organismo indicador del agua limpia de agua arriba. En Chile・・・
Athericidae indet.	・Arthropoda, Insecta, Diptera ・Una de las especies de Athericidae. Camina sobre piedras con sus varias puntas con forma de patas en el abdomen. Se habita en el agua limpia del agua arriba. En Chile・・・。 Esta familia abunda en Japón en la clasificación.
Psychodidae indet.	・Arthropoda, Insecta, Diptera ・Una de las especies de Psychodidae. Se considera como el mosquito en la taxonomía. Es una de las plagas desagradables cuya larva se genera en el agua residuales,

	alcatarillado y estanque séptico etc. En Chile・・・
Ephydridae indet.	・Arthropoda, Insecta, Diptera ・Una de las especies de Ephydridae. En Chile・・・

A pesar de que necesitamos mas investigaciones posteriores para la verificación, si revisamos conjunto con la Tabla – 9, podemos concluir que los datos de las especies similares del hemisferio norte podría servir para la determinación de los organismos indicadores. En los resultados de esta investigación, Dugesia y Athericidae no coinciden con los antecedentes de Japón, por lo que consideramos como sigue:

a. En Japón, Dugesia es el organismo indicador que corresponde a la clasificación A. Sin embargo, de acuerdo a la primera investigación, habitan 47% en la clasificación B y 53% en C tal como aparecen en la Tabla – 4 y en la segunda investigación, como aparecen en la Tabla – 9, habitan 21% en la clasificación A y 79% en B. Según estos datos, los resultados de las 2 investigaciones se ven muy diferentes. Sin embargo, si analizamos las estaciones de muestreos, estos son muy similares, siendo M16, 17, 18, 20 y 22 para la primera y M15 – 21 para la segunda. De esto, podemos concluir lo siguiente.
   - La diferencia de los resultados de las 2 investigaciones se debe a la diferencia del valor de la medición de DBO. Se presume que es posible solucionar esta diferencia con mayor frecuencia de le medición de DBO en el futuro con la obtención del valor promedio. Esto indica que la determinación mediante comunidades biológicas se podrá expresar mas a largo plazo para la metodología y la determinación de la calidad del agua.
   - Dugesia es el organismo indicador que corresponde la clasificación A en Japón, sin embargo, de acuerdo al resultado de esta investigación en el río Maipo, se encuentra mayoritariamente en la clasificación B. Vale la pena investigar mas la relación con la calidad del agua.

b. Athericidae es el organismo indicador que corresponde la clasificación B en Japón, sin embargo, habitan 92% (28% en AA) en la clasificación A y 8% en B de acuerdo al resultado de la primera investigación y 100% en A en la segunda investiagción. Las estaciones de muestreos en la primera investigación son M2 – 5 y M1, 3, 4 y 6 para la segunda. De este resultado, podemos concluir que se habitan casi totalidad en la clasificación A, en el río Maipo. Por lo tanto, es necesario investigar la diferencia de los

datos entre Chile y Japón, si es por la diferencia de las especies o la adaptabilidad a la calidad del agua.

En cuanto a la segunda investigación, existe menos cantidad de Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera, que generalmente aparecen con mayor cantidad en la metodología para la determinación de la calidad del agua mediante comunidades biológicas. No solamente en estos 18 especies, sino también aparecieron 4 especies de Ephemeroptera, 2 de Plecoptera y 3 de Trichoptera en 37 especies recolectadas en esta segunda investigación, que es característico de este caso. Una de las próximas tareas será investigar si es por la reflexión de la entomofauna del alrededor de Santiago que tiene pocos insectos de tierra, característica propia del río Maipo o el problema de la tecnología en la identificación de las especies de insectos acuaticos.
Sin embargo, a través de estas 2 investigaciones, podríamos concluir con cierta certeza que las especies indicadoras propuestas pueden ser como tal, ya que redujimos el rango de selección de estas y de acuerdo al conocimiento del hemisferio norte. Será posible fijar los requisitos preestablecidos para desarrollar la metodología para la determinación de la calidad del agua mediante comunidades biológicas en Chile a través del aumento de la frecuencia de investigaciones y por consiguiente el aumento de los organismos indicadores.

(2) La metodología para la determinación de la calidad del agua mediante comunidades biológicas

Tal como aparece en la Tabla – 11, si comparamos los resultados de las 23 estaciones de muestreos comunes de las dos investigaciones, la calidad del agua de la segunda investigación en agua media es peor y mejor en agua abajo.

Tabla – 11 Clasificación del agua por estación de muestreo

Est.	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12
1ra.	A	A	A	A	A	A	A	D	D	B	B	B
2da	A	A	A	A	A	A	B	D	D	C	C	B

Est.	M13	M14	M15	M16	M17	M18	M19	M20	M21	M22	M23
1ra	B	C	B	B	B	B	C	C	B	B	B
2da	C	C	B	B	B	A	B	A	A	A	A

Este tipo de diferencia se debe a que DBO indica solo el valor del momento. Sin embargo, tal como vimos anteriormente, los 18 organismos indicadores seleccionados serán confiables, verificamos el Método Beck – Tsuda, en la siguiente Tabla – 12, usando el resultado de la segunda investigación, igual que la Tabla – 7.

Tabla – 12 Cálculo por el Métod Beck-Tsuda (1 de segunda investigación) %

Estación	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Clasificación	A	A	A	A	A	A	B	D	D	C	C	B
Hydra sp.												
Dugesia sp.												
Nais Sp.	1		1	1	1	1			1	1	1	
Littoridina cummingi												
Biomphalaria sp.												
Gundlachia gayana												
Physa sp.											1	1
Collembolla sp.												
Meridialaris sp.		2	2	2	2	2	2					
Camelobaetidius sp.												1
Deceptiviosasp.	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2		
Notoperlopsis sp.	2	2	2	2	2	2	2	2	2		2	
Smicridae sp.	1	1	1	1	1	1	1			1	1	1
Elmidae indet.			1	1		1			1	1	1	1
Blephariceridae indet.	2	2	2			2						
Athericidae indet.	2		2	2		2						
Psychodidae indet.								1	1	1	1	
Ephydridae indet.											1	
Total	10	9	13	11	8	13	7	5	7	6	8	4

Tabla – 12 Cálculo por el Métod Beck-Tsuda (2 de segunda investigación) %

Estación	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	
Clasificación	C	C	B	B	B	A	B	A	A	A	A	
Hydra sp.							1					I

Dugesia sp.			1	1	1	1	1	1	1			I
Nais Sp.		1	1	1	1		1	1	1	1	1	I
Littoridina cummingi		1	1	1	1		1	1	1			I
Biomphalaria sp.					1							I
Gundlachia gayana				1	1							I
Physa sp.		1		1	1		1	1	1	1	1	I
Collembolla sp.							1					I
Meridialaris sp.												II
Camelobaetidius sp.		1	1	1	1	1						I
Deceptiviosasp.												II
Notoperlopsis sp.												II
Smicridae sp.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	I
Elmidae indet.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	I
Blephariceridae indet.												II
Athericidae indet.												II
Psychodidae indet.												I
Ephydridae indet.												I
Total	2	6	6	8	9	4	8	6	6	4	4	

El cálculo del valor promedio por la calidad del agua por clasificación según la tabla-12:

A= (10+9+13+11+8+13+4+6+6+4+4) ÷11=8.0
B= (7+4+6+8+9+8) ÷6=7.0
C= (6+8+2+6) ÷4=5.5
D= (5+7) ÷2=6.0

El resultado no arroja diferencias importantes por haber limitado en 18 especies de los organismos indicadores. Pero, está al revés, en parte, entre la clasificación C (α mesosaprobio) y D (Polisaprobio), pero el resto está de acuerdo con la teoría del Método Beck-Tsuda, también en esta segunda investigación, que postula: las cifras serán mayores en los puntos menos contaminados.

Sin embargo, al igual que en la primera investigación, al observar detalladamente cada estación, encontramos algunas contradicciones con esa tendencia, especialmente en agua

abajo de la clasificación A donde arroja menor valor. Tal como aclaramos anteriormente, no está muy claro si la calidad de hídrica de agua abajo corresponde a la clasificación A o B durante todo el año, por lo que no tendría sentido examinarlo mas detalladamente en este momento. Ahora que no tenemos suficiente datos acumulados, el punto esencial es que la tendencia en general está de acuerdo con la teoría.

El Método Beck – Tsuda que utilizamos en esta investigación, no considera en absoluto la cantidad ni el peso de las especies de los organismos bénticos. Además, la razón por qué se puso doble de peso a las especies intolerantes a la contaminación no tiene concepto teórico muy acabado, tal como dice ⟦· · · además, la razón porqué se definió como 2 A + B, es simplemente puso doble de peso a las especies intolerantes a la contaminación A que tolerantes B⟧ ("La metodología para la investigación de la calidad hídrica mediante comunidades biológicas" por Dr. Matsunae Tsuda, Dra. Ikuko Morishita, Página 95, Sankai-Do). Podría haber alguna cabida para aplicar métodos mas teóricos tales como el de la clasificación del Método Puntle u. Buck o del Método Marvan, pero se presume que el Método Beck – Tsuda sería el mas adecuado para la realidad de Chile, ya que sus antecedentes demuestran que es muy práctico, además simple de manejar y no se requiere muchos datos. En todo caso, es muy difícil asignar teóricamente el peso a cada especie, por lo que se deberá definir el factor de acuerdo a la experiencia adquirida. Ahora en adelante, es recomendable seguir acumulando los datos necesarios para el Método Beck – Tsuda o su versión modificada para Chile por el momento. Y es mejor probar otros métodos mas adelante.

Por otro lado, como el resultado de la segunda investigación se demuestra claramente, es difícil definir especies de organismos bénticos, aunque podría definirlos hasta familia y género. Por ejemplo en Japón, se conocen mas de 9 familias 134 especies de Plecoptera pero, solo un tercio es decir, para 9 familias 47 especies son elucidadas la relación entre larva e imago (Nota 8). Queda alguna duda hasta qué punto es necesario la identificación de los organismos para la metodología para determinar la calidad del agua mediante comunidades biológicas, pero de todas maneras es mejor que estén mas elucidadas las especies de larvas y por lo tanto, se necesitaría la cooperación de los biólogos Chilenos de ahora en adelante.

IV Conclusión

La metodología para la determinación de la calidad del agua mediante comunidades

biológicas es ampliamente utilizada en Europa, USA y Japón, pero no hemos visto antecedentes que haya sido objeto de estudio en los países de Latino América y por lo tanto, existía dudas para su aplicación en Chile. Este documento trata del estudio sobre la justificación de la introducción de esta metodología para la calidad del agua en Chile y podemos concluir que es válida la legitimidad de ella desde los resultados de 2 investigaciones realizadas. Sin embargo, los datos son insuficientes con solo estas 2 investigaciones, por lo que es necesario realizar otras y acumular los datos necesarios. Si logramos acumular mas datos y por consiguiente aumentar el número de especies de los organismos indicadores, se podrá desarrollar la metodología apropiada para la determinación de la calidad del agua mediante comunidades biológicas, siendo el mismo Método Beck – Tsuda o su versión modificada de acuerdo a la característica ecológica Chilena. Además, vale la pena estudiar otros métodos también si aumentara el número de organismos indicadores y realizar el análisis por ellos. Aunque que se necesita un poco mas de especialización, la metodología mediante diatomeas debería ser investigada ya que la cantidad de especies en el río Maipo es alta y posible de ser aplicada.

Ahora bién, para aumentar los datos, es necesario realizar suficiente investigaciones de DBO, además, naturalmente, de la investigación de los organimos bénticos cada 4 estaciones. Por ejemplo, en caso del río Maipo, es necesario realizarla, a lo menos, una vez al mes y donde tienen fuerte impacto de descargas, como por ejemplo: los mataderos, deberán medir la diferencia de la calidad del agua de día y de noche y obtener un promedio cargado por hora de trabajo, y tratar de obtener el promedio de DBO a través del año.

Además, en el caso de Chile, por su largo y angosto territorio que cubre una gran variedad de latidudes, posee gran diversidad de clima y bioestrato. Por lo tanto, se deberá seleccionar los organismos indicadores por lo menos en 3 zonas diferentes para aplicar la metodología para la determinación de la calidad del agua mediante comunidades biológicas, es decir zona norte secano subtropical, zona central semisecano templado y zona sur humedo subártico. También es deseable seguir ampliando las investigaciones de los ríos de la zona central semisecano templado, además del río Maipo. Para este tipo de investigación, es deseable la participación de los estudiantes, ONG y ciudadanos en general además de los profesionales expertos de los organismos bénticos,. Esto ayuda no solo para completar la tarea de la investigación, sino también fomenta la oportunidad de la educación ambiental, por lo que solicitamos cooperación por parte de las autoridades.

De estos resultados, se puede conocer la calidad hídrica del río y de los canales de riego a

través de una sola investigación de los organismos bénticos. Y para los lugares que se requiere los análisis cuantitativos, se hará análisis químicos. Así, la investigación total de la calidad del agua será mas racional y económico.

Esperamos que la metodología para la determinación de la calidad del agua mediante comunidades biológicas en Chile llegue a ese punto de perfección.

Literatura Citada

Nota1 Standard guide for selecting grab device for collecting benthic macroinvertebrates. American Society for Testing and Materials. ASTM D/4387-84pp.

Nota 2 A simple periphyton sampler for algal biomass estimates in srteams. Freswater Biology 30:47-51

Nota 3 Kobayasi、H、& Mayama、S. Most pollution-tolerant diatoms of severely polluted river in the vicinity of Tokyo.Jap. Phyco130:188-196.1982.

Nota 4 Metodología para la Determinación de la Calidad Hídrica mediante Comunidades Biológicas en la Cuenca del Río Maipo. Septiemble 2003. Marzo 2004.

Nota 5 Matsunae Tsuda, Ikuko Morishita: La metodología para la investigación de la calidad hídrica mediante comunidades biológicas (1974) Editorial Sankai-Do.

Nota 6 Laboratorio de salud pública de prefectura de Osaka: Informe No.19 del Laboratorio "Investigar la calidad hídirca mediante los organismos del río" Noviembre 2002

Nota 7 Laboratorio tecnológico de la medida contra nieve y construcción de prefectura de Fukui: Informe de ingeniería ambiental No. 8 "El río, ambiente favorable para el crecimiento del habitat para los organismos, Junio 1998

Nota 8 Kozo Tani: "Observación del los insectos acuáticos" Pagina 90, Editorial Tombo

SISTEMA DE RIEGO EN LA ZONA SECANA DEL NORTE DE CHILE

Noviembre 2004

Sistema de Riego en la Zona Secana del Norte de Chile

Comisión Nacional de Riego
Experto de JICA
Jun Kurosawa
Noviembre, 2004

1. Introducción

Chile limita al oeste con la cordillera de Los Andes y al este con el Océano Pacífico, su territorio se expande también de norte a sur con 200km de ancho promedio.
En el norte de Chile, por las características de la topografía, llueve muy poco durante el año, excepto en la cordillera de Los Andes. El desierto de Atacama es la zona de menor lluvia del mundo. Esta tendencia varía mientras nos acercamos a la zona central, pero en Santiago, la Capital, caen solo 350mm aproximadamente en el invierno y no llueve casi nada desde el fines de Septiembre a Marzo.

Esta condición climática da un efecto directo en la agricultura de la zona norte. Es decir, la actividad agrícola es muy fuerte en la zona donde abunda el agua de deshielo de Los Andes, pero no hay ninguna actividad agrícola en otras zonas, exceptuando algunos lugares en que se pueda aprovechar el agua sbuterránea de profundidad como los de aguas fóiles. Sin embargo, estas zonas tienen potencialidad de obtener productos de muy buena calidad si hay agua, ya que en estas no encontramos acumulación extrema de sales, problemas de enfermedades e insectos y muy poca incidencia de temporales que a menudo se observan en la actividad agrícola de las zonas subtropicales.

Los pobladores del norte que se dedican tanto a la actividad minera como agrícola habitan solo en las zonas donde existen el agua, el resto es zona desértica.

En estos 2 años de experiencia en Chile, he notado algunos problemas en el norte relacionados con la calidad del agua para la agricultura. Por lo que me referiré al tema riego que constituye mi trabajo principal.

2. Consideraciones sobre el riego para la zona norte

Bajo las condiciones descritas anteriormente, en la zona norte, desde hace mucho tiempo, la actividad agrícola con sistema de riego se ha desarrollado solo en zonas cercanas a los ríos que nacen en la cordillera de Los Andes. En esta zona, a pesar de que la superficie es relativamente pequeña, se producen frutas y verduras de muy buena calidad. Los productores de esta zona pertenecen a las Comunidades de Aguas, Asociaciones de Canalistas, Junta de Vigilancia etc., y cada uno de ellos posee derecho de agua.

Después de estudiar el caso de estas agriculturas de riego, se proponen los siguientes lineamientos para su desarrollo en el futuro.

① Asegurar la fuente de agua

Todas las fuentes provienen del deshielo de la cordillera de Los Andes (exceptuando las aguas fósiles) y como no se puede aumentar la cantidad de esta, el tema es cómo aprovecharlas efectivamente. Una opción ideal es la construcción de embalses para acumular el agua superficial, esta es una solicíon que ya ha implementada. Al respecto, quisiera hacer algunas sugerancias.

- Estudio del embalse subterráneos: En el caso de la zona norte, la construcción de embalses en superficie no tiene problemas para conseguir el terreno adecuado, tampoco influirá en el tema del impacto ambiental e impacto a poblaciones de aguas abajos etc., como ocurriría en otros países. Por lo tanto es viable seguir construyendo este tipo de embalses en el futuro. Sin embargo, estos originan la evaporación de una enorme cantidad de agua, también la distancia entre el embalse y el lugar de la actividad agrícola es importante y requiere un largo canal para su uso. Además, dependiendo del lugar, existirían problemas con la acumulación de los metales pesados y sales nutritivas.

  Para compensar las desventajas de este tipo de embalse, se puede considerar la construcción de embalses subterráneos en lugares adyacentes a las poblaciones con muros continuos dentro de la tierra (poner tablestacas de concretos o aceros, o construir muro de arcilla en la tierra). Aunque su tamaño no es grande, se podrá construir un muro que suba el nivel de agua subterránea y que tenga capacidad de acumulación.

El lugar adecuado será cercano a ríos donde se encuentran las poblaciones y con un nivel del agua subterránea considerable. También se puede asegurar así una fuente de agua potable para la población. El embalse subterránea tiene más ventajas que el embalse pequeño y pocp profundo de superficie, sobre todo si consideramos la pérdida por evaporación.
El problema siempre es costo versus eficacia. Como este tiene de embalse subterránea comunmente en suelo con muchos espacios aéreos, por ejempro arrecifes de coral, es importante entonces elegir un lugar con estas características. Es necesario efectuar una profunda prospección geológica sobre el perfil de la falla, propiedades del suelo y línea del agua subterránea etc. Al usar motobombas para extraer el agua, es necesario considerar también la combinación del uso de la energía solar y otros.

Análisis del flujo de deshielo:Esto es uno de los temas mas importantes en este informe. Indispensable es tener la proyección de la plantación o siembra de cada año, si los productores pretenden desarrollar eficazmente la comercialización de los productos agrícolas hacia los mercados mundiales. Existen varios factores que determinan esta proyección; situación de oferta y demanda de los productos agrícolas tanto en el país como extranjero, precios del mercado etc. Pero, si se obtiene la predicción de la condición natural con anterioridad a la plantación o siembra, el productor podrá tomar decisiones apropiadas en la selección de la variedad y la cantidad de superficie a plantar. Los factores que aquí influyen son, generalmente, cambios estacionales tales como cantidad de radiación solar, temperatura, cantidad de lluvia y caudal del río etc. En la zona norte de Chile, como llueve muy poco, las predicciones de la cantidad de radiación solar y de lluvia son muy obvias. En cuanto a la temperatura, como esta zona pertenece a la región subtropical, en ella hay grandes diferencias de temperaturas entre máximo y mínimo del día, pero no así heladas. Por lo tanto, el factor deteminante de esta zona está dado por el tamaño del caudal del río. Si se logra tener una predicción de esta, se podrá obtener una proyección eficaz de la actividad agrícola .
Si la única fuente de agua proviene del deshielo, exceptuando las aguas fósiles, es muy ventajoso para considerar asi las variaciones del tamaño del caudal del río. Es decir, como la cantidad de la fuente del agua estaría limitada por la nieve acumulada durante el invierno, se podría predecir la

cantidad del cauldal si se conoce la curva del derretimiento. En otros países, en general, es complicado conseguir la predicción de la cantidad de caudal del río porque es difícil obtener el pronóstico acertado de las lluvias para cada año, aqui solo habria que estimar la cantidad que se derretirá. Por otro lado, los factores determinantes para el deshielo son; la radiación del calor, temperatura y lluvia, este último punto no adquiere relevancia en la zona norte de Chile. Además, la variación anual de la radiación del calor y la temperatura son insignificantes comparados con el tipo de agua caida. Por lo tanto, al tener los datos históricos de los factores climáticos diarios, se podría analizar el derretimiento de las nieves.

Ahora, las relaciones entre la nieve y lluvia en la zona norte por sectores son las siguientes (es necesario destacar que no se podrá aplicar esta teoría para todos los sectores durante todo el año.):

a. Norte de San Pedro de Atacama: No hay lluvia que se pueda utilizar en el predio para el riego durante el año, por lo tanto se considera solo el agua del río para la agricultura (exceptuando el agua fósil de la comuna de Pica). Sin embargo, en la cordillera de Los Andes, nieva no solamente en el invierno sino también en el verano y se acumula para luego convertirse en fuente de agua. Esto se debe al efecto climático causado por frentes de baja presión generados en Brasil y Bolivia, apreciables hasta principios de Enero. Puede este ocasionar también lluvias y no siempre nieve. Por lo tanto, hay que tener en cuenta este fenómeno ocasional para la consideración de la cantidad del caudal. Pero, en caso de que este ocurra, podríamos también predecir las variaciones de caudal del río exceptuando estos períodos.

b. Alrededores de la Santiago: Es difícil tener la estimación las variaciones del caudal de los ríos en el invierno, ya que precipita irregularmente entre 300mm y 400mm durante ese período. Sin embargo, durante la primavera y el otoño, no llueve como para desarrollar a agrícola y tampoco habrá lluvias ni nieve en la cordillera de Los Andes, que es la fuente del agua. Por lo tanto, es posible tener la predicción de las variaciones del caudal durante la primavera y el otoño basandose en la acumulación de la nieve de la primavera y el pronóstico de temperatura, etc. de la primavera a el otoño.

c. De la Tercera a Cuarta Región: Estas se encuentran dentro de las zonas a. y b. Es necesario estudiar la condición que se podría aplicar, para el análisis del derretimiento, utilizando datos climáticos históricos.

Visto lo anterior, la aplicación del análisis del derretimiento variará según la zona, pero en el caso del norte de Chile, en la práctica, hay situaciones como el caso del Río Huasco, donde se ha construido un gran embalse. En este caso, será indispensable estudiar la afluencia hacia éste.

El análisis del derretimiento por la acumulación de nieve ha sido estudiado en la alta nieve y se han desarrollado varios modelos de análisis.
Si logramos obtener una estimación las variaciones del caudal del río de cada año por la variación estacional (variación diaria por el cálculo), se podrá predecir así la cantidad potencial del desplazamiento, posibilitando también a los agricultores a determinar la proyección de la plantación y siembra. Así, podrían evitar la inversión innecesaria en el año de sequía o las pérdidas en el año de abundante agua.

Resumiremos los métodos de análisis como sigue:

a. Cálculo de la cantidad de nieve acumulada: Se calcula la cantidad acumulada de nieve en un dia que cesa la nieve del año de estudio, en un sector del río, haciendo uso de los sensores remotos, la topografía por GIS, datos de estaciones meteorológicas y la medición de la cantidad de nieve en terreno etc.

b. Análisis del derretimiento: Es necesario obtener los datos climáticos en relación a la derretimiento de la nieve, temperatura y cantidad de la radiación solar por varios años, en la cuenca del río. Seguidamente, los combinamos con la información acerca de las variaciones del caudal del río para determinar el coeficiente del modelo de análisis del derretimiento. Además es necesario determinar qué tipo de fórmula se va a aplicar dentro de las que se han desarrollado hasta ahora.

c. Predicción del futuro: A través del cálculo obtenido en el punto a acerca de la cantidad de la nieve acumulada, temperatura anual promedio máxmo y mínimo en los varios años, se estiman las 3 variaciones del caudal del río en ese año por el modelo que se definió en el punto b..Estas estimaciones con acotamiento son las que corresponden al año de estudio. Si el rango es pequeño, el estudio de ese año puede ser muy útil. Si se obtienen datos reales después del comienzo del estudio y se les sustituye con los de la estimación, se podrá desarrollar un programa mas preciso y eficaz.

Si no se pueden obtener datos sobre la nieve acumulada y climáticos, se deberá determinar el coeficiente para el modelo del análisis del derretimiento, luego de efectuar la investigación sobre estos durante 2 o 3 años.

Estas son sugerencias sobre el análisis del derretimiento de la nieve, posiblemente puestas ya en práctica en Chile o, talvez, no haya sido posible efectuarlas por falta de datos, aunque he sabido de investigaciones al respecto.
Este tema es importante no solo al considerar el agua para la agricultura, sino también para agua potable, minería e industria. Es factible pensar que, si se puede predecir la cantidad potencial del agua de un año, se obtendrán considerables ventajas econónicas en muchas actividades. Creo que el tema amerita una futura investigación y sugerería fuese efectuada por expertos de las universidades Chilenas, consultores y organismos gubernamentales tales como CNR, DHA y DOH etc.

② Estudio sobre la reparación de canales de regadío

He visto caneles de regadío en San Pedro de Atacama, Pica etc. En general, los hay construidos con piedra, hace más de 50 años,se han mantenido hasta hoy gracias a algunas reparaciones con concreto. Ello demuestra cuan importante es asegurar el agua en esta región y al mismo tiempo, el atraso de la modernización en la infraestructura de canales de regadío ya obsoletos. Debo aclarar que las zonas visitadas fueron áreas pertenecientes a los agricultores pequeños, talvez eso influyó en esa impresión de atraso.

Básicamente, no se puede ignorar el aseguramiento de la fuente de agua para el desarrollo de buen terreno agrícola. En el caso de Chile, se dice que tiene 85% de seguridad de la fuente de agua en las 1.200 mil ha., dentro de la superficie total de 1.800 mil ha. de terreno regadío. En este caso, no tendrán problemas con el agua de riego durante 5 años dentro de 6 años normales (referencia: el standard de Japón es ausencia de problemas de riego durante 9 años dentro de 10 años normales). De modo que se necesitan mejoramientos para las restantes 600 mil ha. Por otro lado, el potencial de terreno regadío es de 2.500 mil ha. por lo tanto, 700 mil ha. (2.500 mil – 1.800 mil) deberá ser el nuevo terreno regadío.
De este cálculo, podemos concluir que la reparación de las facilidades de riego es el problema actual más importante. La necesidad potencial de esta será mayor, ya que irán apareciendo mas instalaciones obsoletas que no consideramos en este cálculo.

Es necesario desarrollar nuevos embalses y grandes extensiones de terreno agrícola. Sin embargo, el poder generar fuentes de agua extra, transformar al agua potable y regar alrededores tras haber efectuado la reparación de antiguos canales de regadío, sería muy beneficioso para contribuir al mejoramiento de las condiciones de los pequeños agricultores. Aun con una inversión relativamente pequeña, podriamos esperar repercusiones positivas en el entorno.

Los proyectos presentados a la Embajada de Japón, consisten en reparaciones simples del canales con molde de concreto in-situ y construcción de pequeñas compuertas. Como se trata de tener mayores reparaciones con menor presupuestos, esta tendencia es muy habitual, pero quisiera hacer algunas sugerencias como sigue.

a. Revisión del cálculo hidráulico: Los canales actuales están pensados para la antigua agricultura, por eso, es posible tener excesos o faltas al aplicar el manejo moderno. Primero, se calcula el caudal necesario desde el punto de vista del manejo agrícola y luego es necesario efectuar el cálculo hidráulico en base a la sección del canal, grado de inclinación y coeficiente de rugosidad. En este caso, se debe considerar la cantidad de la infiltración y evaporación del agua, porque la condición natural de la zona es muy suceptible a estos efectos. Con el resultado del cálculo, se deberá determinar el proyecto de la obra de reparación. En la practica, se presume que los canales actuales

fueron construidos en base al derecho de agua de cada persona, por lo tanto sería más recomendable repararlos manteniendo la situación actual para no ocasionar problemas dentro de las asociaciones o gremios. Pero, creo necesario estudiarlo también desde el punto de vista de la ingeniería civil. No se puede obviar la revisión del cálculo hidráulico para la utilización racional de un bien tan preciado como es el agua.

b. Revisión del molde de concreto in-situ: Exisiten varias maneras de reparar un canal de regadío antiguo. En el norte de Chile, generalmente, mezclan el cemento en terreno y ponen en moldaje con barra de concreto, si así fuese necesario fortalecer el molde por las enfierraduras, para obtener la superficie original del canal. También se aumenta la superficie de la sección obteniendo mayor caudal en algunos casos, pero no para conseguir un caudal importante en el total del canal, sino para recuperar así el que faltaba.
Este método del molde de concreto in-situ no originaría grandes problemas, pero es recomendable revisarlo desde el punto de vista de la planificación y ejecución mas racional. En el caso que estamos mencionando, y con el pasar del tiempo, normalmente se generarían infiltraciones desde las juntas y grietas. Además, no podemos ignorar el tema de la evaporación de agua debido a que, generalmente, estos no tiene la cobertura. Por lo tanto, es la manera menos adecuada para la zona desértica donde el agua es muy escasa.
Como sustituto de esta, se encuentran los materiales prefabricados de hormigón armado en estructura adecuada. El costo de estos materiales es alto, pero la probabilidad de infiltración muy baja y se puede ahorrar tiempo de instalación. La forma de la sección de la estructura es uniforme y también las hay con tapas que evitan la evaporación, permitiendo también transitar por sobre el canal. Una buena opción es este sistema de reparación en lugares donde necesitan agua todo el año y es inevitable la construcción de canales de desvio provisorio.
Recomendable sería también la instalación de cañerías. Generalmente, se utilizan cuando es necesario desplazar el agua desde un lugar bajo hacia arriba agregando la presión a este, pero en realidad no es un requisito indispensable. Al instalar cañerías, no se generaría infiltración y evaporación, además evitaríamos la entremezcladura del agua contaminada, consiguiendo por lo tanto un uso eficaz del recurso hídrico. Estas cañarias serían factibles de instalar en lugares donde han sido

removidos los canales obsoletos. En este caso, naturalmente la superficie de la sección va a disminuir, pero se podrá tener el caudal necesario sin poner presión adicional porque el coeficiente de rugosidad es menor, también la pérdida por la infiltración y otros será mínima. El costo de los materiales no será barato, pero nos aseguramos una fácil manteción y durabilidad. Los materiales de ducto son hierro fundido, policloruro de vinilo endurecido, polietileno y fibra de vidrio de mortero plastico reforzado etc. Estos son utilizados generalmente para el agua potable de larga distancia en el norte de Chile. A primera vista, pareciera ser esta una inversión importante pero vale estudiar la posibilidad de usarlos pensando a largo plazo por sus características antes mencionadas, no sin antes evaluar cuales serían los lugares ideales para hacerlo.

Además, como una nueva técnica recientemente desarrollada, se encuentra un mortero especial de éster poliacrílico para ser aplicado en la superficie del hormigón u hormigón armado dañada, para la protección de la estructura e impermeabilización. Con este material en terreno, ahora es posible obtener refuerzo con la barra de construcción a través de la adherencia con el concreto, aplicandolo cuando este ya tiene deterioro y grietas, condición imposible de mejorar con el tradicional mortero. No será necesario remover el antiguo canal o construir uno nuevo al aplicar este material. El problema es su alto costo, y será necesario averiguar los antecedentes y distribución de este (en caso de Japón, existe un producto llamado MAGNE LINE).

Si amalgamamos la resina polímero especifico con mortero, se lograría obtener un "nuevo mortero" con adherencia y resistencia a la flexión, similar al producto antes mencionado. Debe haber lugares donde se puedan reparar infiltraciones y reforzar el concreto deteriorado, por lo tanto es un tema digno de revisar. Sin embargo, uno de los objetivos de esta nueva técnica es la recuperación de la funcionalidad y refuerzo de la estructura de los canales establecidos, lo anterior no puede lograr la modernización de la estructura hidráulica como en el caso de la tubería.

c. Mejoramiento de los sistemas de distribución: En el norte de Chile, la distribución del agua al terreno agrícola designado, se efectua generalmente mediante la compuerta de distribución. De esta manera, se reparte siempre con la misma proporcionalidad en cualquier caudal y por lo tanto, se mantiene la equidad para todos los receptores. Pero, faltaría la flexibilidad

de la distribución dependiendo de la variación del tipo de manejo agrícola de cada usuario. En terreno, la distribución de agua para cada agricultor se efectua mediante el ajuste del tiempo de flujo. Cuando se cultivan árboles frutales de raíces profundas, no habría mayores problemas pero, si se alarga el intervalo de riego, tiene posibilidades de que la cantidad de humedad alcanza más bajo que depresiiónn de humedad contenta para crecimiento óptimo(depletion of moisture content for optimum drowth) de los verduras. Por lo tanto, es recomendable regularizar sin restricción de intervalo largo para la distribución en las necesidades de riego de cada usuario. Para poder operar de esta forma, es menester un sistema de toma de caudal regulable por la sistema de distribución especifica que puede cambiar la caudal de distribución del agua cerca de la fuente del agua. No se puede recomendar este en general porque la pertinencia de su uso dependerá de la condición hidráulica, manejo agrícola y del sistema de manejo de la instalación en cada zona.

③ Consideraciones sobre el derecho de aguas

El derecho de agua en Chile, pertenece a cada usuario individualmente, no está limitando solo para uso agrícola. Por ende, este se comercializa igual que otros productos del país. En realidad, los agricultores pequeños a menudo venden este derecho en un mal año y lo compran cuando aumentan las ganacias por su producción.

Sobre el derecho de agua, existen dos opiniones en el mundo. Aquella, que se aplica hoy en día en la mayoría de los países "reconocer el derecho de uso de agua". Y consiste en que, históricamente los organismos públicos construyen las instalaciones tales como embalses, toma de aguas etc., administrando las fuentes hídricas tales como ríos y lagos. La otra "reconocer el derecho de propiedad como otras mercaderías", esta se aplica solo en Chile y Australia. Esto se basa en nuevas tendencias "para utilizar eficazmente el agua, deberá introducirse el principio del mercado". De esta forma en Chile, desde 1981, se considera el derecho de agua al igual que otros derechos de propiedad permitiendo transacciones tales como vender, arrendar a corto y largo plazo etc. En Australia, desde 1995, se ha instaurado el principio del mercado para la administración de la fuente del agua y por ende se admite la compra-venta del

derecho de agua entre usuarios.

Es este un tema muy interesante si la introducción del principio del mercado es efectivo. En caso de derecho de uso, naturalmente varia dependiendo de la situación de cada país. Por ejemplo, en EE.UU. acontece el problema de que ocupan el agua aun sin tener necesidad puesto que se pierde el derecho si esta se deja de usar durante 5 años. En el caso de Japón, cada vez que se efectua la renovación del derecho (por ejemplo cada 10 años), la autoridad investiga la extensión de la superficie del agricultor, también situación real de los cultivos y hace una evaluacion, ahora bien si el resultado arroja "agua innecesaria", el gobierno requisa el derecho. Como los agricultores no desean verse enfrentados a esta situación, se disputan arduamente en cada renovación de este, por ende la transferencia del derecho de agua es una tarea muy compleja.

Por lo tanto, muchos serán los países que introduzcan el principio del mercado para la aplicación de derecho de agua, tales como Chile y Australia, por la tendencia a actuar con autonomía respecto del gobierno central por reformas administrativas y por la exigencia máxima para la aplicación del principio del mercado. Sin embargo, tendrán en teoría algunos problemas con este método, los que paso a mencionar.

- Los agricultores pobres pueden enajenar los derechos fácilmente por dinero.
- Los grandes capitales podrían acaparar los derechos.
- Las ciudades ricas aventajaran a sectores rurales de escasos recursos.
- Se perderán las consideraciones en relación a la protección del medio ambiente existiendo interés solo en el principio del mercado.
- No se podrá competir equitativamente en el mercado común con los aguas de diferentes usos tales como para la minería, agua potable y otras de uso industrial.

Por eso, la aplicación del derecho de agua en Chile es en cierta forma un mega experimento. Llegar a comprender la situación actual y su evaluación serán estudios muy valiosos. Deberán efectuarse varios estudios sobre el tema, pero si estos no fuesen suficientes, es una medida solicitarse el estudio a organismos internacionales junto con el caso de Australia. Este tema de

problema del derecho de agua se convierte fácilmente en un asunto político ya que está ligado directamente a la vida de los agricultores, por lo tanto hay una tendencia a la dificultad de hacer pública la realidad de su entorno y su evaluación. Pero, deberá ser considerado y comprendido en su total dimensión, sin que sus resultados sean tenidos por los colores politicos. Los puntos claves de este análisis son los siguientes:

- Si se dio la prioridad en lo que a interés y capacidad se refiere, a los agricultores ?
- Sirvió de ayuda para los agricultores pobres ?
- Si se traspasó el uso de agua a otras industrias eficazmente ?

Aunque no se ha obtenido resultados favorables, pero tampoco han surgido problemas, entonces se podría considerar muy valioso por ser este el primer experimento del mundo en lo que a la aplicacion del derecho de agua se refiere.

3. Epílogo

He comentado sobre la actualidad del riego para la agricultura en el norte de Chile en base a estos 2 años de permanencia en este país. Me han interesado especialmente los temas de análisis del derretimiento de la nieve, reparación de los canales obsoletos por cemento polímero y el impacto a los agricultores por el derecho de agua con propiedad.

Sin embargo, estos son problemas muy difíciles y será posible de que ya han sido estudiados. Lamentablemente, no tengo hoy toda la información que quisiera al respecto pero espero obtenerla a través de los colegas de la Comisión y el Ministerio, así con la ayuda de ellos, continuar con la investigacion, teniendo siempre en cuenta las prioridades y factibilidad al desarrollar los temas antes mencionados.

Investigación sobre Análisis de Derretimiento de Nieve en la cuenca del Río Maipo

Francisco Alvarado Esturillo

Experto JICA: Jun Kurosawa

29 de Abril de 2005

Índice

1. Introducción 3
2. Descripción de la Cuenca del Río Maipo 4
3. Datos Meteorológicos, Fluviométricos y de Nieve Existentes en la Cuenca 7
4. Entrevistas a Expertos 14
   4.1 1ª Reunión (Dirección General de aguas) 15
   4.2 2ª Reunión (Centro de Estudios Espaciales) 16
   4.3 Visita a Terreno 19
5. Documentos Relacionados y Modelo de Derretimiento 26
   5.1 Documentos Relacionados 26
   5.2 Metodologías de Derretimiento 28
   5.3 Modelo de Derretimiento y Escorrentía 30
      5.3.1 Snowmelt Runoff Model (SRM), Modelo de Escorrentía de Fusión de Nieve ... 31
6. Conclusión 36
7. Anexo 37

1. Introducción

En la agricultura, el agua es un factor indispensable. La fuente de esta agua, en general, se obtiene de los ríos o aguas subterráneas y de las lluvias que se presentan en el año. Existen muchos estudios e investigaciones relacionadas con el ciclo circulatorio del agua y otras investigaciones que tratan de pronosticar la cantidad de lluvia que caerá dentro del año, pero hay pocos estudios que traten de pronosticar cuando lloverá exactamente al año siguiente, ya que es muy difícil saber cuanta agua caerá producto de las lluvias y en que zonas de los ríos será.

En algunas determinadas zonas agrícolas de Chile, el recurso de agua de todo el año depende exclusivamente del derretimiento de la nieve acumulada en la época invernal, debido que durante el resto del año no se presentan precipitaciones. Por lo tanto, el factor determinante de estas zonas esta dado por lograr saber el tamaño que tendrá el caudal del río debido a los deshielos. Si se logra tener una predicción de éste, se podrá tener una proyección eficaz de la actividad agrícola.

Razón por la cual es muy importante conocer el estado de acumulación de nieve en la cordillera, para poder así estimar la cantidad de agua que se agregara al caudal de los ríos producto del derretimiento de la nieve.

El pronóstico de volúmenes de aguas proveniente de los deshielos y del derretimiento de las nieves es de mucha importancia en la agricultura, donde los regantes requieren de información que les permita tomar adecuadas decisiones acerca del tipo, extensión y distribución de los cultivos. Sin embargo para poder pronosticar la cantidad de ésta agua existe un gran número de inconvenientes. Teóricamente es posible poder conocer la cantidad de nieve acumulada en la cordillera y la diferencia de ésta entre un año y otro. Pero el problema real que existe en la cordillera de los andes es que hay limitaciones en la medición de ésta y es necesario definir metodologías.

El presente trabajo tiene por objetivo entregar un pequeño resumen de todas las actividades desarrolladas en la investigación sobre el análisis de derretimiento de nieves, desde la recolección de documentos relacionados al tema hasta la entrega de una de las posibles metodologías que se podrían aplicar en el estudio.

2. Descripción de la Cuenca del Río Maipo

A continuación se describe en forma muy general y breve algunas características de la cuenca del Maipo, por ser esta cuenca una de las mas importantes en este estudio.

La cuenca del río Maipo se encuentra situada entre las latitudes 32°55' - 34°15' Sur, y tiene una extensión estimada de 15.157 Km2.

Geográficamente, esta cuenca cubre tres regiones político – administrativas: La Quinta Región, la Región Metropolitana y la Sexta Región.

El clima predominante en la cuenca del Río Maipo, puede clasificarse como templado calido con abundantes lluvias en los meses de invierno y una estación seca prolongada.

Las temperaturas medias no varían entre la costa y el interior del valle. La diferencia media entre las máximas y mínimas diarias es de 14 °C a 16 °C.

La precipitación media es del orden de los 350 mm/año alcanzando valores de 1500 mm/año en la parte alta de la cordillera.

Las alturas excepcionales que presenta la cordillera de los andes en esta parte, (sobre los 5000 mts.), originan una glaciación importante con nevazones estacionales considerables.

Su régimen hidrológico es de alimentación mixta, o nivo-pluvial. En sus zonas alta y media el río Maipo es de régimen marcadamente nival, presentando un gran aumento de caudal en los meses de primavera producto de los deshielos cordilleranos. En la zona baja, el río Maipo posee un régimen pluvial, por lo cual presenta crecidas asociadas directamente con las precipitaciones.

El río nace en las laderas del volcán Maipo a 5.623 m.s.n.m. con las características de una quebrada cordillerana. La altura considerable que presenta la cordillera de Los Andes en esta zona permite una glaciación importante y una nivación estacional considerable que contribuye a fijar las características hidrológicas del río.

En las inmediaciones de San Gabriel (1.240 m.s.n.m.) ya tiene las características de un río importante luego de haber recibido los aportes de los ríos Volcán y Yeso. Al nor–poniente del poblado de San José de Maipo recibe los aportes de su afluente más importante del sector cordillerano, el río Colorado, cuyo caudal en el sector de confluencia tiene un promedio anual de 26 m3/s.

Entra al valle central en el sector de La Obra, corriendo en dirección oeste por un cauce profundo, presentando un caudal medio anual de 100 m3/s. Luego, y cerca de la

Cordillera de la Costa recibe desde el sur los aportes provenientes del estero Angostura, los que a su vez provienen en parte importante de sus tributarios los ríos Peuco y San Francisco.

Al iniciar su recorrido a través de la Cordillera de Costa, recibe por su ribera derecha, los aportes del río Mapocho. Este es su principal afluente tanto por la cuantía de sus aportes como por la superficie agrícola que beneficia, así como por ser el principal receptor de las descargas de aguas servidas de la ciudad de Santiago.

El sector comprendido entre La Obra y la confluencia con el río Mapocho, es también denominado Maipo Central, en donde el río se desliza por un cauce cada vez más ancho, presentado hasta tres corrientes separadas, las que producto de la alta pendiente que posee el cauce del río no producen meandros de importancia.

Entre La Obra y la confluencia del río Clarillo, el río está limitado por riberas bastante profundas, al sur de las cuales se encuentra el área de riego de la zona de Pirque. Es en este sector donde se producen las extracciones más importantes de las aguas del río.

En el curso inferior, luego de recibir los aportes del Mapocho, su principal tributario corresponde al estero Puangue, recibiendo escasos aportes de los esteros Popeta, El Sauce y San Juan. El estero Puangue se abastece de recursos propios provenientes de precipitaciones ocurridas en la cuenca, así como también recibe retornos de riego de las áreas servidas por los canales Las Mercedes (7.732 hectáreas) y Mallarauco (6.275 hectáreas), ambos servidos con recursos del río Mapocho.

Es necesario señalar que al estero Puangue se descargan en algunas oportunidades los recursos provenientes de la Central Hidroeléctrica Carena que se abastece en parte con los recursos del Canal Las Mercedes (aproximadamente 5.0 m3/s), en la época en que los regantes del Canal las Mercedes deciden verter sus excedentes a dicho estero.

Finalmente, y luego de un recorrido de aproximadamente 250 kilómetros desde su nacimiento, desemboca al Océano Pacífico, en Llolleo, inmediatamente al sur del Puerto de San Antonio, Quinta Región.

El río Maipo, administrativamente, y desde el punto de vista de la realidad como se ha operado normalmente, se encuentra dividido en tres secciones:

- Primera Sección: Abarca desde la Cordillera de los Andes hasta el puente del ferrocarril Paine – Talagante.

- Segunda Sección: Esta sección comprende desde el fin de la primera hasta la confluencia de los ríos Maipo y Mapocho.

- Tercera Sección: Comprende desde la confluencia de los ríos Maipo y Mapocho, hasta el Océano Pacífico.

Para el estudio de los deshielos en la alta montaña, solo se trabaja con la Primera sección del río Maipo, en el cual Los recursos de agua disponibles en este tramo provienen del caudal propio del río Maipo y sus afluentes cordilleranos tales como los ríos Yeso, Volcán y Colorado, y los esteros Clarillo, Manzano, El Canelo, San José y Coyanco; Esta sección es la única de las tres que posee organización legal denominada "Junta de Vigilancia de la Primera Sección del Río Maipo". Esta sección corresponde a un tramo netamente de pérdidas en el cauce, sin presentar ningún tipo de recuperaciones.

La Junta de Vigilancia de la Primera Sección del Río Maipo administra y distribuye en todo el año un total de 8.133 acciones (1 acc.= 20 l/s), aproximadamente 160 m3/s, correspondientes a derechos consuntivos permanentes, 12.577 acciones (1 acc.= 15 l/s), 190 m3/s, correspondientes a derechos no consuntivos permanentes y 2.351 acciones (1 acc.= 15 l/s), 35 m3/s, correspondientes a derechos consuntivos eventuales.

Los primeros van esencialmente al riego y al abastecimiento del agua potable de la ciudad de Santiago. Los segundos a la generación de energía eléctrica que realizan cuatro Generadoras a través de siete centrales hidroeléctricas. A su vez los derechos eventuales que hoy en día se encuentran en uso, están destinados en su gran mayoría al agua potable de Santiago, mediante su embalsamiento en la represa del Yeso, ubicada a 2.500 m. de altura, cerrando el río del mismo nombre.

Los regantes se encuentran organizados en Asociaciones de Canalistas, que cubren una superficie cercana a las 100.000 hectáreas de riego, los que están bajo la jurisdicción de la junta de vigilancia. Estas asociaciones son las siguientes:

1. Asociación Canal Pirque.
2. Sociedad de Canal del Maipo
3. Asociación Canal Huidobro
4. Asociación Canales de Maipo
5. Asociación Canales Unidos de Buin
6. Asociación de Canalistas Lonquén – Isla.

De acuerdo a estatutos, la Junta de Vigilancia posee la facultad administrar y distribuir los recursos disponibles en el cauce del río, a los que tienen derechos sus asociados, hasta el puente del ferrocarril de Paine a Talagante.

3. Datos Meteorológicos, Fluviométricos y de Nieve Existentes en la Cuenca

Tanto para la Cuenca del Maipo como para la Cuenca del Elqui, la Dirección General de Aguas (DGA) tienen a su cargo una gran cantidad de estaciones meteorológicas y fluviometricas, las cuales poseen registros tanto de variables meteorológicas, como son temperaturas, precipitaciones, etc. y fluviometricas, como por ejemplo caudales, alturas de agua, etc. estos registros abarcan una gran cantidad de años, que va aproximadamente desde 1975 hasta la fecha, existiendo claro en algunas estaciones años en los cuales no existen registros debido a diferentes circunstancias que afectaron la estación.

Es por eso que para esta investigando, la información disponible para la cuenca del Maipo es amplia ya que las estaciones existentes en esta región funcionan desde hace ya más de 25 años, a diferencia de la Cuenca del Elqui, en donde el registro de la información no es tan antiguo y tan sistemático, existiendo años en los cuales la información no se encuentra.

A continuación se entregan el listado y la ubicación geográfica de las estaciones de medición, las cuales servirán para obtener la información necesaria para el estudio a realizar.

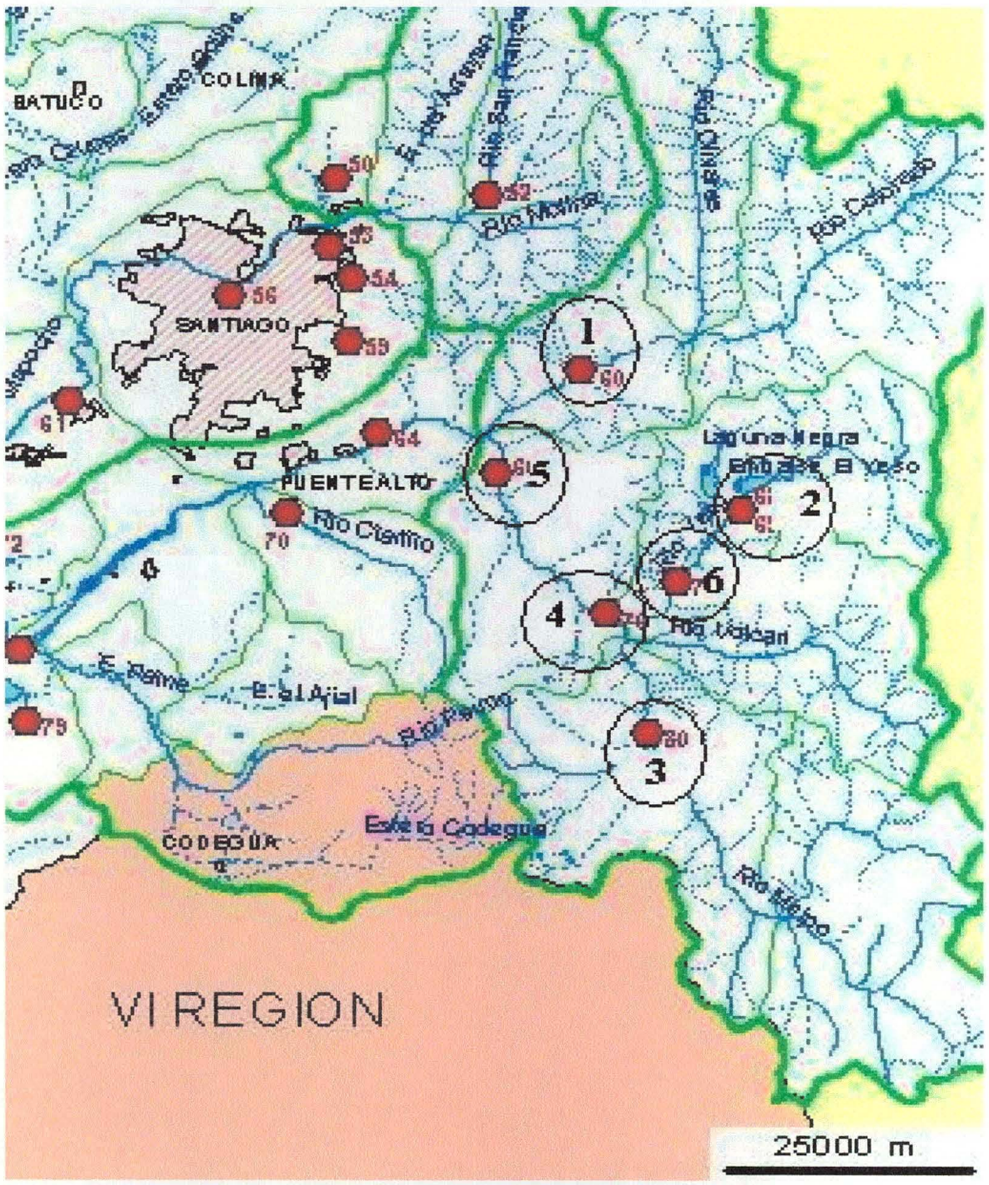
Para la Cuenca superior del Río Maipo las Estaciones son las Siguientes:

- Estaciones Meteorológicas

N° **1**	Estación Bocatoma Maitenes
N° **2**	Estación Embalse El Yeso
N° **3**	Estación Las Melosas
N° **4**	Estación San Gabriel
N° **5**	Estación San Jose Reten
N° **6**	Estación El Manzanito

Nota: estas estaciones son solo para la cuenca superior del río Maipo, las que se encuentran en la primera sección.

La ubicación geográfica se puede observar en el siguiente mapa, en donde cada estación esta indicada con su respectiva numeración.

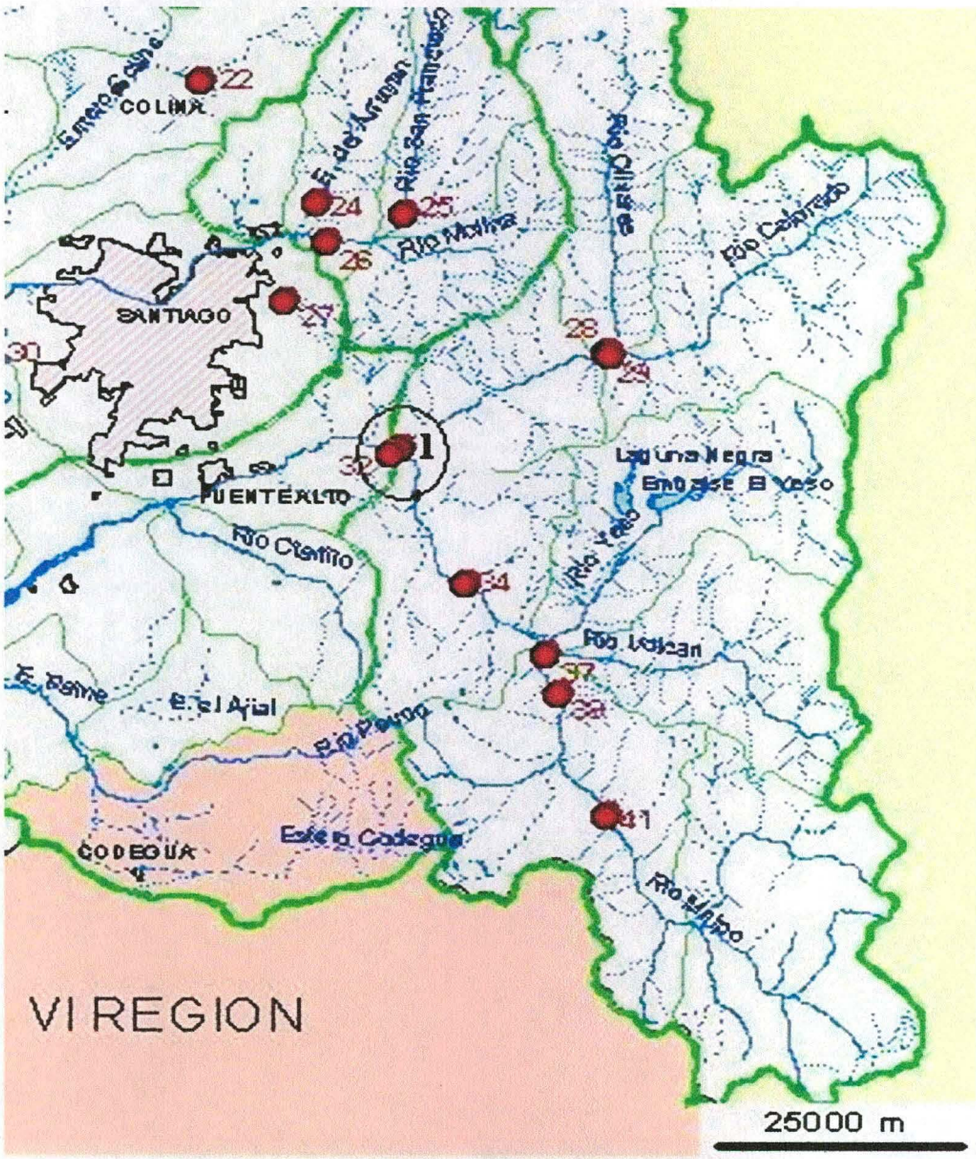


Nº **1**	Estación Bocatoma Maitenes
Nº **2**	Estación Embalse El Yeso
Nº **3**	Estación Las Melosas
Nº **4**	Estación San Gabriel
Nº **5**	Estación San Jose Reten
Nº **6**	Estación El Manzanito

Estaciones Fluviometricas

N° **1** Estación Río Maipo en el Manzano

Su ubicación geográfica se aprecia en la siguiente figura.

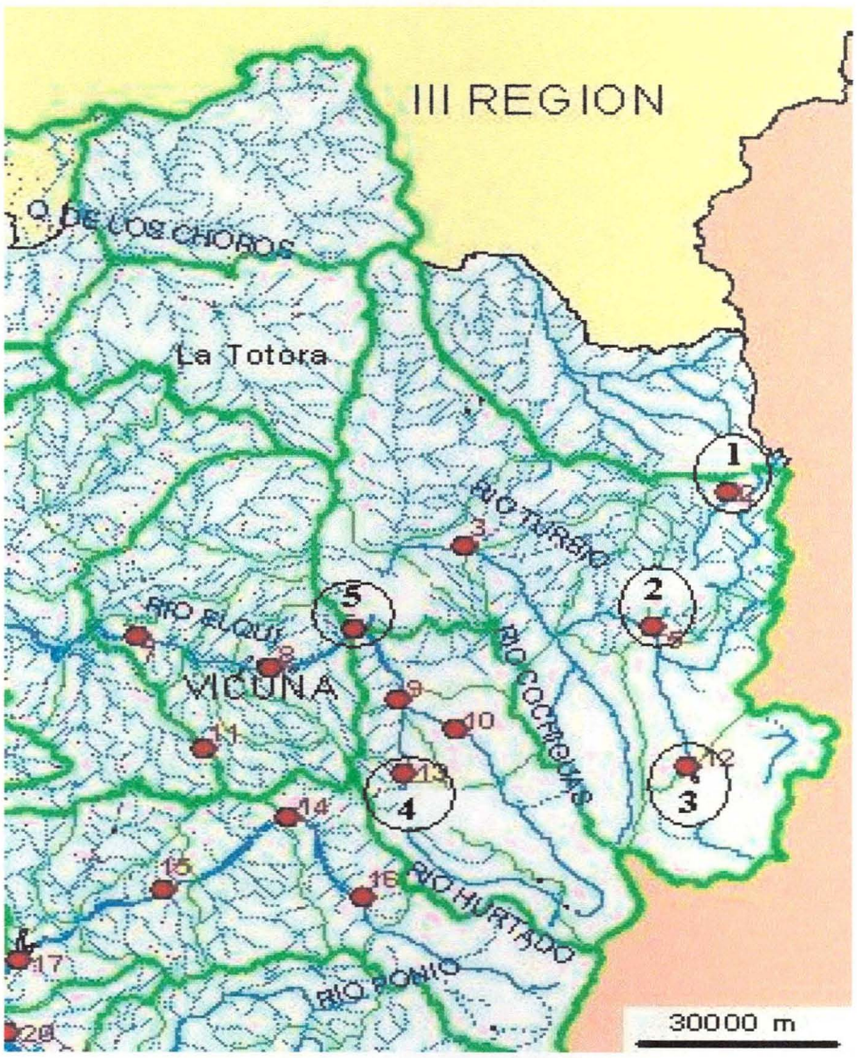


Para la Cuenca superior del Río Elqui las Estaciones son las Siguientes:

- Estaciones Meteorológicas

N° **1**	Estación El Indio
N° **2**	Estación Juntas Del Toro
N° **3**	Estación La Laguna
N° **4**	Estación La Ortiga
N° **5**	Estación Rivadavia

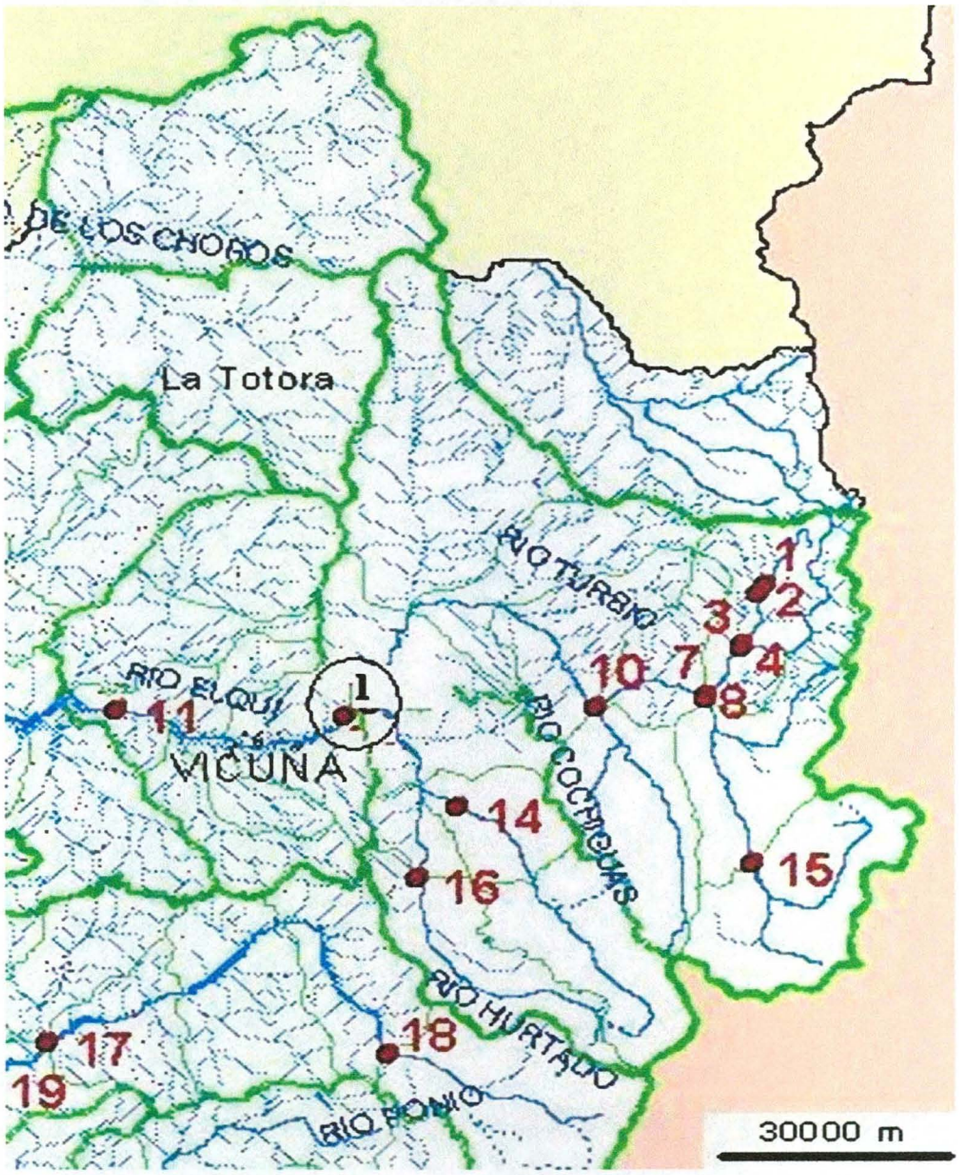
La ubicación geográfica se puede observar en el siguiente mapa, en donde cada estación esta indicada con su respectiva numeración.



- Estaciones Fluviometricas

  N° **1** Estación Elqui en Algarrobal

Su ubicación geográfica se aprecia en la siguiente figura. La estación mencionada es la que aparece encerrada en un círculo.



Las estaciones meteorológicas fueron seleccionadas de modo que abarcaran en la forma más representativa toda el área de análisis, para así poder tener un conjunto de datos que permitan definir muy bien la zona y con los cuales se puedan relacionar datos de distintas estaciones para ver de qué forma se comportan en la cuenca.

La estaciones fluviométricas fueron seleccionadas en los puntos donde el rió en estudio ya cuenta con todos los aportes de los afluentes que llegan a él, de modo de que los caudales medidos sean los que aporta toda la zona en estudio.

Los datos proporcionados por estas estaciones que será necesario conocer son los siguientes:

Datos de Estaciones Meteorológicas

Datos de Precipitación	: Precipitación diaria y totales. : Precipitación diaria nival. : Precipitación total diaria, total mensual y total anual.
Datos de Temperaturas	: Temperaturas Diarias Extremas. : Velocidad y dirección del viento diario, total y media a horas sinópticas. : Radiación Solar Diaria. : Nubosidad diaria. : Resumen Climatológico diario, mensual y anual.

Datos de Estaciones Fluviometricas

: Caudales medios Diarios y Promedios Mensuales.
: Curvas de descarga.

Todas las mediciones que realizan las estaciones son diarias, por lo que la información se encuentra disponible para todos los días de un año. Para este estudio en particular el periodo de medición que se necesita es de 10 años, esto es desde el 01/01/94 hasta el 31/12/2004.

En relación con la información de nieve, es poca la que se tienen de ésta a nivel de profundidad, ya que están se hacían manualmente, en expediciones que realizaba la DGA una o dos veces al año y en la actualidad no se realizan demasiado. Con lo que si se cuenta y las estaciones la miden es la cantidad de precipitación nival caída.

Para poder determinar la distribución de la nieve caída en la cuenca, es necesaria la utilización de fotos satelitales que muestren las zonas de la cuenca cubiertas por nieve y

poder determinar la superficie involucrada. Esto se puede realizar, ya que existe el Centro de Estudios Espaciales (CEE), de la Universidad de chile, que cuenta con imágenes satelitales. Pero el tiempo que lleva la realización de esta tarea abarcaba más del tiempo programado.

Más adelante se da a conocer la reunión realizada con ellos y la metodología propuesta por el CEE, para una posible realización.

4. Entrevistas a Expertos

Para un mejor entendimiento del tema en estudio, se llevaron a cabo dos reuniones con expertos en temas muy relacionados con la investigación, para saber así su opinión referente al estudio y poder sacar conclusiones que puedan ayudar la realización del proyecto. Además se realizo una visita a terreno, para poder conocer las estaciones de Medición y poder ver el instrumental utilizado.

A continuación se presentan los resúmenes de las dos reuniones realizadas y de la visita a terreno.

La primera reunión fue con el señor Fernando Escobar, el pertenece a la Dirección General de Aguas (DGA), y trabaja con temas relacionados a Glaciares y Nieve, es experto el Glaciología y a realizado muchos estudios referentes al tema de investigación.

La segunda reunión fue con el señor Pedro Paolini, el pertenece al Centro de Estudios Espaciales (CEE) y trabaja en el procesamiento, análisis y estudio de imágenes satelitales de Chile, como imágenes Landsat, Noaa, Aster, etc.

La visita a terreno fue realizada con la ayuda del señor Antonio Vergara, el pertenece a la DGA y trabaja en el departamento de meteorología y nivología de esa entidad.

4.1 1ª Reunión (Dirección General de aguas)

Lugar : Comisión Nacional de Riego
Fecha : 18 de Enero de 2005
Participantes : Comisión Nacional de Riego
: Jun Kurosawa
: Gastón Sagredo
: Francisco Alvarado
Dirección General de aguas
: Fernando Escobar
: Guillermo Tapia

Tema : Análisis de Derretimiento de Nieve en la zona central y Norte de Chile

Como resumen de la reunión Realizada se puede concluir lo siguiente:

En lo referente a información disponible (ya sea de estaciones meteorológicas y fluviométricas, imágenes satelitales e registros anteriores, por ejemplo: temperaturas máximas y mínimas, precipitaciones, caudales medios, etc.) para la cuenca del Maipo se cuenta con la información necesaria como para poder aplicar un modelo, a nivel de anteproyecto, para poder estimar el aporte de agua del derretimiento de nieve a los caudales de los ríos.

Para la cuenca del río Elqui, la información con la que se cuenta no es suficiente y no se tienen muchos registros de información de glaciares o de datos en zonas de gran altitud, razón por la cual, como primera aproximación, se podría aplicar el modelo en la cuenca del río Maipo y ver si es factible y representativo, para poder así, luego aplicarlo en la cuenca del río Elqui.

En lo referente a imágenes satelitales, para poder estimar la superficie y cantidad de nieve y glaciares existentes en las cuencas del Maipo como y del Elqui, la información de glaciares requiere ser actualizada. Para el caso de la cuenca del Maipo, dado el tamaño de los glaciares existentes en la zona, es factible utilizar imágenes del satélite NOAA. Sin embargo, para la cuenca del Elqui, debido a que el tamaño de los glaciares existentes es pequeño, se requieren como mínimo imágenes del satélite LANDSAT. La otra variable que es difícil de medir según los expertos es la profundidad de la nieve existente, ya que esta se realiza manualmente y no se dispone de muchos registros anteriores.

4.2 2ª Reunión (Centro de Estudios Espaciales)

Lugar : Centro de Estudios Espaciales
Fecha : 25 de Enero de 2005
Integrantes : Centro de Estudios Espaciales:
Pedro Paolini

Comisión Nacional de Riego:
Francisco Alvarado

Tema : Imágenes Satelitales

Como resumen de la reunión realizada se puede concluir lo siguiente:

El Centro de Estudios Espaciales (CEE), ubicado en el Departamento de Ing. Eléctrica de la Universidad de Chile, sede Beauchef, cuenta con una amplia galería de imágenes satelitales de la cuenca del Maipo, ya sea tanto del satélite NOAA, como del satélite LANDSAT. El registro de imágenes Landsat que posee el CEE, data de el año 1996 hasta el año pasado (2004), manteniendo una cantidad de imágenes aproximadamente de entre 4 a 5 por año, y para el satélite NOAA el registro con el que cuenta el CEE es diario y a partir del año 1989 en adelante.

Pedro Paolini me explicaba que las imágenes NOAA se utilizan para estudios mas grandes, ya sea a nivel regional o nacional, debido a que la resolución de las imágenes es mayor y una sola imagen abarca miles de kilómetros, pero estas imágenes pueden servir para poder diferenciar en la cuenca del Maipo la nieve de los glaciares y poder hacer un análisis de los sectores donde se encuentren los glaciares. Pero para poder definir bien un glaciar y la superficie que abarca en la zona se necesitan imágenes Landsat, ya que éstas tienen una resolución menor (metros) y la imagen es mucho mas pequeña, pudiendo visualizarse y diferenciarse mejor los distintos elementos que se encuentren en la zona.

Si es que se llegaran a necesitar mas imágenes Landsat, el precio de una imagen es alrededor de US$ 600, pero si se utilizaran las imágenes con que cuenta el CEE, el precio seria menor, además lo que me comentaba Pedro Paolini es que en este tipo de estudios lo que implica un mayor costo es la mano de obra que utilizaría, ya sea para definir bien los elementos y sus dimensiones, y dependiendo lo que se desee hacer es el tiempo que se utilizaría.

Cabe hacer notar que realizar el trabajo de reconocimiento e inventario de glaciares para la cuenca del Maipo llevaría mucho tiempo, razón por la cual hay que definir bien lo que realmente se quiere hacer para ver el tiempo que demoraría el trabajo.

A continuación se entrega una posible metodología entregada por el señor Pedro Paolini, para realizar el trabajo de inventariar los glaciares existentes en la Cuenca del Maipo.

Propuesta Metodológica para el Catastro y Seguimiento de Glaciares y Nieves en la Cuenca Superior del Maipo

Se propone la utilización de imágenes satelitales multiespectrales de resolución espacial media. Dichas características son necesarias para la identificación de las principales masas de hielo permanente y nieves ubicadas en la zona de interés.

El CEE de la Universidad de Chile cuenta con una base de datos satelital Landsat (TM y ETM+) y Terra/ASTER que cubren (cada uno por separado) la totalidad del territorio nacional y un período de tiempo suficiente para realizar un seguimiento temporal. Debido a que las imágenes Terra/ASTER no poseen una frecuencia de revisita sistemática sobre un determinado sector en la superficie terrestre, estas imágenes sólo podrán complementar la cobertura temporal entregada por la serie Landsat. En las tablas 1, 2 y 3 se especifican las características principales de cada uno de los sensores mencionados a utilizar.

Características Técnicas de las imágenes Landsat-7			
Satélite	Landsat		
Sensor	Enhanced Thematic Mapper + (ETM+)		
Número de bandas	8		
Resolución espacial	30*30m (bandas 1, 2, 3, 4, 5, 7)	60*60m (banda 6, IRT)	15*15m pan.
Ancho de escena	185*185Km		

Tabla 1. Ficha del sensor ETM+.

Características Técnicas de las imágenes Landsat-5		
Satélite	Landsat	
Sensor	Thematic Mapper (TM)	
Número de bandas	7	
Resolución espacial	30*30m (bandas 1, 2, 3, 4, 5, 7)	120*120m (banda 6, IRT)
Ancho de escena	185*185Km	

Tabla 2. Ficha del sensor TM.

Características Técnicas de las imágenes Terra/ASTER	
Satélite	Terra
Sensor	ASTER
Número de bandas	3 (Visible: verde rojo, e IR cercano)
Resolución espacial	15*15 metros (bandas 1, 2, 3)
Ancho de escena	60*60Km

Tabla 3. Ficha del sensor ASTER.

Propuesta Metodológica

Se tiene a disposición una serie de imágenes Landsat que va desde el año 1975 hasta la actualidad. Dicha serie temporal presenta secuencias intra-anuales con escenas de las estaciones de máximas precipitaciones y seca, las cuales son necesarias para la determinación y cuantificación de la máxima área cubierta por nieve y del área de masas de hielo (sin nieve).

En una primera etapa (previa georreferenciación y ortorectificación de las imágenes involucradas), el estudio se enfocará en la identificación de nieve y hielos (glaciares) en la escena Landsat 233_83, que abarca la zona de la cuenca superior del sistema Maipo-Mapocho; es decir, se realizaría un proceso de clasificación sobre las imágenes correspondientes. Como resultado de ello se obtendrá una o más imágenes temáticas, de las cuales se podrá obtener una cuantificación de superficies (máximo dominio espacial de nieves y hielos).

Una segunda etapa contemplará un análisis temporal de la cobertura nival y glaciológica de la cuenca en estudio. Primero se realizará un análisis estacional, que se enfocaría en los resultados de la primera etapa (clasificación) para las imágenes de la estación lluviosa y seca (Imagen de julio 2002 y marzo 2004, respectivamente). Posteriormente, se realizará un análisis interanual, que incluirá la serie temporal completa que tendrá como objetivo central identificar y cuantificar la variación de la cobertura nival y glacial de la cuenca en estudio.

La serie temporal Landsat será complementada con imágenes Terra/ASTER del mismo sector y que corresponden a la estación lluviosa y seca.

Cabe destacar que, el carácter del estudio propuesto no tendría características de continuidad con los mencionados sensores y satélites debido, principalmente, a la falta de seguridad de permanencia del servicio de la serie Landsat (en estos momentos sólo se encuentra operativo el Landsat-5/TM, ya que el Landsat-7/ETM+ presenta desperfectos). Así, la presente propuesta puede tener el carácter de servicio continuo en el tiempo, pero no asegurando la utilización de los sensores antes mencionados.

En la presente no se hace mención a plazos ni costos, debido a la falta de información de contexto presupuestario y de objetivos generales de la propuesta general. Por lo tanto, el carácter de esta propuesta es preliminar y sólo expresa la voluntad y capacidad del CEE en la participación del proyecto final.

Respecto a este tema, las imágenes que se pretenden utilizar en la determinación de la acumulación de nieve se encuentran en el CEE, y hasta el momento no se necesitaría la adquisición de nuevas imágenes.

4.3 Visita a Terreno

Participantes	:	Juan Pablo Schuster. (CNR) Gastón Sagrado. (CNR) Jun Kurosawa. (CNR) Francisco Alvarado. (CNR) Antonio Vergara. (DGA)
Lugar	:	Cajón del Maipo
Fecha	:	09 de febrero de 2005

El objetivo de la salida a terreno fue visitar tres estaciones de medición, conocer su ubicación geográfica, conocer los instrumentos presentes en cada estación y a su vez saber los datos que se miden en cada una de ellas, las estaciones visitadas fueron las siguientes:

- Estación Meteorológica Embalse el yeso, perteneciente a la DGA.
- Estación de Medición de una Ruta de Nieve, perteneciente a la DGA.
- Estación Fluviométrica Río Maipo en el Manzano, perteneciente a la DGA.
- y también visitamos una nueva estación meteorológica en el embalse el Yeso, perteneciente a Aguas Andinas.

El itinerario de la visita fue el siguiente:

1) La primera estación visitada fue la estación Embalse el Yeso, la cual pertenece a la Dirección General de Aguas, su instalación es de hace más de 30 años y es una estación convencional y no cuenta con ningún instrumento de ultima tecnología, se podría decir que es de operación es manual.

   Esta estación se encuentra ubicada cerca del Embalse el Yeso, en el Cajón del Maipo, situada a los 33° 40' de latitud sur, a una altura de 2475 m.s.n.m.

   La estación cuenta con los siguientes instrumentos de Medición:

   Higrotermógrafo: que mide la temperatura y humedad relativa del aire, su unidad de medida es el grado Celsius (°C) y el porcentaje (%), respectivamente.

Pluviómetro y Pluviógrafo: miden la cantidad de agua caída (lluvia) en un periodo de tiempo determinado. La diferencia entre uno y otro es que el Pluviógrafo grafica las variaciones de la precipitación en un diagrama que está adherido a un sistema de relojería semanal.

Heliógrafo: Instrumento que mide la duración de las horas de sol (insolación) diaria.

Los datos que se miden en esta estación son principalmente, Temperaturas, cantidad de Precipitación, Evaporación, Cantidad de horas de Sol, Velocidad del Viento, Radiación Solar, cantidad de Nieve caída



Estación Embalse el Yeso, DGA



Higrotermógrafo



Heliógrafo

2) La segunda estación en visitar fue la estación Meteorológica perteneciente a Aguas andinas, la cual no tiene más de dos años de funcionamiento y a diferencia de la anterior esta totalmente equipada con instrumentos de última tecnología, los cuales están constantemente tomando mediciones y enviándolas satelitalmente a la oficina de aguas andinas.

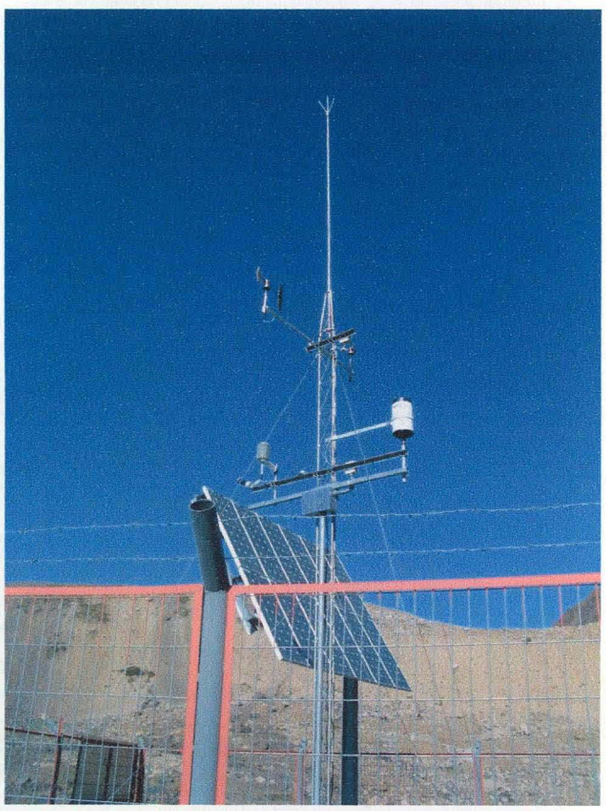
Esta estación de medición cuenta con una Estación Automática, la cual mediante censores capta los parámetros meteorológicos, siendo estos procesados y posteriormente la información es transmitida a un usuario remoto. Además, posee paneles solares y baterías de respaldo lo que posibilita largos periodos de funcionamiento sin atención permanente.

Los parámetros meteorológicos que se miden son: temperatura y humedad del aire, presión atmosférica, precipitación, radiación solar, velocidad y dirección del viento

Su ubicación esta a un costado de el embalse el Yeso, muy cerca de la estación mencionada anteriormente.



Estación Embalse el Yeso, Aguas andinas



Estación Automática

3) La estación de Medición de La Ruta de Nieve, se encuentra a una hora de caminata aproximadamente en dirección Este del embalse el Yeso. Esta estación se encarga de medir la cantidad de nieve caída, la cual luego se transforma en su equivalente en agua, para tener la cantidad de agua que cae en forma de nieve. Además se miden la profundidad que alcanza la nieve caída

   Metodológicamente la ubicación se una ruta de nieve tiene que ser en sentido Suroeste para que la nieve permanezca por mas tiempo. Pero nos comento don Antonio Vergara que esta ruta específicamente esta ubicada en el sentido más desfavorable, Noreste, donde la nieve se encuentra mas tiempo expuesta al sol, por lo que no cuenta con las condiciones que necesita una ruta de nieve, pero los datos, estudios y pronósticos que se han hecho con esta ruta de nieve han dado resultados muy buenos, con un error aproximado de un 10%, por lo que aunque no cuenta con la ubicación correcta, los datos que entrega son buenos y perfectamente utilizables.



Estación Ruta de Nieve, DGA

4) La última estación visitada fue la estación fluviométrica de Río Maipo en el Manzano, la cual pertenece a la dirección General de aguas y esta en funcionamiento hace más de 20 años. Se encuentra ubicada en la localidad del manzano, en donde se juntan el Río colorado y el Río Maipo, situada a los 33° 35' de latitud sur y 70° 27'de longitud oeste, a una altura de 850 msnm y abarca una superficie de la cuenca de unos 4.968 km^2.

   La estación cuenta con un instrumento llamado molinete, el cual es operado por dos personas, las cuales comenzando de un lado del río, avanzan de un lado hasta el otro y cada dos metros van introduciendo el instrumento al río y van anotando los datos que entrega el molinete, estos datos son velocidad del agua, profundidad del agua y el caudal que pasa por la zona de influencia del molinete, que aproximadamente son 50 cm. para cada lado del instrumento.

   Antiguamente la medición de caudal se hacia una vez al mes, pero hace aproximadamente dos años, esta medición se realiza cada 2 meses.

   También la estación cuenta con un limnímetro, el cual permite medir el nivel del agua.





Estación Fluviométrica El Manzano, DGA

5. Documentos Relacionados y Modelo de Derretimiento

5.1 Documentos Relacionados

A continuación se presentan una serie de resúmenes de documentos extraídos de la biblioteca de la Dirección General de Aguas (DGA) y de la biblioteca de la Universidad de Chile, los cuales tratan estudios relacionados con el análisis de derretimiento de nieve. Estos documentos tratan en general metodologías y distintas formulas utilizadas en el cálculo de la ablación y la posterior escorrentía que se agrega al caudal del río. Los documentos completos ya fueron entregados, razón por la cual en este informe solo se entrega un pequeño resumen de cada documento.

- Pronóstico de Caudales de Deshielo en el Corto Plazo.

  Este documento es de la Dirección General de Aguas, del año 1983 su autor es el Ing. Civil Don Humberto Peña Torrealba. Este documento propone un procedimiento de pronóstico de caudales de deshielo en el corto plazo en base a un modelo de simulación muy simplificado. Los datos de entrada que utiliza son la temperatura máxima diaria, la línea de nieve y el caudal del día anterior.

  Para la determinación del derretimiento de nieve, se utiliza el factor grado – día. El modelo de derretimiento que se utiliza en este documento esta construido sobre las siguientes bases:

  1. se subdivide la cuenca en bandas de igual elevación.
  2. el derretimiento de cada banda se determina diariamente en base a una relación del tipo

  $$Di = a \cdot (T_{xi} - T_b) \quad \text{Con} \quad T_{xi} > T_b \qquad (1)$$

  Siendo : Di = derretimiento diario de la banda i.
  T_{xi} = temperatura máxima diaria en la banda i.
  a = factor de fusión por grado-día.
  T_b = temperatura de referencia (temperatura base).

  3. las temperaturas máximas diarias presentan un gradiente con la elevación única y constante durante toda la temporada.

- Procedimientos Para la Estimación de Crecidas en Cuencas Nivales.

  Este documento, al igual que el anterior, es de la Dirección General de Aguas, del año 1985 su autor es el Ing. Civil Don Humberto Peña Torrealba. El Documento propone un Método de evaluación de crecidas por derretimiento de nieves para la

zona central del país en cuencas donde no halla información fluviométrica. El método propuesto requiere de poca información y su aplicación es sencilla.

- Estimación de Tasas de Derretimiento de Nieve

  Este documento también es de la Dirección General de Aguas, del año 1985 y sus autores son Don Humberto Peña Torrealba y Don Fernando Escobar. Este documento investiga métodos para la estimación de la tasa de derretimiento diaria de la nieve en los Andes Centrales de Chile. Utilizando distintas formulas propuestas en otros países en base a mediciones directas de ablación realizadas por la DGA en lugares de la cuenca del río Maipo.

- Medición de la Variable Cobertura de Nieve y su Aplicación al Estudio del Deshielo en Cuencas andinas Chilenas

  Este documento fue desarrollado por la Dirección General de aguas en conjunto con la Universidad de Chile en el año 1983. Sus autores son el señor Humberto Peña Torrealba y Don Alejandro Farías. Este trabajo contiene los principales aspectos de una investigación desarrollada para la medición de superficie cubierta de nieve en cuencas de la Cordillera de los Andes, Zona Central de Chile, con miras a su empleo en la elaboración de pronósticos de deshielo.

Con respecto a documentos pertenecientes a la Universidad de Chile, fueron entregados anteriormente extractos de dos memorias de títulos que tratan de la aplicación de un modelo de simulación para el cálculo de caudales en cuencas nivo-glaciales. Estos documentos se encuentran en forma integra en la Biblioteca Central de la Universidad de Chile. Para una Posterior consulta a continuación se entregan los nombres y autores de ellas.

- Optimización de un Modelo Matemático de Simulación de los Procesos de Acumulación y Derretimiento de Nieves.

  Autor: Patricio Ferrer Artigas
  Año: 1967

- Pronostico de Caudales en Cuenca Nivo-Glacial Mediante un Modelo de Simulación

  Autor: Cecilia Riveros Luna
  Año: 1985

Referente a documentos e Investigaciones de glaciares, existen estudios realizados años atrás, que dan a conocer todos los glaciares existentes en la cuenca del Maipo, así como también sus propiedades físicas y geométricas. Estos documentos pueden ser útiles solo como referencia, ya que los estudios son de muchos años atrás y a la fecha los glaciares ya han cambiado todas sus propiedades. Pero debido a lo extensos que son, ya que abarcan una gran cantidad de volúmenes no se incluyeron.

Para una posterior consulta o utilización, se da a conocer su ubicación física y su clasificación para una fácil ubicación. Los documentos son los siguientes:

Todos los documentos se encuentran en la Biblioteca de la Dirección General de aguas (DGA), la cual tiene sus oficinas en calle Morande 59, piso 8.

1._ Titulo : Inventario de Glaciares Hoya del Río Maipo
Autor : Marangunic Cedomir
Clasificación : Gla – 1046
Año : 1979

2._ Titulo : Inventario de Glaciares Hoya del Río Maipo, listado Computacional actualizado.
Autor : Valdivia Pedro
Clasificación : Gla – 1075
Año : 1983

3._ Titulo : Inventario de Glaciares Andes de Chile Central (32° - 35° Lat. Sur): Hoyas de los ríos Aconcagua, Maipo, Cachapoal y Tinguiririca
Autor : Valdivia Pedro
Clasificación : Gla – 388
Año : 1984

5.2 Metodologías de Derretimiento

Las metodologías utilizadas para el cálculo de la cantidad de nieve derretida son muchas y variadas, dependiendo del lugar físico y del país donde se realice la investigación. Ya que aunque existen formulas teóricas y bien desarrolladas, no siempre estas formulas se adecuan perfectamente a la cuenca donde se quieran aplicar, razón por la cual se desarrollan o formulan muchas ecuaciones empíricas que funcionan perfectamente para una cuenca en particular, pero considerando todos los factores originales, y creando un ambiente lo mas parecido al original se pueden aplicar y ver que resultados dan en otras cuencas.

Básicamente existen dos metodologías teóricas que se utilizan para el cálculo del derretimiento de nieve. Una es la metodología del balance calórico y la otra es el método del factor Grado-día.

Balance Calórico

El manto de nieve para comenzar a fundirse requiere primero alcanzar un punto de temperatura homogénea de cero grado centígrado. Antes de esto, se producen procesos de fusión superficial y recongelación por un tiempo cuya duración esta relacionado estrechamente con la magnitud de la acumulación de nieve.

Cuando se produce el calor suficiente para llevar las condiciones del manto a cero grado, es considerado isotermo a 0 °C. El calor adicional que penetra en el manto produce el derretimiento de la nieve.

La ecuación de balance calórico que considera los diferentes aportes de calor hacia y desde el manto es:

$$Q_m = Q_{rol} + Q_{roc} + Q_{ll} + Q_{cond} + Q_{conv} + Q_s$$

Donde los componentes del balance calórico son:

Q_m : Calor neto total.
Q_{rol} : Radiación de onda larga.
Q_{roc} : Radiación de onda corta.
Q_{ll} : Calor otorgado por la lluvia.
Q_{cond} : Calor producido por procesos de condensación o evaporación (calor latente).
Q_{conv} : Calor cedido por convección.
Q_s : Intercambio de calor entre la nieve y el suelo.

Esta ecuación se puede modificar, dependiendo de los factores que estén involucrados en el proceso de derretimiento de nieve, pudiendo por ejemplo eliminar el término Q_{ll} en el caso de que en la zona no existiese precipitación en un determinado periodo.

Factor Grado – Día

Como para la utilización de la formula antes descrita se necesita contar con una gran cantidad de datos meteorológicos que son difíciles de obtener, como por ejemplo, temperatura de la nieve, temperatura de nubes, nubosidad, presión de vapor, temperatura del punto de rocío, etc. en la práctica, por ser un método que utiliza poca información meteorológica, solo se utiliza como expresión del balance de energía el método del factor grado-día, que se define como la diferencia de un grado de temperatura por día entre la temperatura media del día y una temperatura de referencia.

La ecuación del factor grado-día es la siguiente:

$$BE = \alpha \times (t_a - t_b) \times 80$$

Donde

BE : Balance de Energía.
α : Factor grado-día.
t_a : Temperatura media diaria del aire.
t_b : Temperatura base.
80 : calor latente de fusión (cal/cm^2).

5.3 Modelo de Derretimiento y Escorrentía

En la zona central de chile los ríos tienen un régimen marcadamente nival, proveniente del derretimiento de las nieves acumuladas en los meses de invierno y de la ablación producida en los glaciares existentes.

El conocimiento anticipado de los caudales a escurrir en el periodo de deshielo, permitirá planificar y optimizar el uso de estos caudales, favoreciendo principalmente la generación de energía y la agricultura.

Si se cuenta con un buen registro de caudales en épocas de deshielo y estadísticas de variables meteorológicas, se pueden establecer relaciones que permitan cuantificar los recursos hídricos en el periodo de deshielo, es decir, confeccionar un pronóstico.

El pronostico de caudales de deshielo, corresponde entonces a determinar con la máxima exactitud los caudales que se producirán en el periodo de deshielo en una cuenca determinada.

Una vez obtenida la cantidad de nieve derretida a través de las metodologías mencionadas anteriormente, se debe determinar cual es la escorrentía que llega a los ríos, para poder saber en forma anticipada el caudal disponible para las distintas actividades que se requiera.

Para poder determinar el caudal aportante por los deshielos, en la actualidad existen modelos matemáticos y computacionales que relacionan los distintos factores climáticos y meteorológicos para poder así entregar una simulación de los caudales que se generaran en un cierto periodo de tiempo.

Uno de estos modelos es el Snowmelt Runoff Model (SRM), modelo de escorrentía de fusión de nieve, el cual ha sido utilizado por una gran cantidad de investigadores en todo el mundo entregando simulaciones bastantes aproximadas a la realidad, por lo que es un modelo aprobado y que tiene la particularidad que se necesitan muy pocos datos de entrada para su aplicación.

A continuación se presenta un pequeño resumen del método, explicando como funciona y las variables de entrada que necesita par su aplicación.

5.3.1 Snowmelt Runoff Model (SRM), Modelo de Escorrentía de Fusión de Nieve

Introducción

El modelo SRM (Snowmelt Runoff Model; en alguna bibliografía también llamado Modelo de Martinec y Rango) es un modelo de escorrentía de la nieve fundida. Está diseñado para simular y predecir el caudal diario en cuencas de montaña, donde la fusión de nieve tiene un papel importante. Recientemente también ha sido utilizado para evaluar el efecto del cambio climático sobre la cobertura de nieve y su escorrentía. El modelo SRM fue desarrollado por Martinec (1975) y aplicado a pequeñas cuencas en Europa. Gracias a los avances en teledetección de nieve mediante satélites el modelo SRM se ha ido aplicando a cuencas cada vez mayores, siendo la mayor donde se ha aplicado de 120.000 km2. Los cálculos de escorrentía del modelo suelen ser fácilmente asimilados.

El modelo SRM puede ser aplicado a cuencas de montaña de casi cualquier tamaño (desde 0.76 km2 hasta 120.000 km2) y cualquier rango de alturas (por ejemplo 305-7690 m). El modelo se inicializa con un valor de caudal conocido o estimado y puede calcular el caudal de un número ilimitado de días siempre que se le suministren las variables de entrada (temperatura, precipitación y porcentaje de superficie cubierta de nieve).

El Modelo SRM sirve para la Simulación del caudal diario durante el período de fusión, para uno o varios años consecutivos. Los resultados pueden ser comparados con el

caudal medido para evaluar la simulación y para verificar los parámetros utilizados. Las simulaciones sirven también para evaluar patrones de caudal de cuencas sin mediciones, usando teledetección con satélites para la superficie de nieve y extrapolando temperaturas y precipitación de estaciones cercanas.

Estructura del Modelo

El modelo calcula la cantidad diaria de agua procedente de la fusión de la nieve y de la lluvia. Esta cantidad se añade al caudal de recesión para obtener el caudal total diario según la siguiente ecuación:

$$Q_{n+1} = \left[c_{Sn} a_n (T_n + \Delta T_n) S_n + c_{Rn} P_n\right] \frac{A \cdot 10000}{86400} (1 - k_{n+1}) + Q_n k_{n+1}$$

Donde: Q = caudal medio diario [m3 s-1]

c = coeficiente de escorrentía, considera las pérdidas como un cociente (escorrentía/precipitación), con c_S referido a fusión de nieve y c_R referido a lluvia.

a = factor de grados-día [cm °C-1 d-1], indica el espesor de nieve fundida debido a un grado-día.

T = número de grados-día [°C d].

ΔT = ajuste de grados-día mediante la razón de variación de temperatura (lapse rate), cuando se extrapolan temperaturas desde una estación de referencia a una zona de elevación [°C d].

S = cociente del área cubierta de nieve al área total.

P = aportación de la precipitación [cm]. La temperatura crítica T_{CRIT} determina cuando esta aportación es en forma de lluvia e inmediata. En caso de ser nieve nueva, se almacena hasta que se reúnan las condiciones de fusión.

A = área de la cuenca o zona [km2].

K = coeficiente de recesión, indica el decremento del caudal en ausencia de aportaciones de lluvia o fusión de nieve:

$$k = \frac{Q_{m+1}}{Q_m}$$ (m, m+1 son días consecutivos de un periodo de recensión)

n = secuencia de días durante el período de cálculo de caudal. La ecuación (1) considera un tiempo de retraso (time lag) de 18 horas entre el ciclo diario de temperatura y el ciclo de caudal resultante, de modo que los grados-día registrados el día n se traducen en caudal del día n+1. Se pueden introducir diferentes tiempos de retraso mediante una subrutina.

$\frac{10000}{86400}$ = factor de conversión de $cm*km^2*d^{-1}$ a m^3*s^{-1}.

Las variables T, S y P han de ser medidas o determinadas a diario. Los parámetros c_R, c_S, la *razón de variación* (lapse rate) para hallar ΔT, T_{CRIT}, k y el *tiempo de retraso* (lag time) son todos ellos característicos de una cuenca particular o, mas en general, de un clima particular.

Si el rango de alturas de la cuenca es mayor de 500 m., se recomienda subdividir la cuenca en zonas de elevación de unos 500 m. cada una para un mejor resultado de la simulación.

Datos necesarios para operar el modelo

Características de la cuenca:

Se necesita saber el punto más bajo y el punto mas alto de la cuenca, para separar la cuenca en zonas de altura, cada zona se separa cada 500 m. además se necesita conocer la altura media hipsométrica de cada zona y su superficie.

Variables:

Las variables necesarias para poder aplicar el modelo son los siguientes:

Temperatura: El modelo puede trabajar, tanto con las temperaturas medias diarias de la zona o con las temperaturas extremas, independiente de cual sea el dato que se tiene los resultados son los mismos.

Precipitaciones: El modelo trabaja con las precipitaciones diarias, las cuales pueden ser las que se registren en la estación base o por zonas de elevación, si es que se cuenta con estaciones en esos puntos.

Área Cubierta de Nieve: el área cubierta de nieve va disminuyendo por la fusión de ésta, razón por la cual se necesita conocer el porcentaje de área cubierta por nieve en las distintas zonas de la cuenca, esta información se obtiene a partir de fotografías aéreas, para cuencas muy pequeñas, y a través de imágenes

satelitales, por ejemplo imágenes del satélite Landsat, las cuales entregan una mejor información.

Parámetros:

Los parámetros de SRM no han de ser calibrados ni optimizados con datos históricos. Pueden ser, o bien calculados a partir de medidas o bien estimados mediante criterios hidrológicos que tengan en cuenta las características de la cuenca, leyes físicas y relaciones teóricas o relaciones empíricas mediante regresión. Los eventuales ajustes que se hagan a los parámetros no deben nunca sobrepasar los límites de los valores física e hidrológicamente aceptables.

Algunos de los parámetros son los siguientes:

Coeficiente de escorrentía, de lluvia y de nieve: Este coeficiente tiene en cuenta las pérdidas, esto es, la diferencia entre el volumen de agua disponible (fusión + lluvia) y el caudal saliente de la cuenca. A largo plazo ha de ser el cociente entre la precipitación medida y el caudal medido. De los parámetros de SRM, el coeficiente de escorrentía es el primer candidato a ajustar en caso de no obtener una buena simulación.

Factor grado-día: El factor grados-día [cm $^{\circ}C^{-1}d^{-1}$] convierte el número de grados-día T [°Cd] en espesor diario de agua M [cm] procedente de la fusión de la nieve. Una forma de hallar este factor es comparar los grados-día registrados en una cuenca con la disminución de agua en forma de nieve. Esta disminución puede calcularse con dispositivos de medida de radioactividad, con las llamadas "almohadas de nieve" (snow pillows) o con lisímetros.

Razón de variación de temperatura (γ): Si se dispone de estaciones de medida de temperatura a distintas alturas se puede hallar γ a partir de datos históricos. En caso contrario ha de ser evaluada por analogía con otras cuencas o por consideraciones climáticas. En simulaciones SRM, un valor típico es 0.65 °C cada 100 m.

Además de otros parámetros que se encuentran explicados en el documento entregado anteriormente.

El Programa

El modelo de escorrentía de la nieve fundida de Martinec/Rango (modelo SRM) originalmente fue escrito en FORTRAN para ordenadores de la serie IBM 370. La primera versión computerizada del modelo fue escrita por Martinec *et al.* (1983). En 1986 el código en FORTRAN se instaló en un PC IBM y fue modificado para funcionar en un entorno PC.

Ese año se decidió hacer una versión específica para PC que aprovechase las posibilidades inherentes al PC. Como resultado se obtuvo el programa Micro-SRM, Versión 1.0.

En versiones sucesivas se han ido introduciendo mejoras hasta la versión actual WinSRM, versión 1.0. El programa gestiona automáticamente las entradas múltiples de temperatura y precipitación para un máximo de 10 zonas de altura de una cuenca, cualquier tiempo de retraso y situaciones complejas que varían entre lluvia y nieve. El cálculo de los 365 días de un año se realiza en cuestión de segundos, el hidrograma calculado frente al medido se representa inmediatamente y, si se desea, se imprimen estas gráficas rápidamente. También se calcula y se muestra la precisión alcanzada. Se puede mostrar un resumen de los parámetros utilizados después de cada ejecución, permitiendo realizar ajustes y valorar sus efectos.

La versión actual del Modelo WinSRM, versión 1.0, fue desarrollado usando Microsoft Visual Basic 6.0.

6. Conclusión

El modelo de Escorrentía de nieves (Snowmelt Runoff Model) es la herramienta que mejor puede representar el estudio que se quiere realizar, debido a que es un modelo que requiere poca información meteorológica de entrada, su aplicación se permite para cualquier tamaño de cuenca y ya ha sido probado en numerosas cuencas del mundo con resultados muy aceptables. El único inconveniente que se puede presentar, es que los parámetro que utiliza el programa algunos deben ser estimados por personas que tengan experiencia en hidrológica de nieves y que en el caso de que los resultados entregados por el programa no sean los esperados, puedan determinar que parámetro modificar para que los datos se ajusten mejor a la realidad.

Por otro lado, para la aplicación de este modelo, se requiere conocer muy bien el área de la cuenca cubierta por la nieve, ya que este es una variable muy importante para el programa. Conocer esta superficie implica mucho trabajo, ya que se debe realizar analizando imágenes satelitales, las cuales no son de fácil acceso, y el trabajo que requiere la determinación de esta área implica mucho tiempo. Razón por la cual se necesita disponer de un periodo de tiempo extenso para poder desarrollar por completo este estudio. Esta información satelital se encuentra en el Centro de Estudios Espaciales (CEE), y a modo netamente educacional el CEE nos facilitara las imágenes para poder trabajar en la memoria de titulo. A priori no se tiene claro exactamente si es que se necesitará adquirir más imágenes y el precio que esto tendría, por tanto no se puede estimar aún un valor ni un presupuesto para las imágenes.

Otro aspecto muy importante es definir muy bien la cuenca en la cual se va a desarrollar el estudio, ya que algunas cuencas al no contar con mucha información, tanto meteorológica, como de nieves y de glaciares, es muy difícil poder pronosticar la cantidad de agua disponible por derretimiento de nieves. Por ejemplo, para la cuenca del Elqui, es poca la información que se tiene de nieve, además que como es una cuenca pequeña, los glaciares existentes en la zona son muy pequeños y no existe un inventario muy actualizado de ellos, por lo que es muy difícil definir sus tamaños y superficies.

Referente a información sobre nieve, las estaciones meteorológicas miden solamente la cantidad de precipitación nival, y no la profundidad de nieve que halla acumulada en un momento dado, por lo que el dato de profundidad de nieve es difícil determinarlo. La única forma de determinar ese dato es a través de campañas en terreno que se deben realizar en una fecha adecuada para determinar la máxima profundidad de ésta.

Los demás datos meteorológicos, como precipitación y temperatura se encuentran en la DGA, y para la cuenca del Maipo se dispone de un registro muy completo de una cantidad de años bastante amplia.

7. Anexo

Como anexo al estudio se entrega un trabajo realizado en argentina, el cual trata en forma muy general una metodología para la estimación del área nevada en las altas cuencas de la cordillera, que puede ser muy útil y parecido al procedimiento que se debería realizar para este estudio.

Estimación del Área Nevada en la Alta Cuenca del Río Mendoza, Argentina, mediante la Teledetección Satelital

José M. Zuluaga, Luis Fornero, Alejandro Drovandi y Marta Nuñez

Instituto Nacional del Agua - Centro Regional Andino

Resumen

Se realizó un análisis multitemporal combinando la alta resolución espacial de las imágenes LANDSAT con la alta repetitividad temporaria del satélite NOAA, a partir de sus bandas visibles infrarroja cercana y térmicas con lo que se pudo evaluar el área cubierta por la nieve (SCA) durante el período de fusión nival.

En la primera etapa se analizaron dos imágenes de buena calidad del satélite LANDSAT TM de los meses de octubre de 1997 y marzo de 1998 que cubren los 1.858 Km^2 de la cuenca de estudio del Río Tupungato que es uno de los principales afluentes del Río Mendoza. Estas imágenes corregidas geométricamente con la cartografía base, permitieron una adecuada superposición con las imágenes NOAA-AVHRR de menor resolución espacial y mayor deformación, debido a la precisión propia de un satélite meteorológico. Toda esta información se volcó en una base de datos georeferenciada a partir de la cartografía del IGM escala 1:100.000 la que pudo cruzarse con el análisis morfométrico de las cuencas para inferir la influencia topográfica en la fusión nival utilizando un modelo digital de terreno WODITEM (Cazorzi, F., 1993).

Otra aplicación interesante fue la de usar el área cubierta con nieve en la calibración de modelos del tipo morfoenergético distribuido, como es el NEVE (Universidad de Padova-Italia) para luego aplicar el modelo SRM (U.S.Agricultural Research Service), basado en el método grado-día, y así poder estimar la incidencia del cambio climático en el escurrimiento por fusión nival.

Introducción

El aprovechamiento eficiente de los recursos hídricos en cuencas con aporte nival requiere de un profundo conocimiento de la hidrología de nieves y hielos. Dicho conocimiento presenta hoy en día importantes vacíos, los que deben ser investigados para alcanzar una

comprensión cabal de los fenómenos y, posteriormente, desarrollar los procedimientos de estudio y diseño adecuados a las necesidades de la ingeniería.

Uno de los datos imprescindibles para alimentar los modelos de simulación y para su posterior calibración es la superficie cubierta por la nieve (SCA) . Debido a la amplitud y a la inaccesibilidad de la zona de estudio, el uso de la teledetección surge como una valiosa herramienta. Cualquier estudio destinado al aprovechamiento o control del recurso hídrico en la zona andina no puede prescindir de considerar la contribución por fusión nival al escurrimiento superficial directo (70% en el año medio).

El caudal base invernal está generado por el agua infiltrada y que aparece en las laderas de los cauces como aporte subsuperficial. El proceso de fusión nival comienza en la primavera (en la segunda quincena de setiembre o primeros días de octubre) y su finalización depende de la cobertura y espesor del manto nival, llegando en casos extremos a fines de marzo. Luego el hidrograma anual de escurrimiento está comprendido entre julio y junio del año siguiente produciéndose los caudales máximos a fines de diciembre o primeros días de enero.

Objetivos

Utilizar los datos provenientes de satélites meteorológicos (NOAA-AVHRR) y de observación de la tierra (LANDSAT-TM) para el mapeo del área nevada y su posterior utilización en los modelos de fusión nival.

Materiales Y Métodos

Área de estudio

El área de estudio comprende la cuenca del río Tupungato (afluente del río Mendoza) que se ubica entre 69°45' y 70°10' de longitud Oeste y entre 32°35' y 33°21' de latitud Sur. El límite oeste de la cuenca se halla recostado sobre la divisoria de aguas de la cordillera andina que es a su vez límite entre Argentina y Chile. La superficie de la cuenca Tupungato es de 1858 km^2 y su altitud media es de 4251 m s.n.m.

Imágenes satelitales utilizadas

Para alcanzar los objetivos previstos se utilizaron fundamentalmente dos tipos de información: por un lado la proveniente de satélites meteorológicos como el NOAA-AVHRR cuyos datos fueron suministrados por el Centro de Estudios Espaciales (CEE) de la Universidad de Chile. Estas imágenes de alta frecuencia temporal tienen una baja resolución espacial de 1,1 km2 y la pasada seleccionada fue la de las primeras horas de la tarde, los datos brutos de las bandas visibles e infrarrojas fueron tratados en el Centro Regional Andino del INA. Por otro lado se recurrió a imágenes de alta resolución (30 m.) como son las de LANDSAT 5, provistas por la estación Córdoba de CONAE

De todas las fechas disponibles se selecionaron aquellas, en que la nubosidad era escasa o nula y con un buen ángulo de vista sobretodo en caso de NOAA.

Tratamientos realizados

Debido a que tanto en el Centro Regional Andino del INA como en el Centro de Estudios Espaciales de la Universidad de Chile se disponía de un programa muy difundido en todo el mundo y de fácil utilización se decidio utilizar para el tratamiento de la información satelital IDRISI para Windows; desarrollado por la Facultad de Geografía de la Universidad de Clark que es uno de los programas más utilizados en el manejo de archivos raster y vectoriales, permitiendo una buena georeferenciación de la imagen y su posterior clasificación.

La información de todas las imágenes disponibles fue tratada en modo raster. Para facilitar la comparación de imágenes de distintas fechas se elaboraron máscaras superponiendo el perímetro de la cuenca con la imagen raster respectiva. De esta forma se recorta la cuenca de interés manteniendo la información original en la parte interna y asignando un valor arbitrario en la parte externa que puede ser el valor 0.

Clasificación de la imagen

Una vez corregidas geométricamente todas las imágenes y recortada la cuenca de interés se realiza la clasificación de la información radiométrica, que varía de 0 a 255 niveles de gris para las imágenes LANDSAT y de 0 a 1024 para el caso del NOAA. Se denomina clasificación a cualquier técnica donde los datos se agrupan en un número más pequeño de clases más generales.

En la segunda etapa se pasa a una clasificación supervisada que consiste en elegir sectores de la imagen perfectamente conocidos y con datos de terreno de donde se extraen los valores característicos del hielo y la nieve para cada una de las fechas, posteriormente se realiza el análisis estadístico de estos datos para definir el rango de reflectancia adecuado para la clasificación final.

Resultados

La metodología desarrollada permitió determinar el área cubierta con nieve (SCA) de la cuenca del Río Tupungato para diferentes fechas.

La información de la superficie nevada se puede cruzar con el análisis morfométrico de la cuenca para inferir la influencia topográfica en la fusión nival utilizando un modelo digital de terreno WODITEM (Watershed Oriented Digital Terrain Model) desarrollado Cazorzi, F., 1993 el que a parte de las principales características morfométricas de las cuencas: hipsometría, exposición y pendiente; permite incorporar otros temas como por ejemplo: red de drenaje, contornos de cuencas y subcuencas como lo muestran los resultados obtenidos por Vargas A et al. , 2001 en la cuenca del Río Tupungato.

El área de la cuenca cubierta por nieve, para distintas fechas ha sido de gran utilidad para el trabajo realizado por Maza et al 2001 para poder calibrar el modelo morfoenergético distribuido NEVE de la Universidad de Padova, Italia (Cazorzi, 1999).

El modelo produce como salida una secuencia de mapas de SWE (Fig. 7), que se asemejan con el área cubierta de nieve (SCA) obtenida por teledetección. La diferencia de precisión de SCA que existe entre ambos tipos de sensores remotos se explica en el tamaño del píxel de cada uno: LANDSAT TM 30 m y NOAA 1,1 km y en que, para una SCA de 50% y un píxel de 1,1 km la cantidad de elementos puros es de 30% mientras que, para igual SCA pero con píxel de 30 m, la cantidad de elementos puros es de 80% (Baumgartener, M.F. et al, 1987). El modelo además proporciona la fusión nival acumulada en fechas que el usuario selecciona. También produce archivos con valores medios horarios para toda la cuenca de SWE, fusión nival, lluvia y precipitación nival., que resultan de gran utilidad para aplicarlos en el modelo SRM (U.S. Agricultural Research Service), basado en el método grado-día, para estimar la incidencia del cambio climático en el escurrimiento por fusión nival. Previamente el modelo SRM fue calibrado por Maza et al 2001, contemplando el hidrograma observado durante el período mencionado.



Figura 7. Salida del Modelo NEVE

Consideraciones sobre derechos de aguas en Chile

Experto de JICA
Ministerio de agricultura

Jun Kurosawa

Mayo de 2005

INDICE

1. Introducción.....2

2. Antecedentes históricos.....4

3. Situaciones de la ley vigente.....6

3.1 Objetivos y contenidos de la ley vigente.....6

3.2 Situaciones actuales en torno a los derechos de agues.....7

4. Evaluación general y puntos problemáticos de la ley vigente.....11

4.1 Evaluación general del régimen de derechos de aguas vigente.....11

4.2 Puntos problemáticos indicados.....13

4.3 Orden de puntos en cuestión en el presente studio.....18

5. Discusión.....20

5.1 Consideración desde el punto de vista individual.....20

5.2 Discusión desde el punto de vista global.....26

6. Epílogo.....30

1. Introducción

La existencia de derechos de aguas en Chile es muy conocida entre los interesados del desarrollo de recursos hídricos o fomento agrícola de este país, siendo muy particular. Su gran característica es que los derechos de aguas se pueden transar libremente en el mercado, igual que otras mercancías. En otros países sólo se permite el derecho de uso como los derechos de aguas. Se puede pensar principalmente dos razones por las cuales se ha arraigado este régimen en Chile.

Una razon es que la conciencia individual de derecho de poseer el agua ha sido muy fuerte, debido a que desde la época de la colonización hasta la fecha sobre todo en la zona seca central y septentrional el agua ha sido una fortuna muy valiosa. Por consiguiente muchas leyes han sido emitidas repetidamente desde hace mucho tiempo, y llegando al año 1951 fue compilado como Código de Aguas. Posteriormente este Código de Aguas ha sido modificado varias veces, y en relación al concepto del derecho individual también ha sido cambiado por influencias políticas de tiempo. En la modificación de 1981, que se rige hasta la fecha, se precisó la comercialización de derechos de aguas en el mercado.

La otra es que existe una tendencia mundialmente reconocida en los últimos años en la cual se forma un pequeño gobierno por medio de la reforma administrativa y que se realiza una administración económica racional por el mecanismo del mercado. En este sentido Chile es uno de los países avanzados en la reforma administrativa en el mundo, manteniendo la postura de intervenir lo menos posible por parte del gobierno y de encargar distribuciones al mecanismo del mercado en cuanto a los derechos de aguas. Lo que refleja bien este pensamiento es la modificación del Código de Aguas de 1981.

De esta manera los derechos de aguas chilenos consituyen un régimen muy avanzado en un cierto sentido, permitiendo su compraventa y arriendo, igual que el sistema australiano iniciado en 1995.

Sin embargo, las dos razones antes mencionadas (importancia de fuentes de aguas y enfoque del mecanismo del mercado) pueden aplicarse a otros países en el futuro, considerando el aumento de demanda de aguas debido a un rápido crecimiento de la población en el mundo, y la dificultad de desarrollo de nuevas fuentes como represas por problemas ambientales. En la actualidad el Banco Mundial y el Banco Interamericano de Desarrollo tratan de promover la manera chilena en países latinoamericanos como Ecuador, Perú, etc., y puede haber la posibilidad de discutir la adopción de este sistema como un tema real en países como Europa, Norteamérica, Japón. En los Estados Unidos existen estados donde tienen establecido el régimen parecido al chileno.

En Chile, desde hace más de una decada se ven movimientos para modificar el Código de Aguas de 1981 y se discute en la actualidad en el Congreso. Pero su contenido se refiere a diversos inconvenientes generados a partir de la última modificación, dejando fuera la discusión de encargar los derechos de aguas al principio del mercado.

Bajo estas circunstancias dentro y fuera de Chile, lo que considero en el presente trabajo es lo bueno o lo malo en sí de dejar los derechos de aguas en la mano del principio del mercado. Está aceptado mundial y generalmente el pensamiento de que, el agua y el aire (aunque existe una gran disputa si se incluye la tierra aquí) deben ser de propiedad común, dado que son lo más fundamental para la vida humana. Es decir, en cuanto al agua, que se considera como propiedad común, se permite sólo el derecho de uso para los usuarios. Por otra parte, existe una idea de que es deseable dejar lo más posible aun los capitales sociales como carreteras, ferrocarriles,

puertos, en la mano del principio del mercado para el uso racional y que el agua no es excepcional. Algunos economistas lo han teorizado.

Por lo tanto, en torno al tema de la existencia de los derechos de aguas con estos antecedentes complejos, es útil discutir sobre lo bueno o lo malo de experiencias chilenas, llamado "modelo chileno", afirmando en consideración de situaciones sociales y económicas de Chile. Para países donde hay posibilidad de introducir esta manera en el futuro, se mostrarán resultados experimentales oportunos. Desde este punto de vista, tanto expertos chilenos como involucrados al desarrollo de recursos hídricos en el Banco Mundial, etc. han hechos diversas investigaciones en cuanto a este tema.

Por consiguiente, en este estudio, primero echaré una mirada retrospectiva a los detalles históricos de los derechos de aguas en este país, después daré una idea general de resultados de investigación dentro y fuera del país sobre este problema y de opiniones de personas relacionadas, obtenidas en esta oportunidad, y finalmente reflexionaré sobre este problema. La captación de opiniones de los interesados se realizó desde marzo hasta abril de 2005 en forma de entrevista a los encargados de los derechos de aguas en el Ministerio de Agricultura y de Obras Públicas, expertos consultores y agricultores. Además, en el capitulo5 discusión, basándome en experiencias de renovación de los derechos de aguas, discutiré tanto cómo deben ser los derechos de aguas en Chile de ahora en adelante como los pros y los contras de implementar el modelo chileno en otros países.

En cuanto al problema de los derechos de aguas, se puede estudiar desde el punto de vista del multiuso incluyendo aguas industriales y potable, pero aquí me limito a tratarlo desde el punto de vista de aguas para uso agrícola en el concepto del fomento agrícola y el apoyo a agricultores.

2. Antecedentes históricos

Chile es un país que tiene unos 4300 km de norte a sur a lo largo del Océano Pacífico, el promedio de ancho de 200 km de este a oeste, una población de 15 millones de habitantes y una superficie de 756.000 k ㎡, limitando con la cordillera de los Andes. Como la tierra para uso agrícola, el terreno cultivado ocupa alrededor de 2.300.000 ha. (de ahora en adelante las cifras agrícolas son del año de 1997) y la pradera más o menos 13 millones de ha. En relación al terreno arable, el área irrigada, relacionada con el agua, es de 1.800.000 ha. en total, de las cuales se dice que 1.200.000 ha. tienen el factor de seguridad de riego de 85%. Este terreno cultivado, se extiende desde el pie de los Andes hasta la llanura central y la cordillera de la costa cerca del Océano Pacífico, donde se cultivan papas, cereales típicos y legumbres (unas 770.000 ha.), frutas como uvas, manzanas, ciruelas, que son una parte de la industria exportadora chilena (alrededor de 240.000 ha.), verduras y plantas de flor (11.000 ha. más o menos), productos agrícolas para elaboración (unos 70.000 ha.), semillas (alrededor de 30.000 ha.), etc., y para este país la agricultura es la segunda industria después de la industria minera cuyo principal producto es cobre. El número de trabajadores dedicados a la agricultura es de 800.000 personas más o menos, ocupando unos 14% del empleo, pero igual que otros latinoamericanos la diferencia de la posesión de tierra es grande, poseyendo sólo 5% de la superficie agrícola los agricultores pequeños que corresponde a 80% de los agricultores.

La historia de este país comienza desde el asentamiento de la tribu aimará, la atacameña, la mapuche, etc. En el siglo 16 empezó la inmigración de españoles y en 1818 Chile se independizó. Los principales sucesos después de la independencia son los siguientes :

- en 1836 guerra con la fuerza aliada de Perú y Bolivia
- en 1879 victoria en la guerra del Pacífico
- en 1883 obtención de las zonas de Tacna y Tarapacá de Perú
- en 1904 obtención de las zonas de Atacama y Antofagasta de Bolivia
- en 1929 fracaso económico involucrándose en el pánico mundial
- en 1970 inicio del gobierno socialista de Allende
- en 1973 inicio del gobierno de Pinochet por golpe de Estado
- en 1990 inicio del gobierno de Aylwin, reapertura del Congreso después de 17 años

La sociedad agrícola chilena ha evolucionado hasta ahora, recibiendo influencias políticas como arriba mencionadas, y en torno a la transición relacionada con los derechos de aguas se describe a continuación:

(1) Antes del establecimiento del Código de Aguas

Los derechos de aguas, antes de la primera promulgación del Código de Aguas en 1951, fueron tratados por el Código Cívil establecido en 1857 y la ley de Asociación de Canalistas del 1908. En aquella época se permitía el derecho de propiedad privada de aguas generadas por la preparación de instalaciones, las del consumo dentro de la posesión, los lagos a los que no pueden entrar los barcos de más de 100 toneladas, y por otro lado los ríos naturales y los lagos a los que pueden entrar los barcos de más de 100 toneladas son de propiedad pública. Se dice que en aquella época no había grandes conflictos sobre el agua.

(2) Aprobación del Código de Aguas en 1951

Según el Código de Aguas promulgado por primera vez en 1951, los derechos de aguas privados y públicos eran discernidos, y el país permitía enormemente el derecho privado. La transferencia de los derechos de aguas se permitía si no se cambiaba el objetivo del uso, pero

por ejemplo si se transfería del agua para uso agrícola al uso industrial, se requería de nuevo la solicitud de derechos de aguas una vez devueltos los derechos al país.

Posteriormente, en 1962 se realizó una resuelta reforma agraria, y la relación entre los agricultores de gran escala y los empleados funcionarios se convirtió en una de propietarios antiguos y nuevos. En cuanto a los derechos de aguas, basándose en estos cambios de situaciones sociales, el Código de Aguas publicados en 1969 estableció que todas las aguas eran de propiedad estatal, diferente situación que los régimenes anteriores. Aunque los ex propietarios de aguas podían seguir teniendo los derechos de aguas, en casos de necesidades sociales o económicas podrían perderlos. Esto fue el punto de cambio de la legislación anterior y posterior en el aspecto de restringir la posesión privada de los recursos hídricos. En aquellos momentos el gobierno de Allende llevaba adelante rápidamente políticas socialistas como la nacionalización de empresas monopolizadas, reforma de terrenos, redistribución de ingresos, lo cual parece que se reflejaba en la política de aguas.

Después, la política cambió enormemente desde el gobierno de Allende al gobierno militar de Pinochet, y bajo la economía del mercado libre se adoptaban las políticas de economistas de la derecha llamada escuela de Chicago. En consecuencia, como una parte de la política de intervenir lo mínimo posible en las actividades económicas por parte del gobierno, nuevamente en 1976 fue permitido la propiedad en los derechos de aguas.

(3) Modificación del Código de Aguas en 1981

La política de permitir la propiedad privada de los derechos de aguas se hizo aún más clara por la modificación del Código de Aguas en 1981. Entrando en los años noventa, se viene discutiendo su modificación desde el punto de vista de la operación de la ley basándose en la realidad chilena, y la base del "modelo chileno" que deposita todo en la economía del mercado igual que otras mercaderías, sigue aún después de la democratización del poder político. En la realidad, como se describe más abajo, algunos contenidos de la modificación, aunque se haga desde el punto de vista operacional de la ley, pueden afectar en cierta medida la base del modelo. Pero, lo que discuto en este trabajo no es de la modificación de la operación de la ley sino la comercialización en sí de los derechos de aguas,

3. Situaciones de la ley vigente

El Código de Aguas cuya modificación se ha empezado a discutir desde hace 10 años y que aún ahora se estudia su contenido en el Congreso fue aprobado como Ley No. 1122 en agosto de 1981. Como he mencionado anteriormente esta ley pretendía el fortalecimiento de la propiedad privada para obtener la distribución racional de aguas por medio del mercado, y su pensamiento básico no se cambia aun en la discusión actual en el Congreso.

En este capítulo se confirman objetivos y contenitos de esta ley, centrándose en los puntos establecidos sobre el derecho de propiedad privada.

3.1 Objetivos y contenidos de la ley vigente

La ley vigente establecida en 1981 intentaba consolidar el derecho de propiedad privada, y es evidente que se entendía como una parte de la preferencia del mercado libre, corriente principal en el mundo económico chileno en aquel tiempo. Muchos economistas, quienes estudiaron en la Universidad de Chicago, dirigida por Friedman y otros, propusieron , desde el punto de vista del monetarismo de anti-Keynes, las políticas de aminorar lo más posible la intervención gubernamental en el mercado, y el gobierno de turno las adoptó. Eran políticas implementadas en la economía general, traspasando el problema de recursos hídricos, lo que se llama "modelo chileno". No podemos juzgar la totalidad de estas políticas económicas, pero es importante saber que, detrás del problema de los derechos de aguas, existía una fuerte tendencia.

Mirando este curso desde el punto de vista de la importancia de la propiedad privada en los derechos de aguas, hay dos objerivos de la ley.

- Recursos hídricos, propiedades escasas para este país, se pueden distribuir en la forma más eficiente cuando se trata de bienes transables en el mercado.

- Por el hecho de convertirse en propiedades transables en el mercado, se puede incrementar el incentivo en torno a la construcción de instalaciones particulares.

Las características de la ley para cumplir este logro son las siguientes :

① Los derechos de aguas son independientes de los derechos de terreno, comerciales y transferibles libremente. Este derecho de propiedad está permitido en el Código Civil.

② El uso inmediato de aguas no es condición para la adquisición de derechos de aguas, ni existen prioridades en la foma de usarlas.

③ Los derechos de aguas se otorgan por el país, y en el caso de haber contrincantes en la misma fuente de agua, se determina un adjudicatario en la licitación. Estos derechos de aguas no son objetos de impuestos (antes de esta ley se imponía).

④ El rol del país es limitado en caso de producirse conflictos, que se resuelven por el mercado o los tribunales.

⑤ Además de los derechos para consumo tales como aguas para uso agrícola o potables, se permiten también los derechos de no-consumidores, por ejemplo generación hidroeléctrica, como derechos de aguas.

⑥ Independientemente del consumo o no-consumo, los tipos de derechos de aguas se clasifican en permanentes o temporales, y cada uno se ramifica dentro del plazo en

continuidad de 24 horas o por algunas horas.

Los arriba mencionados son puntos relacionados con la propiedad particular de los derechos de aguas, y además se aclararon los siguientes :

- En cuanto a las aguas subterráneas, básicamente se aplica el mismo concepto que las aguas superficiales. Pero, La Dirección General de Aguas (de ahora en adelante DGA) del Ministerio de Obras Públicas puede ordenar la restricción de toma de agua cuando haya posibilidad de secar la napa.

- Se dividen las organizaciones del uso de aguas en las siguientes tres entidades :
  Junta de Vigilancia : vigila el uso de recursos naturales como el río
  Asociación de Canalistas : controla las instalaciones principales como represa, canal troncal
  Comunidad de Aguas : controla las instalaciones secundarias como canal en el campo agrícola

  Las funciones de estas organizaciones del uso de aguas son toma de agua, construcción, administración, mantención y mejoramiento de las instalaciones, distribución de aguas a los beneficiarios, cobro de contribución, etc.

El Código de Aguas fue modificado en 1981 con los objetivos y contenidos arriba mencionados, siendo vigente hasta la fecha, con los problemas indicados.

3.2 Situaciones actuales en torno a los derechos de aguas

En cuanto a las situaciones actuales en torno a los derechos de aguas, las escribo fundándome en los resultados de entrevistas a los expertos en este estudio, investigaciones realizadas en el pasado por el Banco Mundial, etc. Primero, el cuadro 1 muestra el uso actual de aguas en Chile.

Cuadro 1 Uso de aguas en Chile

Uso de aguas	Cantidad
Consumidor	700 m³/seg. (100%)
Aguas para uso agrícola	623 〃 (89%)
Aguas para uso doméstico	42 〃 (6%)
Aguas para uso minero e indsutrial	35 〃 (5%)
No-consumidor (básicamente generación hidroeléctrica)	1.500 m³/seg
Total	2.200 〃

Estadística de 1994

En 1994, cuando se tomó la estadística, en Chile existían 300.000 propietarios particulares de derechos de aguas y 4.000 copropietarios de derechos de aguas, y como se detalla la cantidad de aguas en el cuadro 1, la porción de derechos de aguas por parte de no-consumidores era de 1.500 m³/seg, bastante grande, pero ésta no competía básicamente con el uso por los consumidores. Sin embargo, se observan casos en que el almacenamiento temporal de aguas por las empresas eléctricas ocasiona discordia en el uso de aguas para la agricultura en las partes de más abajo del río. Por otro lado, dentro de consumidores, los agricultores ocupan el 89%, sobresaliente, pero la tendencia de los derechos de aguas en los últimos años es en forma general a mover del uso agrícola al potable, siendo esta preferencia notable, sobre todo, en la parte norte y central de Chile donde hay escasez de recursos hídricos. Dicha tendencia sigue todavía y se dice que en la actualidad un 80% a 85% de las aguas usadas son para el uso agrícola. A continuación se observa este traslado de derechos de aguas desde el punto de vista de la transacción en el mercado, es

decir, compraventa y arriendo.

(1) Compraventa de derechos de aguas

Al pensar los derechos de aguas en Chile, lo que debe llamar la atención es que todavía permanecen muchos derechos de aguas convencionales que no están legalizados según el Código de Aguas. Se dice que estos derechos de agues, por tradición, remontan a los años veinte y que aún en 1994 un 50% a 65% corresponden a éstos. Por esta influencia, la compraventa de derechos de aguas no ha avanzado mucho.

El gobierno chileno permite estos derechos de aguas convencionales como derecho, pero por otra parte trata de legalizarlos en forma de proyecto con subsidio, lo que no se adelanta tan rápidamente. Teniendo en cuenta los resultados de entrevistas realizadas para esta oportunidad, las razones supuestas son las siguientes:

- Los derechos de aguas en sí son libres de impuestos, pero una vez legalizados los derechos de aguas el avalúo del terreno sube y por consiguiente su impuesto aumenta. En otras palabras, los agricultores pagan substancialmente impuestos más altos al formalizar los derechos de aguas.

- Para legitimar se requieren diversos trámites legales, y aunque haya subsidios del país para este fin, no se puede evitar gastos individuales. También los documentos necesarios para la tramitación son complicados y hay muchos ítemes a escribir. Además existen problemas prácticos, por ejemplo, no se puede legalizar fácilmente cuando están involucrados problemas de herencia.

Ahora, en relación a las situaciones de comproventa de derechos de aguas, no hay datos recopilados y administrados, existiendo sólo resultados de estudios individuales. Esta situación en sí, se constituye en problema, pero informes del Banco Mundial muestan los siguientes resultados :

① Según la investigación (1993) de Bauer en Los Angeles (situado a unos 500 km al sur de Santiago), un 25 % de los derechos de aguas destinados a la transacción durante 10 años desde 1980 hasta 1991 fueron de compraventa. El número de casos fue 12 y la superficie beneficiaria de 65.000 ha., concluyendo que la frecuencia de compraventa era relativamente baja.

② De acuerdo a la investigación (1994) de Hearne en 4 ríos en la parte central y septentrional de Chile, se aclaró que en el río Maipo de la región metropolitana ha habido muy pocos negocios realizados por la empresa de aguas en los últimos ocho años, y que en el río Elqui en el norte la empresa de aguas ha hecho 47 compras (equivalente a 712 litros / seg. en la cantidad de agua) entre 1986 y 1993. Según el análisis de económica domestica de productos , en el caso del río Elqui el precio promedio de compraventa es de 2459 dólares por litro/seg., y el arriendo de 56 dólares. En cuanto a la compra de la empresa de aguas en el río Elqui, su forma de pensar es que en la actualidad resulta más barato comprar derechos de aguas que participar en la construcción de una represa.

③ Según el resultado de la investigación (1994) de Gazmuri y Rosegrant en Santiago, Chillán y Bulnes, durante un año desde abril de 1993 la proporción de compraventa de derechos de aguas en el caudal de ríos disminuía a medida que avanzaba hacia el sur, siendo 3% (Santiago), 1,2% (Chillán) y 0,6% (Bulnes) respectivamente. La cantidad de negocios en Chillán y Bulnes era, respectivamente, de 72 y 91, sólo generándose entre agricultores. En Santiago hubo 587 transacciones, correspondiendo a 720 litros/seg. cuya cantidad es

equivalente a aguas para unos 360 ha. de tierras agrícolas (en Chile se necesita una cantidad de agua de alrededor de 2 litros/seg/ha.). El resumen de Santiago se muesta en el cuadro 2.

Cuadro 2 Transaccón de derechos de aguas en Santiago (1992)

	Transacción entre agricultores	Transacción entre agricultores y tratamiento de aguas servidas y aguas residuales	Transacción entre agricultores y empresas mineras
No. de transacción (en total 587 casos)	76 casos (13%)	499 casos (85%)	12 casos (2%)
Proporción del volumen de transaccón (total 720·/seg)	677·/seg (94%)	22·/seg (3%)	7·/seg (2%)
Precio de transacción (total 366.050 dólares)	677·/seg x 500 dólares 338.500 dólares	22·/seg x 950 dólares 20.900 dólares	7·/seg x 950 dólares 6.650 dólares

En este cuadro, la transacción entre los agricultores es por término medio de 8,9 litros/seg por caso, lo cual es equivalente a 4,5 ha. de tierra agrícola. En cuanto al precio de transacción por litro/seg,. es 500 dólares, variando entre 300 dólares y 1000 dólares. La empresa de aguas urbanas compra a agricultores las aguas como promedio de 22 litros/seg. las cuales corresponden a la cantidad de demanda para diez mil personas más o menos (la cantidad necesaria por persona en Chile es 200 litros/día).

(2) Arriendo de derechos de aguas

El arriendo de derechos de aguas es más frecuente que la compraventa. En torno a este punto, el Banco Mudial informa de la siguiente manera :

① Según Hearne (1994), en el río Maipo de la región metropolitana se arriendan los derechos de aguas entre agricultores lindantes para pagos anuales a la Comunidad de Aguas. En las ciudades de Arica e Iquique, lugares más norteños y más escasos del agua, esta tendencia del arriendo es más fuerte, y las empresas suministradoras de aguas también arriendan pozos a agricultores para precaverse contra la sequedad.

② En la cuenca del río Limarí, zona semiseca, se hace frecuentemente el arriendo. De acuerdo a Gasmuri y Rosegrant (1994), el precio de arrendamiento de 3 meses en el período de poca profundidad de agua de ríos es de unos 90 a 120 dólares/litro/seg.

③ En el río Diguillín, situado a casí 500 km al sur de Santiago, es cotidiano el arrendamiento de derechos de aguas por corto tiempo. Las zonas más sureñas desde aquí son muy lluviosas y tienen recursos hídricos en abundancia por el momento, pero en el futuro, en relación con la industria de piscicultura y otras, se preve una competencia con las aguas para uso agrícola.

Las opiniones de los expertos sobre las situaciones actuales de la compraventa y el arrendamiento de derechos de aguas mencionados hasta ahora se refieren a que "la transacción no se realiza tan activamente", y sus razones se enumeran en los siguientes puntos:

① En caso de aguas para uso agrícola, debido a que el traslado de aguas se hace generalmente desde el canal de riego agrícola, si se traslada una parte de aguas a otro sitio, sus

influencias alcanzan a todo el canal, y a veces se necesitan reformas de instalaciones. Debido a que para estos ajustes o arreglos de instalaciones se necesitan gastos y tiempo, no se realiza activamente el traslado a otras zonas, salvo el traslado dentro del mismo canal.

② Por el lado de agricultores, hay muchos casos en que tienen derechos de aguas como los convencionales , los cuales no son aptos para la compraventa en el mercado.

③ La razón por la cual el arrendamiento es frecuente en el río Limarí, es que la represa Paloma tiene la función de almacenamiento, y su grado de libertad de agua es grande. No hay muchos ejemplos de este tipo, y la mayoría de las transacciones que se hacen aquí ocurren también entre los agricultores.

También, en cuanto al traslado de aguas para uso agrícola al agua potable, se señala el problema tomando como ejemplo el valle de Azapa de la ciudad de Arica. Esto se refiere al ① de (2) "Arriendo de derechos de aguas". Allí, el pozo de agua para uso agrícola fue ofrecido para agua potable, del cual antes se sacaba el agua cuando se necesitaba pero ahora se extrae las 24 horas diarias, y como consecuencia las aguas subterráneas de los alrededores bajaron. De esta manera, al tratarse del traslado de aguas a otro objetivo, se necesita un plan de traslado que contemple otros elementos tales como forma de uso de aguas o calidad de aguas. Pero, para ello es indispensable la intervención de un organismo público como acción de aprobación, donde parece que se encuentra uno de los problemas del mecanismo del mercado.

4. Evaluación general y puntos problemáticos de la ley vigente

Sobre la ley vigente que adopta un sistema muy particular en el sentido de permitir la propiedad privada de derechos de aguas, se han hecho varios estudios, y me he informado sobre opiniones de expertos para esta oportunidad. También, en la actualidad el Congreso discute la modificación de la ley vigente. En el presente capítulo, primero ordeno opiniones generales de esta ley, de las cuales extraigo puntos problemáticos, y finalmente preciso puntos a discutir en el presente estudio.

4.1 Evaluación general del régimen de derechos de aguas vigente

Al ordenar resultados de investigaciones realizadas hasta ahora y muchas opiniones de expertos obtenidas en esta ocasión, se dividen en lo afirmativo y lo negarivo. Pero, parece que esto se debe mayormente a diferencias de enfoques por parte de evaluadores, no de opiniones del mismo contenido. Las diferencias de este enfoque se clasifican de la siguiente manera :

① Opiniones afirmativas desde el punto de vista tanto del tipo economistas que sostienen el mecanismo del mercado como del apoyo al fomento agrícola como política estatal

② Opiniones negativas desde el punto de vista de dar importancia a la estabilidad social a través de medidas para agricultores pobres

③ Opiniones afirmativas o negativas desde el punto de vista de agricultores que son afectados actualmente por la ley vigente

Además, éstas se dividen en opiniones sobre el tema fundamental, o sea propiedad privada de derechos de aguas, y aquellas sobre la corrección de incoveniencias de la ley vigente permitiendo la propiedad privada.

4.1.1 Resumen de opiniones afirmativas

Las afirmativas de la ley vigente se pueden resumir de la siguiente manera basándose en los puntos ① y ③ arriba mencionados.

- Las aguas se distribuyen apropiada y eficientemente por medio del mercado. Sobre todo se permite transferir sin roces derechos de aguas desde uso agrícola a las de uso urbano.

- Gracias al aumento del grado de libertad de aguas por la transacción, se puede disminuir la construcción de nuevas instalaciones y de esta manera contener inversiones públicas innecesarias.

- Agricultores se ponen sensibles al valor del agua, y se reduce el consumo del agua por la implementación del moderno sistema de riego por goteo. Por consiguiente el área irrigada puede aumentar.

Las afirmativas son sólo deducibles por la aplicación del mecanismo del mercado, y para su partidarios el efecto es sumamente grande. El Banco Mundial está también en esta posición, reconociendo varios puntos problemáticos que voy a mencionar más adelante, y opina en forma general que : "el sistema chileno tiene diversos aspectos a corregir, pero funciona eficientemente hasta ahora. Como políticas futuras se requieren ajustes moderados, y no mejoramientos drásticos."

Por otro lado, en cuanto a opiniones obtenidas en las entrevistas a los expertos para esta

oportunidad, hay opiniones afirmativas pero en forma general hay mucho más opiniones negativas relacionadas con lo escrito a continuación. Esto parece deberse mayormente a que el Banco Mundial y otros tratan este problema desde el punto de vista del uso múltiple de aguas y que los expertos lo piensan desde el punto de vista del fomento agrícola. Pero, esto en sí parece indicar la direccionalidad de la evaluación de este problema.

4.1.2 Resumen de opiniones negativas

Las negativas se pueden resumir como se escriben a continuación a base de los puntos ② y ③ arriba mencionados.

- Por medio del mecanismo del mercado, el agua se concentra en los económicamente fuertes como grandes agricultores o empresas, resultando que los agricultores pobres se convierten en más pobres.

- Se generan problemas de economía externa como la calidad de aguas o aguas para uso de recreo que está fuera del mecanismo del mercado, afectando sus entornos

- Se producen estorbos al fomento agrícola debido a la separación de derechos de aguas y la propiedad de terrenos. Sobre todo, empresas de aguas adquieren a priori derechos de aguas que no usan por el momento, y en algunos casos se presentan obstáculos para el uso eficiente de aguas.

- Quienen no poseen derechos de aguas legalizados no pueden participar en los proyectos del gobierno, pero pueden recibir beneficios por proyectos en los que intervienen los poseedores de derechos de aguas legalizados de los alrededores. En este caso, quien se hace cargo de gastos de proyectos es el tenedor de derechos de aguas, y el no-tenedor de derechos de aguas legalizados se convierte en un llamado "viajero sin pagar", lo que resulta injusto.

Ha habido muchas opiniones negativas más, pero las que pueden ser correspondidas por la modificación de la ley vigente se ordenan en el siguiente inciso "Puntos problemáticos señalados". Los problemas que se generan sobre el tema fundamental, es decir, propiedad privada de derechos de aguas o utilización del mecanismo del mercado en los derechos de aguas son más o menos los arriba mencionados.

Aquí, menciono un poco la efectividad del mecanismo del mercado que juega el papel de una regla común para tanto las afirmativas como las negativas, porque sin tener el conocimiento común sobre esto, no se puede esclarecer dónde están los problemas.

- La efectividad del mecanismo del mercado está teorizado en, primero "investigaciones sobre la naturaleza y las causas de la riqueza de las naciones" por Adam Smith, en los últimos años "Monetarismo" (da importancia a la función del mecanismo del mercado y aboga por la fijación de la oferta de monedas) y "Expectaciones y la Neutralidad de Dinero" (consumidores que actúan razonablemente determinan un patrón de consumo de la vida, considerando corrientes de ingresos durante toda la vida), representados por Friedman o Lucas como economía anti-Keynes o teoría económica de la escuela neoclásica. Esta teoría era en la realidad la columna vertebral de las políticas económicas del Presidente Reagan, la Primera Ministra Thatcher, etc. desde la segunda mitad de los años setenta. Su tema central es, en vez de la ineficiencia y la insociabilidad producidas por el mecanismo de la distribución del tipo centralismo, utilizar eficientemente la vitalidad privada y aprovechar los méritos que tiene el mecanismo del mercado por medio de administrar privadamente lo más posible todos los recursos escasos. Se considera en la economía que el modelo chileno

adopta en forma más pura este pensamiento de realizar la distribución más adecuada de los recursos y de los ingresos mediante el mecanismo del mercado.

Aún ahora muchos economistas adoptan esta teoría (me parece que el análisis del Banco Mundial afirma esta teoría en sí), pero lo cierto es que también existe la siguiente refutación. Es decir, "el punto problemático a señalar sobre la proposición neoclásica es la premisa de la maleabilidad de los elementos productivos. Está puesta una condición de que todos los elementos productivos pueden cambiar libremente su uso de acuerdo a condiciones del mercado en ese momento. Esto significa que, refiriéndose a la agricultura, al perderse la prioridad relativa de la agricultura, los elementos productivos invertidos en el área de la agricultura se pueden usar en el campo industrial sin gastar el dinero ni transcurrir el tiempo. También significa que al contrario, al subirse el precio internacional de productos agrícolas y recuperarse la prioridad relativa de la agricultura, los elementos productivos invertidos en la industria se pueden usar en el campo de la agricultura sin gastar el dinero ni transcurrir el tiempo. Es evidente que no existen en realidad tales situaciones que puedan satisfacer esta premisa. Pero, para que sea lógica la proposición de la escuela neoclásica, esta condición de la maleabilidad es indispensable, y si no se satisafce esta condición, todas las conclusiones de la proposición de la escuela neoclásica resultan incoherentes. (autor, Hirofumi Uzawa : "Capital común social", página 59, Editorial Iwanamishinsho, 2000)".

Además de lo anterior, como limitaciones del mecansmo del mercado están señalados los problemas tales como : el del monopolio (dificultad de crear en realidad un estado de competencia totalmente libre), el del efecto externo (ventajas de agricultores de alrededores en la apicultura o gastos difíciles de cargar en el mercado como salida de aguas sucias u hollín y humo desde fábricas) y el de la inexclusividad (efectos que reciben además de compradores en el mercado, por ejemplo, alguien mata moscas, y la gente en el contorno recibe el efecto).

De esta manera, en cuanto a la pertinencia del mecanismo del mercado, hay tanto especialistas que la apoyan como opositores. En este trabajo no puedo hacer más el estudio económico de este punto, pero lo importante es que cabe duda también de la efectividad del mecanismo del mercado cuya teoría es considerada generalmente correcta. Sobre todo, en la agricultura, queda dudoso si sus elementos productivos como tierra agrícola o aguas puedan tratarse en el mercado igual que otros bienes. Lo que cubre esta duda es el capital común social y bienes públicos que ofrecen el gobierno. El punto en cuestión es cuál de esos pensamientos cuadra mejor con las aguas para uso agrícola.

4.2 Puntos problemáticos indicados

Como hemos visto hasta ahora, hay opiniones en favor y en contra de la ley vigente. En general, personas que dan importancia a la teoría económica la afirman, mientras personas que dan importancia a la política para agricultores pobres la niegan. Sin embargo, las dos partes reconocen que el sistema vigente tiene muchos problemas, y en la realidad el Congreso viene discutiendo la modificación de la ley desde hace más de 10 años. En este inciso hablaré de estos puntos problemáticos. Pero, aunque se señalan muchos problemas, esto no significa la negación del régimen actual. La evaluación en sí del sistema debe hacerse por medio de la medición comparativa con ventajas, de lo cual discutiré en el capítulo de la discusión.

Lo que se señala primero como punto problemático son opiniones negativas del presente sistema, mencionadas en el inciso anterior. Según resultados de entrevistas a expertos e informes existentes, los casos concretos y opiniones se pueden resumir como lo siguiente ;

① Derechos de aguas se concentran en grandes empresas, y por consiguiente los económicamente débiles como agricultores pobres se convierten en aún más pobres.

Aquí hay dos factores. Un caso es que, agricultores pobres venden a grandes empresas derechos de agua a poco precio en el año cuando su ingreso agrícola es poco. En la realidad en muchos casos se devuelven en el futuro como arriendo, lo cual se debe a que sus derechos de aguas no están legalizados, pero de ahora en adelante si la legalización avanza, la compraventa se adelantará, porque como he demostrado en el capítulo 3 el arrendamiento es sumamente barato.

El segundo es que empresas grandes acaparan derechos de aguas. Este asunto se escucha diariamente no sólo en derechos de aguas, pero el problema que se presenta especialmente en caso de derechos de aguas es que, debido a la separación de derechos de aguas y de terreno, el valor del terreno disminuye como la tierra para uso agrícola. En especial, en la zona seca central y septentrional de Chile la tierra agrícola sin derechos de aguas resultará casi sin valor. Supongamos que un agricultor pobre vende derechos de aguas a precio alto equivalente al terreno incluído, estará bien económicamente por el momento en el concepto de ingresos y gastos, pero desde el punto de vista económico nacional, el valor de este terreno disminuye sin falta. Hay casos en que, debido a la generación de este tipo de tierras, cuando el gobierno intenta hacer un proyecto, la tierra agrícola sin derechos de aguas constituye un obstáculo para el desarrollo del proyecto.

(2) En el régimen actual, la generación de la economía externa como problemas ambientales está despreciada.

La generación de problemas ambientales en el mecanismo del mercado está indicada desde hace tiempo como ejemplo de la economía externa, y en caso de Chile ésta aparece como efectos perniciosos a causa de la disminución de cantidad de agua fluvial. Hay varios casos de este tipo. Un ejemplo es que el derecho de aguas se vendió en la parte más alta del río, y que el agua fue sacada fuera de la cuenca, por consiguiente la cantidad de agua que beneficiaba la cascada en la parte más baja del río disminuyó. Por la misma causa puede empeorarse la calidad de agua en la parte más baja del río debido a la reducción de aguas de dilución. En un caso en que se han asignado casi todos los derechos de aguas de tipo consumidor al déficit de agua del río, el caudal fluvial en el período de sequía se aminoró, dificultando en mantener el ecosistema fluvial.

Otro tipo de ejemplo es la contaminación directa de aguas. Aguas no procesadas que se evacúan de fábricas o tierras agrícolas son causantes de contaminación de aguas de ríos de más abajo. Esta contaminación ha sucedido desde hace tiempo en diferentes lugares, pero aún no se han tomado suficientes medidas. En ríos de más abajo donde reciben influencias de esta contaminación de aguas se han producido situaciones en las que la calidad de productos agrícolas se empeora, se generan gastos para la purificación en las fábricas, etc. Este problema de la contaminación de aguas es un problema sumamente importante para la política agrícola en Chile, y al mismo tiempo debe normalizarse inmediatamente desde el punto de vista de la seguridad y la vida sana de los habitantes de las zonas rurales y del mejoramiento del valor de los productos exportadores. En relación al problema de la contaminación de aguas, los expertos entrevistados en esta ocasión opinaron y señalaron que naturalmente se necesitan aguas para uso medioambiental en un sentido general, y que la mezcla de arsénico o sobrecarga de sal en ríos en la segunda región, la acumulación de pesticidas o materias orgánicas en el lago Rapel en la sexta región, etc. son razones para requerir flujo de mantenimiento del cauce en Chile.

Pero esta economía externa encabezada por el problema ambiental es un problema a internalizarse no dentro del valor de derechos de aguas sino dentro de inversiones en instalaciones y equipos acompañadas por la reglamentación legal o gastos de mantenimiento y control de establecimientos. Por lo tanto no lo voy a mencionar más aquí.

③ Se generan adquisiciones anticipadas de derechos de aguas que no se usan por el momento.

En el sistema vigente, se permiten derechos de aguas cuando los ríos en su estado actual tienen suficientes aguas o cuando existen planes de represas adecuadas, para las demandas de aguas empresariales o administrativas futuras. Este derecho es una medida necesaria igual que la adquisición a priori de terrenos cuando se realice un desarrollo local de gran escala, pero en la realidad se destacan efectos perniciosos, porque los derechos de aguas obtenidos no se usan todavía, impidiendo el uso realmente necesario de otras personas. En Chile desde la segunda mitad de los años setenta se implementaron muchos proyectos de represas principalmente en la parte austral, y se asignaron debidamente sus derechos de aguas. En la actualidad se dice que su volumen de aguas alcanza 15 000 m³/seg, de los cuales unos 2000 a 2500 m³/seg están realmente en uso. Esto se debe a que las empresas eléctricas adquirieron anticipadas los derechos de aguas en gran cantidad, y que en los últimos años la política energética de Chile cambió de la potencia hidráulica al gas natural. Pero, de todas maneras es un hecho que este resultado dificulta aún a nuevos propietarios pequeños de derechos de aguas.

En relación a este problema el Congreso chileno desarrolla diversas discusiones, estudiando proyectos como imponer a derechos de aguas sin uso, obligar a abandonar derechos de aguas si no se usan durante 5 años, etc. Pero esto es un problema que influye tanto a las grandes empresas como a los agricultores. Generalmente los agricultores aseguran derechos de aguas a base del año de sequedad, por lo tanto en años de precipitación normal los derechos sobran. En otras palabras, en los años habituales de precipitación lógicamente queda una parte de aguas sin uso, por consiguiente es difícilmente aceptable la imposición sobre aguas no usadas o la devolución de derechos como se mencionan arriba. Este punto difiere de aguas corrientes o industriales cuya demanda es casi fija. Si se implementa este tipo de reglamentos, puede que agricultores conduzcan aguas innecesarias a su tierra agrícola todos los años para guardar el derecho y evadir el reglamento. Este problema de derechos de aguas anricipadas debe solucionarse y es seguro que se requieren medidas adecuadas a este lugar.

④ Se generan los "viajeros sin pagar" quienes no se hacen cargos de proyectos pero reciben beneficios inevitables.

Hay dos tipos de "viajeros sin pagar". Un tipo son aquellos que aunque no son partidarios de la implementación de un proyecto relacionado con el agua reciben inevitablemente beneficios, y el mejoramiento de desagües es un buen ejemplo. En las cuencas de los canales de drenaje los beneficios por su construcción y reconstrucción llegan no solo a los agricultores sino amplia e indistintamente. En caso de la mejora de aguas de riego, el beneficio alcanza a todas las personas que las usan independiente de si cargan con los gastos o no. Una de las razones que producen una situación así es un mecanismo que no permite participar en los proyectos si no tienen los derechos de aguas legalizados, y esta legalización está relacionada estrecha e inseparablemente con la transacción de derechos de aguas.

El otro tipo de "viajeros sin pagar"es el receptor de aguas sobradas después del uso para aguas agrícola como consumidor o aguas para generación eléctrica como no-consumidor, pero éste puede convertirse en viajero sin pagar o nuevo propietario de derechos de aguas, y por lo tanto lo trataré más adelante como problema de aguas repetidas.

Lo que hemos visto hasta aquí es sobre opiniones negativas en relación a la propiedad de derechos de aguas mencionada en el inciso anterior, y como hay otros puntos problemáticos señalados en entrevistas a expertos o materiales existentes, voy a presentarlos a continuación.

⑤ Existencia de derechos de aguas convencionales

Como mencionados anteriormente, el 50% al 65% de derechos de aguas en la primera mitad de los años noventa son convencionales y no legalizados. Por ello, no son objetos de la comercialización en el mercado, y no cumplen el objetivo previsto de distribuir eficientemente

los recursos mediante el mecanismo del mercado. También se puede pensar que el hecho de subsistir muchos derechos de aguas convencionales hace elevar el precio de compraventa de derechos de aguas.

En cuanto a la pertinencia de estos derechos de aguas convencionales, la considaré con detalles en el siguiente capítulo, y la política actual chilena intenta disminuirlos. DGA ha implementado el programa de ayudar en la legalización y se hace cargo de los gastos de abogados necesarios para la legalización entre otros. También, las Asociaciones de Canalistas mismas recomiendan fuertemente a sus miembros que legalicen derechos de aguas para evitar el riesgo de perderlos.

⑥ Parcialidad de impuestos en relación a derechos de aguas

Se dice que el régimen actual libera de impuestos de derechos de aguas, pero en realidad los agricultores con derechos de aguas legalizados pagan lo equivalente a impuestos. Esto se debe a que los agricultores pagan impuestos sobre la propiedad de terrenos. Este impuesto varía según el valor del terreno, y la tenencia de derechos de aguas legalizados aumenta el avalúo de terrenos en el sistema tributario. Tomando como ejemplo la cuarta y la novena región, el impuesto anual por una hectárea es de 45 dólares para una tierra agrícola con riego, y 6.5 dólares sin riego, siendo la diferencia grande. Por otro lado, en el caso de la tierra no agrícola sus impuestos no varían con o sin derechos de aguas, por lo tanto aunque una fábrica obtenga derechos de aguas, los impuestos sobre el terreno son iguales. En la práctica, si no se vende un terreno agrícola a terceros, durante 10 años está libre de impuestos, y el Servicio de Impuestos Internos no tiene suficientes informaciones sobre situaciones reales de transacciones, y por lo tanto queda dudoso cuánto pagan los agricultores de impuestos en cuestión, pero de todas maneras teóricamente hay parcialidad de impuestos como se ha mencionado.

⑦ Conflicto entre consumidores y no consumidores

El Código de Aguas de 1981 también permite derechos de aguas a quienes no consumen aguas como compañías eléctricas. Generalmente estos derechos de aguas no compiten con consumidores de aguas porque se pueden utilizar de nuevo en la parte más baja del río, pero en realidad hay casos en que, por ejemplo la compañía eléctrica acumula temporalmente el agua para bajar el costo, lo cual afecta a los agricultores en la parte más baja del río. Además, la compañía eléctrica toma el agua en la parte más alta del río para inducirla y después del uso la echa al río de más abajo, y durante este tramo del río no se puede hacer uso del agua, lo que puede producir conflictos entre la compañía y agricultores.

En torno a estos conflictos, básicamente los no consumidores deben echar el agua con tal responsabilidad que no afecte a los consumidores en la parte más baja del río, pero en realidad hay casos en litigio entre las dos partes debido a que están involucrados movimientos políticos o que no hay suficiente entendimiento de situaciones reales por falta de datos fluviales.

⑧ Manejo de aguas repetidas

En caso de la generación hidroeléctrica, no consumidora, toda la cantidad de derechos de aguas vuelve a un río situado más abajo. En el caso de aguas para uso agrícola, consumidora, una parte de las aguas se usa de nuevo en la parte más baja del río como aguas escapadas de canales o aguas sobradas de tierras agrícolas. Estas aguas de reutilización, o sea aguas repetidas no son básicamente objetos de derechos de aguas según la ley vigente, pero en realidad es difícil distinguir claramente en ríos largos entre el volumen de aguas repetidas y el de no repetidas, y de hecho en algunas ocasiones las aguas repetidas se incluyen en derechos de aguas. En un río inmediatamente después de una central eléctrica se puede juzgar claramente como agua repetida, y en este caso puede que se permitan derechos de aguas provisionales.

Para solucionar esto, hay varias contramedidas tales como, prohibir la inducción de aguas fuera de la cuenca entre las partes más altas del río, permitir derechos de aguas para las aguas repetidas. las municipalidades poseen derechos de aguas repetidas, etc., y en cualquier caso como premisa es necesario reconocer balances de aguas hídricas tal como volumen de aguas en cada punto, quedando como tema futuro la selección de contramedidas

⑨ Competencia con aguas subterráneas

De acuerdo a la ley vigente las aguas subterráneas pueden poseer derechos de aguas igual que las aguas superficiales. Viendo Chile en su totalidad, en casi todas las aguas superficiales actuales están establecidos derechos de aguas privados, pero se considera que todavía queda espacio de sobra en las aguas subterráneas. Pero en algunas zonas las dos aguas están en una situación alarmante, y en consecuencia se ven casos en litigio demandando que el bombeo de aguas subterráneas ha reducido las superficiales. En cuanto a aguas subterráneas la DGA puede restringir la toma de agua en caso de necesidad, y ha ocurrido que ha limitado la cantidad de bombeo de aguas subterráneas de una compañía de aguas de la primera región.

Este problema de aguas subterráneas es uno de los temas principales del presente proyecto de modificación de la ley. Se implementara un nuevo sistema de licitación para las aguas subterráneas, limitando la máxima toma de agua por pozo a menos de 2·/seg desde el norte hasta la región metropolitana, y a menos de 4·/seg de aquí hacia el sur. Otro punto principal es que los pozos existentes deben registrarse dentro de los 6 meses a partir de la promulgación de la ley. En cuanto a opiniones de los expertos al respecto, la mayoría está de acuerdo con la implementación del sistema de licitación, y en torno a la limitación de la cantidad de toma de agua hay opiniones que se refieren a un favor en pro de pequeños agricultores, pero por otra parte queda la duda de cómo se puede comprobar la cantidad de aguas extraídas en caso de que estos pequeños agricultores saquen aguas manualmente en vez de usar bombas, porque de hecho existen casos. A próposito, se dice que en Chile existen alrededor de 20.000 pozos. También hay voces que básicamente aprueban el registro dentro de los 6 meses, pero que sospechan la capacidad de DGA actual de procesar tantos papeles administrativos. En resumen, podría decirse que las intenciones son aceptables y que pensando en la práctica real, el clausulado debería ser más flexible.

⑩ Mejora en el sistema de licitación

La ley vigente reglamenta la licitación en el caso de que haya varias peticiones para una misma agua. Esto en sí no constituye problema, pero en el régimen actual tiene que hacerse la solicitud de derechos de aguas dentro de 30 días desde el día en que alguien ha hecho la petición de derechos de aguas, y por ende hay crítica de que el plazo es demasiado corto. A este respecto el proyecto en consideración actual busca extender el plazo de 30 días a 6 meses. También está en discusión el hacer pública la licitación o no. Para hacer funcionar suficientemente el mecanismo del mercado será una medida razonable. Pero hay espacio para estudiar aspectos tales como, el cambio de forma de pensar entre las aguas superficiales y las subterráneas, el trato diferente cuando están acompañadas de proyectos del desarrollo de recursos hídricos o cuando se obtienen aguas inmediatamente, etc.

⑪ Necesidad de una administración integral de la cuenca

El régimen actual supone que DGA y las Juntas de Vigilancia actúan como instituciones para resolver conflictos entre derechos de aguas privados. Pero la primera no dispone de suficientes datos sobre derechos de aguas privados ni suficiente personal. A su vez las Juntas tienen como miembros tanto a consumidores como a no consumidores. Por consiguiente las dos organizaciones no pueden cumplir con su oficio de mediadores que tengan fuertes atribuciones,

y hay muchos casos en que tardan largo tiempo en resolver conflictos recurridos a la ley

Existen tres ideas para mejorar esta situación. Una de ellas es pretender resolver racional y forzadamente por medio de la ampliación de la organización y autoridad de DGA. Actualmente trabajan 400 funcionarios en DGA, de los cuales 200 personas se hacen cargo de los asuntos profesionales de todo Chile, pero hay alrededor de 240,000 tomas de agua y unos 10.000 derechos de aguas en el país, y por lo tanto es evidente que hay una brecha notable entre el número del personal y los trabajos. La segunda es dar el papel mediador a organizaciones de agricultores en vez de DGA. Esta idea se origina en que las organizaciones de agricultores, usuarios de aguas, conocen bien de situaciones del uso de aguas en los lugares, y que en algunos casos tarda más de un año en la decisión de DGA. Para el fortalecimiento de estas organizaciones de agricultores, el proyecto de modificación de la ley contempla el otorgamiento de la personalidad jurídica a las Asociaciones de Canalistas. De esta manera, se pueden reforzar atribuciones legales, se puede promover deliberaciones con otras organismos, formación institucional interna, etc., y de este punto hay muchos votos favorables por parte de los expertos. La tercera es organizar una entidad administrativa de la cuenca cuyos miembros son, además de DGA y las organizaciones de agricultores, grupos privados, municipalidades de la cuenca, instituciones públicas, etc. Es un movimiento a establecer una nueva entidad para hacer cumplir estándares elaborados por río a base de que cada río es diferente en materia de derechos de aguas, industrias de alrededores, y condiciones climáticas entre otros.

Los arriba mencionados son puntos considerados como problemas, relacionados con el actual sistema de derechos de aguas. Por añadidura hay asuntos como simplificación en tramitación de traslado de derechos de aguas en pequeña cantidad, y en resumen los temas mencionados hasta aquí son los que quedan para el futuro.

4,3 Orden de puntos en cuestión en el presente estudio

En este inciso ordenaré los puntos a discutir, que serán destinados a este estudio, a base de "Evaluación general del régimen de derechos de aguas vigente" mencionada en el 4.1 y "Puntos problemáticos indicados" en el 4.2. Como el objetivo de este trabajo es estudiar lo bueno o lo malo de permitir la propiedad privada de derechos de aguas, desde este punto de vista me centraré en temas necesarios. Del contenido del 4.1, los siguientes tres puntos, indicados como las afirmativas, son opiniones legales claramente relacionadas con el objetivo del presente estudio, y por lo tanto son objetos de discusión.

① Realización del uso eficiente de aguas como transferencia de derechos de aguas sin roces desde aguas para uso agrícola al agua potable
② Contención de inversiones públicas innecesaras mediante el uso eficiente de aguas
③ Efecto de la reducción del consumo del agua por medio de la sensibilización al valor de aguas

Por otro lado, los siguientes cuatro puntos, que son las opiniones negativas indicadas en el contenido del 4.1 y que son reordenados en el 4.2, son relacionadas con el objetivo del presente estudio, y por lo tanto también son objetos de discusión.

④ Concentración de aguas en los económicamente fuertes
⑤ Generación de la economía externa como problemas ambientales
⑥ Daños acompañados por la separación de derechos de aguas y de terrenos
⑦ Parcialidad en torno a los gastos debido a la generación de beneficiarios inevitables

Estos son los problemas que se generan cuando el agua se trata igual que otros bienes en el mecanismo del mercado. Además, de los temas ⑤ a ⑪ mencionados en el 4.2, la existencia

de derechos de aguas convencionales del ⑤, está fuertemente relacionada con la efectividad de la función del mercado, y por consiguiente es objeto de discusión. Los temas a partir del ⑥ dividen respectivamente opiniones de los interesados, y son difíciles de juzgar como temas legales y administrativos, pero no son problemas generados directamente desde la existencia del mecanismo del mercado, y por lo tanto no son objetos de discusión. Ellos deberán estudiarse con orientación a la modificación del sistema por expertos en materia de situaciones agrícolas, naturales, sociales, políticas y económicas.

5. Discusión

Aquí se discute lo bueno o lo malo de dejar derechos de aguas al mecanismo del mercado teniendo como base los hechos vistos hasta ahora sobre derechos de aguas en Chile, y para eso existen dos enfoques. Uno es cómo pensar de Chile que durante estos veinte años está usando este régimen, y el otro es la introducción de dicho sistema a otros países en el futuro. Es necesario pensar separando estos puntos.

Como método de analizar, primero examino cada uno de los puntos en cuestión ordenados anteriormente, y después discuto en forma integral sobre este régimen.

5.1 Consideración desde el punto de vista individual

En el capítulo anterior he ordenado ocho puntos a discutir sobre la propiedad privada de derechos de aguas para aprovecharse del mecanismo del mercado. Algunos se interrelacionan, y de acuerdo a su contenido analizo como se describen a continuación :

① Realización del uso eficiente de aguas como transferencia de derechos de aguas sin roces desde aguas para uso agrícola al agua potable

Esto es uno de los objetivos más importantes de la utilización del mecanismo del mercado en derechos de aguas. Algunas tesis sobre derechos de aguas en Chile también indican este punto como gran ventaja. Ciertamente es difícil transferir derechos de aguas sin roces y sin el mecanismo del mercado. En los países que permiten sólo el derecho de uso como derechos de aguas esta trasferencia de derechos de aguas es el trabajo más difícil. Porque, generalmente la autoridad competente del Código de Aguas está encargada de este trabajo, el cual realiza como acto administrativo, y se requiere la certificación de la justificación para la transferencia.

Por ejemplo, para trasladar aguas desde el uso agrícola al agua potable, el aumento de la demanda de agua potable no es difícil de explicarse. Se necesitan fundamentos pertinentes tales como la inevitabilidad del aumento de la población en el futuro, el pronóstico de aumento de la demanda de aguas por persona debido al mejoramiento del nivel de la vida, etc., pero de todas maneras es posible explicar si los planes de largo plazo de diversos géneros están autorizados. Pero si se trata del aumento de la demanda de aguas para uso industrial su explicación es un poco difícil. Como las empresas privadas son objetos en este caso, se exigen pruebas como plan de ampliación de fábricas, y además se piden explicaciones detalladas como fundamento de la tasa de reutilización de aguas, plan alternativo en caso de que no avancen como planeado. Por otro lado, en cuanto a aguas para uso agrícola de que se hace la transferencia, es aún más difícil dar explicaciones sobre la pertinencia de la disminución de sus derechos de aguas. Porque en el caso de la agricultura, aunque la tierra agrícola se reduzca, el agua no disminuye en la misma proporción. Tomando como ejemplo el arrozal, el agua en él se usa corriendo de un bloque al otro sucesivamente. Es decir, el agua se trata repetidamente, y por lo tanto, aunque la suferficie se reduzca al 10%, la demanda de aguas no disminuye al 10%. La tierra de cultivo en secano está en una situación similar. Por consiguiente, lo primero que se necesita es calcular cuánto se pueden reducir aguas en un plan de uso de aguas. También en este plan se cuestiona cómo es un plan de administración agrícola en el futuro, porque dependiendo de tipos de cultivo la cantidad necesaria de aguas varía. Por otro lado, excluyendo las zonas extremas tal como la central y septentrional, la agricultura siempre depende tanto de aguas fluviales como de aguas de lluvia, y se necesita un pronóstico sobre este punto. En cuanto a aguas fluviales, naturalmente se exige un pronóstico futuro de que no hay suficiente cantidad de tal manera que debe disminuirse las aguas para uso agrícola. Sin cumplir todo lo arriba mencionado y sin convencer a los agricultores no es posible realizar sin roces la tranferencia de derechos de aguas. Esto puede convertirse en problemas políticos. Aunque la institución pertinente tenga el poder de cambiar

derechos de aguas establecidos por la ley, las personas a las que priva de derechos de aguas tienen libertad de entablar pleito a través de varios recursos legales en caso de quejas administrativas, y por ende finalmente se necesita una explicación que pueda convencer a terceras personas.

Viendo así, excepto casos extremos como, por ejemplo un terreno agrícola que componía un conjunto de parcelas se ha convertido en su totalidad en terreno para viviendas, es muy difícil transferir sin roces derechos de aguas. En realidad, en casos de otros países, a pesar de que evidentemente sobra el agua viendo con el sentido común, se observa que el agua no se transfiere a sectores necesitados debido a la resistencia del poseedor de derechos de aguas. Sus razones principales son el sentimentalismo por el cual quieren guardar por lo menos los derechos para el futuro y el hecho de que no hay ninguna compensación económica al deshacerse de ellos. Desde este punto, es evidente la ventaja del mecanismo del mercado. Si una empresa de aguas juzga que es más barato comprar a agricultores derechos de aguas que construir una represa, ella estará dispuesta a pagar bastante dinero. Y, si los agricultores piensan que el monto de dinero supera a la aminoración de ingresos debido a la disminución de derechos de aguas, prescindirán de ellos convencidos. En este momento no hay otra manera mejor que ésta, de realizar la transferencia sin roces de derechos de aguas.

Sin embargo, este traslado sin roces de derechos de aguas se enfrenta a un problema grande en el sentido de una transferencia de aguas para uso agrícola al agua potable (de vez en cuando al minero e industrial). Por el momento no hay informe de casos, pero se puede suponer que grandes agricultores acaparen aguas de agricultores pobres. Esto está en relación de cara y sello con las opiniones negativas mencionadas en el capítulo anterior 4.2, "④ Concentración de aguas en los económicamente fuertes" y "⑥ Daños por la separación de la propiedad de terreno y derechos de aguas", y por ende voy a analizar todo en conjunto a continuación.

Primero, se trata del caso de transferir derechos de aguas desde uso agrícola al agua potable (a veces al uso minero e industrial). Esto ocurre cuando agricultores quieren reducir el tamaño de la agricultura, cuando necesitan dinero, o cuando sienten que sobran derechos de aguas, etc., al mismo tiempo que la demanda de agua potable aumenta. En este caso compradores de agua potable compran solamente aguas, y el terreno agrícola está en la tenencia de agricultores. Pero, este terreno agrícola tiene menos aguas para riego, por lo tanto el valor como terreno para uso agrícola baja enormemente. Además como la selección de lugares está a discreción libre de agricultores, si surge esta situación en gran cantidad, la agricultura local no puede menos de arruinarse en forma de mosaicos. Aunque esto sea positivo económicamente para agricultores, es negativo desde el punto de vista de la agricultura local. Porque, si hay tierras agrícolas arruinadas en forma carcomida, puede suceder allí proliferación de insectos dañinos, crecimiento de malezas, pérdida del suelo, etc., y por consiguiente afecta a sus alrededores.

Según la teoría de la escuela neoclásica, la tal situación de transferencias será que "si la agricultura disminuye después de haber ocurrido dicha situación y todos los productos agrícolas del país suben su precio, la prioridad relativa de la agricultura aumenta y por consiguiente esta vez agricultores compran aguas mediante el mecanismo del mercado, resultando que la tierra agrícola converge a una escala adecuada", pero es evidente que esto no encaja en la realidad. Es casi imposible que agricultores compren de nuevo las aguas una vez transferidas al agua potable por medio del mecanismo del mercado, y además necesitan muchos años para restaurar la tierra agrícola una vez abandonada. Por ejemplo ¿cómo se puede recuperar el suelo superficial substancioso una vez perdido? Aquí no están satisfechas nada "las condiciones en las que todos los elementos productivos pueden cambiar libremente su uso de acuerdo a condiciones del mercado en ese momento", como lo comenta el Sr. Uzawa. Por lo tanto, se puede decir que la transferencia sin roces del agua para uso agrícola al agua potable contiene un aspecto muy negativo por parte de la agricultura, porque aunque reciba nuevos beneficios del agua potable en

su vida, pierde el agua para riego y al mismo tiempo la tierra agrícola. Para la agricultura el agua y la tierra son inseparables. En la perspectiva de largo tiempo, la inactividad de la agricultura que es un componente importante de la sociedad local no es deseable desde el punto de vista del mantenimiento y el desarrollo de la sociedad local sana.

A continuación, considero el caso de que grandes agricultores compran a agricultores pobres derechos de aguas mediante el mecanismo del mercado. En este caso, también la tierra de agricultores pobres es una clave. Si grandes agricultores compran terrenos junto con derechos de aguas, los terrenos se utilizan también para la agricultura. Es alta la posibilidad de aprovecharse de los terrenos más eficientemente. Por lo tanto puede ser deseable para el fomento agrícola. Pero, en este caso surge un problema sobre la vida de labradores pobres que han perdido terrenos y aguas y que en su lugar han conseguido dinero. Es un gran problema que se discute en el gobierno de cualquier país si es razonable o no considerando en la totalidad del país que la tierra agrícola se concentra en propietarios de gran escala que poseen la gran tecnología y el gran capital y que los pobres agricultores se alejan de la agricultura. Desde el punto de vista de la eficiencia económica puede ser una política racional, pero en general se considera que provoca la inestabilidad social debido al desplome de la sociedad local, emigración a la ciudad de la gente errante. Es una política difícil si no dispone de muchas condiciones como preparaciones de recepción por otras industrias, o de establecimientos públicos tales como viviendas o escuelas. Por consiguiente no resultaría nada favorable para la política de agricultores pobres.

Por otro lado, en el caso de que agricultores pobres vendan a grandes agricultores derechos de aguas pero no terreno, la productividad agrícola en el terreno de grandes agricultores mejorará, pero igual que el caso de las empresas de aguas, el terreno agrícola de agricultores pobres se arruinará.

En resumen, hay casos en que se observan efectos de la transferencia sin roces de derechos de aguas, pero se ven muchos casos en que generan daños acompañados por esta acción.

② Contención de inversiones públicas innecesarias mediante el uso eficiente de aguas

Esto pretende que los necesitados de aguas las compren a precio bajo en el mercado a los no necesitados, y que de esta manera reduzcan inversiones de nuevos desarrollos de fuentes de agua y al mismo tiempo las utilicen eficientemente. Un caso es del río Elqui mencionado en el 3.2 "Situaciones actuales en torno a derechos de aguas". Allí mencioné que la empresa de aguas compra aguas a agricultores porque le resulta más barato comprar derechos de aguas que construir una nueva represa. El especialista del Banco Mundial que presentó este caso lo considera afirmativamente. Su argumento es que la compra de aguas para uso agrícola aprovechándose del mecanismo del mercado significa el uso eficiente de aguas y el impedimento de inversiones públicas innecesarias. Indudablemente, en muchos países donde permiten sólo el derecho de uso como derechos de aguas, aunque sobran aguas como se ha mencionado arriba, los propietarios de derechos de aguas no se deshacen de ellos, y por lo tanto se ven obligados a construir nuevas fuentes de aguas en la parte más alta del río.

Pero, el problema en este caso es si en aquel entonces realmente sobraba el agua para uso agrícola del río Elqui o no. Aunque no he hecho estudios, el sentido común nos dice que es difícil de pensar que sobraba el agua en la tal zona seca donde se llevaba a cabo la agricultura considerablemente. Si la demanda de aguas era realmente apremiante, la compra de aguas para uso agrícola es ni más ni menos que la disminución de aguas a usar en la agricultura. Aún este caso, ¿se podrá decir que "se ha hecho la distribución justa de los recursos porque en el mercado se ha convertido en el agua potable de más alta necesidad"?. Suponiendo que la transferencia de esta agua al agua potable sirve más para el bienestar público (su fundamento es sólo el valor en el mercado), ¿no había otra manera? Según esta forma de pensar, la suma de producción

aumenta por el incremento del agua potable, pero la de producción agrícola disminuye. A lo mejor esta idea puede ser coherente si la cantidad de aguas suministradas es limitada. Pero, en el caso del río Elqui, ¿el modo de coexistir las dos partes no será la construcción de una represa de uso exclusivo para el agua potable? Porque físicamente es posible. No obstante, esto es costoso, y los gastos por parte de la empresa de aguas son más altos que comprar aguas para uso agrícola en el mercado (premisa de que son difíciles los planes alternativos como desarrollo de aguas subterráneas o desalinización). Pero, ¿esto en sí no será un tipo de retórica? Porque, si los agricultores conocieran bien esta información de la represa, el valor de aguas para uso agrícola en el mercado habría subido cerca de los gastos de la represa. En aquella ocasión los agricultores vendieron aguas a precio de 2459 dólares por litro/ seg, los cuales resultaron demasiado baratos. En realidad esto es un ejemplo opuesto a "que los consumidores tienen suficiente información", lo que es la premisa de "Expectaciones y la Neutralidad de Dinero"

Por consiguiente, sobre la base de este caso se pueden considerar los siguientes cuatro puntos :

- Se puede contener la construcción de instalaciones innecesarias por la utilización del mercado, pero como premisa se necesita una situación de que sobra el agua.
- Para que el mecanismo del mercado funcione correctamente, es esencial que los participantes del mercado tengan suficientes informaciones.
- Si no se satisface dicha premisa, la agricultura se dirige a la reproducción reducida.
- Por lo tanto, en el caso del río Elqui, dependiendo del costo de construcción de una represa, hay posibilidad de que la construcción de una represa en la parte más alta del río haya sido la medida más apropiada.

③ Efecto de la reducción del consumo del agua mediante la sensibilización al valor del agua

Esto significa que como el agua se evalúa en dinero en el mercado, tanto para venderla como para comprarla llegan a reducir el consumo del agua como condición. En el caso de Chile, se dice que los agricultores se han puesto sensibles al valor del agua y que se ha reducido el consumo del agua por la implementación del moderno sistema de riego por goteo, resultando en la ampliación del área de irrigación.

Aunque se permite sólo el derecho de uso como derechos de aguas, es necesario reducir el consumo del agua para aumentar el área de cultivo, introducir cultivos que necesitan mucha agua, etc. Pero, si se puede comercializar en el mercado, el valor del agua se convierte en tangible, por lo cual obviamente se puede elevar la conciencia acerca de la reducción del consumo del agua. En los últimos años, en Chile se ha introducido mucho el riego por goteo en la fruticultura o el cultivo en invernadero. No está claro cuánto este efecto se refleje en dicho caso, pero para los agricultores es posible hacer una comparación económica entre la compra de aguas necesarias en el mercado y su generación por medio de la reducción del consumo. Aunque se necesitan inversiones en nuevas instalaciones y equipos para la reducción del consumo del agua, no es difícil calcular los costos de equipos y los de mantenimiento y control. Los expertos a quienes entrevisté reconocen este efecto, pero al mismo tiempo se refieren al efecto de la reducción del consumo del agua en relación a la tecnología de administración agrícola. Es decir, los agricultores que hacen productos agrícolas de alta calidad reducen mucho el consumo del agua, y se considera que el riego con la reducción del consumo del agua es una medida necesaria desde los aspectos del uso eficiente de aguas y el mejoramiento de la calidad. Sobre todo, en la zona norte donde el agua está apremiante, se desea el desarrollo y difusión de la tecnología acordada al clima, hidrología, suelo, geografía y cultivos seleccionados de la zona.

Esto nos permite reconocer plenamente que la compraventa y el arrendamiento de aguas llevan consigo el efecto del ahorro de agua.

④ Concentración de aguas en los económicamente fuertes

De esto he analizado en el ①

⑤ Generación de la economía externa como problemas ambientales

Está señalado desde hace tiempo que como defecto del mecanismo del mercado existe la generación de la economía externa representada por los problemas ambientales. He mencionado los casos chilenos en el 4.2 "Puntos problemáticos indicados". Como mostré allí, el empeoramiento de la calidad fluvial es el problema a internalizar dentro de inversiones en instalaciones y equipos acompañadas por el reglamento legal o gastos de mantenimiento y control de equipos, y por lo tanto no son objetos de discusión. Lo problemático es la generación de efectos perniciosos debido a la disminucion de la cantidad de aguas. En el régimen actual que permite la compraventa de aguas, hay posibilidad de establecer derechos de aguas en todas las aguas utilizables, las cuales usuarios compran y venden libremente, por lo tanto no se toman en cuenta las que no entran en el mecanismo del mercado donde hay consideración al medioambiente. Por ejemplo, aguas para uso de recreo en la parte más baja del río o cantidad de aguas de cascadas antes mencionadas pueden reconocerse sus derechos de aguas como no consumidores. De esta manera se puede internalizar en el mercado. Y como entidad a la que otorga este derecho se pueden pensar en agentes de turismo, colectividad pública, ONG, etc.

Así, cuando se pueda internalizar, aún con un poco de dificultad, tanto mejor, pero las influencias dadas al ecosistema fluvial son difíciles de internalizar. Si todas las aguas del río se usan y el río se deseca aunque sea temporalmente, la fauna y la flora que habitan en el río reciben daños notables. Entonces, en Chile como contramedida de esta situación está en estudio el aseguramiento del flujo de mantenimiento del cauce, el cual se emplea en otros países. Se determina el mínimo caudal por río, y cuando el caudal fluvial se pone inferior a aquél, se restringe la toma de agua. En este caso el problema es cómo establecer el mínimo caudal necesario. Hay varias propuestas tales como, el 20% del caudal promedio, la cantidad mínima de aguas en la condición natural en que no hay ningún uso de aguas, la cantidad mínima necesaria para los organismos vivientes valiosos en el lugar.

Los expertos en este problema afirman también la necesidad del flujo de mantenimiento del cauce. Pero al mismo tiempo también comparten el reconocimiento de que es bastante difícil decidirlo y realizarlo. Primero, como problema real casi todos los ríos, lagos y pantanos chilenos tienen establecidos derechos de aguas. Situaciones difieren según río, pero en general la demanda de aguas en Chile está en una situación apurada igual que otros países avanzados, debido al desarrollo económico de los últimos años, al aumento de la demanda de aguas por el mejoramiento del nivel de la vida o adquisición a priori de derechos de aguas, atrasos en desarrollo de instalaciones de la fuente de aguas de gran escala como represas, etc. Esta tendencia es notable cada vez más a medida que transcurren los años. Ahora, como puntos para determinar la cantidad mínima necesaria del agua en Chile se pueden nombrar la concentración de sal, el contenido de metales como arsénico o boro en los ríos de la zona norte, la concentración de sales nutritivas, abonos y pesticidas agrícolas en la zona central y austral, y la protección de peces útiles como truchas en todo el país, pero es difícil mostrar objetivamente la cantidad necesaria para este fin. Sin embargo, su necesidad está reconocida conceptualmente, y es indispensable generar esta agua por medio de ajustes hidrológicos como traslado de una parte de derechos de aguas actuales, desarrollo de nuevas fuentes de aguas o utilización de aguas repetidas.

No es fácil deducir teóricamente una cantidad apropiada del agua, pero si se determina un estándar por zona o como país mediante alguna formalidad, éste servirá como una contramedida. Es decir, no se internalizan en el mercado diferente a otros asuntos, pero por medio de la reglamentación pública se pueden compensar efectos perniciosos del mecanismo del mercado.

Por consiguiente, se considera que la generación de la economía externa es negativa para

el mecanismo del mercado y que se pueden eliminar bastante sus malas influencias por la internalización en lo posible y por la reglamentación pública.

⑥ Daños acompañados por la separación de derechos de aguas y el derecho de terreno

De este punto hemos analizado en el ①

⑦ Parcialidad de los gastos por la generación de beneficiarios inevitables

Como ejemplo de beneficios inevitables, se citan mucho las abejas de apicultores que ayudan en la polinización de frutales como efecto externo del mecanismo del mercado, porque los valores de frutas no contienen gastos necesarios para la apicultura. Pero en este estudio en que se trata de derechos de aguas, el caso problemático es, como se ha mencionado en el 4.2 "Puntos problemáticos señalados", la existencia de "viajeros sin pagar", que no pagan gastos pero reciben beneficios inevitables. Según la Ley de Fomento de Riego en Chile, cuando se inician los proyectos de riego y de drenaje como proyectos públicos, los beneficiarios se ven obligados a hacerse cargo de gastos, y al mismo tiempo se necesita tener consentimiento de más de 33% antes del comienzo del diseño del proyecto y más de 50% antes de la construcción. En otros países existen leyes similares. Lo importante es que en general no se puede obtener un asentimiento de 100%. Esto se debe a que, como en caso de la agricultura, si se quiere hacer un mejoramiento en una determinada zona donde se involucran muchos propietarios de terreno, no se pueden formar los proyectos excluyendo los terrenos de opositores. Por ejemplo, las reparaciones de un canal agrícola dan beneficos a todos los usuarios que toman el agua. Es muy difícil obtener el consentimiento de todos los interesados. Por lo tanto, aparte del 50% o dos tercios, es lógico llevar a cabo los proyectos a petición de la mayoría. Pero, esto significa que a los opositores también se les generan automáticamente beneficios. En caso de los proyectos de drenaje, aún más gente indeterminada recibe beneficios inevitables. Para internalizarlo, es necesario cargarles obligadamente con una parte de los gastos, y de esta manera se soluciona teóricamente este problema.

Pero, en realidad es difícil cobrar gastos obligadamente a personas que no participan en este tipo de proyectos, y hay posibilidad de que esto influya en los valores de derechos de aguas comercializados en el mercado. Además este problema no sucede solamente en Chile sino en otros países donde permiten el derecho de uso como derechos de aguas.

⑧ Existencia de derechos de aguas convencionales

Estos constituyen un gran problema al pensar los derechos de aguas en Chile. Se dice que los derechos de aguas convencionales no legalizados en torno a aguas para uso agrícola son de un 50% a 60% en el año 1994 como se ha mencionado anteriormente, y se supone que aún ahora subsisten muchos. Las razones de no avanzar en la legalización son el alto impuesto sobre el terreno y trabajosas tramitaciones, los cuales se convierten en gran cuello de botella para la compraventa en el mercado. No se permite transar oficialmente los derechos de aguas no legalizados. Por ello, como se ha analizado en el 3.2 "Situaciones actuales en torno a derechos de aguas", se realiza con frecuencia el arrendamiento de derechos de aguas pero compraventas son pocas, resultando alto el valor de compraventas. Como contramedida de esto, DGA lleva adelante los proyectos con subsidio, y las organizaciones agrícolas también recomiendan a los agricultores la legalización de derechos de aguas para evitar el riesgo de perderlos

Pero, es necesario pensar una vez más sobre esta legalización. Porque, tomando en cuenta que la compraventa de derechos de aguas se realiza poco y que hay más arrendamientos, se puede considerar que esta existencia de derechos de aguas convencionales impide mucho la situación de que "como resultado de la separación de derechos de aguas y el derecho de propiedad de tierra agrícola. agricultores pobres venden a grandes agricultores o empresas los

derechos de aguas, resultando que tierras agrícolas restantes se arruinan", explicada en el presente inciso ①. Parece que la venta de derechos de aguas por parte de agricultores pobres se debe a que la agricultura ha aportado pocos ingresos de efectivo en el año y que en momentos necesarios se ven obligados a deshacerse de ellos. Como factores de la mala producción agrícola del año se pueden pensar por ejemplo, climas anormales como baja temperatura, sequedad, falta de insolación, y tempestad, nacimiento de plagas y enfermedades, baja repentina de los valores internacionales, prohibición de exportación, fracasos en selecciones de cultivos agrícolas, entre otros, y afortunadamente Chile es un país donde ocurren difícilmente climas anormales, comparando con otros países. El caso de la zona agrícola de la parte central y septentrional chilena, por naturaleza no llueve y las fuentes de aguas son aguas de nieve de los Andes, por lo tanto el pronóstico meteorológico e hidrológico es fácil de hacerse, y no ocurren casi nada de temperaturas bajas, falta de insolación, tempestad, etc. Hay plagas y enfermedades, pero en comparación con otros países son muy pocas. A lo mejor suceden muy pocos casos preocupantes como estamos viendo aquí. En cambio, en otros países puede aumentarse la posibilidad de que, debido a climas anormales, la producción agrícola de agricultores pobres disminuya drásticamente y que por eso vendan derechos de aguas, estropeando la agricultura en el futuro. Para evitarlo, ¿el permitir sólo el arrendamiento de derechos de aguas no será un freno efectivo?

Por consiguiente, los derechos de aguas convencionales no legalizados no se pueden negar enteramente, sino parece necesario pensar en la pertinencia de la legalización junto con el problema fundamental de la separación de derechos de aguas y la propiedad de terrenos.

Los arriba mencionados son resultados de discusiones individuales de los puntos en cuestión ordenados. A continuación los discutiré en forma global.

5.2 Discusión desde el punto de vista global

Los puntos esenciales de la discusión desde el punto de vista individual sobre lo bueno o lo malo de dejar derechos de aguas en el mecanismo del mercado son los siguientes :

① La realización del uso eficiente de aguas sirve para la transferencia sin roces de aguas desde uso agricola al agua potable. Pero, sólo cuando sobra evidentemente el agua, se puede reconocer sus efectos de tipo de economía social, y en los otros casos salvo éste hay alta posibilidad de arruinar la agricultura y afectar el fomento agrícola. Su mayor causa es la separación de derechos de aguas y el derecho de terreno.

② En cuanto a la contención de inversiones públicas innecesarias, se reconoce una disminución de inversiones las cuales no tienen más remedio que hacerse debido a los pocos avances en la transferencia de derechos de aguas a pesar de que sobra evidentemente el agua. Pero en los otros casos aparte de éste hay alta posibilidad de llegar a la reproducción reducida de la agricultura. El fenómeno de resultar más barata la compra de derechos de aguas que la construcción de instalaciones ocurre por falta de informaciones en el mercado, lo cual es precisamente la mala función del mecanismo del mercado.

③ El efecto de ahorro de agua por la sensibilización al valor de aguas se reconoce teórica y prácticamente. Es indudable que la existencia del valor de compraventa en el mercado motiva más la reducción del consumo del agua que el caso de permitirse sólo el derecho de uso como derechos de aguas.

④ En relación a la generación de la economía externa como problemas ambientales, se pueden reducir sus efectos negativos hasta cierto punto, por medio de la internalización de lo que se pueda internalizar, y la reglamentación pública de lo que no se puede internalizar. Pero

para esto se necesitan intervenciones adecuadas del gobierno, lo cual niega parcialmente la competencia libre en el mercado.

⑤ En cuanto a la parcialidad de los gastos debido a la generación de beneficiarios inevitables, no hay otra manera que cobrarles legal y obligadamente. Esta existencia puede distorsionar el mercado, pero en realidad este problema ocurre también en el caso de permitirse sólo el derecho de uso como derechos de aguas, y por lo tanto no es un defecto que el presente régimen tiene.

⑥ En cuanto a la existencia de derechos de aguas convencionales, generalmente se comprenden como objetos de la legalización, y en Chile también se lleva a cabo su política. Por otro lado, ellos conllevan el aspecto de evitar la desolación de tierras agrícolas, y deben estudiarse junto con el problema ①. No se pueden rechazar enteramente.

5.2.1 Derechos de aguas en el futuro en Chile

Hay méritos y deméritos, como se han mencionado arriba, en dejar derechos de aguas en el mecanismo del mercado, pero no hay más remedio que pensar que los deméritos son más grandes desde el punto de vista de aguas para uso agrícola. El efecto de ahorro de aguas es un mérito claro, pero aparte de ésto son más grandes los deméritos, porque para ser méritos se necesita tener otras condiciones sociales y económicas. Sobre todo, desde el punto de vista del desarrollo sano de la sociedad agrícola en el cual el tema principal es el trato a agricultores pobres, hay alta posibilidad de que surjan más bien obstáculos.

Pero, viendo las situaciones chilenas en las que desde hace 20 años se emplea este régimen y que su modificación está en discusión, esta forma de pensar a lo mejor no encaja por las razones siguientes :

① Uno de los roles importantes que tiene este régimen en Chile es que estos derechos de aguas son bienes transables en el mercado para los agricultores. Generalmente éstos se consideran originalmente como bienes no contabilizables, pero en Chile se trata como un recurso. La opinión de expertos indica que el beneficio directo de tener derechos de aguas para los agricultores es que éstos se pueden utilizar como hipoteca para las instituciones financieras. Por lo tanto, los derechos de aguas son propiedad latente para los agricultores, y aunque se presente en el Congreso un proyecto de ley que se los quitare, no podrá ser aprobado.

También, a pesar de que la agricultura chilena se enfrenta a diversos problemas, está marchando bien macroeconómicamente. El monto de producción agrícola total y el de exportación en los últimos años están aumentando favorablemente junto con el avance del tratado de libre comercio. Es cierto que en Chile subsisten problemas grandes tales como medidas para agricultores pobres, mejoramiento de la calidad del agua para uso agrícola, etc., pero la agricultura es esencialmente ineficiente como la industria, y en cualquier país es difícil que todos los agricultores se independicen. Por eso todos los países desarrollados ayudan a su agricultura de cualquier forma. En la actualidad, tomando en consideración las negociaciones agrícolas de la Organización Mundial del Comercio (OMC), se realizan las asistencias a la agricultura que no produzcan problemas. La necesidad de proteger la agricultura de esta manera implica que la agricultura tiene las funciones de conservar el territorio nacional y el medioambiente que otras industrias no tienen, y que el aseguramiento de comestibles es un tema nacional. Considerando las situaciones de la agricultura chilena bajo estas circunstancias en el fondo, se juzga baja la necesidad de reformar drásticamente el manejo de derechos de aguas que puedan influir enormemente en los agricultores.

② Como he mencionado anteriormente, Chile es un país relativamente difícil de sufrir climas anormales y propagación desusada de plagas y enfermedades, y además sus productos agrícolas no son de producción única, habiendo agricultores de explotación múltiple como frutas,

verduras, etc. Como resultado de esto, difícilmente ocurren casos en que la administación agrícola del año se abata extraordinariamente y que no puedan vivir si no venden derechos de aguas. También, como subsisten muchos derechos de aguas convencionales, aunque quieran venderlos, la situación no lo permite. Por lo tanto, hay pocos casos en que los derechos de aguas se venden y que la tierra agrícola restante se arruina.

De todo esto, propongo lo siguiente para los derechos de aguas en el futuro :

El régimen actual de permitir la transacción libre en el mercado no es deseable, pero considerando el hecho de no haber ocurrido problemas serios hasta ahora, confusiones políticas que se preve generar por el despojo del derecho de bienes, y las situaciones actuales de la agricultura que está desarrollándose favorablemente en forma general, el principio del régimen debiera mantenerse tal como está.

En este caso, es deseable tomar contramedidas para el demérito del régimen "desolación de la tierra agrícola por la venta de derechos de aguas". La causa principal es la separación de la propiedad de derechos de aguas y la del terreno. Pero si se hacen coincidir éstos, es decir "la compraventa simultánea de derechos de aguas y el derecho de terreno" impide al contrario el uso eficiente de terrenos, teniendo en cuenta la situación de que el traslado de aguas se dirige del uso agrícola al uso urbano. La posibilidad de dejar los terrenos comprados es alta. Por otro lado, en caso de la compraventa entre los agricultores, generalmente se considera conveniente que los terrenos y las aguas se transfieran al mismo momento, pero se puede suponer casos en que no haya demanda de terrenos. Su ejemplo es que se aumenta la cantidad de aguas necesaria para mejorar la productividad de la tierra agrícola existente. Por consiguiente, es adecuado dejar el juicio en manos de los agricultores si es pertinente comprar al mismo tiempo el terreno y el agua o no. Viendo así, tampoco es adecuada la política de obligar "la compraventa simultánea de derechos de aguas y de terreno".

Pero, si se deja así, se puede suponer que el traslado de derechos de aguas (en realidad del uso agrícola al agua potable) se amontone y que aumenten paulatinamente terrenos inactivos, por lo cual se necesita tomar algunas medidas. Para ello, recomiendo que hagan "la designación de terrenos excelentes" en el territorio nacional. Ésta es una política condicional por que desde el punto de vista del fomento agrícola se designan terrenos agrícolas que el país necesita proteger, para los cuales se permite la transferencia de derechos de aguas sólo entre los agricultores, y de esta manera para el futuro se aseguran como tierra agrícola con agua para riego. Por supuesto sólo se permite el traslado de tierras del uso agrícola al público como escuelas, carreterras, aeropuertos, etc. Considerando el asegurarniento de la tasa de autarquía alimentaria para el país y la estabilidad de la posición como industria exportadora, se designan terrenos agrícolas de alta productividad agrícola por unidad de unos millones de hectáreas. En Chile hay ejemplos en que se designan usos de terreno desde el punto de vista de la planificación rural o urbana. La idea es ampliarlo en todo el país y asegurar los terrenos agrícolas excelentes necesarios como nación.

Pero esta política resulta una reforma más drástica que el cambio del manejo de derechos de aguas, y en este momento no es adecuado realizarlo apresuradamente. Porque la agricultura actual anda bien en general. Por lo tanto, ¿qué les parece que en vez de esta reforma, como política real sólo se designen terrenos agrícolas excelentes como nación, y que cuando allí surjan solicitudes de la transferencia de derechos de aguas o de terrenos, se necesite el permiso?. Como entidad que otorga el permiso, se pueden pensar en DGA, municipalidades o nuevas organizaciones (compuestas de colectividad pública, grupo de agricultores, institución privada, etc. por cuenca). Como estándar de este permiso se pueden considerar la necesidad del desarrollo local, la importancia como la agricultura, la conservación del medioambiente, entre otros. De esta manera se puede evitar la inactividad de terrenos buenos y posteriores daños acompañados por ésta. Pero, como las tierras agrícolas designadas llevan deméritos como

dificultad de traslado de sus derechos de aguas o de terrenos, es necesario indemnizar por esto. En relación a esta indemnización se puede pensar en la adopción preferente de proyectos públicos. Es un sistema en que, si se designan como terreno agrícola excelente, se restringe la compraventa de aguas o de terrenos, y que pueden recibir preferentemente la adopción de proyectos públicos. Dependiendo del caso, también se puede pensar en deducción de impuestos sobre terrenos o aumento de la tasa de subsidio para proyectos.

Este tipo de política es contrario a la reforma administrativa o a la política de la utilización del mecanismo del mercado que el gobierno chileno viene llevando a cabo, pero en caso de la agricultura las tierras agrícolas no son bienes libremente transables en el mercado, lo cual he mencionado varias veces. Considerando la economía externa tales como conservación de agua en la tierra agrícola, prevención de pérdida del suelo, conservación del ecosistema, función de absorción del monoóxido de carbono, esto resulta aún más claro.

Resumiendo todo lo arriba mencionado, en materia del régimen de derechos de aguas chileno, estoy de acuerdo con la idea actual de modificar el Código de Aguas sin cambiar el principio. Pero, lo importante al mismo tiempo es asegurar una determinada área de tierras agrícolas buenas como nación, permitir allí el trastado de derechos de aguas y de terrenos, y emplear políticas como adopción preferente de proyectos públicos.

5.2.2 Introducción del modelo chileno a otros países

La introducción del modelo chileno varía naturalmente su pertinencia según la situación del país. Pero, lo que tenemos que pensar en general son sus pros y sus contras de la introducción destinada a los países en vías de desarrollo. En realidad, son estos países a los que el Banco Mundial y el Banco Interamericano de Desarrollo recomiendan.

En este caso, como los países pensantes en lo bueno o lo malo de la introducción no adoptan todavía este régimen, la clave a estudiar está en el punto de partida. Es decir, como he mencionado al inicio del 5.2.1, el dejar los derechos de aguas para uso agrícola en manos del mecanismo del mercado tiene méritos y deméritos, pero no puedo menos de decir que en forma global hay más deméritos. Sobre todo, si países pobres introducen este régimen, hay alto riesgo de que agricultores pobres vendan sus derechos de aguas para la vida diaria y que tierras agrícolas en que faltan aguas se arruinen. Seguramente esas aguas irán al uso urbano o al industrial. Viendo así, lo que recomienda el Banco Mundial y otros es la industrialización de los países pobres, y sólo puedo pensar que la agricultura se dirija a la decadencia. Como resultado de esto, ¿se fomentará el nomadismo de gran cantidad de agricultores, llevando a la caída de la sociedad local.? Como las aguas han sido gratis hasta ese momento y ahora se pueden vender siendo valoradas, los ingresos individuales aumentan temporalmente. Pero esos son bienes de burbuja que no tienen sustitutivos como bienes tangibles, y finalmente se reflejan en los precios de productos industriales que compraron las aguas, produciendo productos caros nacional e internacionalmente. Es evidente que esto no favorece nada económicamente a los países en cuestión.

Por consiguiente, la política a adoptar es asegurar la producción agrícola designando tierras agrícolas excelentes, desde el punto de vista de la agricultura que es la principal industria para la mayoría de los países en vías de desarrollo. Esta política se liga al mismo tiempo al mantenimiento de la función de conservación del ambiente del territorio nacional. Basándose en esto, si se introduce el modelo chileno con miras a terrenos considerados fuera de las tierras agrícolas buenas, hay posibilidad de realizarse el mérito más grande de esta política, que es "la utilización eficiente de aguas por el traslado sin roces de derechos de aguas". Por lo menos se debe ejecutar paraleramente el desarrollo industrial y el aseguramiento de terrenos agrícolas excelentes mediante la transferencia sin roces de derechos de aguas.

6. Epílogo

Este estudio es la reflexión del régimen de derechos de aguas en Chile, teniendo en cuenta las opiniones de expertos y los resultados de investigaciones hasta la fecha. El régimen en que los derechos de aguas se comercializan en el mercado igual que otros bienes es un experimento de gran magnitud, llamado modelo chileno, rivalizando con otras liberalizaciones económicas. Parece que el experimento tiene buenos resultados en forma general aunque contiene varios problemas. Pero a ésto contribuyen mucho las singularidades de este país tales como condiciones peculiares climáticas e hidrológicas, la radicación de derechos de aguas convencionales, etc. También influyen favorablemente las buenas situaciones sociales y económicas y el avance en el desarrollo del país. Excluyendo estos puntos y analizando puramente los pros y los contras del régimen, las aguas para uso agrícola y los terrenos agrícolas no tienen la maleabilidad como elementos productivos, acompañándose de muchos elementos difíciles de internalizar en el mercado, lo cual nos permite pensar que no se puede tratar igual que otros bienes desde el punto de vista de la economía política. Mirando las situaciones reales de Chile, se puede reconocer los méritos como la transferencia sin roces de derechos de aguas y el efecto de la reducción del consumo del agua, pero también hay muchos deméritos tales como la desolación de tierras agrícolas, la generación de problemas ambientales. En general, no puedo menos de decir que este régimen tiene la posibilidad de traer más deméritos para la agricultura. Bajo esta circunstancia, para aprovecharse de los méritos sin generar defectos lo más posible, se necesita una preparación cuidadosa en materia de políticas agrícolas.

Para esto, lo importante es asegurar ampliamente tierras agrícolas excelentes necesarias como nación. Esto es un tema esencial en las políticas agrícolas dependiente del problema de derechos de aguas, y considerando la posibilidad de arruinar el terreno agrícola por la transferencia de derechos de aguas, su necesidad se acentúa aún más. Esto debilita la función del mecanismo del valor basada en la competencia libre, pero muestra que la agricultura no se familiariza con la competencia perfectamente libre en el concepto de la irreversibilidad que tiene la agricultura y de la función de conservación ambiental del territorio nacional. Además, si se considera la seguridad de comestibles, con mayor razón. Para reprimir generaciones de desventajas se necesita tomar medidas tales como un establecimiento de flujo ecológico del cauce, implementación de organismos mediadores de conflictos que posean conocimientos especializados, colección y publicación de diversos tipos de datos, etc.

Por lo tanto no pienso que sea deseable la medida de introducir inmediatamente el régimen chileno a otros países, sobre todo, de base financiera débil. Me parece que para estos países se hace posibile el desarrollo industrial mediante la transferencia sin roces de derechos de aguas sólo después de que ellos primero lleven adelante las políticas agrícolas y que posteriormente implementen esta política.

Desde este punto de vista, la conclusión de este estudio es que el pensar la forma deseable de la existencia de derechos de aguas es todo igual al pensar la forma deseable de existir las tierras agrícolas excelentes.

A próposito, he escrito este trabajo como experto de JICA que presta servicio al Ministerio de Agricultura en Chile, y advierto que sus contenidos son opiniones personales, no las del Ministerio de Agricultura ni de la oficina de JICA en Chile. Finalmente, al resumir este estudio, me ayudaron y orientaron mucho el Sr. Carlos Aviles y los funcionarios de la Comisión Nacional de Riego del Ministerio de Agricultura y la Sra. Karin Baeza de la Universidad de Chile. Nuevamente quiero expresarles mis agradecimientos.

INFORME FINAL DE TRABAJO

EXPERTO DE JICA

MINISTERIO DE AGRICULTURA

JUN KUROSAWA

Junio de 2005

1. Prefacio

El experto que escribe, desde su llegada al Ministerio de Agricultura en junio de 2002 hasta la salida en junio de 2005, ha podido tomar parte en diversas políticas y administraciones ambientales relacionadas con ODEPA y CNR, principalmente en la conservación del medioambiente agrícola, lo cual procede de las colaboraciones del Sr. Hector Jeria, contraparte, el Sr. Nelson Pereira, jefe de Departamento de Política y Coordinación, Sr, Carlos Avilés y los funcionarios de CNR, Sra. Cecilia Rojas y los funcionarios de ODEPA, quedándome sumamente agradecido a ellos.

En el trabajo del presente experto, se incluyeron tanto la coordinación de los proyectos existentes como el de CADEPA en Chillán en colaboración entre Chile y Japón como la formación de nuevos proyectos, y el trabajo principal durante tres años ha sido investigación y estudio sobre el mejoramiento de la calidad de aguas para uso agrícola. Esto se debe a que los temas actuales en la agricultura chilena tratan acerca del mejoramiento de la vida de la población rural y el aseguramiento de la calidad de los productos de exportación a Europa y América. En la primera mitad de la misión también he trabajado en el problema del medioambiente como la administración de los parques nacionales de los que el Ministerio de Agricultura es responsable, y en la segunda mitad el análisis hidrológico de la zona secano del norte de Chile y el problema de derechos de aguas, asunto peculiar de Chile.

Acerca de estos trabajos, siempre los he informado a los interesados, pero en esta oportunidad nuevamente quiero resumir las principales actividades hechas como experto.

2. Resúmen de los trabajos

A continuación se describe el resumén de trabajos realizados en cada año durante la misión como experto.

(1) Año 2002

A principios de la misión de 2002, pude introducir un aparato de eliminación de arsénico en la zona de San Pedro de Atacama en colaboración con la Embajada de Japón. Esto se debe mayormente al esfuerzo del Sr. Sawayama, experto predecesor. También cooperé en el mejoramiento de equipos y materiales de GIS, que son necesarios para la investigación y el diseño del riego, el mejoramiento de instalaciones de observación meteorológica del Instituto Intihuasi de INIA, etc.

También, este año correspondía al año de la evaluación intermedia de los proyectos de CENEREMA y CADEPA, y por lo tanto me dediqué a la coordinación entre las instituciones involucradas chilenas y japonesas, y en cuanto al proyecto de CADEPA al estudio relacionado con el plantío directo.

(2) Año 2003

En este año empecé a toda escala el trabajo de mejoramiento de la calidad de aguas para uso agrícola. En forma concreta, participé en el estudio de la calidad del agua del río Mataquito, y al mismo tiempo comencé la investigación de "la metodología de calidad hídrica mediante los bentos" junto con la Facultad de Biología de la Universidad de Chile. También escribí varios informes sobre el mejoramiento del medioambiente. Además seguía el trabajo relacionado con GIS y la coordinación del proyecto CADEPA. Especialmente en el proyecto CADEPA, en aquel momento empezó a ponerse sobre el tapete, el establecimiento del Banco de Máquinaria Agrícola que está ligado al futuro del plantío directo y medidas para la contención de colibacilo en agua de pozos.

(3) Año 2004

En relación al agua para uso agrícola, este año también continué la investigación sobre metodología de calidad hídrica del río Maipo, y obtuve un cierto fruto presentando el resultado a los interesados. Espero que de ahora en adelante esta metodología se difunda en Chile. En cuanto al trabajo relacionado con el medioambiente, hice estudios sobre el método de conservación de tierras pantanosas en el sur y la educación del ambiente, a petición de la Oficina de JICA. En el área de la agricultura, se aclaró una necesidad de reparar canales de riego desgastados, y por lo tanto formé un proyecto en colaboración con la Embajada. Además, como era la época de la evaluación final de los proyectos de CENEREMA y CADEPA, me encargué del trabajo de coordinación. Los dos proyectos son excelentes, y en torno al proyecto CADEPA se decidió prolongarlo dos años más por tener temas como la continuidad del plantío directo, aseguramiento de fuentes de agua, mejoramiento de calidad de aguas, etc.

(4) Año 2005

A partir de enero me dediqué principalmente al cálculo hidrológico de derretimiento de la nieve en ríos y al tema de derechos de aguas en Chile. En cuanto al primero, se trata de desarrollar un método pronóstico de caudales fluviales aprovechando la peculiaridad de la zona central y septentrional de Chile donde casi no llueve desde la primavera hasta el otoño y que depende de aguas derretidas de nieve de los Andes como fuentes de agua, y en relación al segundo es exponer mi opinión sobre la forma adecuada de existencia de derechos de aguas en Chile. También continúo el trabajo de coordinación del proyecto CADEPA y el mejoramiento de la calidad del agua.

2. Presentación de informes principales

Como informe de trabajo adjunto los informes principales presentados al Ministerio de Agricultura hasta la fecha, y sus resúmenes se escriben a continuación.

(1) "Noción General sobre la calidad del agua de riego"

Explicación general de los puntos importantes como conocimiento previo al abordar los temas particulares, desde el análisis de investigación hasta estudio de medidas, en relación a la conservación de la calidad del agua para uso agrícola

(2) "Introducción de la metodología de calidad hídrica mediante comunidades biológicas en Chile"

Presentación de diversos métodos sobre el uso de organismos vivientes para determinar económicamente la calidad del agua de mediano y largo plazo de las zonas de agues

(3) "Estrategias de control de eutroficación de agua de riego"

Explicación general de causas y medidas sobre la eutroficación de las zonas de aguas que es destacada recientemente en la parte central y austral de Chile. Sobre todo, presenté un plan según casos acerca de medidas prácticas en consideración a la adaptación del lugar.

(4) "Consideración sobre la metodología para la determinación de la calidad del agua mediante las comunidades biológicas en la cuenca del río Maipo"

Informe de resultados de análisis por el método Beck-Tsuda como prueba, en la investigación biológica en el río Maipo realizada en colaboración con JICA, CNR y la Facultad de Biología de la Universidad de Chile en marzo de 2002

(5) "Consideración sobre la metodología para la determinación de la calidad hídrica mediante las comunidades biológicas en la cuenca del río Maipo, Chile"

Como resultado de la investigación biológica del río Maipo durante dos años se confirmó la posibilidad de adaptar el método Beck-Tsuda, y presenté la proposición del método concreto de decisión junto con la propuesta de organismos vivientes que sirven como indicador.

(6) "Sistema de riego en la zona secano del norte de Chile"

Explicación general sobre la construcción de represa subterránea que se considera necesaria en el futuro para la agricultura del norte de Chile, el desarrollo del método pronóstico de aguas derretidas de nieve, método adecuado de reparación de canales de riego desgastados, y la forma adecuada de la existencia de derechos de aguas.

(7) "Investigación sobre análisis de derretimiento de nieve en la cuenca del río Maipo"

Mención al respecto de la posibilidad en el futuro sobre el método de análisis de aguas derretidas de nieve de los Andes, realizando tanto colecciones de datos hidrológicos existentes, tesis de investigación en Chile, informaciones de la lectura distante, etc. como la exploración en el sitio.

(8) "Consideraciones sobre derechos de aguas en Chile"

Consideración sobre derechos de aguas en Chile, régimen mundialmente peculiar, basándome en entrevistas a los interesados e investigaciones existentes. Mención de la necesidad de planear un proyecto de uso de terrenos como política agrícola chilena

4. Epilogo

Lo arriba mencionado es el trabajo realizado por el presente experto, y a lo mejor no es suficiente, pero para mí estoy satisfecho de haber podido llevar a la práctica la metodología para determinar la calidad hídrica de comunidades biológicas, de haber hecho el análisis de derretimiento de la nieve de los Andes y de haber puesto en órden mis ideas sobre derechos de aguas.

Hay muchas cosas a lamentar, y sobre todo siento pena de no haber podido designar según la Convención Ramsar y Parques Nacionales en relación a la protección de alguna tierra pantanosa, de no haber podido hacer pruebas de método de reparación de canales de riego desgastados, de no haber podido desarrollar el análisis de derretimiento de nieve al pronóstico de la cantidad de aguas para uso agrícola, de no haber podido construir instalaciones para mejorar la calidad del agua, y de no haberme referido a la política de aseguramiento de terrenos excelentes a lo largo del país.

Sin embargo, en un corto tiempo de tres años, y a pesar de barreras del idioma, lo que he hecho se debe únicamente a la colaboración de los funcionarios de CNR y ODEPA.

Particularmente agradezco mucho por su amable atención tanto pública como privadamente a los Sres. Gastón Sagredo, Juan Pablo, Julia Toro, y Mónica Pereira. Les expreso de nuevo mi profundo agradecimiento.

Finalmente, deseando un desarrollo cada vez mejor del Sr. Rolando Nuñez y su gente de CNR y los funcionarios de ODEPA que me ayudaron, termino mi informe final.

Junio de 2005
Jun Kurosawa

INDICE

1. Noción General sobre la calidad del agua de riego

2. Introducción de la metodología de calidad hídrica mediante comunidades biológicas en Chile

3. Estrategias de control de eutroficación de agua de riego

4. Consideración sobre la metodología para la determinación de la calidad del agua mediante las comunidades biológicas en la cuenca del río Maipo

5. Consideración sobre la metodología para la determinación de la calidad hídrica mediante las comunidades biológicas en la cuenca del río Maipo, Chile

6. Sistema de riego en la zona secano del norte de Chile

7. Investigación sobre análisis de derretimiento de nieve en la cuenca del río Maipo

8. Consideraciones sobre derechos de aguas en Chile

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 agüa 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 el. 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 el 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 e 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.

Cientfficamente, 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 consideran 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 algun 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 ésta, 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 si, 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 intrínsicamente 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 BIOLOGICAS EN CHILE

—CONSERVACION DE CALIDAD DE AGUAS DE RIEGO—

MARZO 2003

INTRODUCCION DE LA METODOLOGIA PARA LA DETERMINACION DE CALIDAD HIDRICA MEDIANTE COMUNIDADES BIOLOGICAS 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 especiamente 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 rió tiene aguas limpias, con un DBO_5 de menor a 1ppm 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 año1902 (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, Cincinatti, 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, DBO_5, nitrógeno orgánico, cambios de especies biológicas en un supuesto río con un flujo de $100ft^3$, 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) polisaprobiotico (polysaprobic); b) α–mesosaprobiotico (α–mesosaprobic); c) β–mesosaprobiotico (β–mesosaprobic); y d) oligosaprobiotico (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 bibliografica, 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, DBO_5, 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 ODB_5, 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 practica del método de determinación de calidad hídrica mediante comunidades biológicas, considerando las ventajas y desventajas de este, se debe estipular previamente un objetivo especifico, 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. Ademas 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, colectar todos los organismos visibles a simple vista.
e) Identificar taxonómicamente los organismos colectados. Dividir los organismos en tolerantes e intolerantes a contaminación. En el sistema de saprobiotico(saprobic system), los organismos oligosaprobioticos corresponden a los intolerantes a contaminación; los mesosaprobioticos y polisaprobioticos 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,

índice biotico=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 vise 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 colectar 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 aproximádamente 30 minutos. Luego, con los organismos colectados 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 1al 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 formula.

Índice de contaminación $= \Sigma (S \times h) / \Sigma \times h$

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	*Dugesia gonocephala* *Epeorus latifolium* *Baetiella japonica* *Oyamia gibba* *Hydropsyche ulmeri* *Simulium sp.*
1.51～2.50	βms	*Baetis sp.* *Potamanthus kamonis* *Hydropsychodes brevilineate* *Macronema radiatum* *Tanypodinae* *Spaniotoma sp.*

2.51~3.50	αms	*Asellus hilgendorfi* *Herpobdella lineata* *Bateéis sahoensis* *Notonecta triguttata* *Laccotrephes japonensis* *Ranatra chinensis*
3.51~4.00	Ps	*Tubifex sp.* *Physa acuta* *Chironomus sp.*

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.

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 (ΣSap) para determinar el nivel de contaminación de las aguas del río en estudio.

Promedio de evaluación ΣSap=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	
Ephemera japonica	9	1	0	0	4
Ecdyonurus yoshidae	7	3	0	0	3
Oyamia gibba	8	2	0	0	3
Mataeopsephenus japonicus	3	5	2	0	2
Luciola cruciota	9	1	0	0	4
Chironomus plumosus	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	
Ephemera japonica	5	180	20	0	0	200
Ecdyonurus yoshidae	6	63	28	0	0	91
Oyamia gibba	3	72	18	0	0	90
Mataeopsephenus aponicus	2	12	20	8	0	40
Luciola cruciota	2	12	8	0	0	20
Chironomus plumosus	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

Zβms=zβms x h x g=5 x 2 x 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 colectar 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 oC).

③ Calcular el índice saprobiótico (S; Saprobic Index) mediante la siguiente fórmula.

$$S = \Sigma ns / \Sigma n$$

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
Comisón 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 eutroficacion 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 eutroficacion 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) Eutroficacion: 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 estan 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 Oxigeno (DBO): Es la cantidad de oxigeno que es consumido por la respiración o reproducción de organismos acuáticos en muestras de agua bajo condiciones aeróbicas (gran presencia de oxigeno disuelto) y otras condiciones ambientales establecidas. Normalmente, el índice de contaminación corresponde al monto de oxigeno consumido durante 5 días a 20°C. Mientras mas alto es el valor del índice BOD, mayor es la presencia de elementos en descomposición. Menor a 2,5 ppm, indica aguas oligosapróbicos 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 oxigeno disuelto se hace escaso. La presencia de N-NH4, no solo causa la eutroficacion, sino que tambien 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 eutroficacion sino que también es dañino para el cuerpo humano, ya que dentro de los vasos sanguineos reacciona con la hemoglobina, disminuyendo la eficiencia del transporte de oxigeno. Además, dependiendo de las condiciones, se sabe que se produce nitrosamina, un compuesto altamente cancerigeno.

- 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 eutroficacion. El N-NO3 por si solo no es toxico, sin embargo, una vez dentro del cuerpo humano, se reduce, transformándose en N-NO2 y causando enfermedades. Por ello, en Japón esta 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 mas utilizado como índice de eutroficacion. La cifra limite entre eutroficacion y oligotroficacion es 0.15 a 0.2 mg/lt.
- Nitrógeno Kjerdahl (N-K): es el nitrógeno medido por el método Kjerdahl, 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) esta 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 fosforo extraido del suelo por sobre explotación, fertilizantes o pesticidas aplicados en areas 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 eutroficacion, 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 eutroficacion.

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 eutroficacion. 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 Anavaena. 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 eutroficacion 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 establecio 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 patogenisidad 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 eutroficacion, problemas provocados y estrategias básicas de control

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

Desde este punto de vista, la causa de la eutroficacion seria 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 absorcion 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 orgánios 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 eutroficacion 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 eutroficacion se ramifican en varias areas. Para considerar una estrategia de control, para cada caso de eutroficacion 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 eutroficacion 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 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 eutroficacion.

Actualmente, se están ejecutando controles de eutroficacion 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 regadío.

a) Estrategia de control en fuentes de contaminación

a.1) Estrategia de ingeniería bioecologica.

Como método de tratamiento de aguas de desecho de viviendas, se realizan tratamientos de mantención 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 esta 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 ultimas investigaciones en relación al tratamiento de nitrógeno y fósforo en cuestión, están mostrando una tendencia hacia un sistema de purificación de aguas llamado ingeniería

bioecologica. 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 amoniaco. Continuamente, los microorganismos aeróbicos transforman el amoniaco en nitrito y luego en nitrato. Al devolver esta agua al tanque con microorganismos anaeróbicos, las bacterias denitrificantes ocupan el oxigeno de NO2 y NO3 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 utililiza 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 util, 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 publico. 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 habiten 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 eutrofication, 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 necesitaríauna 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 oxigeno, y para ello se debe elegir entre usar oxigeno 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 mas que el sistema método de lodo activado, y el tiempo requerido para purificación es mayor, requiriendo de mas 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 seria optimo 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 mas 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 oxigeno 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 eutroficacion. En especial los lagos artificiales como represas, se observan frecuentemente casos de eutroficacion 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 todo 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 oxigeno 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 numero 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 eutroficacion 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 mas 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 rio 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 rio, 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 tambien para poder eliminar el lodo contaminado.

El problema que presenta este método, es que se requiere de un espacio de construcción al lado del rio 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 ultimos.

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 seria el agricultor. Adicionalmente, en los ultimo 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 fosforo. 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 oxigeno 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 mas 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 mas 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, esta 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 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 seria, 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 esta al alcance de todo el publico. Cada institución tiene sus propios datos, y la diseminación de ella es insuficiente, por lo que seria 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 eutroficacion. El aceleramiento de la eutroficacion, 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 eutroficacion, 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 especificas 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 el los tratamientos de aguas servidas. El problema es la posibilidad de producción de tri-halo-metano, que es cancerigeno, 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 tambien complementarse con las estrategias de control de eutroficacion 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 bénticos y diatomea en la Facultad de Ciencias de la Universidad de Chile y se informó junto con el resultado del analisis 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 Rí 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 - - - - DBO_5 menos de 2.5ppm
- β mesosaprobio - - -DBO_5 2.5 – 5ppm
- α mesosaprobio - - -DBO_5 5 – 10ppm
- Polisaprobio - - - - - DBO_5 más de 10ppm

Se utiliza el DBO_5 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 DBO_5, 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 DBO_5, ya que hay pocos datos comparables.

En cuanto a la correlación entre DBO_5, y T-N etc., naturalmente, si DBO_5 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 sólamente.

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 prespuestado 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, BDO_5, 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／㎥, Unidad de DBO_5: 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 DBO_5 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 BDO_5. 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 bénticos y calidad del agua.

Tabla-3 Distribución de los organismos bénticos 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 punots en total, menor cantidad.
Biomphalaria sp.	I	Habitan solo en 3 puntos de B. Menor cantidad.
Blephariceridae indet.	II	Habitan en 3 puntosde A' y en un punto de A, con menor escala.
Camelobaetidius sp.	I	Habitan en 4 punots de B y en un punto de C. Mucha cantidad en C.
Chironomidae indet.	I	Especie predominante que habitan desde A' hasta D, con abundacia. 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 abundacia desde A' aC, con mayor cantidad enC.
Empididae indet.	—	Habitan en abundacia desde A' aC, 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. Pricipalmente 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 representatives que habitan en abundacia 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 catidad medio.
Physa sp.	I	Habitan en 6 puntos de B y en 3 puntos de C, pricipalmente 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 abundacia desde A' a D. Dificultad para determinar I oII.
Smicridae sp.	I	Uno de los especies representativos que habitan en abundacia 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 DBO_5 se puede tener alguna incognita 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 futura 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 organisms 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, igaul que en el caso de los organismos bénticos. Se indicó también la proposición de la clasicicación. 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	Clacificación
BDO_5 (ppm)	2.5>	2.5～5	5～10	10<	
Achnanthes speciosa	49.6	50.4			II
Achnanthes submarina	70.2	13.7	28.5		II
Achnanthidium minut-	92.8	6.9	0.1	0.2	III
Amphora spp	75.6	17.7		6.7	II
Brachysira aponina	98.6	1.4			III
Cocconeis placentula	2.3	93.6	4.1		II
Cymbella affinis	31.5	68.5			II
Cymbella helvetica	99.9			0.1	III
Cymbella pusilla	5.2	94.8			II
Cymbella spp	100.0				III
Denticula elegans	90.7	9.3			III
Denticula kuetzingi	60.6	6.8	21.8	10.9	I
Denticula valida	6.5	93.5			II
Diatoma moniliformis	88.0	0.5	9.7	1.8	II
Diatoma vulgaris		98.8	1.2		II
Encyonema minutum	100.0				III
Encyonema silesiacum	100.0				II
Fragilaria brevistriate		100.0			II
Fragilaria pinnata	56.7	3.1	40.2		II
Gomphonema angust-	91.7	8.3			III
Gomphonema angustu		92.2	7.8		II
Fragilaria brevistriate	72.9	0.2	0.1	26.8	I
Gomphonema parvulu			57.1	42.9	I
Gomphonema spp	20.4	75.5	0.9	3.2	II
Melosira varians		86.0	14.0		II

Navicula atomus	0.3	96.1	3.7		II
Navicula capitatora-		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
Phoicosphenia abbrev-		100.0			II
Rhopalodia conatricta	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

ClasificaciónIII : 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 clacificación 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 BDO_5 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 mayoria absoluta, por lo que se necesitan más investigaciones para saber donde está el problema, diferencia de la región, etc.

3. Posibilidad de establecer la medodología 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 presición. 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 siguentes. 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 frecuancia 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 calculo 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 aparicidos 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	
Clacificación	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) ÷3=14. 7

A = (14+13+15+8) ÷4=12. 5

B = (14+9+7+7+6+17+14+12+9+12+9) ÷11=10. 5

C = (7+11+14) ÷3=10. 6

D = (5+5) ÷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 determinacón 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 cífras 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 occure 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 clacificadas en I y III) : 2.5 puntos

III (Diatomea intorelante al agua contaminada) : 1 punto

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

$S = \Sigma ns \ / \ \Sigma n$

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) ÷ 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)÷11=2.02

C=(2.14+2.46+2.50)÷3=2.37

D=(2.32+2.27)÷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. Resúmen 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. Ademas 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, colectar todos los organismos visibles a simple vista.

e) Identificar taxonómicamente los organismos colectados. Dividir los organismos en tolerantes e intolerantes a contaminación. En el sistema de saprobiotico(saprobic system), los organismos oligosaprobioticos corresponden a los intolerantes a contaminación; los mesosaprobioticos y polisaprobioticos 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,

índice biotico=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 vise 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 colectar 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 aproximádamente 30 minutos. Luego, con los organismos colectados 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 1al 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 formula.

índice de contaminación $= \Sigma(S \times h) / \Sigma \times h$

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	*Dugesia gonocephala* *Epeorus latifolium* *Baetiella japonica* *Oyamia gibba* *Hydropsyche ulmeri* *Simulium sp.*

1.51~2.50	βms	*Baetis sp.* *Potamanthus kamonis* *Hydropsychodes brevilineate* *Macronema radiatum* *Tanypodinae* *Spaniotoma sp.*
2.51~3.50	αms	*Asellus hilgendorfi* *Herpobdella lineata* *Bateéis sahoensis* *Notonecta triguttata* *Laccotrephes japonensis* *Ranatra chinensis*
3.51~4.00	Ps	*Tubifex sp.* *Physa acuta* *Chironomus sp.*

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 (ΣSap) para ar el nivel de contaminación de las aguas del río en estudio.

Promedio de evaluación $\Sigma Sap=\Sigma(zi \times hi \times gi) / \Sigma(hi \times gi)$

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	
Ephemera japonica	9	1	0	0	4
Ecdyonurus yoshidae	7	3	0	0	3
Oyamia gibba	8	2	0	0	3
Mataeopsephenus japonicus	3	5	2	0	2
Luciola cruciota	9	1	0	0	4
Chironomus plumosus	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	
Ephemera japonica	5	180	20	0	200
Ecdyonurus yoshidae	6	0			91
Oyamia gibba	3	63	28	0	90
Mataeopsephenus aponicus	2	0			40
Luciola cruciota	2	72	18	0	20
Chironomus plumosus	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			

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 colectar 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 oC).

③ Calcular el índice saprobiótico (S; Saprobic Index) mediante la siguiente fórmula.

$$S = \Sigma ns / \Sigma n$$

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

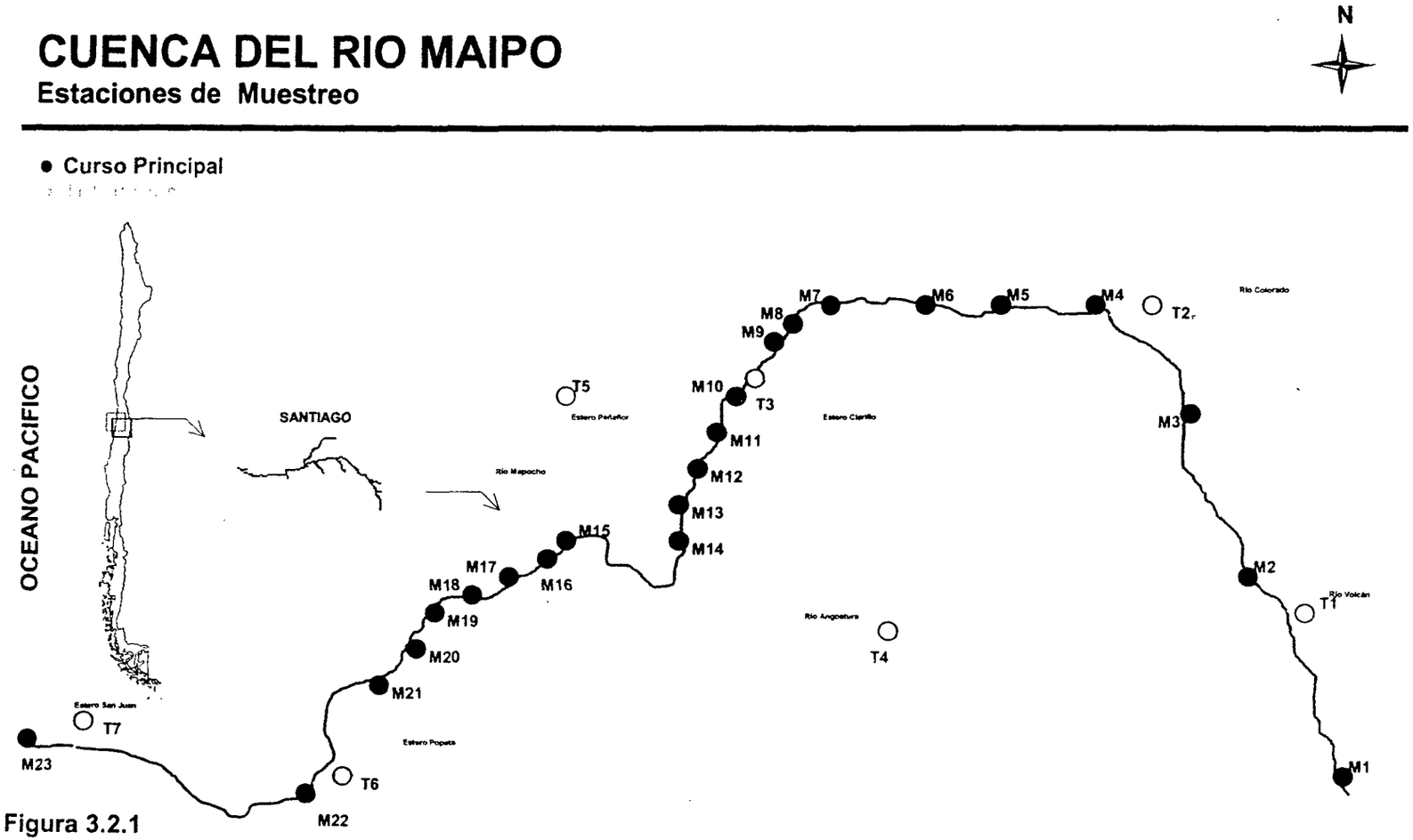


Figura 3.2.1

M1: Río Maipo sector Las Melosas, **M2:** Río Maipo sector Ingenio, **M3:** Río Maipo sector de San Alfonso, **M4:** Río Maipo aguas abajo desembocadura rió 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 rió Mapocho, **M17:** Río Maipo aguas abajo desembocadura rio Mapocho, **M18** Río Maipo en sector Chiñihue (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:** Rio M<aipo 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 Peñaflor, **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	ºC	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
$SO4^{=}$/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
$SiO3^{=}$ /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	ºC	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	5,50	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	551,8	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 las7 estaciones de muestreo en la cuenca del río Maipo. Tributarios.

Estación/Parámetro	Unidad	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
Temperatura	ºC	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+l	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
HCO3-	mg/l	237,03	159,84	196,57	135,92	255,90	310,95	304,36
CO3=	mg/l	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
$SO4^{=}$	mg/l	96,75	118,05	110,36	25,74	75,44	99,70	8,58
$SiO3^{=}$ 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-NO2	µg / l	D	D	2,34	37,6	8,92	D	N.D
N-NO3	µg / l	168,50	163,50	583,50	978,50	858,50	563,50	68,53
N-NH4	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-PO4	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/mm^2) 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
Achnanthes aff. gibbula												15,5																		
Achnanthes brevipes																														
Achnanthes minutissima v saprophila																														
Achnanthes speciosa			46,9							26,5		7,8				40,9										31,3			8017,9	
Achnanthes spp																														
Achnanthes submarina			140,7	487,8						2,0		15,5		109,6												31,3				
Achnanthidium minutissimum	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
Amphora acutiuscula										2,0																				
Amphora aff. copulata																														
Amphora atacamae																														
Amphora carvajaliana												7,8																		
Amphora lineolata v. calamae																														
Amphora spp			140,7						3,5	4,0	44,7															16,4		381,5		
Asterionella formosa																							381,7							
Bacillaria paradoxa																														
Brachysira aponina				97,6						2,0																				
Céntrica																			2,4											
Cocconeis placentula v. euglypta				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
Cyclotella ocellata																														
Cyclotella spp																														
Cymatopleura solea																														
Cymbella affinis		27,3	348,8	440,7						12,0			2779,5													32,9				
Cymbella helvetica	12427,8	49,2	697,6	6196,2		187,1	1520,2		7,1															113,3	10,4					
Cymbella microcephala																				183,3										
Cymbella pusilla				97,6								15,5	2779,5																	
Cymbella spp			93,8	211,9		207,7	288,6																	55,9	192,4					
Cymbellonitzschia sp.																														
Denticula elegans			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	
Denticula kuetzingi			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
Denticula subtilis					122,9																									
Denticula thermalis		2,7																											2672,6	
Denticula valida						20,6		5,9		319,5		139,5																		
Diatoma moniliformis	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
Diatoma vulgaris																40,9	9,4	31,0	9,6		1900,2	673,5	212,5			156,1		100,4	5345,3	
Encyonema minutum			140,7	16,8		10,3	577,3																	70,3						
Encyonema silesiacum	801,8	49,1		33,7			240,5																	13,9	192,4					
Fragilaria bicapitata																														
Fragilaria brevistriata										8,0	21,6	31,0																		
Fragilaria capuchina v. gracilis																											359,2			
Fragilaria capuchina v. vaucheriae				16,8																										
Fragilaria construens v. venter										52,9																				4639,7
Fragilaria pinnata		13,6					346,4					31,0		109,6																
Fragilariaceae																	4,7													
Frustulia sp.																														
Gomphonema angustatum	801,8	11,0	969,4			233,4	346,4															336,8			10,4	16,4				
Gomphonema angustum																			9,6		418,5							8,2		88,2
Gomphonema olivaceum	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		
Gomphonema parvulum									7,1										14,4									79,6		
Gomphonema spp		11,0	235,7					11,0		4,0					261,4			140,6	4,8		687,9	336,8				215,5	149,7	125,1		
Gyrosigma sp.																						336,8								
Hannaea arcus			93,8																											
Hantzschia amphioxys					122,9																									
Mastogloia elliptica																														
Mastogloia sp.																														
Melosira varians																		7,8	172,4		618,2	3199,2	70,8					252,5		
Microcostatus andinus																														
Navicula aff. veneta																														
Navicula atomus		2,7									1,4	67,4			433,0		18,7	62,0	16,8		853,9	168,4				268,0		310,1	5345,3	
Navicula bulnheimii			33,7																											
Navicula capitatoradiata																	23,0	15,5	4,8		1185,9	505,1								
Navicula cincta																														
Navicula cryptotenella						187,1													4,8		139,5	336,8	141,6						8017,9	
Navicula goeppertiana																			4,8											
Navicula gregaria				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	
Navicula lanceolata			187,6									15,5			89,8		15,3	23,3	151,5		4329,7	505,1	708,2					119,8		
Navicula pseudogracilis																														
Navicula spp							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
Navicula subminuscula																														
Navicula symmetrica																	9,4				418,5							4,1		
Navicula tripunctata						10,3										81,8	32,4		4,8		139,5							54,0		
Naviculaceae			336,8	496,2		10,3						56,9			89,8			7,8						28,3			239,5	12,6		
Nitzschia acicularis																										16,4				
Nitzschia aff. fonticola																														
Nitzschia aff. liebetruthii																														
Nitzschia bacillum			46,9							2,0																				
Nitzschia compressa																														
Nitzschia constricta																	9,4											8,2	2672,6	
Nitzschia dissipata			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		
Nitzschia fonticola																														
Nitzschia frustulum																												1574,6		
Nitzschia inconspicua			93,8								15,5	134,7			882,8	80,2	9,4		24,1		279,0		1754,9			3191,7	957,9	200,2		
Nitzschia nana										4,0																		8,2	5345,3	
Nitzschia palea				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		
Nitzschia perminuta														57,5																
Nitzschia pusilla										8,0																				
Nitzschia spp			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
Nitzschia valdecostata			33,7									23,3		54,8													74,8			
Pinnularia microstauron					122,9																									
Planothidium aff. chilense										4,0															10,4					
Planothidium lanceolatum																												8,2		331,4
Planothidium spp								17,6										109,6	4,8					14,2						
Reimeria sinuata	256,6						671,9																							
Rhoicosphenia abbreviata																		31,0			139,5	336,8						28,8		
Rhopalodia brebissonii																														
Rhopalodia constricta						93,5						7,8																		
Scoliopleura spp													53,5																	
Sellaphora pupula																														
Surirella aff. Angusta																												8,2		
Surirella ovalis	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				
Surirella sella				97,6		280,6			3,5	52,9		15,5		112,3		40,9			2,4						5,2			8,2		
Synedra acus																														
Synedra ulna																			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/m^2) 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
Hydra 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
Gordius sp.																										1,9				
Dugesia sp.																22,2	14,8	1,9		14,8		3,7				9,3	222,2	748,1	433,3	581,5
Littoridina cummingi																1274,1	98,1	1,9	9,3	1,9								38,9	514,8	
Gundlachia gayana										40,7				1,9		7,4					1,9					35,2		5,6	9,3	
Biomphalaria sp.																1,9	1,9	1,9												
Physa 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
Pisidium sp.																3,7														14,8
Lumbriculus sp.																										63,0			9,3	3,7
Nais 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
Hyallela sp.																1,9								5,6				596,3		
Aegla sp.																												1,9		
Acari indet.							1,9					1,9	1,9				7,4			3,7	5,6					1,9			3,7	1,9
Collembolla sp.										1,9								33,3		1,9		29,6	13,0							7,4
Anisoptera sp.																												1,9		
Notoperlopsis sp.		1,9	3,7	16,7	48,1	3,7	1,9			1,9															16,7					
Limnoperla jaffueli																													29,6	
Camelobaetidius sp.																28,9	68,5		22,2	129,6		3,7					14,8			
Deceptiviosa sp.	5,6	11,1	24,1	48,1	24,4	7,4				1,9														14,8	14,8			5,6		
Andesiops sp.			1,9																							63,0	103,7	55,6		159,3
Meridialaris sp.	3,7	51,9	46,3		5,6	3,7																		1,9	1,9					
Smicridea 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
Metrichia 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
Oxyethira 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					
Parasericostoma 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																					1,9						14,8			
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						1,9		35,2	7,4	3,7	14,8			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					
Ephrydidae 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		
Aphrophila bidentata																					1,9									

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

CONSIDERACIONES SOBRE LA METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD HÍDRICA MEDIANTE LAS COMUNIDADES BIOLÓGICAS EN LA CUENCA DEL RÍO MAIPO, CHILE.

Junio 2004

CONSIDERACIONES SOBRE LA METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD HÍDRICA MEDIANTE LAS COMUNIDADES BIOLÓGICAS EN LA CUENCA DEL RÍO MAIPO, CHILE.

Junio, 2004
Elizabeth Araya
Centro de Ecología Aplicada, Universidad de Chile
Julia Toro
Comisión Nacional de Riego, Ministerio de Agricultura
Jun Kurosawa
(Experto de JICA)
Comisión Nacional de Riego, Ministerio de Agricultura

I Introducción

Actualmente, uno de los temas tratados en la política agraria en Chile, es la conservación de la calidad hídrica en aguas utilizadas para la agricutura. Esto es debido a que se detectan a menudo en los ríos, es prncipal fuente del agua de riego en Chile, la presencia de los metales pesados, compuestos orgánicos y las bactérias relacionadas con éstos últimos sobre la normativa de la calidad del agua. Originandose así, se acusan del impacto hacia la salud humana que habitan cercanía y el riesgo también en la caída de la calidad de los productos agrícolas de exportación como frutas etc. Por lo tanto, el gobierno deberá tomar una política de medida de control urgentemente.

La causa de este tipo de falla de la calidad del agua varia según las regiones, pero a groso modo, podemos decir que en el norte de Chile, la contaminación es en base a metales pesados tales como cobre, arsénico etc. desde las zonas de la minería y en centro y sur, la contaminación proviene de los compuestos orgánicos desde las ciudades y también por los fertilizantes y pesticidas desde las zonas agrícolas.

Así es que, el Ministerio de Agricultura de Chile ha empezado últimamente el estudio e investigación, para tomar medidas sobre la contaminación del agua de regadío. Y dentro de este proyecto, ha estudiado la posibilidad de la introducción de la metodología para la determinación de la calidad hídrica mediante comunidades biológicas.

No se ha introducido este método a Chile todavía, sin embargo, hemos visto muchos estudios exitosos sobre él en Europa, USA y Japón hace varios años, han sido utilizados en la práctica y se reconocen también como una herramienta de la educación ambiental. Pero, la investigación sobre los organismos bénticos del río, base de este método, ha sido estudiado por la Universidad de Chile y otras instituciones relacionadas y como estas poseen muchos conocimientos sobre esta metodología, poseen la base para introducirla y desarrollarla.

La razón por la que el Ministerio de Agriculura, especialmente la Comisión Nacional de Riego, quien es el encargado del uso de agua de regadío, ha estudiado la intruducción de este método, porque de este modo puede conocer el medio ambiente de los ríos a mediano y largo plazo en forma global con menos tiempo de investigación. También se consideró que el costo del análisis se disminuye, por lo tanto se origina el gasto menor para los agricultores pudiendo así combinarlo con el análisis químico de donde se obtiene un análisis de la calidad del agua tan amplia que va desde los ríos hasta los canales de regadíos en una forma racional y económica.

La diferencia entre el análisis químico y este método es que este último no se puede cuantificar en forma numérica y por lo tanto no es posible efectuar un pronóstico en esos términos. También este incluye otros elementos para la determinación de Biota, y como Chile no posee los datos históricos de la investigación se estimaba prematura la introducción de este método.

Considerando todo esto, la Comisión Nacional de Riego, el Experto de JICA que pertenece a ella y la Universidad de Chile (Centro de Ecología Aplicada) han determinado, después de discutir la justificación y la metodología para la introducción de este método hacia Chile, llevar a cabo los siguientes pasos

1. Estudiar la justificación de la introducción de la metodología para la determinación de la calidad del agua mediante comunidades biológicas en un río como el ejemplo.
2. En el río en cuestión, se estudia en primer lugar la posibilidad de seleccionar los organismos indicadores sobre la contaminación orgánica en ríos, después de la investigación biológica.

3. Si es posible seleccionar los organismos indicadores, se estudia la acción apropiada para esta región, después de comparar con las metodologías para la determinación de la calidad del agua mediante comunidades biológicas practicada en Europa, USA y Japón.
4. El seleccionado es el río Maipo que cruza desde la falda de la cordillera de Los Andes hacia el Oceano Pacífico a través de los subúrbios de la ciudad de Santiago, la capital. Este tiene poca contaminación con metales pesados pero no así con los compuestos orgánicos.
5. La investigación se realizará 2 veces, la primera con todos los ítems del análisis químico en general, los organismos bénticos y diatomeas, y la segunda con los ítems necesarios luego de analizar el resultado de la primera investigación.
6. Se analiza el resultado para estudiar la justificación de la introducción de este método en el país.

Si se considera válida la introducción de este método en base a sus resultados, se realizarán mas investigaciones y luego se establecerá la metodología para la determinación de la calidad hídrica mediante comunidades biológicas la que traerá muchos beneficios para el desarrollo de la investigación de la calidad del agua de una form racional y económica, objetivo del Ministerio de Agricultura.

Este documento relata el resultado sobre el estudio de la metodología para la determinación de la calidad hídrica mediante comunidades biológicas utilizando los organismos bénticos, dentro de los varios resultados.

II. Resumen de la investigación

1. Condiciones de la zona

El río Maipo que es el objetivo de la investigación, se origina en la cordillera de Los Andes, cerca de la frontera con Argentina y fluye de este a oeste casi en línea directa a través de los subúrbios de Santiago, la capital (ver Diagrama 1). Longitud del río es de 197km, su superficie es de 15,157m^2, el caudal promedio en su desembocadura es de 100m^3/S, agua arriba es básicamente el río natural de la cordillera de Los Andes y en agua media tiene un fuerte impacto debido a las actividades humanas.

El suelo del area periférico es de roca sedimentaria y volcánica de la época Jurásica y Cretáceo debido al levantamiento de la cordillera de Los Andes por la intrusión de la placa desde el Océano Pacífico. La temperatura promedio anual es de 16 grados, la precipitación promedio anual es de 438mm, la época de lluvia es de Abril a Septiembre y época de sequía es de Octubre a Marzo. Se concentra casi 90% de la precipitación en esta época de lluvia. Sin embargo, los ríos originados desde la cordillera de Los Andes tienen caludal mayor en la época de sequía, compuesto casi en su totalidad por deshielos.

2. Lugar de muestreo

Se obtienen las muetras de organismos y aguas en 23 estaciones, considerando los puntos de confluencias con los afluentes y puntos de entradas de agua servidas etc., desde agua arriba hacia agua abajo del río Maipo. Además agregamos 7 estaciones de muestreo en los afluentes para la primera investigación (ver Diagrama 1).

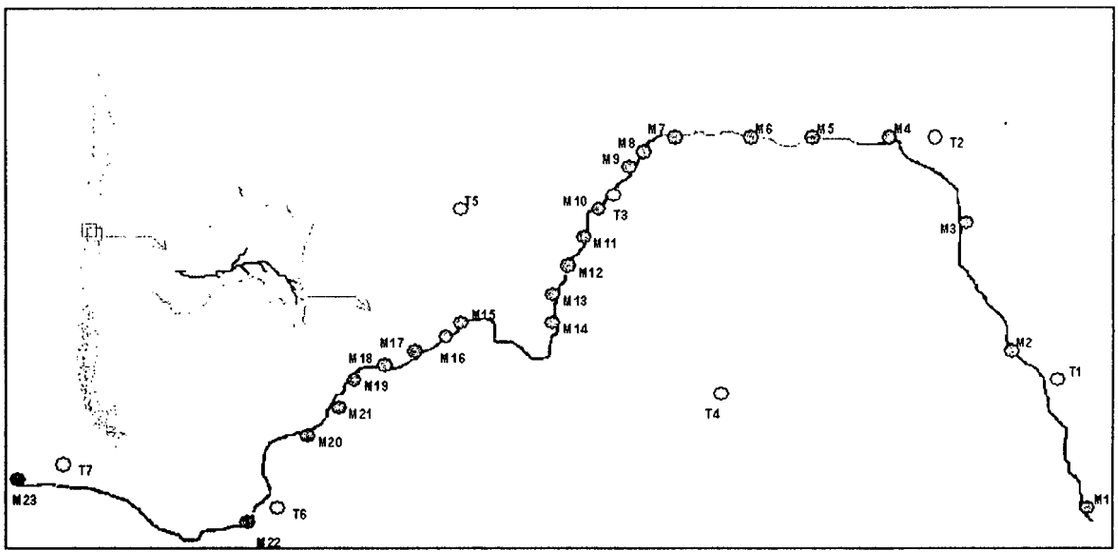


Diagrama – 1: Mapa de río Maipo y las estaciones de la investigación

La característica de las estaciones de investigación se demuestra en la Tabla – 1.
Desde la estación M8, empeza a tener fuerte influencia por la descarga de la ciudad de Santiago, pero también tenía entradas de las descargas desde los pueblos pequeños.

Tabla – 1 Característica de las estaciones de investigación

Estación	Característica	Estación	Característica
M 1	Sector Las Molosas	M 1 6	Agua arriba del punto de la confluencia con Río Mapocho
M 2	Sector Ingenio	M 1 7	Agua abajo del punto de la confluencia con Río Mapocho
M 3	Sector San Alfonso	M 1 8	Sector Juncal
M 4	Confluencia con el afluente Colorado	M 1 9	Agua arriba del punto de entrada del agua servida de la sector Melipilla
M 5	Sector La Lajas	M 2 0	Agua abajo del punto de entrada del agua servida de la sector Melipilla
M 6	Sector Las Vertientes	M 2 1	Sector Quincague
M 7	Agua arriba del punto de confluencia de la descarga de los mataderos	M 2 2	Sector Cabimbao
M 8	Agua abajo del punto de confluencia de la descarga de los mataderos	M 2 3	4km desde la desembocadura del río
M 9	100m agua abajo del punto de confluencia de la descarga del mataderos	T 1	Quebrada Volcán
M 1 0	Agua arriba del punto de entrada del agua servida de la Sector Los Morros	T 2	Quebrada Colorado
M 1 1	3Km agua abajo del punto de entrada del agua servida de la Sector Los Morros	T 3	Quebrada Clarillo
M 1 2	Sector Panamericana	T 4	Quebrada Angostura
M 1 3	Agua arriba del punto de entrada del agua servida de la Sector Viconto	T 5	Quebrada Peñaflor
M 1 4	2 puntos de agua abajo de la entrada del agua servida de la Sector Valdivia de Paine	T 6	Quebrada Popeta

M 1 5	Sector Viconto	T 7	Quebrada San Juan

Nota) M es río Maipo, T es afluente

3. Alineamiento para la primera investigación

La primera investigación se realizó desde el día 6 de Mayo de 2003 al día 13 del mismo en 30 estaciones de muestreos (ver Cuadro – 1) de los organismos bénticos, diatomeas y aguas, además de la muestra de agua y del análisis de la calidad del mismo en terreno del río Maipo y los afluentes. Luego, se realizó el estudio de la posibilidad de la determinación de los organismos indicadores y la metodología para la determinación de la calidad del agua mediante comunidades biológicas por el resultado de la identificación de los organismos, la cantidad de la especie por m^2, la cantidad de las células de diatomeas por m^2 y análisis químico del agua, en el Centro de Ecología Aplicada, principalmente.

Las muestras de organismos bénticos fueron obtenidos de acuerdo a la norma ASTM (Nota 1), por medio de una red Surber de $0.1m^2$ con la malla de 250 μ m en la profundidad de 50cm desde el fondo del río. Se tomaron 6 muestras de diatomeas de las piedras del fondo del río tal como se establece el método de Davis & Gee (Nota 2).
El análisis de la calidad del agua se realizó de acuerdo a los ítems y la metodología que exige el gobierno de Chile, midiendo la temperatura, Ph y la conductividad eléctrica etc. en terreno y el análisis de DBO, y nitrógeno, fósforos, etc. los elementos relacionados con los compuestos orgánicos y los metales pesados en el laboratorio. Aunque el objetivo de esta investigación es saber la relación entre la contaminación con compuestos orgánicos y los organismos, incluimos también varios análisis que no eran necesarios tales como el de los metales pesados. Pero, como esta es la primera investigación, incluimos todos los ítems de análisis para verificar la calidad del agua del río Maipo que se supone no contiene metales pesados en abundancia.

La razón por que eligimos los organismos bénticos y diatomeas como objetivo de la investigación biológica, es que se realizaron varios estudios sobre los organismos bénticos en Europa, USA y Japón por tener muchas variedades y además no son móviles como peces. En cuanto a los diatomeas, como ellos habitan en el vasto rango de medio acuático de oligosaprobio hasta polisaprobio, hicieron muchos estudios (Nota 3) sobre ellos en

estos años. Además, como el objetivo final de esta investigación es desarrollar la metodología de determinación de la calidad del agua racional y económicamente, es necesario seleccionar los organismos bénticos relativamente fáciles de identificar. Sin embargo, debido a las condiciones topográficas y climáticas de esta zona, se eligió también los diatomeas que se supone tendrían varias especies a pesar de que sea mas difícil de identificarlos.

4. Alineamiento para la segunda investigación

La segunda investigación se realizó desde el día 16 de Febrero de 2004 al 26 del mismo, fue debidamente modificado el contenido de la investigación tomando en cuenta el resultado de la primera. Los siguientes son los puntos modificados:

a. Se determinó a los organismos bénticos como únicos organismos indicadores. Tal como comentaremos mas adelante, esto se debe a que cerca de 50 especies de los organimos bénticos fueron recolectados en la primera investigación y nos da la certeza de que es posible seleccionar los organismos indicadores y estudiar la metodología para la determinación de la calidad del agua mediante comunidades biológicas.
b. Determinar solo el curso principal del río Maipo como la zona de investigación. Esto se debe a que los valores de DBO de los afluentes son relativamente bajos y tienen mas variaciones en el curso principal, por lo que se concluyó que es posible realizar el análisis de la investigación solamente en el.
c. No analizar los metales pesados y analizar solo los ítems relacionados a los contaminantes orgánicos. Esto se debe a que según el resultado de la primera investigación, quedó claro de que el río Maipo no tiene un impacto importante con los metales pesados y se concluyó que es posible estudiar la relación entre la contaminación orgánica y los organismos.
d. Aumentar el lugar de investigación cercanos a las estaciones M8 y M9 donde se mostraron los valores extremadamente altos en la primera investigación. Además realizará la investigación tanto en el día como en la noche.
e. Realizar las investigaciones en la cercanía del embalse que se ubica en agua arriba de la estación M10. Esto se debe a que es necesario estudiar el impacto de ese embalse sobre la fauna.

III. Resultado de la investigación y consideraciones

Este documento reporta solo la validez de la introducción de la metodología para la determinación de la calidad del agua mediante comunidades biológicas en base a la primera investigación realizada en el año 2003 y la segunda en el año 2004, utilizando la selección de los organismos bénticos como organismos indicadores. Otros resultados de las investigaciones deberán ser consultados en el informe que posee la Comisión Nacional de Riego (ver Nota 4).

Muchos estudios sobre los organismos bénticos se han realizados en Europa, USA y Japón en el pasado y el análisis de este documento se basará en ellos, también. Es decir, la relación entre la contaminación orgánica y los organicmos bénticos determina la relación entre DBO (demanda bioquímica de oxígeno) y los organismos bénticos. La relación entre los diferentes grados de calidad hídrica determinados mediante organismos biológicos y DBO será como sigue:

- oligosaprobio - - - - DBO menos de 2.5ppm
- β mesosaprobio - - DBO 2.5 – 5.0ppm
- α mesosaprobio - - DBO 5.0 – 10.0ppm
- polisaprobio - - - - - DBO más de 10.0ppm

1. Resultado de la primera investigación y consideraciones

Se indentificaron 47 especies de organismos bénticos en la primera investigación. Dentro de ellas, hay en total 26 especies luego de eliminar las que no se pudieron encontrar en el curso principal y las que se encontraron en una sola estación de investigación. Se deberán analizar solo estas especies. Eliminamos la especie encontrada en una sola estación, porque hay posibilidades de que se encontrara allí por otra causa fuera de la contaminación orgánica o por una casualidad, ya que no fué habida en otras estaciones con similar valores de DBO. Datos detallados en el Anexo–1:

Resumiendo el Anexo – 1, BDO, número de especies, cantidad por cada punto, en la Tabla – 2 a continuación.

Tabla – 2 Datos de DBO y los organismos bénticos por cada estación de muestreo

Est.	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12
DBO	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

Est.	M13	M14	M15	M16	M17	M18	M19	M20	M21	M22	M23
DBO	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

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

Nota) Unidad de la cantidad: numero/m^2, Unidad de DBO: ppm

Si se ordena por grado de calidad del agua, puede ver en la Tabla – 3 a continuación y se puede considerar que:

Tabla – 3 Cantidad promedio de especies y número de organismos bénticos 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
Estaciones	7	11	3	2	

Nota) Unidad del números de ejemplares promedios es por m^2

a. El número de especies promedio y de números promedio es muy bajo en la clasificación de la calidad del agua D, correspondiente al polisaprobio. Podemos considerar que tendrá estrecha relación con que los valores de DBO en M8 y M9, que corresponden a la clasificación D, son tan altos como 122ppm y 44ppm. Hemos de suponer que los valores de DBO de las 2 estaciones son altos por las influencias de las descargas de los mataderos y de aguas servidas, tal como aparecen en la Tabla – 1. Sin embargo, como el valor numérico es demasiado alto, es recomendable repetir la investigación incluyendo la diferencia entre día y noche ya que pudo haber sido un valor singular. Uno de los

problemas del análisis químico del agua es que demustra el resultado de un solo momento, tal como se aprecia aquí.

b. No hay muchas variaciones en el número de especies desde la clasificación A hacia C, aumentando levemente hacia C. Esto se contradice un poco con la teoría de que aumetaría la cantidad de especies donde hay mejor calidad del agua, pero en este caso, podría considerarse que es debido a la diferencia entre agua arriba y agua media del ambiente del habitat de los organismos bénticos, mas que por la calidad del agua. Es posible que la condición del ambiente del habitat en agua media sea mas beneficiosa que la de agua arriba del río Maipo ya que es muy rápida y fria puesto que corresponde a la cordillera de Los Andes. En cuanto al número de especies, tal como se estipula en varios métodos de la determinación de la calidad del agua mediante comunidades biológicas, hay que considerar las especies más vulnerables a la contaminación, y por lo tanto, no se puede determinar la relación con la calidad del agua por solo el número de especies.

c. En la cantidad de ejemplares, al igual que el número de especies, existe una tendencia de aumento desde A hacia C. 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 número de especies.

(1) Determinación de los organismos indicadores

En base al resultado de esta investigación, examinaremos la selección de los organismos indicadores para el requisito previo de la introducción de la metodología para la determinación de la calidad del agua mediante comunidades biológicas. Para esto, primero, reordenaremos el Anexo – 1 para examinar la distribución de los organismos bénticos por especies por la clasificación de la calidad hídrica. Tal como aparecen en la Tabla – 2, las 3 estaciones dentro de 7, del valores de DBO de la clasificación de la calidad del agua A (DBO menos de 2.5ppm) son inferior a 1.0ppm, asignamos a ellas como AA y dividimos en 5 categorías, que aparecen en la Tabla–4.

Tabla – 4 Distribución de los organismos bénticos en diferentes calidad hídrica en %

Clasificación de la calidad hídrica	AA	A	B	C	D
DBO (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

Del resultado de la Tabla – 4, se puede considerar la selección de los organismos indicadores ya que existe cierta limitación de los organismos que pueden habitar en sus correspondientes grados del agua. Existen algunas proposiciones sobre la determinación de los organismos indicadores en sus correspondientes grados del agua. En este documento, examinaremos el método de clasificación por 2 tipos de Beck – Tsuda (Nota 5) y por 4 tipos de Puntle u. Buck (Nota 6) que tenga alta posibilidad de introducir por estatus de la acumulación de los datos.

Primero, el principio de Beck – Tsuda es separar en 2 tipos, uno con especies tolerantes a la contaminación (especies que habitan en las clasificaciones B, C y D por calidad del agua) y otro con especies intolerantes a la contaminación (especies que habitan en la clacificación A y AA por calidad del agua). La Tabla – 5 es el resultado de la clasificación a partir de la Tabla – 4.

Tabla – 5 Distribución de los indicadores de Organismos Bénticos (2 tipos)

Especies	Clase	Comentario
Acari indet.	I	Casi todas en B y C, habitan en una sola estación en A. 6 estaciones en total, menor cantidad.
Athericeidae indet.	II	Mayor cantidad en A, también habitan en AA y B. 9 estaciones en total, menor cantidad.
Biomphalaria sp.	I	Habitan solo en 3 estaciones de B. Menor cantidad.
Blephariceridae indet.	II	Habitan en 3 estaciones de AA y en una estación de A, con menor escala.
Camelobaetidius sp.	I	Habitan en 4 estaciones de B y en una estación de C. Abundancia en C.
Chironomidae indet.	I	Especie predominante que habitan desde AA hasta D, con abundancia. Mayor cantidad en B y C, y el mayor en D.
Collembolla sp.	I	Habitan en 4 estaciones de B y en una estación de C, con la cantidad medianamente abundante.
Deceptiviosa sp.	II	Habitan en 3 estaciones de AA y A, una estación de B. Menor cantidad en B.
Dugesia sp.	I	Habitan en 4 estaciones de B y en una estación de C, con la cantidad compartida.
Elmidae indet.	I	Habitan en abundacia desde AA aC, con mayor cantidad enC.
Empididae indet.	—	Habitan desde AA aC, con mayor cantidad en AA y B. No podría asignarlo como organismo indicador, de este resultado.
Ephrydidae indet.	I	Habitan en 4 estaciones de B y en una estación de C. Principalmente en B, con menor cantidad.
Gundlachia gayana	I	Habitan en 3 estaciones de B y en una estación de C. Principalmente en B, con menor cantidad.
Hirudinea sp.	I	Habitan en una estación de B y en 2 estaciones de C.

		Cantidad compartida, pero menor escala en ambos.
Hydra sp.	I	Habitan 5 estaciones de B y en 2 estaciones de C. Pricipalmente en C, abundancia en ambos.
Hydrobiosidae indet.	II	Habitan en 5 estaciones de AA y A, con menor cantidad.
Littoridina cummingi	I	Habitan en 3 estaciones de B y en 2 estaciones de C. Especialmente mayor cantidad en M-16.
Meridialaris sp.	II	Habitan en 5 estaciones AA y A juntos, con la cantidad mediana.
Metrichia sp.	I	Habitan en 6 estaciones de B y en 2 estaciones de C, con mayor cantidad en C.
Nais sp.	I	Una de las especies representativas que habitan en abundacia desde AA hasta D. Mayor cantidad en B y C.
Nematode indet.	I	Habitan en 4 estaciones de B y en una estación de C, con menor cantidad en C.
Notoperlopsis sp.	II	Habitan en 7 estaciones totales de AA y A, y en una estacón en B con catidad medio.
Physa sp.	I	Habitan en 6 estaciones de B y en 3 estaciones de C, pricipalmente en C. Mayor cantidad.
Psychodidae indet.	I	Habitan en 2 estaciones de B y en una estación de C y pocos en D. Menor cantidad.
Simuliidae indet.	-	Habitan en abundacia desde AA a D. Dificultad para determinar I oII.
Smicridae sp.	I	Una de las especies representativas que habitan en abundacia desde AA a D con mayor existencia en C.

Nota) I : Especies Tolerantes a la contaminación (B, C y D por calidad del agua)
II : Especies Intolerantes a la contaminación (AA y A por calidad del agua)

Nota) Normalmente la clasificación se denomina con A, B pero para evitar la confusión con la calidad del agua, pusimos I, II

En la distribución de la Tabla – 5, podemos ver que Empididae Indet. habita abundantemente en la clasificación AA y B, y Simuliidae indet. habita abundantemente en la clasificación A y B, por lo que los consideramos inadecuados para ser asignados como organismos indicadores (ver Tabla – 4). Dentro de las 6 especies habitadas en la clasificación D, catalogamos las 4 especies exceptuando Empididae Indet. y Simuliidae indet. como tolerantes a la contaminación, sin embargo 3 de estas 4 especies habitan en la

clasificaciones AA y A, también. Generalmente, como las especies polisaprobios no habitan en el ambiente acuático oligosaprobio, la duda queda. Sin duda, las estaciones M8 y M9 que corresponden a la clasificación D, tienen fuertes influencias de los compuestos orgánicos, tal como se demuestra en la Tabla – 1, también existe la posibilidad de que sea un valor anormal, por lo que puede ser inadecuado en determinar como clasificación D, con una sola investigación.

Sin embargo, como se puede dividir claramente las 24 especies dentro de 26, en las especies tolerantes e intolerantes a la contaminación, podríamos concluir que es posible adaptar el método de clasificación por 2 tipos de Beck – Tsuda.

A continuación, examinamos el método de clasificación por 4 tipos de Puntle u. Buck y obtuvimos la siguiente Tabla – 6.

Tabla – 6 Distribución de los indicadores de Organismos Bénticos (4 tipos)

Especies	Clasificación		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

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

Comparado con el método de clasificación por 2 tipos, este método de 4 tipos aumentaría la duda, por el método de clasificación en esta investigación. Especialmente, en relación con los casos de especies habitables en la clasificación 4 que corresponden al polisaprobio y son

las que pueden habitar en el, la duda arriba mencionada persiste. Las marcas ( ) son las especies de clacificaciones difíciles y pusimos los valores que podrían corresponder. De esta forma, se concluiría que el método por 4 tipos es difícil de aplicar. Pero, como pudimos clasificar 18 especies en esta investigación, que es mas de la mitad, podríamos así aplicar este método por 4 tipos si aumentara la frecuencia de la investigación que atraería el aumento del muestreo de especie y análisis del agua, y por consiguiente un aumento de los organismos indicadores.

(2) Metodología para la determinación de la calidad del agua mediante comunidades biológicas

Dentro de las metodologías para la determinación de la calidad del agua mediante comunidades biológicas que utilizan organismos indicadores arriba mencionados para determinar la calidad del agua, existen Método Beck – Tsuda, Puntle u. Buck y Marvan (ver Nota 7), y sus características son los siguentes:

a. Método Beck–Tsuda: Se separan las especies recogidas en tolerantes e intolerantes a la contaminación. Se considera doble la cantidad de las especies intolerantes y luego se suma esta cantidad con tolerantes. Resulta ser oligosaprobio siendo mayor el número, tal como aparece en la siguiente tabla. La idea es dar doble de valor a las especies intolerantes y sin importar la cantidad total ni el peso.

2A+B	Calidad del agua
>20	Oligosaprobio
11～20	β mesosaprobio
6～10	α mesosaprobio
0～5	Polisaprobio

Nota) A: Número de especies intolerantes a la contaminación

B: Número de especies tolerantes a la contaminación

- Método de muestreo según Biotic Index (α) del Método Beck－Tsuda (ver Nota 5).

b. 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 especie encontrada por cada clasificación de la calidad del agua y toma la frecuancia de aparición como un elemento para determinar.

c. 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 organismos indicadores, poniendo nota de 1 a 4. Además se considera la cantidad del número de especies para determinar el nivel de calidad del agua mas adecuado. La idea es considerar la certeza y la cantidad como el indicador de las especies.

Al aplicar los resultados de esta investigación en estos 3 métodos, consideramos que el Método Puntle u. Buck es difícil de adaptar ya que las estaciones de muestreo fueron pocas. Esto se debe a que, dentro de 23 estaciones 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 este, las 3 especies Chironomidae indet., Nais indet. y Smicridae indet. ocupaban más de la mitad de la cantidad total de especies y no era representativo por tener una influencia fuerte concentrada solo en 3 de ellas. Básicamente, hay varias discusiones sobre el considerar la cantidad y peso de la especie dentro de las determinaciones de la calidad del agua. Cuando se determina la calidad del agua de la estación del muestreo, no podemos negar la necesidad de considerar la especie prioritaria dentro de la variedad de estas. Sin embago, si ponemos prioridad en la cantidad, las especies pequeñas tendrán una mayor, y si ponemos prioridad en el peso, las especies grandes tendrán una mayor también. El método de seleccionar las especies prioritarias adecuadas es una tarea muy compleja.
Considerando estos puntos, realizamos el análisis de esta investigación con el Método Beck – Tsuda. Esto se debe a que este es el mas fácil de usar y uno de los métodos mas confiables según antecedentes conseguidos en Japón.

Como se considera doble la cantidad de las especies intolerantes a la contaminación para el Método Beck–Tsuda, distribuimos 2 puntos para las especies de la clasificación II y 1 para la especies tolerantes a la contaminación. Luego, se suman estos valores en cada una

de las 23 estaciones de investigación. Podemos confirmar la justificación de la aplicación de este método, si el valor obtenido disminuyera limpiamente desde aguas oligosaprobio hacia polisaprobio. El resultado de este cálculo se demuestra en la Tabla – 7 y adelante. Sin embargo, 2 especies, Empididae indet. y Simuliidae indet. fueron excluidas del cálculo por no ser aptas para organismos indicadores desde el punto de vista ya mencionado anteriormente.

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

Estación	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Clasificación	AA	A	A	AA	A	AA	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
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			

Smicridea sp.	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1	1
Total	12	14	13	14	13	12	6	3	3	12	7	5

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

Estación	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	
Clacificación	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
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
Smicridea sp.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	I
Total	5	7	6	15	14	12	11	14	9	10	9	

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

AA = (12+14+12) ÷3=12. 7

A = (14+13+13+6) ÷4=11. 7

B = (12+7+5+5+6+15+14+12+9+10+9) ÷11=9. 5

C = (7+11+14) ÷3=10. 6

D = (3+3) ÷2=3

El resultado está al revés, en parte, entre la clasificación B (β mesosaprobio) y C (α mesosaprobio), pero el resto está de acuerdo con la teoría del Método Beck-Tsuda el cual postula: que las cifras serán mayores en los puntos menos contaminados.

Sin embargo, al observar detalladamente cada estación, encontramos algunas inconsistencias con la teoría, como por ejemplo; teniendo mayor cifra, M-16 corresponde al β mesosaprobio (BDO es de 2.52ppm) y siendo Oligosaprobio la estación M-7 (BDO es de 1.55ppm) tiene sólo 6 puntos.

Esas cífras son menores que las que determinó Tsuda en Japón (más de 20 para el oligosaprobio, entre 11 – 19 para el β mesosaprobio, entre 6 – 10 para el α mesosaprobio, entre 0 – 5 para el polisaprobio). Esto no es un problema de teoría sino que la cantidad de supuestas especies indicadoras fué menor, esto se demuestra que es necesario determinar separadamente el valor para la evaluación.

La razón porqué occure el fenómeno de la adversidad en las estaciones B y C, es debido a que hay mayores especies habitadas en la estación C. Para corregir este problema, se han dividido las clasificaciones I y II y asignando –1 punto a la especie más tolerante. Resultado en la Tabla – 8 .

Tabla – 8 Proposición de la clasificación del los organismos bénticos

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
Ephrydidae indet.	−0. 5		Psychodidae indet.	−1
Gundlachia gayana	0		Smicridae sp.	−1

Nota) Se distribuyeron los puntos: 4 al oligosaprobio y − 1 al polisaprobio, base a la Tabla − 4

De esta clasificación, igual que lo de la Tabla − 7, calculamos el valor promedio por la calidad del agua por clasificación:

AA = (10 + 12 + 13.5) ÷ 3 = 11.8

A = (10 + 10.5 + 11 − 1) ÷ 4 = 7.6

B = (4 − 2 − 4 − 4 − 5 − 8 − 9.5 − 6.5 − 6.5 − 6 − 5.5) ÷ 11 = − 4.8

C = (− 5 − 7.5 − 9.5) ÷ 3 = − 7.3

D = (− 2 − 2) ÷ 2 = − 2

Se disminuye ordenadamente el valor desde la clacificación AA a C, pero se pone al revés la clasificación D con C. Naturalmente, este es un cálculo tentativo, por lo tanto no es necesario preocuparse del resultado. Lo importante es; a pesar de que es difícil crear una metodología para la determinación íntegra sin ninguna contradicción por esta investigación, a través de la metodología modificada del Método Beck − Tsuda, tenemos cierta posibilidad del desarrollo para la metodología de determinación apropida para el río Maipo después de acumular los datos necesarios.

Como requisito previo para este tipo de análisis, es importante realizar la investigación de DBO con mayor frecuencia para obtener valores promedios confiables de cada estación de la investigación. Si se logra eso, se establece una metodología para la determinación de la calidad del agua mediante organismos y se podrá determinar, así la calidad del agua a mediano a largo plazo con casi una sola investigación biológica sin realizar investigaciones de DBO con frecuencia.

2. Resultado de la segunda investigación y consideraciones

En la segunda investigación realizada en Febrero de 2004, se recolectaron 35 especies en total, a pesar de que era verano y nos preocupaba que pudiese disminuir la cantidad de estas. Se puede referir el informe que posee la Comisión Nacional de Riego de Chile para el resultado completo de esta investigación (Nota 4). Dentro de estas 35 especies, incluye 22 de 24 especies que se identificaron como posible organismos indicadores en la primera

investigación. Detalle de estas 22 especies en el Anexo – 2. De esta manera, con la segunda investigación, es posíble mejorar la precisión de la identificación de los organismos indicadores y la metodología para la determinación de la calidad del agua mediante comunidades biológicas examinadas en anterior investigación.

Podríamos pensar que existen los organismos indicadores dentro de las especies nuevas aparecidas en la segunda investigación, pero el objetivo de esta no es seleccionar los organismos indicadores, sino verificar si la metodología para la determinación de la calidad del agua mediante comunidades biológicas practicadas en Europa, USA y Japón es aplicable en Chile. Es decir, la verificación de la aplicabilidad de la selección de los organismos indicadores sobre la contaminación del agua en el río Maipo, por lo tanto, consideramos solo 22 especies para el análisis en este informe desde el punto de vista de seleccionar los organismos indicadores con mayores posibilidades.

Ahora, sobre la metodología para la determinación de la calidad del agua mediante comunidades biológicas, verificaremos esta metodología ya que el Método Beck – Tsuda (o su versión modificada) sería mas apropiado para la aplicación en esta investigación que no tiene suficiente datos acumulados, según la consideraciones dada en la primera.

(1) Identificación de los organismos indicadores

Primero, reordenamos el Anexo – 2 para analizar la distribución por especie y clasificación de la calidad del agua de las 22 especies que aparecieron en ambas investigaciones como posibles indicadoras. Se resume en la Tabla – 9.

En la primera investigación, dividimos la clacificación de la calidad A (DBO menos de 2.5ppm) en AA y A para poder realizar un análisis mas detallado. Sin embargo, en esta segunda investigación, analizaremos a través de la metodología por 4 tipos de A a D para poder comparar con las metodologías generales.

Tabla–9 Distribución de los organismos bénticos por la clacificación de la calidad hídrica (segunda investigación)

Clasificación	A	B	C	D	Clasificación	Clasif.
Clas. DBO (ppm)	2. 5>	2.5-5	5-10	10<	2da invest.	1ra nvest.
Hydra sp.	-	100.0	-	-	I	I
Dugesia sp.	20.8	79.2	-	-	I	I
Hirudinea sp.	62.4	37.6	-	-	☆	I

Nais Sp.	17.2	6.2	76.5	0.1	I	I
Littoridina cummingi	1.7	97.5	0.8	-	I	I
Biomphalaria sp.	-	100.0	-	-	I	I
Gundlachia gayana	-	100.0	-	-	I	I
Physa sp.	6.0	38.0	55.9	-	I	I
Collembolla sp.	-	100.0	-	-	I	I
Meridialaris sp.	97.8	2.2	-	-	II	II
Camelobaetidius sp.	1.4	94.4	2.8	1.4	I	I
Deceptiviosasp.	92.2	4.4	0.6	2.8	II	II
Notoperlopsis sp.	97.3	1.1	0.3	1.4	II	II
Hydrobiosidae indet.	77.4	11.3	-	11.3	☆	II
Smicridae sp.	38.9	60.9	0.2	-	I	I
Metrichia sp.	92.5	7.5	-	-	II	I
Elmidae indet.	47.3	51.2	1.4	0.1	I	I
Blephariceridae indet.	100.0	-	-	-	II	II
Athericidae indet.	100.0	-	-	-	II	II
Psychodidae indet.	-	-	59.6	40.4	I	I
Chironomidae Indet.	59.4	34.7	5.6	0.4	☆	I
Ephydridae indet.	-	-	100.0	-	I	I

Nota) Clasificación: I es tolerante a la contaminación (clasificación del agua B、C、D)、
II es intolerante a la contaminación (clacificación del agua A)

Nota) ☆: las especies no asignadas como organismos indicadores de acuerdo a la segunda investigación

Ahora comparamos la Tabla – 4 de la primera investigación con esta Tabla – 9 y podemos concluir lo siguiente:

a. Se pudo verificar la confiabilidad de los organismos indicadores por tener resultados similares en la primera investigación y en la segunda.
b. Sin embargo, es difícil determinar si Hirudinae sp. y Hydrobiosidae indet., de segunda investigación, son tolerantes o intolerantes a la contaminación.
c. Metrichia sp. es claramente tolerante a la contaminación, de acuerdo al resultado de la primera investigación (ver Tabla – 4), pero se debe considerar como intolerante según la segunda. Por lo tanto, no se lo podrá asignar como organismo indicador.

De estos resultados, consideramos 18 especies como organismos indicadores ya que las 3 de ellas, Metrichia sp., Hirudinae indet. y Hydrobiosidae indet. no podrán ser consideradas como tal.

Resumimos las características ecológicas de estas 18 especies en la Tabla – 10.

Tabla – 10 Características de los organismos indicadores del río Maipo

Especie	Clasificación y características ecológicas
Hydra sp.	· Cnidaria, Hydrozoa · Pequeño organismo del dulceacuícolas, aproximadamente 10mm de longitud. Se conoce solo en forma de pólipo en el sistema de la vida. Captura Daphnia, Rotífero etc. con su tentáculo. En Chile ····
Dugesia sp.	· Platyhelminthes, Tricladida · Una de las especies de dugesiidae con algunos milímetros a 10mm de largo. Es famoso por tener forma de sanguijuela y el brote de regeneración. Generalmente habita en el río limpio y es carnívoro. Se define como organismo indicador de clasificación A en Japón. En Chile ·····
Nais Sp.	· Annelida, Oligochaeta · Una de las especies de Nadidae. Tiene cuerpo de 1～2 mm con forma de hilo blanco. En Chile ·····. Esta familia abunda en Japón en la clacificación B.
Littoridina cummingi	· Mollusca, Gastropoda · Una de las especies de Amnicolidae. En Chile · · ·
Biomphalaria sp.	· Mollusca, Gastropoda · Una de las especies de Planorbidae y es anfitrión intermediario de Schistosoma. En Chile · · ·
Gundlachia gayana	· Mollusca, Gastropoda · Una de las especies de Ancylidae y se alimenta de diatomeas. Generalmente, está pegada detrás de la hoja que flota en el agua. En Chile · · ·
Physa sp.	· Mollusca, Gastropoda · Una de las especies de Physidae y es tolerante a la contaminación. Puede ser indicador de la deterioración ambiental. En Chile · · ·
Collembolla sp.	· Arthropoda, Insecta · Una de las especies mas antiguo de los insectos que fue hallada en el estrato de la era Debonian. Habitan mayoritariamente en el suelo, pero también en la costa y en dulceacuícola. En Chile · · ·

Meridialaris sp.	・Arthropoda, Insecta, Ephemeroptera ・Una de las especies de Leptophlebiidae con cuerpo de 6～10mm. Se habitan en amplia zona desde agua arriba a agua abajo. Se alimentan de diatomeas pegado en las piedras. En Chile・・・. Esta familia abunda en Japón en las clasificaciones A y B
Camelobaetidius sp.	・Arthropoda, Insecta, Ephemeroptera ・Una de las especies de Baetidae. Se mueve rápido y habita en amplia zona desde agua arriba a agua abajo. Se alimenta de diatomeas pegados en las piedras, hojas caidas y restos de insectos etc. En Chile・・・. Esta familia abunda en Japón en las clasificaciones A y B
Deceptiviosasp.	・Arthropoda, Insecta, Ephemeroptera ・Un de las especies de Baetidae・・・・. En Chile・・・
Notoperlopsis sp.	・Arthropoda, Insecta, Plecoptera ・Una de las especies de Gripopterygiidae・・・。 En Chile・・・
Smicridae sp.	・Arthropoda, Insecta, Trichoptera ・Una de las especies de Hydropsychidae. Pone el nido en el superficie y abertura de la piedra. Omnívoro. En Chile・・・.Esta familia abunda en Japón en las clasificaciones A y B
Elmidae indet.	・Arthropoda, Insecta, Coleoptera ・Una de las especies de Elmidae. La larva es tipo oruga con forma de tubo e imago tiene un cuerpo de 1 – 5 mm en forma rectanglar u ovalado. Tanto la larva como imago habitan en el agua y se alimentan de diatomeas de las piedras. En Chile・・・。 Esta familia abunda en Japón en las clasificaciones A y B.
Blephariceridae indet.	・Arthropoda, Insecta, Diptera ・Una de las especies de Blephariceridae. Posee 2 antenas en la cabeza y se adhiere a las rocas en la corriente torrentoso con sus 6 ventosas en el abdomen. Su cuerpo es menos de 10mm. Es un organismo indicador del agua limpia de agua arriba. En Chile・・・
Athericidae indet.	・Arthropoda, Insecta, Diptera ・Una de las especies de Athericidae. Camina sobre piedras con sus varias puntas con forma de patas en el abdomen. Se habita en el agua limpia del agua arriba. En Chile・・・。 Esta familia abunda en Japón en la clasificación.
Psychodidae indet.	・Arthropoda, Insecta, Diptera ・Una de las especies de Psychodidae. Se considera como el mosquito en la taxonomía. Es una de las plagas desagradables cuya larva se genera en el agua residuales,

	alcatarillado y estanque séptico etc. En Chile・・・
Ephydridae indet.	・Arthropoda, Insecta, Diptera ・Una de las especies de Ephydridae. En Chile・・・

A pesar de que necesitamos mas investigaciones posteriores para la verificación, si revisamos conjunto con la Tabla – 9, podemos concluir que los datos de las especies similares del hemisferio norte podría servir para la determinación de los organismos indicadores. En los resultados de esta investigación, Dugesia y Athericidae no coinciden con los antecedentes de Japón, por lo que consideramos como sigue:

a. En Japón, Dugesia es el organismo indicador que corresponde a la clasificación A. Sin embargo, de acuerdo a la primera investigación, habitan 47% en la clasificación B y 53% en C tal como aparecen en la Tabla – 4 y en la segunda investigación, como aparecen en la Tabla – 9, habitan 21% en la clasificación A y 79% en B. Según estos datos, los resultados de las 2 investigaciones se ven muy diferentes. Sin embargo, si analizamos las estaciones de muestreos, estos son muy similares, siendo M16, 17, 18, 20 y 22 para la primera y M15 – 21 para la segunda. De esto, podemos concluir lo siguiente.
   - La diferencia de los resultados de las 2 investigaciones se debe a la diferencia del valor de la medición de DBO. Se presume que es posible solucionar esta diferencia con mayor frecuencia de le medición de DBO en el futuro con la obtención del valor promedio. Esto indica que la determinación mediante comunidades biológicas se podrá expresar mas a largo plazo para la metodología y la determinación de la calidad del agua.
   - Dugesia es el organismo indicador que corresponde la clasificación A en Japón, sin embargo, de acuerdo al resultado de esta investigación en el río Maipo, se encuentra mayoritariamente en la clasificación B. Vale la pena investigar mas la relación con la calidad del agua.

b. Athericidae es el organismo indicador que corresponde la clasificación B en Japón, sin embargo, habitan 92% (28% en AA) en la clasificación A y 8% en B de acuerdo al resultado de la primera investigación y 100% en A en la segunda investiagción. Las estaciones de muestreos en la primera investigación son M2 – 5 y M1, 3, 4 y 6 para la segunda. De este resultado, podemos concluir que se habitan casi totalidad en la clasificación A, en el río Maipo. Por lo tanto, es necesario investigar la diferencia de los

datos entre Chile y Japón, si es por la diferencia de las especies o la adaptabilidad a la calidad del agua.

En cuanto a la segunda investigación, existe menos cantidad de Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera, que generalmente aparecen con mayor cantidad en la metodología para la determinación de la calidad del agua mediante comunidades biológicas. No solamente en estos 18 especies, sino también aparecieron 4 especies de Ephemeroptera, 2 de Plecoptera y 3 de Trichoptera en 37 especies recolectadas en esta segunda investigación, que es característico de este caso. Una de las próximas tareas será investigar si es por la reflexión de la entomofauna del alrededor de Santiago que tiene pocos insectos de tierra, característica propia del río Maipo o el problema de la tecnología en la identificación de las especies de insectos acuaticos.
Sin embargo, a través de estas 2 investigaciones, podríamos concluir con cierta certeza que las especies indicadoras propuestas pueden ser como tal, ya que redujimos el rango de selección de estas y de acuerdo al conocimiento del hemisferio norte. Será posible fijar los requisitos preestablecidos para desarrollar la metodología para la determinación de la calidad del agua mediante comunidades biológicas en Chile a través del aumento de la frecuencia de investigaciones y por consiguiente el aumento de los organismos indicadores.

(2) La metodología para la determinación de la calidad del agua mediante comunidades biológicas

Tal como aparece en la Tabla – 11, si comparamos los resultados de las 23 estaciones de muestreos comunes de las dos investigaciones, la calidad del agua de la segunda investigación en agua media es peor y mejor en agua abajo.

Tabla – 11 Clasificación del agua por estación de muestreo

Est.	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12
1ra.	A	A	A	A	A	A	A	D	D	B	B	B
2da	A	A	A	A	A	A	B	D	D	C	C	B

Est.	M13	M14	M15	M16	M17	M18	M19	M20	M21	M22	M23
1ra	B	C	B	B	B	B	C	C	B	B	B
2da	C	C	B	B	B	A	B	A	A	A	A

Este tipo de diferencia se debe a que DBO indica solo el valor del momento. Sin embargo, tal como vimos anteriormente, los 18 organismos indicadores seleccionados serán confiables, verificamos el Método Beck – Tsuda, en la siguiente Tabla – 12, usando el resultado de la segunda investigación, igual que la Tabla – 7.

Tabla – 12 Cálculo por el Métod Beck-Tsuda (1 de segunda investigación) %

Estación	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Clasificación	A	A	A	A	A	A	B	D	D	C	C	B
Hydra sp.												
Dugesia sp.												
Nais Sp.	1		1	1	1	1			1	1	1	
Littoridina cummingi												
Biomphalaria sp.												
Gundlachia gayana												
Physa sp.											1	1
Collembolla sp.												
Meridialaris sp.		2	2	2	2	2	2					
Camelobaetidius sp.												1
Deceptiviosasp.	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2		
Notoperlopsis sp.	2	2	2	2	2	2	2	2	2		2	
Smicridae sp.	1	1	1	1	1	1	1			1	1	1
Elmidae indet.			1	1		1			1	1	1	1
Blephariceridae indet.	2	2	2			2						
Athericidae indet.	2		2	2		2						
Psychodidae indet.								1	1	1	1	
Ephydridae indet.											1	
Total	10	9	13	11	8	13	7	5	7	6	8	4

Tabla – 12 Cálculo por el Métod Beck-Tsuda (2 de segunda investigación) %

Estación	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	
Clasificación	C	C	B	B	B	A	B	A	A	A	A	
Hydra sp.							1					1

Dugesia sp.			1	1	1	1	1	1	1			I
Nais Sp.		1	1	1	1		1	1	1	1	1	I
Littoridina cummingi		1	1	1	1		1	1	1			I
Biomphalaria sp.					1							I
Gundlachia gayana				1	1							I
Physa sp.		1		1	1		1	1	1	1	1	I
Collembolla sp.							1					I
Meridialaris sp.												II
Camelobaetidius sp.		1	1	1	1	1						I
Deceptiviosasp.												II
Notoperlopsis sp.												II
Smicridae sp.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	I
Elmidae indet.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	I
Blephariceridae indet.												II
Athericidae indet.												II
Psychodidae indet.												I
Ephydridae indet.												I
Total	2	6	6	8	9	4	8	6	6	4	4	

El cálculo del valor promedio por la calidad del agua por clasificación según la tabla-12:

A= (10+9+13+11+8+13+4+6+6+4+4) ÷11=8. 0

B= (7+4+6+8+9+8) ÷6=7. 0

C= (6+8+2+6) ÷4=5. 5

D= (5+7) ÷2=6. 0

El resultado no arroja diferencias importantes por haber limitado en 18 especies de los organismos indicadores. Pero, está al revés, en parte, entre la clasificación C (α mesosaprobio) y D (Polisaprobio), pero el resto está de acuerdo con la teoría del Método Beck-Tsuda, también en esta segunda investigación, que postula: las cifras serán mayores en los puntos menos contaminados.

Sin embargo, al igual que en la primera investigación, al observar detalladamente cada estación, encontramos algunas contradicciones con esa tendencia, especialmente en agua

abajo de la clasificación A donde arroja menor valor. Tal como aclaramos anteriormente, no está muy claro si la calidad de hídrica de agua abajo corresponde a la clasificación A o B durante todo el año, por lo que no tendría sentido examinarlo mas detalladamente en este momento. Ahora que no tenemos suficiente datos acumulados, el punto esencial es que la tendencia en general está de acuerdo con la teoría.

El Método Beck – Tsuda que utilizamos en esta investigación, no considera en absoluto la cantidad ni el peso de las especies de los organismos bénticos. Además, la razón por qué se puso doble de peso a las especies intolerantes a la contaminación no tiene concepto teórico muy acabado, tal como dice ⟦- - - además, la razón porqué se definió como 2 A + B, es simplemente puso doble de peso a las especies intolerantes a la contaminación A que tolerantes B⟧ ("La metodología para la investigación de la calidad hídrica mediante comunidades biológicas" por Dr. Matsunae Tsuda, Dra. Ikuko Morishita, Página 95, Sankai-Do). Podría haber alguna cabida para aplicar métodos mas teóricos tales como el de la clasificación del Método Puntle u. Buck o del Método Marvan, pero se presume que el Método Beck – Tsuda sería el mas adecuado para la realidad de Chile, ya que sus antecedentes demuestran que es muy práctico, además simple de manejar y no se requiere muchos datos. En todo caso, es muy difícil asignar teóricamente el peso a cada especie, por lo que se deberá definir el factor de acuerdo a la experiencia adquirida. Ahora en adelante, es recomendable seguir acumulando los datos necesarios para el Método Beck – Tsuda o su versión modificada para Chile por el momento. Y es mejor probar otros métodos mas adelante.

Por otro lado, como el resultado de la segunda investigación se demuestra claramente, es difícil definir especies de organismos bénticos, aunque podría definirlos hasta familia y género. Por ejemplo en Japón, se conocen mas de 9 familias 134 especies de Plecoptera pero, solo un tercio es decir, para 9 familias 47 especies son elucidadas la relación entre larva e imago (Nota 8). Queda alguna duda hasta qué punto es necesario la identificación de los organismos para la metodología para determinar la calidad del agua mediante comunidades biológicas, pero de todas maneras es mejor que estén mas elucidadas las especies de larvas y por lo tanto, se necesitaría la cooperación de los biólogos Chilenos de ahora en adelante.

IV Conclusión

La metodología para la determinación de la calidad del agua mediante comunidades

biológicas es ampliamente utilizada en Europa, USA y Japón, pero no hemos visto antecedentes que haya sido objeto de estudio en los países de Latino América y por lo tanto, existía dudas para su aplicación en Chile. Este documento trata del estudio sobre la justificación de la introducción de esta metodología para la calidad del agua en Chile y podemos concluir que es válida la legitimidad de ella desde los resultados de 2 investigaciones realizadas. Sin embargo, los datos son insuficientes con solo estas 2 investigaciones, por lo que es necesario realizar otras y acumular los datos necesarios. Si logramos acumular mas datos y por consiguiente aumentar el número de especies de los organismos indicadores, se podrá desarrollar la metodología apropiada para la determinación de la calidad del agua mediante comunidades biológicas, siendo el mismo Método Beck – Tsuda o su versión modificada de acuerdo a la característica ecológica Chilena. Además, vale la pena estudiar otros métodos también si aumentara el número de organismos indicadores y realizar el análisis por ellos. Aunque que se necesita un poco mas de especialización, la metodología mediante diatomeas debería ser investigada ya que la cantidad de especies en el río Maipo es alta y posible de ser aplicada.

Ahora bién, para aumentar los datos, es necesario realizar suficiente investigaciones de DBO, además, naturalmente, de la investigación de los organimos bénticos cada 4 estaciones. Por ejemplo, en caso del río Maipo, es necesario realizarla, a lo menos, una vez al mes y donde tienen fuerte impacto de descargas, como por ejemplo: los mataderos, deberán medir la diferencia de la calidad del agua de día y de noche y obtener un promedio cargado por hora de trabajo, y tratar de obtener el promedio de DBO a través del año.

Además, en el caso de Chile, por su largo y angosto territorio que cubre una gran variedad de latidudes, posee gran diversidad de clima y bioestrato. Por lo tanto, se deberá seleccionar los organismos indicadores por lo menos en 3 zonas diferentes para aplicar la metodología para la determinación de la calidad del agua mediante comunidades biológicas, es decir zona norte secano subtropical, zona central semisecano templado y zona sur humedo subártico. También es deseable seguir ampliando las investigaciones de los ríos de la zona central semisecano templado, además del río Maipo. Para este tipo de investigación, es deseable la participación de los estudiantes, ONG y ciudadanos en general además de los profesionales expertos de los organismos bénticos,. Esto ayuda no solo para completar la tarea de la investigación, sino también fomenta la oportunidad de la educación ambiental, por lo que solicitamos cooperación por parte de las autoridades.

De estos resultados, se puede conocer la calidad hídrica del río y de los canales de riego a

través de una sola investigación de los organismos bénticos. Y para los lugares que se requiere los análisis cuantitativos, se hará análisis químicos. Así, la investigación total de la calidad del agua será mas racional y económico.

Esperamos que la metodología para la determinación de la calidad del agua mediante comunidades biológicas en Chile llegue a ese punto de perfección.

Literatura Citada

Nota1 Standard guide for selecting grab device for collecting benthic macroinvertebrates. American Society for Testing and Materials. ASTM D/4387-84pp.

Nota 2 A simple periphyton sampler for algal biomass estimates in srteams. Freswater Biology 30:47-51

Nota 3 Kobayasi、H、& Mayama、S. Most pollution-tolerant diatoms of severely polluted river in the vicinity of Tokyo.Jap. Phyco130:188-196.1982.

Nota 4 Metodología para la Determinación de la Calidad Hídrica mediante Comunidades Biológicas en la Cuenca del Río Maipo. Septiemble 2003. Marzo 2004.

Nota 5 Matsunae Tsuda, Ikuko Morishita: La metodología para la investigación de la calidad hídrica mediante comunidades biológicas (1974) Editorial Sankai–Do.

Nota 6 Laboratorio de salud pública de prefectura de Osaka: Informe No.19 del Laboratorio "Investigar la calidad hídirca mediante los organismos del río" Noviembre 2002

Nota 7 Laboratorio tecnológico de la medida contra nieve y construcción de prefectura de Fukui: Informe de ingeniería ambiental No. 8 "El río, ambiente favorable para el crecimiento del habitat para los organismos, Junio 1998

Nota 8 Kozo Tani: "Observación del los insectos acuáticos" Pagina 90, Editorial Tombo

SISTEMA DE RIEGO EN LA ZONA SECANA DEL NORTE DE CHILE

Noviembre 2004

Sistema de Riego en la Zona Secana del Norte de Chile

Comisión Nacional de Riego
Experto de JICA
Jun Kurosawa
Noviembre, 2004

1. Introducción

Chile limita al oeste con la cordillera de Los Andes y al este con el Océano Pacífico, su territorio se expande también de norte a sur con 200km de ancho promedio.
En el norte de Chile, por las características de la topografía, llueve muy poco durante el año, excepto en la cordillera de Los Andes. El desierto de Atacama es la zona de menor lluvia del mundo. Esta tendencia varía mientras nos acercamos a la zona central, pero en Santiago, la Capital, caen solo 350mm aproximadamente en el invierno y no llueve casi nada desde el fines de Septiembre a Marzo.

Esta condición climática da un efecto directo en la agricultura de la zona norte. Es decir, la actividad agrícola es muy fuerte en la zona donde abunda el agua de deshielo de Los Andes, pero no hay ninguna actividad agrícola en otras zonas, exceptuando algunos lugares en que se pueda aprovechar el agua sbuterránea de profundidad como los de aguas fóiles. Sin embargo, estas zonas tienen potencialidad de obtener productos de muy buena calidad si hay agua, ya que en estas no encontramos acumulación extrema de sales, problemas de enfermedades e insectos y muy poca incidencia de temporales que a menudo se observan en la actividad agrícola de las zonas subtropicales.

Los pobladores del norte que se dedican tanto a la actividad minera como agrícola habitan solo en las zonas donde existen el agua, el resto es zona desértica.

En estos 2 años de experiencia en Chile, he notado algunos problemas en el norte relacionados con la calidad del agua para la agricultura. Por lo que me referiré al tema riego que constituye mi trabajo principal.

2. Consideraciones sobre el riego para la zona norte

Bajo las condiciones descritas anteriormente, en la zona norte, desde hace mucho tiempo, la actividad agrícola con sistema de riego se ha desarrollado solo en zonas cercanas a los ríos que nacen en la cordillera de Los Andes. En esta zona, a pesar de que la superficie es relativamente pequeña, se producen frutas y verduras de muy buena calidad. Los productores de esta zona pertenecen a las Comunidades de Aguas, Asociaciones de Canalistas, Junta de Vigilancia etc., y cada uno de ellos posee derecho de agua.

Después de estudiar el caso de estas agriculturas de riego, se proponen los siguientes lineamientos para su desarrollo en el futuro.

① Asegurar la fuente de agua

Todas las fuentes provienen del deshielo de la cordillera de Los Andes (exceptuando las aguas fósiles) y como no se puede aumentar la cantidad de esta, el tema es cómo aprovecharlas efectivamente. Una opción ideal es la construcción de embalses para acumular el agua superficial, esta es una solicíon que ya ha implementada. Al respecto, quisiera hacer algunas sugerancias.

- Estudio del embalse subterráneos: En el caso de la zona norte, la construcción de embalses en superficie no tiene problemas para conseguir el terreno adecuado, tampoco influirá en el tema del impacto ambiental e impacto a poblaciones de aguas abajos etc., como ocurriría en otros países. Por lo tanto es viable seguir construyendo este tipo de embalses en el futuro. Sin embargo, estos originan la evaporación de una enorme cantidad de agua, también la distancia entre el embalse y el lugar de la actividad agrícola es importante y requiere un largo canal para su uso. Además, dependiendo del lugar, existirían problemas con la acumulación de los metales pesados y sales nutritivas.

  Para compensar las desventajas de este tipo de embalse, se puede considerar la construcción de embalses subterráneos en lugares adyacentes a las poblaciones con muros continuos dentro de la tierra (poner tablestacas de concretos o aceros, o construir muro de arcilla en la tierra). Aunque su tamaño no es grande, se podrá construir un muro que suba el nivel de agua subterránea y que tenga capacidad de acumulación.

El lugar adecuado será cercano a ríos donde se encuentran las poblaciones y con un nivel del agua subterránea considerable. También se puede asegurar así una fuente de agua potable para la población. El embalse subterránea tiene más ventajas que el embalse pequeño y pocp profundo de superficie, sobre todo si consideramos la pérdida por evaporación.
El problema siempre es costo versus eficacia. Como este tiene de embalse subterránea comunmente en suelo con muchos espacios aéreos, por ejempro arrecifes de coral, es importante entonces elegir un lugar con estas características. Es necesario efectuar una profunda prospección geológica sobre el perfil de la falla, propiedades del suelo y línea del agua subterránea etc. Al usar motobombas para extraer el agua, es necesario considerar también la combinación del uso de la energía solar y otros.

- Análisis del flujo de deshielo:Esto es uno de los temas mas importantes en este informe. Indispensable es tener la proyección de la plantación o siembra de cada año, si los productores pretenden desarrollar eficazmente la comercialización de los productos agrícolas hacia los mercados mundiales. Existen varios factores que determinan esta proyección; situación de oferta y demanda de los productos agrícolas tanto en el país como extranjero, precios del mercado etc. Pero, si se obtiene la predicción de la condición natural con anterioridad a la plantación o siembra, el productor podrá tomar decisiones apropiadas en la selección de la variedad y la cantidad de superficie a plantar. Los factores que aquí influyen son, generalmente, cambios estacionales tales como cantidad de radiación solar, temperatura, cantidad de lluvia y caudal del río etc. En la zona norte de Chile, como llueve muy poco, las predicciones de la cantidad de radiación solar y de lluvia son muy obvias. En cuanto a la temperatura, como esta zona pertenece a la región subtropical, en ella hay grandes diferencias de temperaturas entre máximo y mínimo del día, pero no así heladas. Por lo tanto, el factor deteminante de esta zona está dado por el tamaño del caudal del río. Si se logra tener una predicción de esta, se podrá obtener una proyección eficaz de la actividad agrícola .
  Si la única fuente de agua proviene del deshielo, exceptuando las aguas fósiles, es muy ventajoso para considerar asi las variaciones del tamaño del caudal del río. Es decir, como la cantidad de la fuente del agua estaría limitada por la nieve acumulada durante el invierno, se podría predecir la

cantidad del cauldal si se conoce la curva del derretimiento. En otros países, en general, es complicado conseguir la predicción de la cantidad de caudal del río porque es difícil obtener el pronóstico acertado de las lluvias para cada año, aqui solo habria que estimar la cantidad que se derretirá. Por otro lado, los factores determinantes para el deshielo son; la radiación del calor, temperatura y lluvia, este último punto no adquiere relevancia en la zona norte de Chile. Además, la variación anual de la radiación del calor y la temperatura son insignificantes comparados con el tipo de agua caida. Por lo tanto, al tener los datos históricos de los factores climáticos diarios, se podría analizar el derretimiento de las nieves.

Ahora, las relaciones entre la nieve y lluvia en la zona norte por sectores son las siguientes (es necesario destacar que no se podrá aplicar esta teoría para todos los sectores durante todo el año.):

a. Norte de San Pedro de Atacama: No hay lluvia que se pueda utilizar en el predio para el riego durante el año, por lo tanto se considera solo el agua del río para la agricultura (exceptuando el agua fósil de la comuna de Pica). Sin embargo, en la cordillera de Los Andes, nieva no solamente en el invierno sino también en el verano y se acumula para luego convertirse en fuente de agua. Esto se debe al efecto climático causado por frentes de baja presión generados en Brasil y Bolivia, apreciables hasta principios de Enero. Puede este ocasionar también lluvias y no siempre nieve. Por lo tanto, hay que tener en cuenta este fenómeno ocasional para la consideración de la cantidad del caudal. Pero, en caso de que este ocurra, podríamos también predecir las variaciones de caudal del río exceptuando estos períodos.

b. Alrededores de la Santiago: Es difícil tener la estimación las variaciones del caudal de los ríos en el invierno, ya que precipita irregularmente entre 300mm y 400mm durante ese período. Sin embargo, durante la primavera y el otoño, no llueve como para desarrollar a agrícola y tampoco habrá lluvias ni nieve en la cordillera de Los Andes, que es la fuente del agua. Por lo tanto, es posible tener la predicción de las variaciones del caudal durante la primavera y el otoño basandose en la acumulación de la nieve de la primavera y el pronóstico de temperatura, etc. de la primavera a el otoño.

c. De la Tercera a Cuarta Región: Estas se encuentran dentro de las zonas a. y b. Es necesario estudiar la condición que se podría aplicar, para el análisis del derretimiento, utilizando datos climáticos históricos.

Visto lo anterior, la aplicación del análisis del derretimiento variará según la zona, pero en el caso del norte de Chile, en la práctica, hay situaciones como el caso del Río Huasco, donde se ha construido un gran embalse. En este caso, será indispensable estudiar la afluencia hacia éste.

El análisis del derretimiento por la acumulación de nieve ha sido estudiado en la alta nieve y se han desarrollado varios modelos de análisis.
Si logramos obtener una estimación las variaciones del caudal del río de cada año por la variación estacional (variación diaria por el cálculo), se podrá predecir así la cantidad potencial del desplazamiento, posibilitando también a los agricultores a determinar la proyección de la plantación y siembra. Así, podrían evitar la inversión innecesaria en el año de sequía o las pérdidas en el año de abundante agua.

Resumiremos los métodos de análisis como sigue:

a. Cálculo de la cantidad de nieve acumulada: Se calcula la cantidad acumulada de nieve en un dia que cesa la nieve del año de estudio, en un sector del río, haciendo uso de los sensores remotos, la topografía por GIS, datos de estaciones meteorológicas y la medición de la cantidad de nieve en terreno etc.

b. Análisis del derretimiento: Es necesario obtener los datos climáticos en relación a la derretimiento de la nieve, temperatura y cantidad de la radiación solar por varios años, en la cuenca del río. Seguidamente, los combinamos con la información acerca de las variaciones del caudal del río para determinar el coeficiente del modelo de análisis del derretimiento. Además es necesario determinar qué tipo de fórmula se va a aplicar dentro de las que se han desarrollado hasta ahora.

c. Predicción del futuro: A través del cálculo obtenido en el punto a acerca de la cantidad de la nieve acumulada, temperatura anual promedio máxmo y mínimo en los varios años, se estiman las 3 variaciones del caudal del río en ese año por el modelo que se definió en el punto b..Estas estimaciones con acotamiento son las que corresponden al año de estudio. Si el rango es pequeño, el estudio de ese año puede ser muy útil. Si se obtienen datos reales después del comienzo del estudio y se les sustituye con los de la estimación, se podrá desarrollar un programa mas preciso y eficaz.

Si no se pueden obtener datos sobre la nieve acumulada y climáticos, se deberá determinar el coeficiente para el modelo del análisis del derretimiento, luego de efectuar la investigación sobre estos durante 2 o 3 años.

Estas son sugerencias sobre el análisis del derretimiento de la nieve, posiblemente puestas ya en práctica en Chile o, talvez, no haya sido posible efectuarlas por falta de datos, aunque he sabido de investigaciones al respecto.
Este tema es importante no solo al considerar el agua para la agricultura, sino también para agua potable, minería e industria. Es factible pensar que, si se puede predecir la cantidad potencial del agua de un año, se obtendrán considerables ventajas econónicas en muchas actividades. Creo que el tema amerita una futura investigación y sugerería fuese efectuada por expertos de las universidades Chilenas, consultores y organismos gubernamentales tales como CNR, DHA y DOH etc.

② Estudio sobre la reparación de canales de regadío

He visto caneles de regadío en San Pedro de Atacama, Pica etc. En general, los hay construidos con piedra, hace más de 50 años,se han mantenido hasta hoy gracias a algunas reparaciones con concreto. Ello demuestra cuan importante es asegurar el agua en esta región y al mismo tiempo, el atraso de la modernización en la infraestructura de canales de regadío ya obsoletos. Debo aclarar que las zonas visitadas fueron áreas pertenecientes a los agricultores pequeños, talvez eso influyó en esa impresión de atraso.

Básicamente, no se puede ignorar el aseguramiento de la fuente de agua para el desarrollo de buen terreno agrícola. En el caso de Chile, se dice que tiene 85% de seguridad de la fuente de agua en las 1.200 mil ha., dentro de la superficie total de 1.800 mil ha. de terreno regadío. En este caso, no tendrán problemas con el agua de riego durante 5 años dentro de 6 años normales (referencia: el standard de Japón es ausencia de problemas de riego durante 9 años dentro de 10 años normales). De modo que se necesitan mejoramientos para las restantes 600 mil ha. Por otro lado, el potencial de terreno regadío es de 2.500 mil ha. por lo tanto, 700 mil ha. (2.500 mil – 1.800 mil) deberá ser el nuevo terreno regadío.
De este cálculo, podemos concluir que la reparación de las facilidades de riego es el problema actual más importante. La necesidad potencial de esta será mayor, ya que irán apareciendo mas instalaciones obsoletas que no consideramos en este cálculo.

Es necesario desarrollar nuevos embalses y grandes extensiones de terreno agrícola. Sin embargo, el poder generar fuentes de agua extra, transformar al agua potable y regar alrededores tras haber efectuado la reparación de antiguos canales de regadío, sería muy beneficioso para contribuir al mejoramiento de las condiciones de los pequeños agricultores. Aun con una inversión relativamente pequeña, podriamos esperar repercusiones positivas en el entorno.

Los proyectos presentados a la Embajada de Japón, consisten en reparaciones simples del canales con molde de concreto in-situ y construcción de pequeñas compuertas. Como se trata de tener mayores reparaciones con menor presupuestos, esta tendencia es muy habitual, pero quisiera hacer algunas sugerencias como sigue.

a. Revisión del cálculo hidráulico: Los canales actuales están pensados para la antigua agricultura, por eso, es posible tener excesos o faltas al aplicar el manejo moderno. Primero, se calcula el caudal necesario desde el punto de vista del manejo agrícola y luego es necesario efectuar el cálculo hidráulico en base a la sección del canal, grado de inclinación y coeficiente de rugosidad. En este caso, se debe considerar la cantidad de la infiltración y evaporación del agua, porque la condición natural de la zona es muy suceptible a estos efectos. Con el resultado del cálculo, se deberá determinar el proyecto de la obra de reparación. En la practica, se presume que los canales actuales

fueron construidos en base al derecho de agua de cada persona, por lo tanto sería más recomendable repararlos manteniendo la situación actual para no ocasionar problemas dentro de las asociaciones o gremios. Pero, creo necesario estudiarlo también desde el punto de vista de la ingeniería civil. No se puede obviar la revisión del cálculo hidráulico para la utilización racional de un bien tan preciado como es el agua.

b. Revisión del molde de concreto in-situ: Exisiten varias maneras de reparar un canal de regadío antiguo. En el norte de Chile, generalmente, mezclan el cemento en terreno y ponen en moldaje con barra de concreto, si así fuese necesario fortalecer el molde por las enfierraduras, para obtener la superficie original del canal. También se aumenta la superficie de la sección obteniendo mayor caudal en algunos casos, pero no para conseguir un caudal importante en el total del canal, sino para recuperar así el que faltaba.
Este método del molde de concreto in-situ no originaría grandes problemas, pero es recomendable revisarlo desde el punto de vista de la planificación y ejecución mas racional. En el caso que estamos mencionando, y con el pasar del tiempo, normalmente se generarían infiltraciones desde las juntas y grietas. Además, no podemos ignorar el tema de la evaporación de agua debido a que, generalmente, estos no tiene la cobertura. Por lo tanto, es la manera menos adecuada para la zona desértica donde el agua es muy escasa.
Como sustituto de esta, se encuentran los materiales prefabricados de hormigón armado en estructura adecuada. El costo de estos materiales es alto, pero la probabilidad de infiltración muy baja y se puede ahorrar tiempo de instalación. La forma de la sección de la estructura es uniforme y también las hay con tapas que evitan la evaporación, permitiendo también transitar por sobre el canal. Una buena opción es este sistema de reparación en lugares donde necesitan agua todo el año y es inevitable la construcción de canales de desvio provisorio.
Recomendable sería también la instalación de cañerías. Generalmente, se utilizan cuando es necesario desplazar el agua desde un lugar bajo hacia arriba agregando la presión a este, pero en realidad no es un requisito indispensable. Al instalar cañerías, no se generaría infiltración y evaporación, además evitaríamos la entremezcladura del agua contaminada, consiguiendo por lo tanto un uso eficaz del recurso hídrico. Estas cañarias serían factibles de instalar en lugares donde han sido

removidos los canales obsoletos. En este caso, naturalmente la superficie de la sección va a disminuir, pero se podrá tener el caudal necesario sin poner presión adicional porque el coeficiente de rugosidad es menor, también la pérdida por la infiltración y otros será mínima. El costo de los materiales no será barato, pero nos aseguramos una fácil manteción y durabilidad. Los materiales de ducto son hierro fundido, policloruro de vinilo endurecido, polietileno y fibra de vidrio de mortero plastico reforzado etc. Estos son utilizados generalmente para el agua potable de larga distancia en el norte de Chile. A primera vista, pareciera ser esta una inversión importante pero vale estudiar la posibilidad de usarlos pensando a largo plazo por sus características antes mencionadas, no sin antes evaluar cuales serían los lugares ideales para hacerlo.

Además, como una nueva técnica recientemente desarrollada, se encuentra un mortero especial de éster poliacrílico para ser aplicado en la superficie del hormigón u hormigón armado dañada, para la protección de la estructura e impermeabilización. Con este material en terreno, ahora es posible obtener refuerzo con la barra de construcción a través de la adherencia con el concreto, aplicandolo cuando este ya tiene deterioro y grietas, condición imposible de mejorar con el tradicional mortero. No será necesario remover el antiguo canal o construir uno nuevo al aplicar este material. El problema es su alto costo, y será necesario averiguar los antecedentes y distribución de este (en caso de Japón, existe un producto llamado MAGNE LINE).

Si amalgamamos la resina polímero especifico con mortero, se lograría obtener un "nuevo mortero" con adherencia y resistencia a la flexión, similar al producto antes mencionado. Debe haber lugares donde se puedan reparar infiltraciones y reforzar el concreto deteriorado, por lo tanto es un tema digno de revisar. Sin embargo, uno de los objetivos de esta nueva técnica es la recuperación de la funcionalidad y refuerzo de la estructura de los canales establecidos, lo anterior no puede lograr la modernización de la estructura hidráulica como en el caso de la tubería.

c. Mejoramiento de los sistemas de distribución: En el norte de Chile, la distribución del agua al terreno agrícola designado, se efectua generalmente mediante la compuerta de distribución. De esta manera, se reparte siempre con la misma proporcionalidad en cualquier caudal y por lo tanto, se mantiene la equidad para todos los receptores. Pero, faltaría la flexibilidad

de la distribución dependiendo de la variación del tipo de manejo agrícola de cada usuario. En terreno, la distribución de agua para cada agricultor se efectua mediante el ajuste del tiempo de flujo. Cuando se cultivan árboles frutales de raíces profundas, no habría mayores problemas pero, si se alarga el intervalo de riego, tiene posibilidades de que la cantidad de humedad alcanza más bajo que depresiiónn de humedad contenta para crecimiento óptimo(depletion of moisture content for optimum drowth) de los verduras. Por lo tanto, es recomendable regularizar sin restricción de intervalo largo para la distribución en las necesidades de riego de cada usuario. Para poder operar de esta forma, es menester un sistema de toma de caudal regulable por la sistema de distribución especifica que puede cambiar la caudal de distribución del agua cerca de la fuente del agua. No se puede recomendar este en general porque la pertinencia de su uso dependerá de la condición hidráulica, manejo agrícola y del sistema de manejo de la instalación en cada zona.

③ Consideraciones sobre el derecho de aguas

El derecho de agua en Chile, pertenece a cada usuario individualmente, no está limitando solo para uso agrícola. Por ende, este se comercializa igual que otros productos del país. En realidad, los agricultores pequeños a menudo venden este derecho en un mal año y lo compran cuando aumentan las ganacias por su producción.

Sobre el derecho de agua, existen dos opiniones en el mundo. Aquella, que se aplica hoy en día en la mayoría de los países "reconocer el derecho de uso de agua". Y consiste en que, históricamente los organismos públicos construyen las instalaciones tales como embalses, toma de aguas etc., administrando las fuentes hídricas tales como ríos y lagos. La otra "reconocer el derecho de propiedad como otras mercaderías", esta se aplica solo en Chile y Australia. Esto se basa en nuevas tendencias "para utilizar eficazmente el agua, deberá introducirse el principio del mercado". De esta forma en Chile, desde 1981, se considera el derecho de agua al igual que otros derechos de propiedad permitiendo transacciones tales como vender, arrendar a corto y largo plazo etc. En Australia, desde 1995, se ha instaurado el principio del mercado para la administración de la fuente del agua y por ende se admite la compra-venta del

derecho de agua entre usuarios.

Es este un tema muy interesante si la introducción del principio del mercado es efectivo. En caso de derecho de uso, naturalmente varia dependiendo de la situación de cada país. Por ejemplo, en EE.UU. acontece el problema de que ocupan el agua aun sin tener necesidad puesto que se pierde el derecho si esta se deja de usar durante 5 años. En el caso de Japón, cada vez que se efectua la renovación del derecho (por ejemplo cada 10 años), la autoridad investiga la extensión de la superficie del agricultor, también situación real de los cultivos y hace una evaluacion, ahora bien si el resultado arroja "agua innecesaria", el gobierno requisa el derecho. Como los agricultores no desean verse enfrentados a esta situación, se disputan arduamente en cada renovación de este, por ende la transferencia del derecho de agua es una tarea muy compleja.

Por lo tanto, muchos serán los países que introduzcan el principio del mercado para la aplicación de derecho de agua, tales como Chile y Australia, por la tendencia a actuar con autonomía respecto del gobierno central por reformas administrativas y por la exigencia máxima para la aplicación del principio del mercado. Sin embargo, tendrán en teoría algunos problemas con este método, los que paso a mencionar.

- Los agricultores pobres pueden enajenar los derechos fácilmente por dinero.
- Los grandes capitales podrían acaparar los derechos.
- Las ciudades ricas aventajaran a sectores rurales de escasos recursos.
- Se perderán las consideraciones en relación a la protección del medio ambiente existiendo interés solo en el principio del mercado.
- No se podrá competir equitativamente en el mercado común con los aguas de diferentes usos tales como para la minería, agua potable y otras de uso industrial.

Por eso, la aplicación del derecho de agua en Chile es en cierta forma un mega experimento. Llegar a comprender la situación actual y su evaluación serán estudios muy valiosos. Deberán efectuarse varios estudios sobre el tema, pero si estos no fuesen suficientes, es una medida solicitarse el estudio a organismos internacionales junto con el caso de Australia. Este tema de

problema del derecho de agua se convierte fácilmente en un asunto político ya que está ligado directamente a la vida de los agricultores, por lo tanto hay una tendencia a la dificultad de hacer pública la realidad de su entorno y su evaluación. Pero, deberá ser considerado y comprendido en su total dimensión, sin que sus resultados sean tenidos por los colores politicos. Los puntos claves de este análisis son los siguientes:

- Si se dio la prioridad en lo que a interés y capacidad se refiere, a los agricultores ?
- Sirvió de ayuda para los agricultores pobres ?
- Si se traspasó el uso de agua a otras industrias eficazmente ?

Aunque no se ha obtenido resultados favorables, pero tampoco han surgido problemas, entonces se podría considerar muy valioso por ser este el primer experimento del mundo en lo que a la aplicacion del derecho de agua se refiere.

3. Epílogo

He comentado sobre la actualidad del riego para la agricultura en el norte de Chile en base a estos 2 años de permanencia en este país. Me han interesado especialmente los temas de análisis del derretimiento de la nieve, reparación de los canales obsoletos por cemento polímero y el impacto a los agricultores por el derecho de agua con propiedad.

Sin embargo, estos son problemas muy difíciles y será posible de que ya han sido estudiados. Lamentablemente, no tengo hoy toda la información que quisiera al respecto pero espero obtenerla a través de los colegas de la Comisión y el Ministerio, así con la ayuda de ellos, continuar con la investigacion, teniendo siempre en cuenta las prioridades y factibilidad al desarrollar los temas antes mencionados.

Investigación sobre Análisis de Derretimiento de Nieve en la cuenca del Río Maipo

Francisco Alvarado Esturillo

Experto JICA: Jun Kurosawa

29 de Abril de 2005

Índice

1. Introducción 3
2. Descripción de la Cuenca del Río Maipo 4
3. Datos Meteorológicos, Fluviométricos y de Nieve Existentes en la Cuenca 7
4. Entrevistas a Expertos 14
   4.1 1ª Reunión (Dirección General de aguas) 15
   4.2 2ª Reunión (Centro de Estudios Espaciales) 16
   4.3 Visita a Terreno 19
5. Documentos Relacionados y Modelo de Derretimiento 26
   5.1 Documentos Relacionados 26
   5.2 Metodologías de Derretimiento 28
   5.3 Modelo de Derretimiento y Escorrentía 30
      5.3.1 Snowmelt Runoff Model (SRM), Modelo de Escorrentía de Fusión de Nieve ... 31
6. Conclusión 36
7. Anexo 37

1. Introducción

En la agricultura, el agua es un factor indispensable. La fuente de esta agua, en general, se obtiene de los ríos o aguas subterráneas y de las lluvias que se presentan en el año. Existen muchos estudios e investigaciones relacionadas con el ciclo circulatorio del agua y otras investigaciones que tratan de pronosticar la cantidad de lluvia que caerá dentro del año, pero hay pocos estudios que traten de pronosticar cuando lloverá exactamente al año siguiente, ya que es muy difícil saber cuanta agua caerá producto de las lluvias y en que zonas de los ríos será.

En algunas determinadas zonas agrícolas de Chile, el recurso de agua de todo el año depende exclusivamente del derretimiento de la nieve acumulada en la época invernal, debido que durante el resto del año no se presentan precipitaciones. Por lo tanto, el factor determinante de estas zonas esta dado por lograr saber el tamaño que tendrá el caudal del río debido a los deshielos. Si se logra tener una predicción de éste, se podrá tener una proyección eficaz de la actividad agrícola.

Razón por la cual es muy importante conocer el estado de acumulación de nieve en la cordillera, para poder así estimar la cantidad de agua que se agregara al caudal de los ríos producto del derretimiento de la nieve.

El pronóstico de volúmenes de aguas proveniente de los deshielos y del derretimiento de las nieves es de mucha importancia en la agricultura, donde los regantes requieren de información que les permita tomar adecuadas decisiones acerca del tipo, extensión y distribución de los cultivos. Sin embargo para poder pronosticar la cantidad de ésta agua existe un gran número de inconvenientes. Teóricamente es posible poder conocer la cantidad de nieve acumulada en la cordillera y la diferencia de ésta entre un año y otro. Pero el problema real que existe en la cordillera de los andes es que hay limitaciones en la medición de ésta y es necesario definir metodologías.

El presente trabajo tiene por objetivo entregar un pequeño resumen de todas las actividades desarrolladas en la investigación sobre el análisis de derretimiento de nieves, desde la recolección de documentos relacionados al tema hasta la entrega de una de las posibles metodologías que se podrían aplicar en el estudio.

2. Descripción de la Cuenca del Río Maipo

A continuación se describe en forma muy general y breve algunas características de la cuenca del Maipo, por ser esta cuenca una de las mas importantes en este estudio.

La cuenca del río Maipo se encuentra situada entre las latitudes 32°55' - 34°15' Sur, y tiene una extensión estimada de 15.157 Km2.

Geográficamente, esta cuenca cubre tres regiones político – administrativas: La Quinta Región, la Región Metropolitana y la Sexta Región.

El clima predominante en la cuenca del Río Maipo, puede clasificarse como templado calido con abundantes lluvias en los meses de invierno y una estación seca prolongada.

Las temperaturas medias no varían entre la costa y el interior del valle. La diferencia media entre las máximas y mínimas diarias es de 14 °C a 16 °C.

La precipitación media es del orden de los 350 mm/año alcanzando valores de 1500 mm/año en la parte alta de la cordillera.

Las alturas excepcionales que presenta la cordillera de los andes en esta parte, (sobre los 5000 mts.), originan una glaciación importante con nevazones estacionales considerables.

Su régimen hidrológico es de alimentación mixta, o nivo-pluvial. En sus zonas alta y media el río Maipo es de régimen marcadamente nival, presentando un gran aumento de caudal en los meses de primavera producto de los deshielos cordilleranos. En la zona baja, el río Maipo posee un régimen pluvial, por lo cual presenta crecidas asociadas directamente con las precipitaciones.

El río nace en las laderas del volcán Maipo a 5.623 m.s.n.m. con las características de una quebrada cordillerana. La altura considerable que presenta la cordillera de Los Andes en esta zona permite una glaciación importante y una nivación estacional considerable que contribuye a fijar las características hidrológicas del río.

En las inmediaciones de San Gabriel (1.240 m.s.n.m.) ya tiene las características de un río importante luego de haber recibido los aportes de los ríos Volcán y Yeso. Al nor–poniente del poblado de San José de Maipo recibe los aportes de su afluente más importante del sector cordillerano, el río Colorado, cuyo caudal en el sector de confluencia tiene un promedio anual de 26 m3/s.

Entra al valle central en el sector de La Obra, corriendo en dirección oeste por un cauce profundo, presentando un caudal medio anual de 100 m3/s. Luego, y cerca de la

Cordillera de la Costa recibe desde el sur los aportes provenientes del estero Angostura, los que a su vez provienen en parte importante de sus tributarios los ríos Peuco y San Francisco.

Al iniciar su recorrido a través de la Cordillera de Costa, recibe por su ribera derecha, los aportes del río Mapocho. Este es su principal afluente tanto por la cuantía de sus aportes como por la superficie agrícola que beneficia, así como por ser el principal receptor de las descargas de aguas servidas de la ciudad de Santiago.

El sector comprendido entre La Obra y la confluencia con el río Mapocho, es también denominado Maipo Central, en donde el río se desliza por un cauce cada vez más ancho, presentado hasta tres corrientes separadas, las que producto de la alta pendiente que posee el cauce del río no producen meandros de importancia.

Entre La Obra y la confluencia del río Clarillo, el río está limitado por riberas bastante profundas, al sur de las cuales se encuentra el área de riego de la zona de Pirque. Es en este sector donde se producen las extracciones más importantes de las aguas del río.

En el curso inferior, luego de recibir los aportes del Mapocho, su principal tributario corresponde al estero Puangue, recibiendo escasos aportes de los esteros Popeta, El Sauce y San Juan. El estero Puangue se abastece de recursos propios provenientes de precipitaciones ocurridas en la cuenca, así como también recibe retornos de riego de las áreas servidas por los canales Las Mercedes (7.732 hectáreas) y Mallarauco (6.275 hectáreas), ambos servidos con recursos del río Mapocho.

Es necesario señalar que al estero Puangue se descargan en algunas oportunidades los recursos provenientes de la Central Hidroeléctrica Carena que se abastece en parte con los recursos del Canal Las Mercedes (aproximadamente 5.0 m3/s), en la época en que los regantes del Canal las Mercedes deciden verter sus excedentes a dicho estero.

Finalmente, y luego de un recorrido de aproximadamente 250 kilómetros desde su nacimiento, desemboca al Océano Pacífico, en Llolleo, inmediatamente al sur del Puerto de San Antonio, Quinta Región.

El río Maipo, administrativamente, y desde el punto de vista de la realidad como se ha operado normalmente, se encuentra dividido en tres secciones:

- Primera Sección: Abarca desde la Cordillera de los Andes hasta el puente del ferrocarril Paine – Talagante.

- Segunda Sección: Esta sección comprende desde el fin de la primera hasta la confluencia de los ríos Maipo y Mapocho.

- Tercera Sección: Comprende desde la confluencia de los ríos Maipo y Mapocho, hasta el Océano Pacífico.

Para el estudio de los deshielos en la alta montaña, solo se trabaja con la Primera sección del río Maipo, en el cual Los recursos de agua disponibles en este tramo provienen del caudal propio del río Maipo y sus afluentes cordilleranos tales como los ríos Yeso, Volcán y Colorado, y los esteros Clarillo, Manzano, El Canelo, San José y Coyanco; Esta sección es la única de las tres que posee organización legal denominada "Junta de Vigilancia de la Primera Sección del Río Maipo". Esta sección corresponde a un tramo netamente de pérdidas en el cauce, sin presentar ningún tipo de recuperaciones.

La Junta de Vigilancia de la Primera Sección del Río Maipo administra y distribuye en todo el año un total de 8.133 acciones (1 acc.= 20 l/s), aproximadamente 160 m3/s, correspondientes a derechos consuntivos permanentes, 12.577 acciones (1 acc.= 15 l/s), 190 m3/s, correspondientes a derechos no consuntivos permanentes y 2.351 acciones (1 acc.= 15 l/s), 35 m3/s, correspondientes a derechos consuntivos eventuales.

Los primeros van esencialmente al riego y al abastecimiento del agua potable de la ciudad de Santiago. Los segundos a la generación de energía eléctrica que realizan cuatro Generadoras a través de siete centrales hidroeléctricas. A su vez los derechos eventuales que hoy en día se encuentran en uso, están destinados en su gran mayoría al agua potable de Santiago, mediante su embalsamiento en la represa del Yeso, ubicada a 2.500 m. de altura, cerrando el río del mismo nombre.

Los regantes se encuentran organizados en Asociaciones de Canalistas, que cubren una superficie cercana a las 100.000 hectáreas de riego, los que están bajo la jurisdicción de la junta de vigilancia. Estas asociaciones son las siguientes:

1. Asociación Canal Pirque.
2. Sociedad de Canal del Maipo
3. Asociación Canal Huidobro
4. Asociación Canales de Maipo
5. Asociación Canales Unidos de Buin
6. Asociación de Canalistas Lonquén – Isla.

De acuerdo a estatutos, la Junta de Vigilancia posee la facultad administrar y distribuir los recursos disponibles en el cauce del río, a los que tienen derechos sus asociados, hasta el puente del ferrocarril de Paine a Talagante.

3. Datos Meteorológicos, Fluviométricos y de Nieve Existentes en la Cuenca

Tanto para la Cuenca del Maipo como para la Cuenca del Elqui, la Dirección General de Aguas (DGA) tienen a su cargo una gran cantidad de estaciones meteorológicas y fluviometricas, las cuales poseen registros tanto de variables meteorológicas, como son temperaturas, precipitaciones, etc. y fluviometricas, como por ejemplo caudales, alturas de agua, etc. estos registros abarcan una gran cantidad de años, que va aproximadamente desde 1975 hasta la fecha, existiendo claro en algunas estaciones años en los cuales no existen registros debido a diferentes circunstancias que afectaron la estación.

Es por eso que para esta investigando, la información disponible para la cuenca del Maipo es amplia ya que las estaciones existentes en esta región funcionan desde hace ya más de 25 años, a diferencia de la Cuenca del Elqui, en donde el registro de la información no es tan antiguo y tan sistemático, existiendo años en los cuales la información no se encuentra.

A continuación se entregan el listado y la ubicación geográfica de las estaciones de medición, las cuales servirán para obtener la información necesaria para el estudio a realizar.

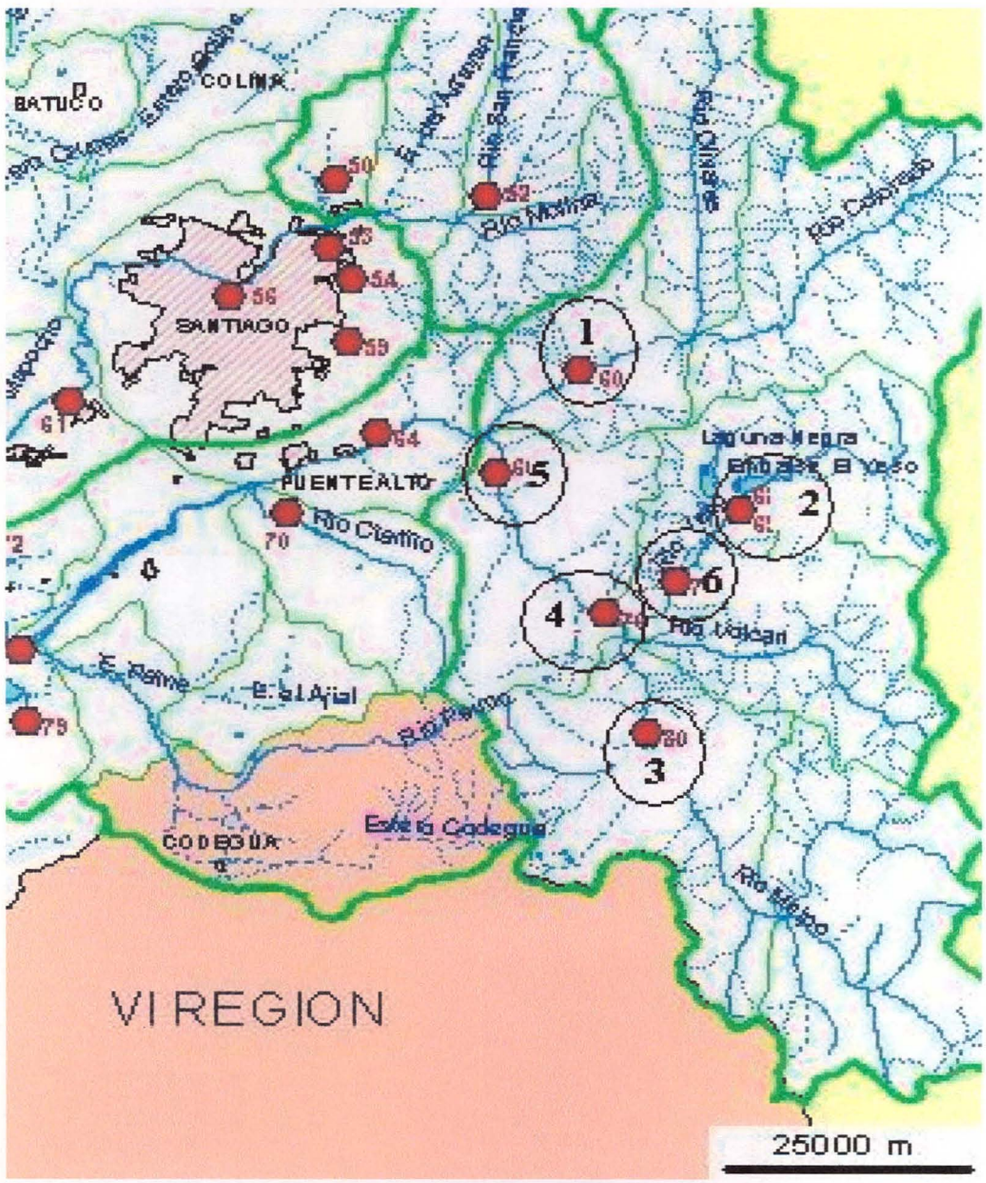
Para la Cuenca superior del Río Maipo las Estaciones son las Siguientes:

- Estaciones Meteorológicas

N° **1**	Estación Bocatoma Maitenes
N° **2**	Estación Embalse El Yeso
N° **3**	Estación Las Melosas
N° **4**	Estación San Gabriel
N° **5**	Estación San Jose Reten
N° **6**	Estación El Manzanito

Nota: estas estaciones son solo para la cuenca superior del río Maipo, las que se encuentran en la primera sección.

La ubicación geográfica se puede observar en el siguiente mapa, en donde cada estación esta indicada con su respectiva numeración.

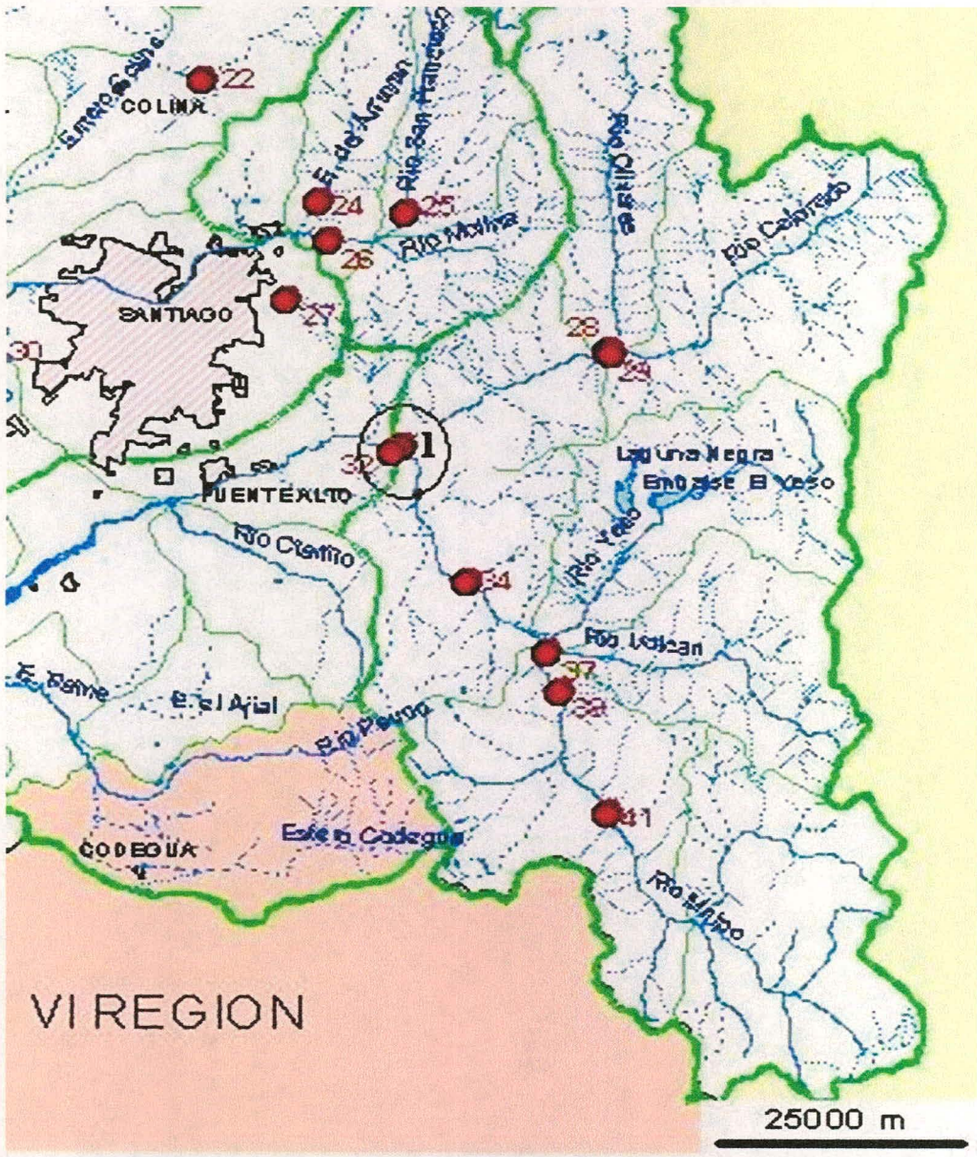


N° **1**	Estación Bocatoma Maitenes
N° **2**	Estación Embalse El Yeso
N° **3**	Estación Las Melosas
N° **4**	Estación San Gabriel
N° **5**	Estación San Jose Reten
N° **6**	Estación El Manzanito

Estaciones Fluviometricas

N° **1** Estación Río Maipo en el Manzano

Su ubicación geográfica se aprecia en la siguiente figura.

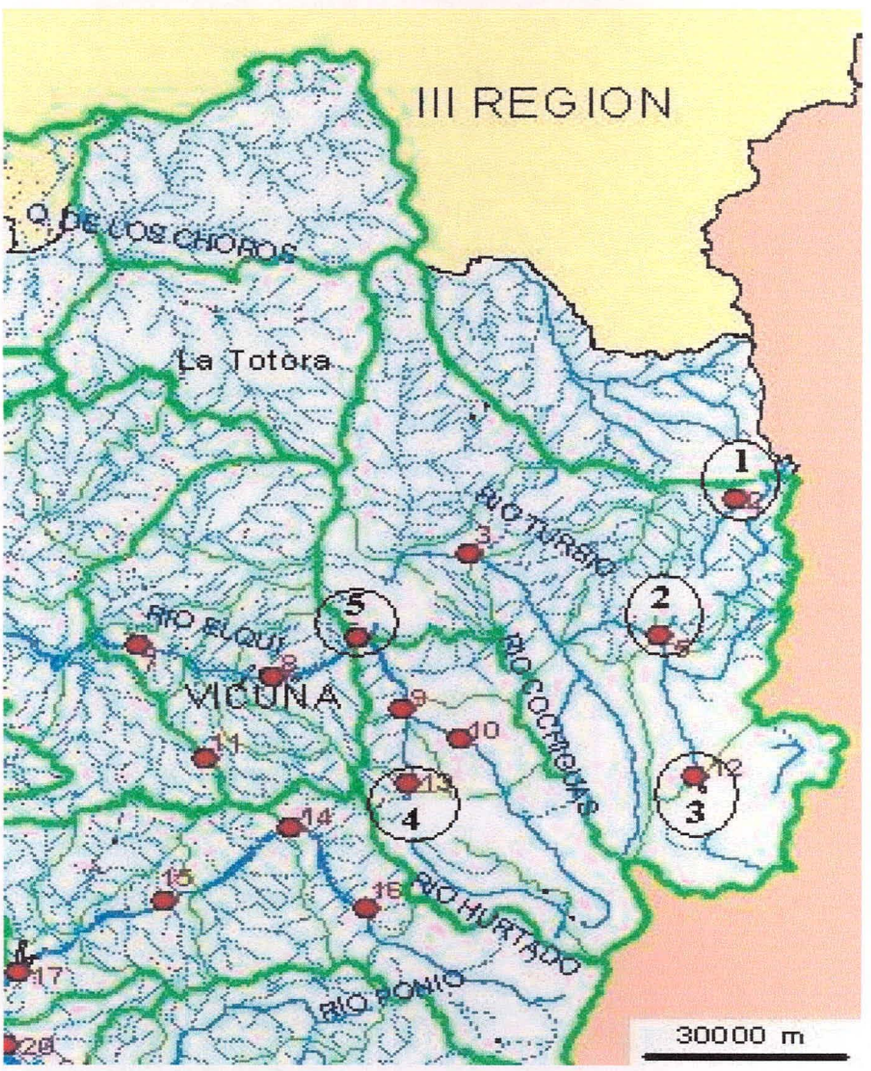


Para la Cuenca superior del Río Elqui las Estaciones son las Siguientes:

- Estaciones Meteorológicas

N° **1**	Estación El Indio
N° **2**	Estación Juntas Del Toro
N° **3**	Estación La Laguna
N° **4**	Estación La Ortiga
N° **5**	Estación Rivadavia

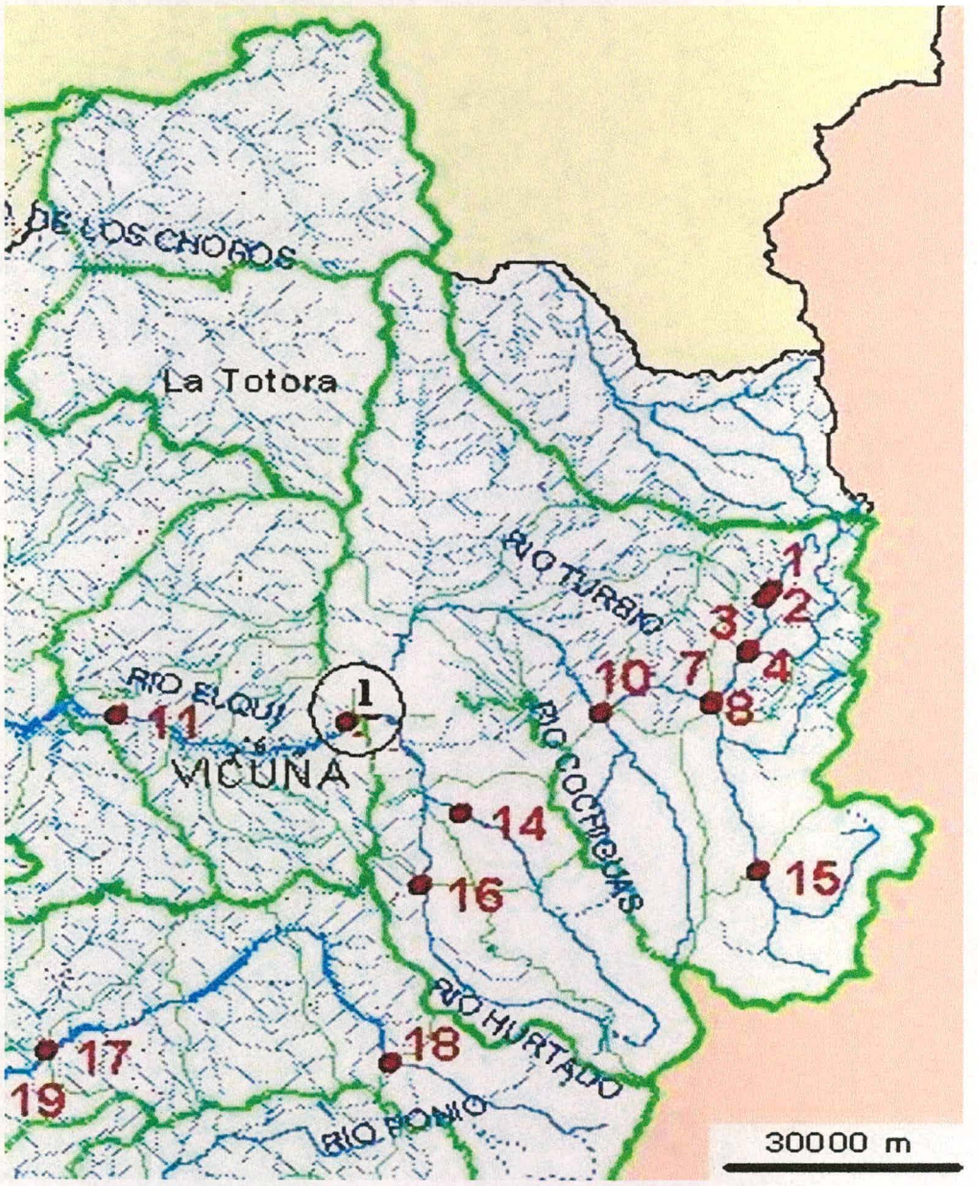
La ubicación geográfica se puede observar en el siguiente mapa, en donde cada estación esta indicada con su respectiva numeración.



- Estaciones Fluviometricas

  N° **1** Estación Elqui en Algarrobal

Su ubicación geográfica se aprecia en la siguiente figura. La estación mencionada es la que aparece encerrada en un círculo.



Las estaciones meteorológicas fueron seleccionadas de modo que abarcaran en la forma más representativa toda el área de análisis, para así poder tener un conjunto de datos que permitan definir muy bien la zona y con los cuales se puedan relacionar datos de distintas estaciones para ver de qué forma se comportan en la cuenca.

La estaciones fluviométricas fueron seleccionadas en los puntos donde el rió en estudio ya cuenta con todos los aportes de los afluentes que llegan a él, de modo de que los caudales medidos sean los que aporta toda la zona en estudio.

Los datos proporcionados por estas estaciones que será necesario conocer son los siguientes:

Datos de Estaciones Meteorológicas

Datos de Precipitación	: Precipitación diaria y totales. : Precipitación diaria nival. : Precipitación total diaria, total mensual y total anual.
Datos de Temperaturas	: Temperaturas Diarias Extremas. : Velocidad y dirección del viento diario, total y media a horas sinópticas. : Radiación Solar Diaria. : Nubosidad diaria. : Resumen Climatológico diario, mensual y anual.

Datos de Estaciones Fluviometricas

: Caudales medios Diarios y Promedios Mensuales.
: Curvas de descarga.

Todas las mediciones que realizan las estaciones son diarias, por lo que la información se encuentra disponible para todos los días de un año. Para este estudio en particular el periodo de medición que se necesita es de 10 años, esto es desde el 01/01/94 hasta el 31/12/2004.

En relación con la información de nieve, es poca la que se tienen de ésta a nivel de profundidad, ya que están se hacían manualmente, en expediciones que realizaba la DGA una o dos veces al año y en la actualidad no se realizan demasiado. Con lo que si se cuenta y las estaciones la miden es la cantidad de precipitación nival caída.

Para poder determinar la distribución de la nieve caída en la cuenca, es necesaria la utilización de fotos satelitales que muestren las zonas de la cuenca cubiertas por nieve y

poder determinar la superficie involucrada. Esto se puede realizar, ya que existe el Centro de Estudios Espaciales (CEE), de la Universidad de chile, que cuenta con imágenes satelitales. Pero el tiempo que lleva la realización de esta tarea abarcaba más del tiempo programado.

Más adelante se da a conocer la reunión realizada con ellos y la metodología propuesta por el CEE, para una posible realización.

4. Entrevistas a Expertos

Para un mejor entendimiento del tema en estudio, se llevaron a cabo dos reuniones con expertos en temas muy relacionados con la investigación, para saber así su opinión referente al estudio y poder sacar conclusiones que puedan ayudar la realización del proyecto. Además se realizo una visita a terreno, para poder conocer las estaciones de Medición y poder ver el instrumental utilizado.

A continuación se presentan los resúmenes de las dos reuniones realizadas y de la visita a terreno.

La primera reunión fue con el señor Fernando Escobar, el pertenece a la Dirección General de Aguas (DGA), y trabaja con temas relacionados a Glaciares y Nieve, es experto el Glaciología y a realizado muchos estudios referentes al tema de investigación.

La segunda reunión fue con el señor Pedro Paolini, el pertenece al Centro de Estudios Espaciales (CEE) y trabaja en el procesamiento, análisis y estudio de imágenes satelitales de Chile, como imágenes Landsat, Noaa, Aster, etc.

La visita a terreno fue realizada con la ayuda del señor Antonio Vergara, el pertenece a la DGA y trabaja en el departamento de meteorología y nivología de esa entidad.

4.1 1ª Reunión (Dirección General de aguas)

Lugar : Comisión Nacional de Riego
Fecha : 18 de Enero de 2005
Participantes : Comisión Nacional de Riego
: Jun Kurosawa
: Gastón Sagredo
: Francisco Alvarado
Dirección General de aguas
: Fernando Escobar
: Guillermo Tapia

Tema : Análisis de Derretimiento de Nieve en la zona central y Norte de Chile

Como resumen de la reunión Realizada se puede concluir lo siguiente:

En lo referente a información disponible (ya sea de estaciones meteorológicas y fluviométricas, imágenes satelitales e registros anteriores, por ejemplo: temperaturas máximas y mínimas, precipitaciones, caudales medios, etc.) para la cuenca del Maipo se cuenta con la información necesaria como para poder aplicar un modelo, a nivel de anteproyecto, para poder estimar el aporte de agua del derretimiento de nieve a los caudales de los ríos.

Para la cuenca del río Elqui, la información con la que se cuenta no es suficiente y no se tienen muchos registros de información de glaciares o de datos en zonas de gran altitud, razón por la cual, como primera aproximación, se podría aplicar el modelo en la cuenca del río Maipo y ver si es factible y representativo, para poder así, luego aplicarlo en la cuenca del río Elqui.

En lo referente a imágenes satelitales, para poder estimar la superficie y cantidad de nieve y glaciares existentes en las cuencas del Maipo como y del Elqui, la información de glaciares requiere ser actualizada. Para el caso de la cuenca del Maipo, dado el tamaño de los glaciares existentes en la zona, es factible utilizar imágenes del satélite NOAA. Sin embargo, para la cuenca del Elqui, debido a que el tamaño de los glaciares existentes es pequeño, se requieren como mínimo imágenes del satélite LANDSAT. La otra variable que es difícil de medir según los expertos es la profundidad de la nieve existente, ya que esta se realiza manualmente y no se dispone de muchos registros anteriores.

4.2 2ª Reunión (Centro de Estudios Espaciales)

Lugar : Centro de Estudios Espaciales
Fecha : 25 de Enero de 2005
Integrantes : Centro de Estudios Espaciales:
Pedro Paolini

Comisión Nacional de Riego:
Francisco Alvarado

Tema : Imágenes Satelitales

Como resumen de la reunión realizada se puede concluir lo siguiente:

El Centro de Estudios Espaciales (CEE), ubicado en el Departamento de Ing. Eléctrica de la Universidad de Chile, sede Beauchef, cuenta con una amplia galería de imágenes satelitales de la cuenca del Maipo, ya sea tanto del satélite NOAA, como del satélite LANDSAT. El registro de imágenes Landsat que posee el CEE, data de el año 1996 hasta el año pasado (2004), manteniendo una cantidad de imágenes aproximadamente de entre 4 a 5 por año, y para el satélite NOAA el registro con el que cuenta el CEE es diario y a partir del año 1989 en adelante.

Pedro Paolini me explicaba que las imágenes NOAA se utilizan para estudios mas grandes, ya sea a nivel regional o nacional, debido a que la resolución de las imágenes es mayor y una sola imagen abarca miles de kilómetros, pero estas imágenes pueden servir para poder diferenciar en la cuenca del Maipo la nieve de los glaciares y poder hacer un análisis de los sectores donde se encuentren los glaciares. Pero para poder definir bien un glaciar y la superficie que abarca en la zona se necesitan imágenes Landsat, ya que éstas tienen una resolución menor (metros) y la imagen es mucho mas pequeña, pudiendo visualizarse y diferenciarse mejor los distintos elementos que se encuentren en la zona.

Si es que se llegaran a necesitar mas imágenes Landsat, el precio de una imagen es alrededor de US$ 600, pero si se utilizaran las imágenes con que cuenta el CEE, el precio seria menor, además lo que me comentaba Pedro Paolini es que en este tipo de estudios lo que implica un mayor costo es la mano de obra que utilizaría, ya sea para definir bien los elementos y sus dimensiones, y dependiendo lo que se desee hacer es el tiempo que se utilizaría.

Cabe hacer notar que realizar el trabajo de reconocimiento e inventario de glaciares para la cuenca del Maipo llevaría mucho tiempo, razón por la cual hay que definir bien lo que realmente se quiere hacer para ver el tiempo que demoraría el trabajo.

A continuación se entrega una posible metodología entregada por el señor Pedro Paolini, para realizar el trabajo de inventariar los glaciares existentes en la Cuenca del Maipo.

Propuesta Metodológica para el Catastro y Seguimiento de Glaciares y Nieves en la Cuenca Superior del Maipo

Se propone la utilización de imágenes satelitales multiespectrales de resolución espacial media. Dichas características son necesarias para la identificación de las principales masas de hielo permanente y nieves ubicadas en la zona de interés.

El CEE de la Universidad de Chile cuenta con una base de datos satelital Landsat (TM y ETM+) y Terra/ASTER que cubren (cada uno por separado) la totalidad del territorio nacional y un período de tiempo suficiente para realizar un seguimiento temporal. Debido a que las imágenes Terra/ASTER no poseen una frecuencia de revisita sistemática sobre un determinado sector en la superficie terrestre, estas imágenes sólo podrán complementar la cobertura temporal entregada por la serie Landsat. En las tablas 1, 2 y 3 se especifican las características principales de cada uno de los sensores mencionados a utilizar.

Características Técnicas de las imágenes Landsat-7			
Satélite	Landsat		
Sensor	Enhanced Thematic Mapper + (ETM+)		
Número de bandas	8		
Resolución espacial	30*30m (bandas 1, 2, 3, 4, 5, 7)	60*60m (banda 6, IRT)	15*15m pan.
Ancho de escena	185*185Km		

Tabla 1. Ficha del sensor ETM+.

Características Técnicas de las imágenes Landsat-5		
Satélite	Landsat	
Sensor	Thematic Mapper (TM)	
Número de bandas	7	
Resolución espacial	30*30m (bandas 1, 2, 3, 4, 5, 7)	120*120m (banda 6, IRT)
Ancho de escena	185*185Km	

Tabla 2. Ficha del sensor TM.

Características Técnicas de las imágenes Terra/ASTER	
Satélite	Terra
Sensor	ASTER
Número de bandas	3 (Visible: verde rojo, e IR cercano)
Resolución espacial	15*15 metros (bandas 1, 2, 3)
Ancho de escena	60*60Km

Tabla 3. Ficha del sensor ASTER.

Propuesta Metodológica

Se tiene a disposición una serie de imágenes Landsat que va desde el año 1975 hasta la actualidad. Dicha serie temporal presenta secuencias intra-anuales con escenas de las estaciones de máximas precipitaciones y seca, las cuales son necesarias para la determinación y cuantificación de la máxima área cubierta por nieve y del área de masas de hielo (sin nieve).

En una primera etapa (previa georreferenciación y ortorectificación de las imágenes involucradas), el estudio se enfocará en la identificación de nieve y hielos (glaciares) en la escena Landsat 233_83, que abarca la zona de la cuenca superior del sistema Maipo-Mapocho; es decir, se realizaría un proceso de clasificación sobre las imágenes correspondientes. Como resultado de ello se obtendrá una o más imágenes temáticas, de las cuales se podrá obtener una cuantificación de superficies (máximo dominio espacial de nieves y hielos).

Una segunda etapa contemplará un análisis temporal de la cobertura nival y glaciológica de la cuenca en estudio. Primero se realizará un análisis estacional, que se enfocaría en los resultados de la primera etapa (clasificación) para las imágenes de la estación lluviosa y seca (Imagen de julio 2002 y marzo 2004, respectivamente). Posteriormente, se realizará un análisis interanual, que incluirá la serie temporal completa que tendrá como objetivo central identificar y cuantificar la variación de la cobertura nival y glacial de la cuenca en estudio.

La serie temporal Landsat será complementada con imágenes Terra/ASTER del mismo sector y que corresponden a la estación lluviosa y seca.

Cabe destacar que, el carácter del estudio propuesto no tendría características de continuidad con los mencionados sensores y satélites debido, principalmente, a la falta de seguridad de permanencia del servicio de la serie Landsat (en estos momentos sólo se encuentra operativo el Landsat-5/TM, ya que el Landsat-7/ETM+ presenta desperfectos). Así, la presente propuesta puede tener el carácter de servicio continuo en el tiempo, pero no asegurando la utilización de los sensores antes mencionados.

En la presente no se hace mención a plazos ni costos, debido a la falta de información de contexto presupuestario y de objetivos generales de la propuesta general. Por lo tanto, el carácter de esta propuesta es preliminar y sólo expresa la voluntad y capacidad del CEE en la participación del proyecto final.

Respecto a este tema, las imágenes que se pretenden utilizar en la determinación de la acumulación de nieve se encuentran en el CEE, y hasta el momento no se necesitaría la adquisición de nuevas imágenes.

4.3 Visita a Terreno

Participantes	:	Juan Pablo Schuster. (CNR) Gastón Sagrado. (CNR) Jun Kurosawa. (CNR) Francisco Alvarado. (CNR) Antonio Vergara. (DGA)
Lugar	:	Cajón del Maipo
Fecha	:	09 de febrero de 2005

El objetivo de la salida a terreno fue visitar tres estaciones de medición, conocer su ubicación geográfica, conocer los instrumentos presentes en cada estación y a su vez saber los datos que se miden en cada una de ellas, las estaciones visitadas fueron las siguientes:

- Estación Meteorológica Embalse el yeso, perteneciente a la DGA.
- Estación de Medición de una Ruta de Nieve, perteneciente a la DGA.
- Estación Fluviométrica Río Maipo en el Manzano, perteneciente a la DGA.
- y también visitamos una nueva estación meteorológica en el embalse el Yeso, perteneciente a Aguas Andinas.

El itinerario de la visita fue el siguiente:

1) La primera estación visitada fue la estación Embalse el Yeso, la cual pertenece a la Dirección General de Aguas, su instalación es de hace más de 30 años y es una estación convencional y no cuenta con ningún instrumento de ultima tecnología, se podría decir que es de operación es manual.

   Esta estación se encuentra ubicada cerca del Embalse el Yeso, en el Cajón del Maipo, situada a los 33° 40' de latitud sur, a una altura de 2475 m.s.n.m.

   La estación cuenta con los siguientes instrumentos de Medición:

   Higrotermógrafo: que mide la temperatura y humedad relativa del aire, su unidad de medida es el grado Celsius (°C) y el porcentaje (%), respectivamente.

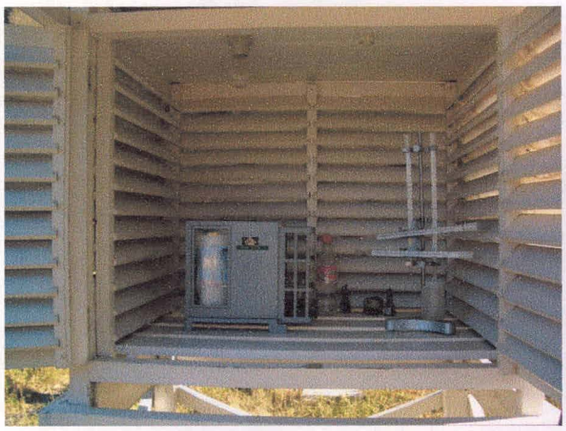
Pluviómetro y Pluviógrafo: miden la cantidad de agua caída (lluvia) en un periodo de tiempo determinado. La diferencia entre uno y otro es que el Pluviógrafo grafica las variaciones de la precipitación en un diagrama que está adherido a un sistema de relojería semanal.

Heliógrafo: Instrumento que mide la duración de las horas de sol (insolación) diaria.

Los datos que se miden en esta estación son principalmente, Temperaturas, cantidad de Precipitación, Evaporación, Cantidad de horas de Sol, Velocidad del Viento, Radiación Solar, cantidad de Nieve caída



Estación Embalse el Yeso, DGA



Higrotermógrafo



Heliógrafo

2) La segunda estación en visitar fue la estación Meteorológica perteneciente a Aguas andinas, la cual no tiene más de dos años de funcionamiento y a diferencia de la anterior esta totalmente equipada con instrumentos de última tecnología, los cuales están constantemente tomando mediciones y enviándolas satelitalmente a la oficina de aguas andinas.

Esta estación de medición cuenta con una Estación Automática, la cual mediante censores capta los parámetros meteorológicos, siendo estos procesados y posteriormente la información es transmitida a un usuario remoto. Además, posee paneles solares y baterías de respaldo lo que posibilita largos periodos de funcionamiento sin atención permanente.

Los parámetros meteorológicos que se miden son: temperatura y humedad del aire, presión atmosférica, precipitación, radiación solar, velocidad y dirección del viento

Su ubicación esta a un costado de el embalse el Yeso, muy cerca de la estación mencionada anteriormente.



Estación Embalse el Yeso, Aguas andinas



Estación Automática

3) La estación de Medición de La Ruta de Nieve, se encuentra a una hora de caminata aproximadamente en dirección Este del embalse el Yeso. Esta estación se encarga de medir la cantidad de nieve caída, la cual luego se transforma en su equivalente en agua, para tener la cantidad de agua que cae en forma de nieve. Además se miden la profundidad que alcanza la nieve caída

   Metodológicamente la ubicación se una ruta de nieve tiene que ser en sentido Suroeste para que la nieve permanezca por mas tiempo. Pero nos comento don Antonio Vergara que esta ruta específicamente esta ubicada en el sentido más desfavorable, Noreste, donde la nieve se encuentra mas tiempo expuesta al sol, por lo que no cuenta con las condiciones que necesita una ruta de nieve, pero los datos, estudios y pronósticos que se han hecho con esta ruta de nieve han dado resultados muy buenos, con un error aproximado de un 10%, por lo que aunque no cuenta con la ubicación correcta, los datos que entrega son buenos y perfectamente utilizables.



Estación Ruta de Nieve, DGA

4) La última estación visitada fue la estación fluviométrica de Río Maipo en el Manzano, la cual pertenece a la dirección General de aguas y esta en funcionamiento hace más de 20 años. Se encuentra ubicada en la localidad del manzano, en donde se juntan el Río colorado y el Río Maipo, situada a los 33° 35' de latitud sur y 70° 27'de longitud oeste, a una altura de 850 msnm y abarca una superficie de la cuenca de unos 4.968 km^2.

   La estación cuenta con un instrumento llamado molinete, el cual es operado por dos personas, las cuales comenzando de un lado del río, avanzan de un lado hasta el otro y cada dos metros van introduciendo el instrumento al río y van anotando los datos que entrega el molinete, estos datos son velocidad del agua, profundidad del agua y el caudal que pasa por la zona de influencia del molinete, que aproximadamente son 50 cm. para cada lado del instrumento.

   Antiguamente la medición de caudal se hacia una vez al mes, pero hace aproximadamente dos años, esta medición se realiza cada 2 meses.

   También la estación cuenta con un limnímetro, el cual permite medir el nivel del agua.





Estación Fluviométrica El Manzano, DGA

5. Documentos Relacionados y Modelo de Derretimiento

5.1 Documentos Relacionados

A continuación se presentan una serie de resúmenes de documentos extraídos de la biblioteca de la Dirección General de Aguas (DGA) y de la biblioteca de la Universidad de Chile, los cuales tratan estudios relacionados con el análisis de derretimiento de nieve. Estos documentos tratan en general metodologías y distintas formulas utilizadas en el cálculo de la ablación y la posterior escorrentía que se agrega al caudal del río. Los documentos completos ya fueron entregados, razón por la cual en este informe solo se entrega un pequeño resumen de cada documento.

- Pronóstico de Caudales de Deshielo en el Corto Plazo.

  Este documento es de la Dirección General de Aguas, del año 1983 su autor es el Ing. Civil Don Humberto Peña Torrealba. Este documento propone un procedimiento de pronóstico de caudales de deshielo en el corto plazo en base a un modelo de simulación muy simplificado. Los datos de entrada que utiliza son la temperatura máxima diaria, la línea de nieve y el caudal del día anterior.

  Para la determinación del derretimiento de nieve, se utiliza el factor grado – día. El modelo de derretimiento que se utiliza en este documento esta construido sobre las siguientes bases:

  1. se subdivide la cuenca en bandas de igual elevación.
  2. el derretimiento de cada banda se determina diariamente en base a una relación del tipo

  $$Di = a \cdot (T_{xi} - T_b) \quad \text{Con} \quad T_{xi} > T_b \qquad (1)$$

  Siendo : Di = derretimiento diario de la banda i.
  T_{xi} = temperatura máxima diaria en la banda i.
  a = factor de fusión por grado-día.
  T_b = temperatura de referencia (temperatura base).

  3. las temperaturas máximas diarias presentan un gradiente con la elevación única y constante durante toda la temporada.

- Procedimientos Para la Estimación de Crecidas en Cuencas Nivales.

  Este documento, al igual que el anterior, es de la Dirección General de Aguas, del año 1985 su autor es el Ing. Civil Don Humberto Peña Torrealba. El Documento propone un Método de evaluación de crecidas por derretimiento de nieves para la

zona central del país en cuencas donde no halla información fluviométrica. El método propuesto requiere de poca información y su aplicación es sencilla.

- Estimación de Tasas de Derretimiento de Nieve

  Este documento también es de la Dirección General de Aguas, del año 1985 y sus autores son Don Humberto Peña Torrealba y Don Fernando Escobar. Este documento investiga métodos para la estimación de la tasa de derretimiento diaria de la nieve en los Andes Centrales de Chile. Utilizando distintas formulas propuestas en otros países en base a mediciones directas de ablación realizadas por la DGA en lugares de la cuenca del río Maipo.

- Medición de la Variable Cobertura de Nieve y su Aplicación al Estudio del Deshielo en Cuencas andinas Chilenas

  Este documento fue desarrollado por la Dirección General de aguas en conjunto con la Universidad de Chile en el año 1983. Sus autores son el señor Humberto Peña Torrealba y Don Alejandro Farías. Este trabajo contiene los principales aspectos de una investigación desarrollada para la medición de superficie cubierta de nieve en cuencas de la Cordillera de los Andes, Zona Central de Chile, con miras a su empleo en la elaboración de pronósticos de deshielo.

Con respecto a documentos pertenecientes a la Universidad de Chile, fueron entregados anteriormente extractos de dos memorias de títulos que tratan de la aplicación de un modelo de simulación para el cálculo de caudales en cuencas nivo-glaciales. Estos documentos se encuentran en forma integra en la Biblioteca Central de la Universidad de Chile. Para una Posterior consulta a continuación se entregan los nombres y autores de ellas.

- Optimización de un Modelo Matemático de Simulación de los Procesos de Acumulación y Derretimiento de Nieves.

  Autor: Patricio Ferrer Artigas
  Año: 1967

- Pronostico de Caudales en Cuenca Nivo-Glacial Mediante un Modelo de Simulación

  Autor: Cecilia Riveros Luna
  Año: 1985

Referente a documentos e Investigaciones de glaciares, existen estudios realizados años atrás, que dan a conocer todos los glaciares existentes en la cuenca del Maipo, así como también sus propiedades físicas y geométricas. Estos documentos pueden ser útiles solo como referencia, ya que los estudios son de muchos años atrás y a la fecha los glaciares ya han cambiado todas sus propiedades. Pero debido a lo extensos que son, ya que abarcan una gran cantidad de volúmenes no se incluyeron.

Para una posterior consulta o utilización, se da a conocer su ubicación física y su clasificación para una fácil ubicación. Los documentos son los siguientes:

Todos los documentos se encuentran en la Biblioteca de la Dirección General de aguas (DGA), la cual tiene sus oficinas en calle Morande 59, piso 8.

1._ Titulo : Inventario de Glaciares Hoya del Río Maipo
Autor : Marangunic Cedomir
Clasificación : Gla – 1046
Año : 1979

2._ Titulo : Inventario de Glaciares Hoya del Río Maipo, listado Computacional actualizado.
Autor : Valdivia Pedro
Clasificación : Gla – 1075
Año : 1983

3._ Titulo : Inventario de Glaciares Andes de Chile Central (32° - 35° Lat. Sur): Hoyas de los ríos Aconcagua, Maipo, Cachapoal y Tinguiririca
Autor : Valdivia Pedro
Clasificación : Gla – 388
Año : 1984

5.2 Metodologías de Derretimiento

Las metodologías utilizadas para el cálculo de la cantidad de nieve derretida son muchas y variadas, dependiendo del lugar físico y del país donde se realice la investigación. Ya que aunque existen formulas teóricas y bien desarrolladas, no siempre estas formulas se adecuan perfectamente a la cuenca donde se quieran aplicar, razón por la cual se desarrollan o formulan muchas ecuaciones empíricas que funcionan perfectamente para una cuenca en particular, pero considerando todos los factores originales, y creando un ambiente lo mas parecido al original se pueden aplicar y ver que resultados dan en otras cuencas.

Básicamente existen dos metodologías teóricas que se utilizan para el cálculo del derretimiento de nieve. Una es la metodología del balance calórico y la otra es el método del factor Grado-día.

Balance Calórico

El manto de nieve para comenzar a fundirse requiere primero alcanzar un punto de temperatura homogénea de cero grado centígrado. Antes de esto, se producen procesos de fusión superficial y recongelación por un tiempo cuya duración esta relacionado estrechamente con la magnitud de la acumulación de nieve.

Cuando se produce el calor suficiente para llevar las condiciones del manto a cero grado, es considerado isotermo a 0 °C. El calor adicional que penetra en el manto produce el derretimiento de la nieve.

La ecuación de balance calórico que considera los diferentes aportes de calor hacia y desde el manto es:

$$Q_m = Q_{rol} + Q_{roc} + Q_{ll} + Q_{cond} + Q_{conv} + Q_s$$

Donde los componentes del balance calórico son:

Q_m : Calor neto total.
Q_{rol} : Radiación de onda larga.
Q_{roc} : Radiación de onda corta.
Q_{ll} : Calor otorgado por la lluvia.
Q_{cond} : Calor producido por procesos de condensación o evaporación (calor latente).
Q_{conv} : Calor cedido por convección.
Q_s : Intercambio de calor entre la nieve y el suelo.

Esta ecuación se puede modificar, dependiendo de los factores que estén involucrados en el proceso de derretimiento de nieve, pudiendo por ejemplo eliminar el término Q_{ll} en el caso de que en la zona no existiese precipitación en un determinado periodo.

Factor Grado – Día

Como para la utilización de la formula antes descrita se necesita contar con una gran cantidad de datos meteorológicos que son difíciles de obtener, como por ejemplo, temperatura de la nieve, temperatura de nubes, nubosidad, presión de vapor, temperatura del punto de rocío, etc. en la práctica, por ser un método que utiliza poca información meteorológica, solo se utiliza como expresión del balance de energía el método del factor grado-día, que se define como la diferencia de un grado de temperatura por día entre la temperatura media del día y una temperatura de referencia.

La ecuación del factor grado-día es la siguiente:

$$BE = \alpha \times (t_a - t_b) \times 80$$

Donde

BE : Balance de Energía.
α : Factor grado-día.
t_a : Temperatura media diaria del aire.
t_b : Temperatura base.
80 : calor latente de fusión (cal/cm^2).

5.3 Modelo de Derretimiento y Escorrentía

En la zona central de chile los ríos tienen un régimen marcadamente nival, proveniente del derretimiento de las nieves acumuladas en los meses de invierno y de la ablación producida en los glaciares existentes.

El conocimiento anticipado de los caudales a escurrir en el periodo de deshielo, permitirá planificar y optimizar el uso de estos caudales, favoreciendo principalmente la generación de energía y la agricultura.

Si se cuenta con un buen registro de caudales en épocas de deshielo y estadísticas de variables meteorológicas, se pueden establecer relaciones que permitan cuantificar los recursos hídricos en el periodo de deshielo, es decir, confeccionar un pronóstico.

El pronostico de caudales de deshielo, corresponde entonces a determinar con la máxima exactitud los caudales que se producirán en el periodo de deshielo en una cuenca determinada.

Una vez obtenida la cantidad de nieve derretida a través de las metodologías mencionadas anteriormente, se debe determinar cual es la escorrentía que llega a los ríos, para poder saber en forma anticipada el caudal disponible para las distintas actividades que se requiera.

Para poder determinar el caudal aportante por los deshielos, en la actualidad existen modelos matemáticos y computacionales que relacionan los distintos factores climáticos y meteorológicos para poder así entregar una simulación de los caudales que se generaran en un cierto periodo de tiempo.

Uno de estos modelos es el Snowmelt Runoff Model (SRM), modelo de escorrentía de fusión de nieve, el cual ha sido utilizado por una gran cantidad de investigadores en todo el mundo entregando simulaciones bastantes aproximadas a la realidad, por lo que es un modelo aprobado y que tiene la particularidad que se necesitan muy pocos datos de entrada para su aplicación.

A continuación se presenta un pequeño resumen del método, explicando como funciona y las variables de entrada que necesita par su aplicación.

5.3.1 Snowmelt Runoff Model (SRM), Modelo de Escorrentía de Fusión de Nieve

Introducción

El modelo SRM (Snowmelt Runoff Model; en alguna bibliografía también llamado Modelo de Martinec y Rango) es un modelo de escorrentía de la nieve fundida. Está diseñado para simular y predecir el caudal diario en cuencas de montaña, donde la fusión de nieve tiene un papel importante. Recientemente también ha sido utilizado para evaluar el efecto del cambio climático sobre la cobertura de nieve y su escorrentía. El modelo SRM fue desarrollado por Martinec (1975) y aplicado a pequeñas cuencas en Europa. Gracias a los avances en teledetección de nieve mediante satélites el modelo SRM se ha ido aplicando a cuencas cada vez mayores, siendo la mayor donde se ha aplicado de 120.000 km2. Los cálculos de escorrentía del modelo suelen ser fácilmente asimilados.

El modelo SRM puede ser aplicado a cuencas de montaña de casi cualquier tamaño (desde 0.76 km2 hasta 120.000 km2) y cualquier rango de alturas (por ejemplo 305-7690 m). El modelo se inicializa con un valor de caudal conocido o estimado y puede calcular el caudal de un número ilimitado de días siempre que se le suministren las variables de entrada (temperatura, precipitación y porcentaje de superficie cubierta de nieve).

El Modelo SRM sirve para la Simulación del caudal diario durante el período de fusión, para uno o varios años consecutivos. Los resultados pueden ser comparados con el

caudal medido para evaluar la simulación y para verificar los parámetros utilizados. Las simulaciones sirven también para evaluar patrones de caudal de cuencas sin mediciones, usando teledetección con satélites para la superficie de nieve y extrapolando temperaturas y precipitación de estaciones cercanas.

Estructura del Modelo

El modelo calcula la cantidad diaria de agua procedente de la fusión de la nieve y de la lluvia. Esta cantidad se añade al caudal de recesión para obtener el caudal total diario según la siguiente ecuación:

$$Q_{n+1} = \left[c_{Sn} a_n (T_n + \Delta T_n) S_n + c_{Rn} P_n\right] \frac{A \cdot 10000}{86400} (1 - k_{n+1}) + Q_n k_{n+1}$$

Donde: Q = caudal medio diario [m3 s-1]

c = coeficiente de escorrentía, considera las pérdidas como un cociente (escorrentía/precipitación), con c_S referido a fusión de nieve y c_R referido a lluvia.

a = factor de grados-día [cm °C-1 d-1], indica el espesor de nieve fundida debido a un grado-día.

T = número de grados-día [°C d].

ΔT = ajuste de grados-día mediante la razón de variación de temperatura (lapse rate), cuando se extrapolan temperaturas desde una estación de referencia a una zona de elevación [°C d].

S = cociente del área cubierta de nieve al área total.

P = aportación de la precipitación [cm]. La temperatura crítica T_{CRIT} determina cuando esta aportación es en forma de lluvia e inmediata. En caso de ser nieve nueva, se almacena hasta que se reúnan las condiciones de fusión.

A = área de la cuenca o zona [km2].

K = coeficiente de recesión, indica el decremento del caudal en ausencia de aportaciones de lluvia o fusión de nieve:

$$k = \frac{Q_{m+1}}{Q_m}$$ (m, m+1 son días consecutivos de un periodo de recesión)

n = secuencia de días durante el período de cálculo de caudal. La ecuación (1) considera un tiempo de retraso (time lag) de 18 horas entre el ciclo diario de temperatura y el ciclo de caudal resultante, de modo que los grados-día registrados el día n se traducen en caudal del día n+1. Se pueden introducir diferentes tiempos de retraso mediante una subrutina.

$\frac{10000}{86400}$ = factor de conversión de $cm*km^2*d^{-1}$ a m^3*s^{-1}.

Las variables T, S y P han de ser medidas o determinadas a diario. Los parámetros c_R, c_S, la *razón de variación* (lapse rate) para hallar ΔT, T_{CRIT}, k y el *tiempo de retraso* (lag time) son todos ellos característicos de una cuenca particular o, mas en general, de un clima particular.

Si el rango de alturas de la cuenca es mayor de 500 m., se recomienda subdividir la cuenca en zonas de elevación de unos 500 m. cada una para un mejor resultado de la simulación.

Datos necesarios para operar el modelo

Características de la cuenca:

Se necesita saber el punto más bajo y el punto mas alto de la cuenca, para separar la cuenca en zonas de altura, cada zona se separa cada 500 m. además se necesita conocer la altura media hipsométrica de cada zona y su superficie.

Variables:

Las variables necesarias para poder aplicar el modelo son los siguientes:

Temperatura: El modelo puede trabajar, tanto con las temperaturas medias diarias de la zona o con las temperaturas extremas, independiente de cual sea el dato que se tiene los resultados son los mismos.

Precipitaciones: El modelo trabaja con las precipitaciones diarias, las cuales pueden ser las que se registren en la estación base o por zonas de elevación, si es que se cuenta con estaciones en esos puntos.

Área Cubierta de Nieve: el área cubierta de nieve va disminuyendo por la fusión de ésta, razón por la cual se necesita conocer el porcentaje de área cubierta por nieve en las distintas zonas de la cuenca, esta información se obtiene a partir de fotografías aéreas, para cuencas muy pequeñas, y a través de imágenes

satelitales, por ejemplo imágenes del satélite Landsat, las cuales entregan una mejor información.

Parámetros:

Los parámetros de SRM no han de ser calibrados ni optimizados con datos históricos. Pueden ser, o bien calculados a partir de medidas o bien estimados mediante criterios hidrológicos que tengan en cuenta las características de la cuenca, leyes físicas y relaciones teóricas o relaciones empíricas mediante regresión. Los eventuales ajustes que se hagan a los parámetros no deben nunca sobrepasar los límites de los valores física e hidrológicamente aceptables.

Algunos de los parámetros son los siguientes:

Coeficiente de escorrentía, de lluvia y de nieve: Este coeficiente tiene en cuenta las pérdidas, esto es, la diferencia entre el volumen de agua disponible (fusión + lluvia) y el caudal saliente de la cuenca. A largo plazo ha de ser el cociente entre la precipitación medida y el caudal medido. De los parámetros de SRM, el coeficiente de escorrentía es el primer candidato a ajustar en caso de no obtener una buena simulación.

Factor grado-día: El factor grados-día [cm $^{\circ}C^{-1}d^{-1}$] convierte el número de grados-día T [$^{\circ}Cd$] en espesor diario de agua M [cm] procedente de la fusión de la nieve. Una forma de hallar este factor es comparar los grados-día registrados en una cuenca con la disminución de agua en forma de nieve. Esta disminución puede calcularse con dispositivos de medida de radioactividad, con las llamadas "almohadas de nieve" (snow pillows) o con lisímetros.

Razón de variación de temperatura (γ): Si se dispone de estaciones de medida de temperatura a distintas alturas se puede hallar γ a partir de datos históricos. En caso contrario ha de ser evaluada por analogía con otras cuencas o por consideraciones climáticas. En simulaciones SRM, un valor típico es 0.65 $^{\circ}C$ cada 100 m.

Además de otros parámetros que se encuentran explicados en el documento entregado anteriormente.

El Programa

El modelo de escorrentía de la nieve fundida de Martinec/Rango (modelo SRM) originalmente fue escrito en FORTRAN para ordenadores de la serie IBM 370. La primera versión computerizada del modelo fue escrita por Martinec *et al.* (1983). En 1986 el código en FORTRAN se instaló en un PC IBM y fue modificado para funcionar en un entorno PC.

Ese año se decidió hacer una versión específica para PC que aprovechase las posibilidades inherentes al PC. Como resultado se obtuvo el programa Micro-SRM, Versión 1.0.

En versiones sucesivas se han ido introduciendo mejoras hasta la versión actual WinSRM, versión 1.0. El programa gestiona automáticamente las entradas múltiples de temperatura y precipitación para un máximo de 10 zonas de altura de una cuenca, cualquier tiempo de retraso y situaciones complejas que varían entre lluvia y nieve. El cálculo de los 365 días de un año se realiza en cuestión de segundos, el hidrograma calculado frente al medido se representa inmediatamente y, si se desea, se imprimen estas gráficas rápidamente. También se calcula y se muestra la precisión alcanzada. Se puede mostrar un resumen de los parámetros utilizados después de cada ejecución, permitiendo realizar ajustes y valorar sus efectos.

La versión actual del Modelo WinSRM, versión 1.0, fue desarrollado usando Microsoft Visual Basic 6.0.

6. Conclusión

El modelo de Escorrentía de nieves (Snowmelt Runoff Model) es la herramienta que mejor puede representar el estudio que se quiere realizar, debido a que es un modelo que requiere poca información meteorológica de entrada, su aplicación se permite para cualquier tamaño de cuenca y ya ha sido probado en numerosas cuencas del mundo con resultados muy aceptables. El único inconveniente que se puede presentar, es que los parámetro que utiliza el programa algunos deben ser estimados por personas que tengan experiencia en hidrológica de nieves y que en el caso de que los resultados entregados por el programa no sean los esperados, puedan determinar que parámetro modificar para que los datos se ajusten mejor a la realidad.

Por otro lado, para la aplicación de este modelo, se requiere conocer muy bien el área de la cuenca cubierta por la nieve, ya que este es una variable muy importante para el programa. Conocer esta superficie implica mucho trabajo, ya que se debe realizar analizando imágenes satelitales, las cuales no son de fácil acceso, y el trabajo que requiere la determinación de esta área implica mucho tiempo. Razón por la cual se necesita disponer de un periodo de tiempo extenso para poder desarrollar por completo este estudio. Esta información satelital se encuentra en el Centro de Estudios Espaciales (CEE), y a modo netamente educacional el CEE nos facilitara las imágenes para poder trabajar en la memoria de titulo. A priori no se tiene claro exactamente si es que se necesitará adquirir más imágenes y el precio que esto tendría, por tanto no se puede estimar aún un valor ni un presupuesto para las imágenes.

Otro aspecto muy importante es definir muy bien la cuenca en la cual se va a desarrollar el estudio, ya que algunas cuencas al no contar con mucha información, tanto meteorológica, como de nieves y de glaciares, es muy difícil poder pronosticar la cantidad de agua disponible por derretimiento de nieves. Por ejemplo, para la cuenca del Elqui, es poca la información que se tiene de nieve, además que como es una cuenca pequeña, los glaciares existentes en la zona son muy pequeños y no existe un inventario muy actualizado de ellos, por lo que es muy difícil definir sus tamaños y superficies.

Referente a información sobre nieve, las estaciones meteorológicas miden solamente la cantidad de precipitación nival, y no la profundidad de nieve que halla acumulada en un momento dado, por lo que el dato de profundidad de nieve es difícil determinarlo. La única forma de determinar ese dato es a través de campañas en terreno que se deben realizar en una fecha adecuada para determinar la máxima profundidad de ésta.

Los demás datos meteorológicos, como precipitación y temperatura se encuentran en la DGA, y para la cuenca del Maipo se dispone de un registro muy completo de una cantidad de años bastante amplia.

7. Anexo

Como anexo al estudio se entrega un trabajo realizado en argentina, el cual trata en forma muy general una metodología para la estimación del área nevada en las altas cuencas de la cordillera, que puede ser muy útil y parecido al procedimiento que se debería realizar para este estudio.

Estimación del Área Nevada en la Alta Cuenca del Río Mendoza, Argentina, mediante la Teledetección Satelital

José M. Zuluaga, Luis Fornero, Alejandro Drovandi y Marta Nuñez

Instituto Nacional del Agua - Centro Regional Andino

Resumen

Se realizó un análisis multitemporal combinando la alta resolución espacial de las imágenes LANDSAT con la alta repetitividad temporaria del satélite NOAA, a partir de sus bandas visibles infrarroja cercana y térmicas con lo que se pudo evaluar el área cubierta por la nieve (SCA) durante el período de fusión nival.

En la primera etapa se analizaron dos imágenes de buena calidad del satélite LANDSAT TM de los meses de octubre de 1997 y marzo de 1998 que cubren los 1.858 Km^2 de la cuenca de estudio del Río Tupungato que es uno de los principales afluentes del Río Mendoza. Estas imágenes corregidas geométricamente con la cartografía base, permitieron una adecuada superposición con las imágenes NOAA-AVHRR de menor resolución espacial y mayor deformación, debido a la precisión propia de un satélite meteorológico. Toda esta información se volcó en una base de datos georeferenciada a partir de la cartografía del IGM escala 1:100.000 la que pudo cruzarse con el análisis morfométrico de las cuencas para inferir la influencia topográfica en la fusión nival utilizando un modelo digital de terreno WODITEM (Cazorzi, F., 1993).

Otra aplicación interesante fue la de usar el área cubierta con nieve en la calibración de modelos del tipo morfoenergético distribuido, como es el NEVE (Universidad de Padova-Italia) para luego aplicar el modelo SRM (U.S.Agricultural Research Service), basado en el método grado-día, y así poder estimar la incidencia del cambio climático en el escurrimiento por fusión nival.

Introducción

El aprovechamiento eficiente de los recursos hídricos en cuencas con aporte nival requiere de un profundo conocimiento de la hidrología de nieves y hielos. Dicho conocimiento presenta hoy en día importantes vacíos, los que deben ser investigados para alcanzar una

comprensión cabal de los fenómenos y, posteriormente, desarrollar los procedimientos de estudio y diseño adecuados a las necesidades de la ingeniería.

Uno de los datos imprescindibles para alimentar los modelos de simulación y para su posterior calibración es la superficie cubierta por la nieve (SCA) . Debido a la amplitud y a la inaccesibilidad de la zona de estudio, el uso de la teledetección surge como una valiosa herramienta. Cualquier estudio destinado al aprovechamiento o control del recurso hídrico en la zona andina no puede prescindir de considerar la contribución por fusión nival al escurrimiento superficial directo (70% en el año medio).

El caudal base invernal está generado por el agua infiltrada y que aparece en las laderas de los cauces como aporte subsuperficial. El proceso de fusión nival comienza en la primavera (en la segunda quincena de setiembre o primeros días de octubre) y su finalización depende de la cobertura y espesor del manto nival, llegando en casos extremos a fines de marzo. Luego el hidrograma anual de escurrimiento está comprendido entre julio y junio del año siguiente produciéndose los caudales máximos a fines de diciembre o primeros días de enero.

Objetivos

Utilizar los datos provenientes de satélites meteorológicos (NOAA-AVHRR) y de observación de la tierra (LANDSAT-TM) para el mapeo del área nevada y su posterior utilización en los modelos de fusión nival.

Materiales Y Métodos

Área de estudio

El área de estudio comprende la cuenca del río Tupungato (afluente del río Mendoza) que se ubica entre 69°45' y 70°10' de longitud Oeste y entre 32°35' y 33°21' de latitud Sur. El límite oeste de la cuenca se halla recostado sobre la divisoria de aguas de la cordillera andina que es a su vez límite entre Argentina y Chile. La superficie de la cuenca Tupungato es de 1858 km^2 y su altitud media es de 4251 m s.n.m.

Imágenes satelitales utilizadas

Para alcanzar los objetivos previstos se utilizaron fundamentalmente dos tipos de información: por un lado la proveniente de satélites meteorológicos como el NOAA-AVHRR cuyos datos fueron suministrados por el Centro de Estudios Espaciales (CEE) de la Universidad de Chile. Estas imágenes de alta frecuencia temporal tienen una baja resolución espacial de 1,1 km2 y la pasada seleccionada fue la de las primeras horas de la tarde, los datos brutos de las bandas visibles e infrarrojas fueron tratados en el Centro Regional Andino del INA. Por otro lado se recurrió a imágenes de alta resolución (30 m.) como son las de LANDSAT 5, provistas por la estación Córdoba de CONAE

De todas las fechas disponibles se selecionaron aquellas, en que la nubosidad era escasa o nula y con un buen ángulo de vista sobretodo en caso de NOAA.

Tratamientos realizados

Debido a que tanto en el Centro Regional Andino del INA como en el Centro de Estudios Espaciales de la Universidad de Chile se disponía de un programa muy difundido en todo el mundo y de fácil utilización se decidio utilizar para el tratamiento de la información satelital IDRISI para Windows; desarrollado por la Facultad de Geografía de la Universidad de Clark que es uno de los programas más utilizados en el manejo de archivos raster y vectoriales, permitiendo una buena georeferenciación de la imagen y su posterior clasificación.

La información de todas las imágenes disponibles fue tratada en modo raster. Para facilitar la comparación de imágenes de distintas fechas se elaboraron máscaras superponiendo el perímetro de la cuenca con la imagen raster respectiva. De esta forma se recorta la cuenca de interés manteniendo la información original en la parte interna y asignando un valor arbitrario en la parte externa que puede ser el valor 0.

Clasificación de la imagen

Una vez corregidas geométricamente todas las imágenes y recortada la cuenca de interés se realiza la clasificación de la información radiométrica, que varía de 0 a 255 niveles de gris para las imágenes LANDSAT y de 0 a 1024 para el caso del NOAA. Se denomina clasificación a cualquier técnica donde los datos se agrupan en un número más pequeño de clases más generales.

En la segunda etapa se pasa a una clasificación supervisada que consiste en elegir sectores de la imagen perfectamente conocidos y con datos de terreno de donde se extraen los valores característicos del hielo y la nieve para cada una de las fechas, posteriormente se realiza el análisis estadístico de estos datos para definir el rango de reflectancia adecuado para la clasificación final.

Resultados

La metodología desarrollada permitió determinar el área cubierta con nieve (SCA) de la cuenca del Río Tupungato para diferentes fechas.

La información de la superficie nevada se puede cruzar con el análisis morfométrico de la cuenca para inferir la influencia topográfica en la fusión nival utilizando un modelo digital de terreno WODITEM (Watershed Oriented Digital Terrain Model) desarrollado Cazorzi, F., 1993 el que a parte de las principales características morfométricas de las cuencas: hipsometría, exposición y pendiente; permite incorporar otros temas como por ejemplo: red de drenaje, contornos de cuencas y subcuencas como lo muestran los resultados obtenidos por Vargas A et al., 2001 en la cuenca del Río Tupungato.

El área de la cuenca cubierta por nieve, para distintas fechas ha sido de gran utilidad para el trabajo realizado por Maza et al 2001 para poder calibrar el modelo morfoenergético distribuido NEVE de la Universidad de Padova, Italia (Cazorzi, 1999).

El modelo produce como salida una secuencia de mapas de SWE (Fig. 7), que se asemejan con el área cubierta de nieve (SCA) obtenida por teledetección. La diferencia de precisión de SCA que existe entre ambos tipos de sensores remotos se explica en el tamaño del píxel de cada uno: LANDSAT TM 30 m y NOAA 1,1 km y en que, para una SCA de 50% y un píxel de 1,1 km la cantidad de elementos puros es de 30% mientras que, para igual SCA pero con píxel de 30 m, la cantidad de elementos puros es de 80% (Baumgartener, M.F. et al, 1987). El modelo además proporciona la fusión nival acumulada en fechas que el usuario selecciona. También produce archivos con valores medios horarios para toda la cuenca de SWE, fusión nival, lluvia y precipitación nival., que resultan de gran utilidad para aplicarlos en el modelo SRM (U.S. Agricultural Research Service), basado en el método grado-día, para estimar la incidencia del cambio climático en el escurrimiento por fusión nival. Previamente el modelo SRM fue calibrado por Maza et al 2001, contemplando el hidrograma observado durante el período mencionado.

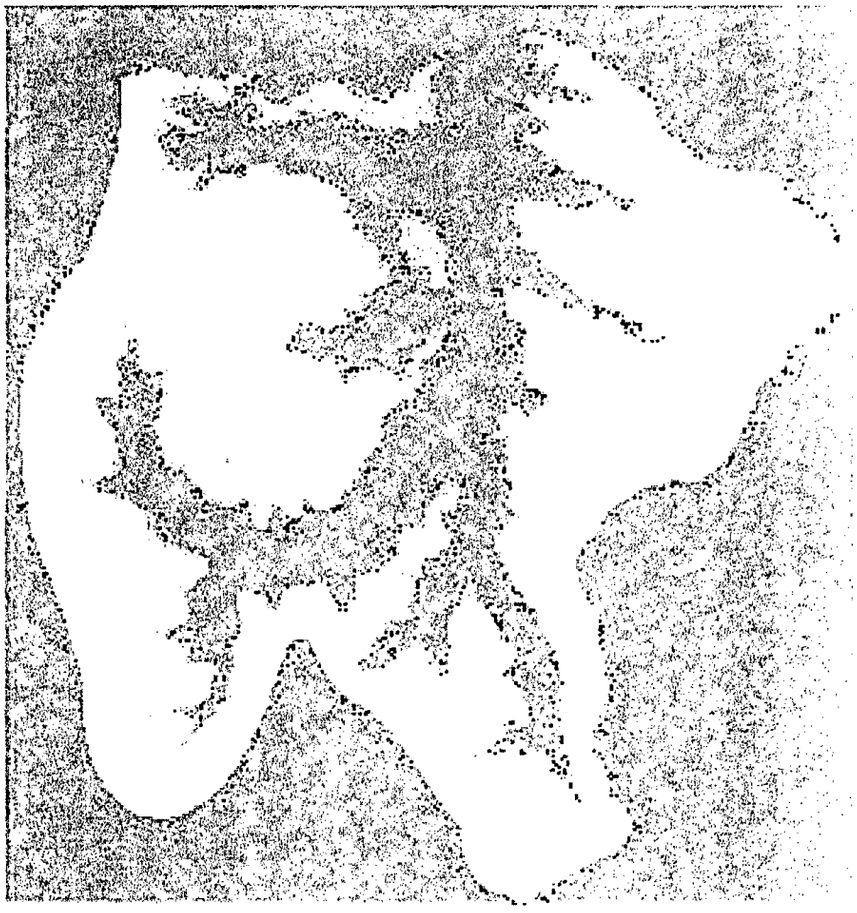


Figura 7. Salida del Modelo NEVE

Consideraciones sobre derechos de aguas en Chile

Experto de JICA
Ministerio de agricultura

Jun Kurosawa

Mayo de 2005

INDICE

1. Introducción.....2

2. Antecedentes históricos.....4

3. Situaciones de la ley vigente.....6

3.1 Objetivos y contenidos de la ley vigente.....6

3.2 Situaciones actuales en torno a los derechos de agues.....7

4. Evaluación general y puntos problemáticos de la ley vigente.....11

4.1 Evaluación general del régimen de derechos de aguas vigente.....11

4.2 Puntos problemáticos indicados.....13

4.3 Orden de puntos en cuestión en el presente studio.....18

5. Discusión.....20

5.1 Consideración desde el punto de vista individual.....20

5.2 Discusión desde el punto de vista global.....26

6. Epílogo.....30

1. Introducción

La existencia de derechos de aguas en Chile es muy conocida entre los interesados del desarrollo de recursos hídricos o fomento agrícola de este país, siendo muy particular. Su gran característica es que los derechos de aguas se pueden transar libremente en el mercado, igual que otras mercancías. En otros países sólo se permite el derecho de uso como los derechos de aguas. Se puede pensar principalmente dos razones por las cuales se ha arraigado este régimen en Chile.

Una razon es que la conciencia individual de derecho de poseer el agua ha sido muy fuerte, debido a que desde la época de la colonización hasta la fecha sobre todo en la zona seca central y septentrional el agua ha sido una fortuna muy valiosa. Por consiguiente muchas leyes han sido emitidas repetidamente desde hace mucho tiempo, y llegando al año 1951 fue compilado como Código de Aguas. Posteriormente este Código de Aguas ha sido modificado varias veces, y en relación al concepto del derecho individual también ha sido cambiado por influencias políticas de tiempo. En la modificación de 1981, que se rige hasta la fecha, se precisó la comercialización de derechos de aguas en el mercado.

La otra es que existe una tendencia mundialmente reconocida en los últimos años en la cual se forma un pequeño gobierno por medio de la reforma administrativa y que se realiza una administración económica racional por el mecanismo del mercado. En este sentido Chile es uno de los países avanzados en la reforma administrativa en el mundo, manteniendo la postura de intervenir lo menos posible por parte del gobierno y de encargar distribuciones al mecanismo del mercado en cuanto a los derechos de aguas. Lo que refleja bien este pensamiento es la modificación del Código de Aguas de 1981.

De esta manera los derechos de aguas chilenos consituyen un régimen muy avanzado en un cierto sentido, permitiendo su compraventa y arriendo, igual que el sistema australiano iniciado en 1995.

Sin embargo, las dos razones antes mencionadas (importancia de fuentes de aguas y enfoque del mecanismo del mercado) pueden aplicarse a otros países en el futuro, considerando el aumento de demanda de aguas debido a un rápido crecimiento de la población en el mundo, y la dificultad de desarrollo de nuevas fuentes como represas por problemas ambientales. En la actualidad el Banco Mundial y el Banco Interamericano de Desarrollo tratan de promover la manera chilena en países latinoamericanos como Ecuador, Perú, etc., y puede haber la posibilidad de discutir la adopción de este sistema como un tema real en países como Europa, Norteamérica, Japón. En los Estados Unidos existen estados donde tienen establecido el régimen parecido al chileno.

En Chile, desde hace más de una decada se ven movimientos para modificar el Código de Aguas de 1981 y se discute en la actualidad en el Congreso. Pero su contenido se refiere a diversos inconvenientes generados a partir de la última modificación, dejando fuera la discusión de encargar los derechos de aguas al principio del mercado.

Bajo estas circunstancias dentro y fuera de Chile, lo que considero en el presente trabajo es lo bueno o lo malo en sí de dejar los derechos de aguas en la mano del principio del mercado. Está aceptado mundial y generalmente el pensamiento de que, el agua y el aire (aunque existe una gran disputa si se incluye la tierra aquí) deben ser de propiedad común, dado que son lo más fundamental para la vida humana. Es decir, en cuanto al agua, que se considera como propiedad común, se permite sólo el derecho de uso para los usuarios. Por otra parte, existe una idea de que es deseable dejar lo más posible aun los capitales sociales como carreteras, ferrocarriles,

puertos, en la mano del principio del mercado para el uso racional y que el agua no es excepcional. Algunos economistas lo han teorizado.

Por lo tanto, en torno al tema de la existencia de los derechos de aguas con estos antecedentes complejos, es útil discutir sobre lo bueno o lo malo de experiencias chilenas, llamado "modelo chileno", afirmando en consideración de situaciones sociales y económicas de Chile. Para países donde hay posibilidad de introducir esta manera en el futuro, se mostrarán resultados experimentales oportunos. Desde este punto de vista, tanto expertos chilenos como involucrados al desarrollo de recursos hídricos en el Banco Mundial, etc. han hechos diversas investigaciones en cuanto a este tema.

Por consiguiente, en este estudio, primero echaré una mirada retrospectiva a los detalles históricos de los derechos de aguas en este país, después daré una idea general de resultados de investigación dentro y fuera del país sobre este problema y de opiniones de personas relacionadas, obtenidas en esta oportunidad, y finalmente reflexionaré sobre este problema. La captación de opiniones de los interesados se realizó desde marzo hasta abril de 2005 en forma de entrevista a los encargados de los derechos de aguas en el Ministerio de Agricultura y de Obras Públicas, expertos consultores y agricultores. Además, en el capitulo5 discusión, basándome en experiencias de renovación de los derechos de aguas, discutiré tanto cómo deben ser los derechos de aguas en Chile de ahora en adelante como los pros y los contras de implementar el modelo chileno en otros países.

En cuanto al problema de los derechos de aguas, se puede estudiar desde el punto de vista del multiuso incluyendo aguas industriales y potable, pero aquí me limito a tratarlo desde el punto de vista de aguas para uso agrícola en el concepto del fomento agrícola y el apoyo a agricultores.

2. Antecedentes históricos

Chile es un país que tiene unos 4300 km de norte a sur a lo largo del Océano Pacífico, el promedio de ancho de 200 km de este a oeste, una población de 15 millones de habitantes y una superficie de 756.000 k ㎡, limitando con la cordillera de los Andes. Como la tierra para uso agrícola, el terreno cultivado ocupa alrededor de 2.300.000 ha. (de ahora en adelante las cifras agrícolas son del año de 1997) y la pradera más o menos 13 millones de ha. En relación al terreno arable, el área irrigada, relacionada con el agua, es de 1.800.000 ha. en total, de las cuales se dice que 1.200.000 ha. tienen el factor de seguridad de riego de 85%. Este terreno cultivado, se extiende desde el pie de los Andes hasta la llanura central y la cordillera de la costa cerca del Océano Pacífico, donde se cultivan papas, cereales típicos y legumbres (unas 770.000 ha.), frutas como uvas, manzanas, ciruelas, que son una parte de la industria exportadora chilena (alrededor de 240.000 ha.), verduras y plantas de flor (11.000 ha. más o menos), productos agrícolas para elaboración (unos 70.000 ha.), semillas (alrededor de 30.000 ha.), etc., y para este país la agricultura es la segunda industria después de la industria minera cuyo principal producto es cobre. El número de trabajadores dedicados a la agricultura es de 800.000 personas más o menos, ocupando unos 14% del empleo, pero igual que otros latinoamericanos la diferencia de la posesión de tierra es grande, poseyendo sólo 5% de la superficie agrícola los agricultores pequeños que corresponde a 80% de los agricultores.

La historia de este país comienza desde el asentamiento de la tribu aimará, la atacameña, la mapuche, etc. En el siglo 16 empezó la inmigración de españoles y en 1818 Chile se independizó. Los principales sucesos después de la independencia son los siguientes :

- en 1836 guerra con la fuerza aliada de Perú y Bolivia
- en 1879 victoria en la guerra del Pacífico
- en 1883 obtención de las zonas de Tacna y Tarapacá de Perú
- en 1904 obtención de las zonas de Atacama y Antofagasta de Bolivia
- en 1929 fracaso económico involucrándose en el pánico mundial
- en 1970 inicio del gobierno socialista de Allende
- en 1973 inicio del gobierno de Pinochet por golpe de Estado
- en 1990 inicio del gobierno de Aylwin, reapertura del Congreso después de 17 años

La sociedad agrícola chilena ha evolucionado hasta ahora, recibiendo influencias políticas como arriba mencionadas, y en torno a la transición relacionada con los derechos de aguas se describe a continuación:

(1) Antes del establecimiento del Código de Aguas

Los derechos de aguas, antes de la primera promulgación del Código de Aguas en 1951, fueron tratados por el Código Civil establecido en 1857 y la ley de Asociación de Canalistas del 1908. En aquella época se permitía el derecho de propiedad privada de aguas generadas por la preparación de instalaciones, las del consumo dentro de la posesión, los lagos a los que no pueden entrar los barcos de más de 100 toneladas, y por otro lado los ríos naturales y los lagos a los que pueden entrar los barcos de más de 100 toneladas son de propiedad pública. Se dice que en aquella época no había grandes conflictos sobre el agua.

(2) Aprobación del Código de Aguas en 1951

Según el Código de Aguas promulgado por primera vez en 1951, los derechos de aguas privados y públicos eran discernidos, y el país permitía enormemente el derecho privado. La transferencia de los derechos de aguas se permitía si no se cambiaba el objetivo del uso, pero

por ejemplo si se transfería del agua para uso agrícola al uso industrial, se requería de nuevo la solicitud de derechos de aguas una vez devueltos los derechos al país.

Posteriormente, en 1962 se realizó una resuelta reforma agraria, y la relación entre los agricultores de gran escala y los empleados funcionarios se convirtió en una de propietarios antiguos y nuevos. En cuanto a los derechos de aguas, basándose en estos cambios de situaciones sociales, el Código de Aguas publicados en 1969 estableció que todas las aguas eran de propiedad estatal, diferente situación que los régimenes anteriores. Aunque los ex propietarios de aguas podían seguir teniendo los derechos de aguas, en casos de necesidades sociales o económicas podrían perderlos. Esto fue el punto de cambio de la legislación anterior y posterior en el aspecto de restringir la posesión privada de los recursos hídricos. En aquellos momentos el gobierno de Allende llevaba adelante rápidamente políticas socialistas como la nacionalización de empresas monopolizadas, reforma de terrenos, redistribución de ingresos, lo cual parece que se reflejaba en la política de aguas.

Después, la política cambió enormemente desde el gobierno de Allende al gobierno militar de Pinochet, y bajo la economía del mercado libre se adoptaban las políticas de economistas de la derecha llamada escuela de Chicago. En consecuencia, como una parte de la política de intervenir lo mínimo posible en las actividades económicas por parte del gobierno, nuevamente en 1976 fue permitido la propiedad en los derechos de aguas.

(3) Modificación del Código de Aguas en 1981

La política de permitir la propiedad privada de los derechos de aguas se hizo aún más clara por la modificación del Código de Aguas en 1981. Entrando en los años noventa, se viene discutiendo su modificación desde el punto de vista de la operación de la ley basándose en la realidad chilena, y la base del "modelo chileno" que deposita todo en la economía del mercado igual que otras mercaderías, sigue aún después de la democratización del poder político. En la realidad, como se describe más abajo, algunos contenidos de la modificación, aunque se haga desde el punto de vista operacional de la ley, pueden afectar en cierta medida la base del modelo. Pero, lo que discuto en este trabajo no es de la modificación de la operación de la ley sino la comercialización en sí de los derechos de aguas.

3. Situaciones de la ley vigente

El Código de Aguas cuya modificación se ha empezado a discutir desde hace 10 años y que aún ahora se estudia su contenido en el Congreso fue aprobado como Ley No. 1122 en agosto de 1981. Como he mencionado anteriormente esta ley pretendía el fortalecimiento de la propiedad privada para obtener la distribución racional de aguas por medio del mercado, y su pensamiento básico no se cambia aun en la discusión actual en el Congreso.

En este capítulo se confirman objetivos y contenitos de esta ley, centrándose en los puntos establecidos sobre el derecho de propiedad privada.

3.1 Objetivos y contenidos de la ley vigente

La ley vigente establecida en 1981 intentaba consolidar el derecho de propiedad privada, y es evidente que se entendía como una parte de la preferencia del mercado libre, corriente principal en el mundo económico chileno en aquel tiempo. Muchos economistas, quienes estudiaron en la Universidad de Chicago, dirigida por Friedman y otros, propusieron , desde el punto de vista del monetarismo de anti-Keynes, las políticas de aminorar lo más posible la intervención gubernamental en el mercado, y el gobierno de turno las adoptó. Eran políticas implementadas en la economía general, traspasando el problema de recursos hídricos, lo que se llama "modelo chileno". No podemos juzgar la totalidad de estas políticas económicas, pero es importante saber que, detrás del problema de los derechos de aguas, existía una fuerte tendencia.

Mirando este curso desde el punto de vista de la importancia de la propiedad privada en los derechos de aguas, hay dos objerivos de la ley.

- Recursos hídricos, propiedades escasas para este país, se pueden distribuir en la forma más eficiente cuando se trata de bienes transables en el mercado.

- Por el hecho de convertirse en propiedades transables en el mercado, se puede incrementar el incentivo en torno a la construcción de instalaciones particulares.

Las características de la ley para cumplir este logro son las siguientes :

① Los derechos de aguas son independientes de los derechos de terreno, comerciales y transferibles libremente. Este derecho de propiedad está permitido en el Código Civil.

② El uso inmediato de aguas no es condición para la adquisición de derechos de aguas, ni existen prioridades en la foma de usarlas.

③ Los derechos de aguas se otorgan por el país, y en el caso de haber contrincantes en la misma fuente de agua, se determina un adjudicatario en la licitación. Estos derechos de aguas no son objetos de impuestos (antes de esta ley se imponía).

④ El rol del país es limitado en caso de producirse conflictos, que se resuelven por el mercado o los tribunales.

⑤ Además de los derechos para consumo tales como aguas para uso agrícola o potables, se permiten también los derechos de no-consumidores, por ejemplo generación hidroeléctrica, como derechos de aguas.

⑥ Independientemente del consumo o no-consumo, los tipos de derechos de aguas se clasifican en permanentes o temporales, y cada uno se ramifica dentro del plazo en

continuidad de 24 horas o por algunas horas.

Los arriba mencionados son puntos relacionados con la propiedad particular de los derechos de aguas, y además se aclararon los siguientes :

- En cuanto a las aguas subterráneas, básicamente se aplica el mismo concepto que las aguas superficiales. Pero, La Dirección General de Aguas (de ahora en adelante DGA) del Ministerio de Obras Públicas puede ordenar la restricción de toma de agua cuando haya posibilidad de secar la napa.

- Se dividen las organizaciones del uso de aguas en las siguientes tres entidades :
  Junta de Vigilancia : vigila el uso de recursos naturales como el río
  Asociación de Canalistas : controla las instalaciones principales como represa, canal troncal
  Comunidad de Aguas : controla las instalaciones secundarias como canal en el campo agrícola

  Las funciones de estas organizaciones del uso de aguas son toma de agua, construcción, administración, mantención y mejoramiento de las instalaciones, distribución de aguas a los beneficiarios, cobro de contribución, etc.

El Código de Aguas fue modificado en 1981 con los objetivos y contenidos arriba mencionados, siendo vigente hasta la fecha, con los problemas indicados.

3.2 Situaciones actuales en torno a los derechos de aguas

En cuanto a las situaciones actuales en torno a los derechos de aguas, las escribo fundándome en los resultados de entrevistas a los expertos en este estudio, investigaciones realizadas en el pasado por el Banco Mundial, etc. Primero, el cuadro 1 muestra el uso actual de aguas en Chile.

Cuadro 1 Uso de aguas en Chile

Uso de aguas	Cantidad
Consumidor	700 m³/seg. (100%)
Aguas para uso agrícola	623 〃 (89%)
Aguas para uso doméstico	42 〃 (6%)
Aguas para uso minero e indsutrial	35 〃 (5%)
No-consumidor (básicamente generación hidroeléctrica)	1.500 m³/seg
Total	2.200 〃

Estadística de 1994

En 1994, cuando se tomó la estadística, en Chile existían 300.000 propietarios particulares de derechos de aguas y 4.000 copropietarios de derechos de aguas, y como se detalla la cantidad de aguas en el cuadro 1, la porción de derechos de aguas por parte de no-consumidores era de 1.500 m³/seg, bastante grande, pero ésta no competía básicamente con el uso por los consumidores. Sin embargo, se observan casos en que el almacenamiento temporal de aguas por las empresas eléctricas ocasiona discordia en el uso de aguas para la agricultura en las partes de más abajo del río. Por otro lado, dentro de consumidores, los agricultores ocupan el 89%, sobresaliente, pero la tendencia de los derechos de aguas en los últimos años es en forma general a mover del uso agrícola al potable, siendo esta preferencia notable, sobre todo, en la parte norte y central de Chile donde hay escasez de recursos hídricos. Dicha tendencia sigue todavía y se dice que en la actualidad un 80% a 85% de las aguas usadas son para el uso agrícola. A continuación se observa este traslado de derechos de aguas desde el punto de vista de la transacción en el mercado, es

decir, compraventa y arriendo.

(1) Compraventa de derechos de aguas

Al pensar los derechos de aguas en Chile, lo que debe llamar la atención es que todavía permanecen muchos derechos de aguas convencionales que no están legalizados según el Código de Aguas. Se dice que estos derechos de agues, por tradición, remontan a los años veinte y que aún en 1994 un 50% a 65% corresponden a éstos. Por esta influencia, la compraventa de derechos de aguas no ha avanzado mucho.

El gobierno chileno permite estos derechos de aguas convencionales como derecho, pero por otra parte trata de legalizarlos en forma de proyecto con subsidio, lo que no se adelanta tan rápidamente. Teniendo en cuenta los resultados de entrevistas realizadas para esta oportunidad, las razones supuestas son las siguientes:

- Los derechos de aguas en sí son libres de impuestos, pero una vez legalizados los derechos de aguas el avalúo del terreno sube y por consiguiente su impuesto aumenta. En otras palabras, los agricultores pagan substancialmente impuestos más altos al formalizar los derechos de aguas.

- Para legitimar se requieren diversos trámites legales, y aunque haya subsidios del país para este fin, no se puede evitar gastos individuales. También los documentos necesarios para la tramitación son complicados y hay muchos ítemes a escribir. Además existen problemas prácticos, por ejemplo, no se puede legalizar fácilmente cuando están involucrados problemas de herencia.

Ahora, en relación a las situaciones de comproventa de derechos de aguas, no hay datos recopilados y administrados, existiendo sólo resultados de estudios individuales. Esta situación en sí, se constituye en problema, pero informes del Banco Mundial muestan los siguientes resultados :

① Según la investigación (1993) de Bauer en Los Angeles (situado a unos 500 km al sur de Santiago), un 25 % de los derechos de aguas destinados a la transacción durante 10 años desde 1980 hasta 1991 fueron de compraventa. El número de casos fue 12 y la superficie beneficiaria de 65.000 ha., concluyendo que la frecuencia de compraventa era relativamente baja.

② De acuerdo a la investigación (1994) de Hearne en 4 ríos en la parte central y septentrional de Chile, se aclaró que en el río Maipo de la región metropolitana ha habido muy pocos negocios realizados por la empresa de aguas en los últimos ocho años, y que en el río Elqui en el norte la empresa de aguas ha hecho 47 compras (equivalente a 712 litros / seg. en la cantidad de agua) entre 1986 y 1993. Según el análisis de económica domestica de productos , en el caso del río Elqui el precio promedio de compraventa es de 2459 dólares por litro/seg., y el arriendo de 56 dólares. En cuanto a la compra de la empresa de aguas en el río Elqui, su forma de pensar es que en la actualidad resulta más barato comprar derechos de aguas que participar en la construcción de una represa.

③ Según el resultado de la investigación (1994) de Gazmuri y Rosegrant en Santiago, Chillán y Bulnes, durante un año desde abril de 1993 la proporción de compraventa de derechos de aguas en el caudal de ríos disminuía a medida que avanzaba hacia el sur, siendo 3% (Santiago), 1,2% (Chillán) y 0,6% (Bulnes) respectivamente. La cantidad de negocios en Chillán y Bulnes era, respectivamente, de 72 y 91, sólo generándose entre agricultores. En Santiago hubo 587 transacciones, correspondiendo a 720 litros/seg. cuya cantidad es

equivalente a aguas para unos 360 ha. de tierras agrícolas (en Chile se necesita una cantidad de agua de alrededor de 2 litros/seg/ha.). El resumen de Santiago se muesta en el cuadro 2.

Cuadro 2 Transaccón de derechos de aguas en Santiago (1992)

	Transacción entre agricultores	Transacción entre agricultores y tratamiento de aguas servidas y aguas residuales	Transacción entre agricultores y empresas mineras
No. de transacción (en total 587 casos)	76 casos (13%)	499 casos (85%)	12 casos (2%)
Proporción del volumen de transaccón (total 720·/seg)	677·/seg (94%)	22·/seg (3%)	7·/seg (2%)
Precio de transacción (total 366.050 dólares)	677·/seg x 500 dólares 338.500 dólares	22·/seg x 950 dólares 20.900 dólares	7·/seg x 950 dólares 6.650 dólares

En este cuadro, la transacción entre los agricultores es por término medio de 8,9 litros/seg por caso, lo cual es equivalente a 4,5 ha. de tierra agrícola. En cuanto al precio de transacción por litro/seg,. es 500 dólares, variando entre 300 dólares y 1000 dólares. La empresa de aguas urbanas compra a agricultores las aguas como promedio de 22 litros/seg. las cuales corresponden a la cantidad de demanda para diez mil personas más o menos (la cantidad necesaria por persona en Chile es 200 litros/día).

(2) Arriendo de derechos de aguas

El arriendo de derechos de aguas es más frecuente que la compraventa. En torno a este punto, el Banco Mudial informa de la siguiente manera :

① Según Hearne (1994), en el río Maipo de la región metropolitana se arriendan los derechos de aguas entre agricultores lindantes para pagos anuales a la Comunidad de Aguas. En las ciudades de Arica e Iquique, lugares más norteños y más escasos del agua, esta tendencia del arriendo es más fuerte, y las empresas suministradoras de aguas también arriendan pozos a agricultores para precaverse contra la sequedad.

② En la cuenca del río Limarí, zona semiseca, se hace frecuentemente el arriendo. De acuerdo a Gasmuri y Rosegrant (1994), el precio de arrendamiento de 3 meses en el período de poca profundidad de agua de ríos es de unos 90 a 120 dólares/litro/seg.

③ En el río Diguillín, situado a casí 500 km al sur de Santiago, es cotidiano el arrendamiento de derechos de aguas por corto tiempo. Las zonas más sureñas desde aquí son muy lluviosas y tienen recursos hídricos en abundancia por el momento, pero en el futuro, en relación con la industria de piscicultura y otras, se preve una competencia con las aguas para uso agrícola.

Las opiniones de los expertos sobre las situaciones actuales de la compraventa y el arrendamiento de derechos de aguas mencionados hasta ahora se refieren a que "la transacción no se realiza tan activamente", y sus razones se enumeran en los siguientes puntos:

① En caso de aguas para uso agrícola, debido a que el traslado de aguas se hace generalmente desde el canal de riego agrícola, si se traslada una parte de aguas a otro sitio, sus

influencias alcanzan a todo el canal, y a veces se necesitan reformas de instalaciones. Debido a que para estos ajustes o arreglos de instalaciones se necesitan gastos y tiempo, no se realiza activamente el traslado a otras zonas, salvo el traslado dentro del mismo canal.

② Por el lado de agricultores, hay muchos casos en que tienen derechos de aguas como los convencionales , los cuales no son aptos para la compraventa en el mercado.

③ La razón por la cual el arrendamiento es frecuente en el río Limarí, es que la represa Paloma tiene la función de almacenamiento, y su grado de libertad de agua es grande. No hay muchos ejemplos de este tipo, y la mayoría de las transacciones que se hacen aquí ocurren también entre los agricultores.

También, en cuanto al traslado de aguas para uso agrícola al agua potable, se señala el problema tomando como ejemplo el valle de Azapa de la ciudad de Arica. Esto se refiere al ① de (2) "Arriendo de derechos de aguas". Allí, el pozo de agua para uso agrícola fue ofrecido para agua potable, del cual antes se sacaba el agua cuando se necesitaba pero ahora se extrae las 24 horas diarias, y como consecuencia las aguas subterráneas de los alrededores bajaron. De esta manera, al tratarse del traslado de aguas a otro objetivo, se necesita un plan de traslado que contemple otros elementos tales como forma de uso de aguas o calidad de aguas. Pero, para ello es indispensable la intervención de un organismo público como acción de aprobación, donde parece que se encuentra uno de los problemas del mecanismo del mercado.

4. Evaluación general y puntos problemáticos de la ley vigente

Sobre la ley vigente que adopta un sistema muy particular en el sentido de permitir la propiedad privada de derechos de aguas, se han hecho varios estudios, y me he informado sobre opiniones de expertos para esta oportunidad. También, en la actualidad el Congreso discute la modificación de la ley vigente. En el presente capítulo, primero ordeno opiniones generales de esta ley, de las cuales extraigo puntos problemáticos, y finalmente preciso puntos a discutir en el presente estudio.

4.1 Evaluación general del régimen de derechos de aguas vigente

Al ordenar resultados de investigaciones realizadas hasta ahora y muchas opiniones de expertos obtenidas en esta ocasión, se dividen en lo afirmativo y lo negarivo. Pero, parece que esto se debe mayormente a diferencias de enfoques por parte de evaluadores, no de opiniones del mismo contenido. Las diferencias de este enfoque se clasifican de la siguiente manera :

① Opiniones afirmativas desde el punto de vista tanto del tipo economistas que sostienen el mecanismo del mercado como del apoyo al fomento agrícola como política estatal

② Opiniones negativas desde el punto de vista de dar importancia a la estabilidad social a través de medidas para agricultores pobres

③ Opiniones afirmativas o negativas desde el punto de vista de agricultores que son afectados actualmente por la ley vigente

Además, éstas se dividen en opiniones sobre el tema fundamental, o sea propiedad privada de derechos de aguas, y aquellas sobre la corrección de incoveniencias de la ley vigente permitiendo la propiedad privada.

4.1.1 Resumen de opiniones afirmativas

Las afirmativas de la ley vigente se pueden resumir de la siguiente manera basándose en los puntos ① y ③ arriba mencionados.

- Las aguas se distribuyen apropiada y eficientemente por medio del mercado. Sobre todo se permite transferir sin roces derechos de aguas desde uso agrícola a las de uso urbano.

- Gracias al aumento del grado de libertad de aguas por la transacción, se puede disminuir la construcción de nuevas instalaciones y de esta manera contener inversiones públicas innecesarias.

- Agricultores se ponen sensibles al valor del agua, y se reduce el consumo del agua por la implementación del moderno sistema de riego por goteo. Por consiguiente el área irrigada puede aumentar.

Las afirmativas son sólo deducibles por la aplicación del mecanismo del mercado, y para su partidarios el efecto es sumamente grande. El Banco Mundial está también en esta posición, reconociendo varios puntos problemáticos que voy a mencionar más adelante, y opina en forma general que : "el sistema chileno tiene diversos aspectos a corregir, pero funciona eficientemente hasta ahora. Como políticas futuras se requieren ajustes moderados, y no mejoramientos drásticos."

Por otro lado, en cuanto a opiniones obtenidas en las entrevistas a los expertos para esta

oportunidad, hay opiniones afirmativas pero en forma general hay mucho más opiniones negativas relacionadas con lo escrito a continuación. Esto parece deberse mayormente a que el Banco Mundial y otros tratan este problema desde el punto de vista del uso múltiple de aguas y que los expertos lo piensan desde el punto de vista del fomento agrícola. Pero, esto en sí parece indicar la direccionalidad de la evaluación de este problema.

4.1.2 Resumen de opiniones negativas

Las negativas se pueden resumir como se escriben a continuación a base de los puntos ② y ③ arriba mencionados.

- Por medio del mecanismo del mercado, el agua se concentra en los económicamente fuertes como grandes agricultores o empresas, resultando que los agricultores pobres se convierten en más pobres.

- Se generan problemas de economía externa como la calidad de aguas o aguas para uso de recreo que está fuera del mecanismo del mercado, afectando sus entornos

- Se producen estorbos al fomento agrícola debido a la separación de derechos de aguas y la propiedad de terrenos. Sobre todo, empresas de aguas adquieren a priori derechos de aguas que no usan por el momento, y en algunos casos se presentan obstáculos para el uso eficiente de aguas.

- Quienen no poseen derechos de aguas legalizados no pueden participar en los proyectos del gobierno, pero pueden recibir beneficios por proyectos en los que intervienen los poseedores de derechos de aguas legalizados de los alrededores. En este caso, quien se hace cargo de gastos de proyectos es el tenedor de derechos de aguas, y el no-tenedor de derechos de aguas legalizados se convierte en un llamado "viajero sin pagar", lo que resulta injusto.

Ha habido muchas opiniones negativas más, pero las que pueden ser correspondidas por la modificación de la ley vigente se ordenan en el siguiente inciso "Puntos problemáticos señalados". Los problemas que se generan sobre el tema fundamental, es decir, propiedad privada de derechos de aguas o utilización del mecanismo del mercado en los derechos de aguas son más o menos los arriba mencionados.

Aquí, menciono un poco la efectividad del mecanismo del mercado que juega el papel de una regla común para tanto las afirmativas como las negativas, porque sin tener el conocimiento común sobre esto, no se puede esclarecer dónde están los problemas.

- La efectividad del mecanismo del mercado está teorizado en, primero "investigaciones sobre la naturaleza y las causas de la riqueza de las naciones" por Adam Smith, en los últimos años "Monetarismo" (da importancia a la función del mecanismo del mercado y aboga por la fijación de la oferta de monedas) y "Expectaciones y la Neutralidad de Dinero" (consumidores que actúan razonablemente determinan un patrón de consumo de la vida, considerando corrientes de ingresos durante toda la vida), representados por Friedman o Lucas como economía anti-Keynes o teoría económica de la escuela neoclásica. Esta teoría era en la realidad la columna vertebral de las políticas económicas del Presidente Reagan, la Primera Ministra Thatcher, etc. desde la segunda mitad de los años setenta. Su tema central es, en vez de la ineficiencia y la insociabilidad producidas por el mecanismo de la distribución del tipo centralismo, utilizar eficientemente la vitalidad privada y aprovechar los méritos que tiene el mecanismo del mercado por medio de administrar privadamente lo más posible todos los recursos escasos. Se considera en la economía que el modelo chileno

adopta en forma más pura este pensamiento de realizar la distribución más adecuada de los recursos y de los ingresos mediante el mecanismo del mercado.

Aún ahora muchos economistas adoptan esta teoría (me parece que el análisis del Banco Mundial afirma esta teoría en sí), pero lo cierto es que también existe la siguiente refutación. Es decir, "el punto problemático a señalar sobre la proposición neoclásica es la premisa de la maleabilidad de los elementos productivos. Está puesta una condición de que todos los elementos productivos pueden cambiar libremente su uso de acuerdo a condiciones del mercado en ese momento. Esto significa que, refiriéndose a la agricultura, al perderse la prioridad relativa de la agricultura, los elementos productivos invertidos en el área de la agricultura se pueden usar en el campo industrial sin gastar el dinero ni transcurrir el tiempo. También significa que al contrario, al subirse el precio internacional de productos agrícolas y recuperarse la prioridad relativa de la agricultura, los elementos productivos invertidos en la industria se pueden usar en el campo de la agricultura sin gastar el dinero ni transcurrir el tiempo. Es evidente que no existen en reàlidad tales situaciones que puedan satisfacer esta premisa. Pero, para que sea lógica la proposición de la escuela neoclásica, esta condición de la maleabilidad es indispensable, y si no se satisafce esta condición, todas las conclusiones de la proposición de la escuela neoclásica resultan incoherentes. (autor, Hirofumi Uzawa : "Capital común social", página 59, Editorial Iwanamishinsho, 2000)".

Además de lo anterior, como limitaciones del mecansmo del mercado están señalados los problemas tales como : el del monopolio (dificultad de crear en realidad un estado de competencia totalmente libre), el del efecto externo (ventajas de agricultores de alrededores en la apicultura o gastos difíciles de cargar en el mercado como salida de aguas sucias u hollín y humo desde fábricas) y el de la inexclusividad (efectos que reciben además de compradores en el mercado, por ejemplo, alguien mata moscas, y la gente en el contorno recibe el efecto).

De esta manera, en cuanto a la pertinencia del mecanismo del mercado, hay tanto especialistas que la apoyan como opositores. En este trabajo no puedo hacer más el estudio económico de este punto, pero lo importante es que cabe duda también de la efectividad del mecanismo del mercado cuya teoría es considerada generalmente correcta. Sobre todo, en la agricultura, queda dudoso si sus elementos productivos como tierra agrícola o aguas puedan tratarse en el mercado igual que otros bienes. Lo que cubre esta duda es el capital común social y bienes públicos que ofrecen el gobierno. El punto en cuestión es cuál de esos pensamientos cuadra mejor con las aguas para uso agrícola.

4.2 Puntos problemáticos indicados

Como hemos visto hasta ahora, hay opiniones en favor y en contra de la ley vigente. En general, personas que dan importancia a la teoría económica la afirman, mientras personas que dan importancia a la política para agricultores pobres la niegan. Sin embargo, las dos partes reconocen que el sistema vigente tiene muchos problemas, y en la realidad el Congreso viene discutiendo la modificación de la ley desde hace más de 10 años. En este inciso hablaré de estos puntos problemáticos. Pero, aunque se señalan muchos problemas, esto no significa la negación del régimen actual. La evaluación en sí del sistema debe hacerse por medio de la medición comparativa con ventajas, de lo cual discutiré en el capítulo de la discusión.

Lo que se señala primero como punto problemático son opiniones negativas del presente sistema, mencionadas en el inciso anterior. Según resultados de entrevistas a expertos e informes existentes, los casos concretos y opiniones se pueden resumir como lo siguiente ;

① Derechos de aguas se concentran en grandes empresas, y por consiguiente los económicamente débiles como agricultores pobres se convierten en aún más pobres.

Aquí hay dos factores. Un caso es que, agricultores pobres venden a grandes empresas derechos de agua a poco precio en el año cuando su ingreso agrícola es poco. En la realidad en muchos casos se devuelven en el futuro como arriendo, lo cual se debe a que sus derechos de aguas no están legalizados, pero de ahora en adelante si la legalización avanza, la compraventa se adelantará, porque como he demostrado en el capítulo 3 el arrendamiento es sumamente barato.

El segundo es que empresas grandes acaparan derechos de aguas. Este asunto se escucha diariamente no sólo en derechos de aguas, pero el problema que se presenta especialmente en caso de derechos de aguas es que, debido a la separación de derechos de aguas y de terreno, el valor del terreno disminuye como la tierra para uso agrícola. En especial, en la zona seca central y septentrional de Chile la tierra agrícola sin derechos de aguas resultará casi sin valor. Supongamos que un agricultor pobre vende derechos de aguas a precio alto equivalente al terreno incluído, estará bien económicamente por el momento en el concepto de ingresos y gastos, pero desde el punto de vista económico nacional, el valor de este terreno disminuye sin falta. Hay casos en que, debido a la generación de este tipo de tierras, cuando el gobierno intenta hacer un proyecto, la tierra agrícola sin derechos de aguas constituye un obstáculo para el desarrollo del proyecto.

② En el régimen actual, la generación de la economía externa cómo problemas ambientales está despreciada.

La generación de problemas ambientales en el mecanismo del mercado está indicada desde hace tiempo como ejemplo de la economía externa, y en caso de Chile ésta aparece como efectos perniciosos a causa de la disminución de cantidad de agua fluvial. Hay varios casos de este tipo. Un ejemplo es que el derecho de aguas se vendió en la parte más alta del río, y que el agua fue sacada fuera de la cuenca, por consiguiente la cantidad de agua que beneficiaba la cascada en la parte más baja del río disminuyó. Por la misma causa puede empeorarse la calidad de agua en la parte más baja del río debido a la reducción de aguas de dilución. En un caso en que se han asignado casi todos los derechos de aguas de tipo consumidor al déficit de agua del río, el caudal fluvial en el período de sequía se aminoró, dificultando en mantener el ecosistema fluvial.

Otro tipo de ejemplo es la contaminación directa de aguas. Aguas no procesadas que se evacúan de fábricas o tierras agrícolas son causantes de contaminación de aguas de ríos de más abajo. Esta contaminación ha sucedido desde hace tiempo en diferentes lugares, pero aún no se han tomado suficientes medidas. En ríos de más abajo donde reciben influencias de esta contaminación de aguas se han producido situaciones en las que la calidad de productos agrícolas se empeora, se generan gastos para la purificación en las fábricas, etc. Este problema de la contaminación de aguas es un problema sumamente importante para la política agrícola en Chile, y al mismo tiempo debe normalizarse inmediatamente desde el punto de vista de la seguridad y la vida sana de los habitantes de las zonas rurales y del mejoramiento del valor de los productos exportadores. En relación al problema de la contaminación de aguas, los expertos entrevistados en esta ocasión opinaron y señalaron que naturalmente se necesitan aguas para uso medioambiental en un sentido general, y que la mezcla de arsénico o sobrecarga de sal en ríos en la segunda región, la acumulación de pesticidas o materias orgánicas en el lago Rapel en la sexta región, etc. son razones para requerir flujo de mantenimiento del cauce en Chile.

Pero esta economía externa encabezada por el problema ambiental es un problema a internalizarse no dentro del valor de derechos de aguas sino dentro de inversiones en instalaciones y equipos acompañadas por la reglamentación legal o gastos de mantenimiento y control de establecimientos. Por lo tanto no lo voy a mencionar más aquí.

③ Se generan adquisiciones anticipadas de derechos de aguas que no se usan por el momento.

En el sistema vigente, se permiten derechos de aguas cuando los ríos en su estado actual tienen suficientes aguas o cuando existen planes de represas adecuadas, para las demandas de aguas empresariales o administrativas futuras. Este derecho es una medida necesaria igual que la adquisición a priori de terrenos cuando se realice un desarrollo local de gran escala, pero en la realidad se destacan efectos perniciosos, porque los derechos de aguas obtenidos no se usan todavía, impidiendo el uso realmente necesario de otras personas. En Chile desde la segunda mitad de los años setenta se implementaron muchos proyectos de represas principalmente en la parte austral, y se asignaron debidamente sus derechos de aguas. En la actualidad se dice que su volumen de aguas alcanza 15 000 m/seg, de los cuales unos 2000 a 2500 m/seg están realmente en uso. Esto se debe a que las empresas eléctricas adquirieron anticipadas los derechos de aguas en gran cantidad, y que en los últimos años la política energética de Chile cambió de la potencia hidráulica al gas natural. Pero, de todas maneras es un hecho que este resultado dificulta aún a nuevos propietarios pequeños de derechos de aguas.

En relación a este problema el Congreso chileno desarrolla diversas discusiones, estudiando proyectos como imponer a derechos de aguas sin uso, obligar a abandonar derechos de aguas si no se usan durante 5 años, etc. Pero esto es un problema que influye tanto a las grandes empresas como a los agricultores. Generalmente los agricultores aseguran derechos de aguas a base del año de sequedad, por lo tanto en años de precipitación normal los derechos sobran. En otras palabras, en los años habituales de precipitación lógicamente queda una parte de aguas sin uso, por consiguiente es difícilmente aceptable la imposición sobre aguas no usadas o la devolución de derechos como se mencionan arriba. Este punto difiere de aguas corrientes o industriales cuya demanda es casi fija. Si se implementa este tipo de reglamentos, puede que agricultores conduzcan aguas innecesarias a su tierra agrícola todos los años para guardar el derecho y evadir el reglamento. Este problema de derechos de aguas anricipadas debe solucionarse y es seguro que se requieren medidas adecuadas a este lugar.

(4) Se generan los "viajeros sin pagar" quienes no se hacen cargos de proyectos pero reciben beneficios inevitables.

Hay dos tipos de "viajeros sin pagar". Un tipo son aquellos que aunque no son partidarios de la implementación de un proyecto relacionado con el agua reciben inevitablemente beneficios, y el mejoramiento de desagües es un buen ejemplo. En las cuencas de los canales de drenaje los beneficios por su construcción y reconstrucción llegan no solo a los agricultores sino amplia e indistintamente. En caso de la mejora de aguas de riego, el beneficio alcanza a todas las personas que las usan independiente de si cargan con los gastos o no. Una de las razones que producen una situación así es un mecanismo que no permite participar en los proyectos si no tienen los derechos de aguas legalizados, y esta legalización está relacionada estrecha e inseparablemente con la transacción de derechos de aguas.

El otro tipo de "viajeros sin pagar"es el receptor de aguas sobradas después del uso para aguas agrícola como consumidor o aguas para generación eléctrica como no-consumidor, pero éste puede convertirse en viajero sin pagar o nuevo propietario de derechos de aguas, y por lo tanto lo trataré más adelante como problema de aguas repetidas.

Lo que hemos visto hasta aquí es sobre opiniones negativas en relación a la propiedad de derechos de aguas mencionada en el inciso anterior, y como hay otros puntos problemáticos señalados en entrevistas a expertos o materiales existentes, voy a presentarlos a continuación.

(5) Existencia de derechos de aguas convencionales

Como mencionados anteriormente, el 50% al 65% de derechos de aguas en la primera mitad de los años noventa son convencionales y no legalizados. Por ello, no son objetos de la comercialización en el mercado, y no cumplen el objetivo previsto de distribuir eficientemente

los recursos mediante el mecanismo del mercado. También se puede pensar que el hecho de subsistir muchos derechos de aguas convencionales hace elevar el precio de compraventa de derechos de aguas.

En cuanto a la pertinencia de estos derechos de aguas convencionales, la considaré con detalles en el siguiente capítulo, y la política actual chilena intenta disminuirlos. DGA ha implementado el programa de ayudar en la legalización y se hace cargo de los gastos de abogados necesarios para la legalización entre otros. También, las Asociaciones de Canalistas mismas recomiendan fuertemente a sus miembros que legalicen derechos de aguas para evitar el riesgo de perderlos.

⑥ Parcialidad de impuestos en relación a derechos de aguas

Se dice que el régimen actual libera de impuestos de derechos de aguas, pero en realidad los agricultores con derechos de aguas legalizados pagan lo equivalente a impuestos. Esto se debe a que los agricultores pagan impuestos sobre la propiedad de terrenos. Este impuesto varía según el valor del terreno, y la tenencia de derechos de aguas legalizados aumenta el avalúo de terrenos en el sistema tributario. Tomando como ejemplo la cuarta y la novena región, el impuesto anual por una hectárea es de 45 dólares para una tierra agrícola con riego, y 6.5 dólares sin riego, siendo la diferencia grande. Por otro lado, en el caso de la tierra no agrícola sus impuestos no varían con o sin derechos de aguas, por lo tanto aunque una fábrica obtenga derechos de aguas, los impuestos sobre el terreno son iguales. En la práctica, si no se vende un terreno agrícola a terceros, durante 10 años está libre de impuestos, y el Servicio de Impuestos Internos no tiene suficientes informaciones sobre situaciones reales de transacciones, y por lo tanto queda dudoso cuánto pagan los agricultores de impuestos en cuestión, pero de todas maneras teóricamente hay parcialidad de impuestos como se ha mencionado.

⑦ Conflicto entre consumidores y no consumidores

El Código de Aguas de 1981 también permite derechos de aguas a quienes no consumen aguas como compañías eléctricas. Generalmente estos derechos de aguas no compiten con consumidores de aguas porque se pueden utilizar de nuevo en la parte más baja del río, pero en realidad hay casos en que, por ejemplo la compañía eléctrica acumula temporalmente el agua para bajar el costo, lo cual afecta a los agricultores en la parte más baja del río. Además, la compañía eléctrica toma el agua en la parte más alta del río para inducirla y después del uso la echa al río de más abajo, y durante este tramo del río no se puede hacer uso del agua, lo que puede producir conflictos entre la compañía y agricultores.

En torno a estos conflictos, básicamente los no consumidores deben echar el agua con tal responsabilidad que no afecte a los consumidores en la parte más baja del río, pero en realidad hay casos en litigio entre las dos partes debido a que están involucrados movimientos políticos o que no hay suficiente entendimiento de situaciones reales por falta de datos fluviales.

⑧ Manejo de aguas repetidas

En caso de la generación hidroeléctrica, no consumidora, toda la cantidad de derechos de aguas vuelve a un río situado más abajo. En el caso de aguas para uso agrícola, consumidora, una parte de las aguas se usa de nuevo en la parte más baja del río como aguas escapadas de canales o aguas sobradas de tierras agrícolas. Estas aguas de reutilización, o sea aguas repetidas no son básicamente objetos de derechos de aguas según la ley vigente, pero en realidad es difícil distinguir claramente en ríos largos entre el volumen de aguas repetidas y el de no repetidas, y de hecho en algunas ocasiones las aguas repetidas se incluyen en derechos de aguas. En un río inmediatamente después de una central eléctrica se puede juzgar claramente como agua repetida, y en este caso puede que se permitan derechos de aguas provisionales.

Para solucionar esto, hay varias contramedidas tales como, prohibir la inducción de aguas fuera de la cuenca entre las partes más altas del río, permitir derechos de aguas para las aguas repetidas, las municipalidades poseen derechos de aguas repetidas, etc., y en cualquier caso como premisa es necesario reconocer balances de aguas hídricas tal como volumen de aguas en cada punto, quedando como tema futuro la selección de contramedidas

⑨ Competencia con aguas subterráneas

De acuerdo a la ley vigente las aguas subterráneas pueden poseer derechos de aguas igual que las aguas superficiales. Viendo Chile en su totalidad, en casi todas las aguas superficiales actuales están establecidos derechos de aguas privados, pero se considera que todavía queda espacio de sobra en las aguas subterráneas. Pero en algunas zonas las dos aguas están en una situación alarmante, y en consecuencia se ven casos en litigio demandando que el bombeo de aguas subterráneas ha reducido las superficiales. En cuanto a aguas subterráneas la DGA puede restringir la toma de agua en caso de necesidad, y ha ocurrido que ha limitado la cantidad de bombeo de aguas subterráneas de una compañía de aguas de la primera región.

Este problema de aguas subterráneas es uno de los temas principales del presente proyecto de modificación de la ley. Se implementara un nuevo sistema de licitación para las aguas subterráneas, limitando la máxima toma de agua por pozo a menos de 2·/seg desde el norte hasta la región metropolitana, y a menos de 4·/seg de aquí hacia el sur. Otro punto principal es que los pozos existentes deben registrarse dentro de los 6 meses a partir de la promulgación de la ley. En cuanto a opiniones de los expertos al respecto, la mayoría está de acuerdo con la implementación del sistema de licitación, y en torno a la limitación de la cantidad de toma de agua hay opiniones que se refieren a un favor en pro de pequeños agricultores, pero por otra parte queda la duda de cómo se puede comprobar la cantidad de aguas extraídas en caso de que estos pequeños agricultores saquen aguas manualmente en vez de usar bombas, porque de hecho existen casos. A próposito, se dice que en Chile existen alrededor de 20.000 pozos. También hay voces que básicamente aprueban el registro dentro de los 6 meses, pero que sospechan la capacidad de DGA actual de procesar tantos papeles administrativos. En resumen, podría decirse que las intenciones son aceptables y que pensando en la práctica real, el clausulado debería ser más flexible.

⑩ Mejora en el sistema de licitación

La ley vigente reglamenta la licitación en el caso de que haya varias peticiones para una misma agua. Esto en sí no constituye problema, pero en el régimen actual tiene que hacerse la solicitud de derechos de aguas dentro de 30 días desde el día en que alguien ha hecho la petición de derechos de aguas, y por ende hay crítica de que el plazo es demasiado corto. A este respecto el proyecto en consideración actual busca extender el plazo de 30 días a 6 meses. También está en discusión el hacer pública la licitación o no. Para hacer funcionar suficientemente el mecanismo del mercado será una medida razonable. Pero hay espacio para estudiar aspectos tales como, el cambio de forma de pensar entre las aguas superficiales y las subterráneas, el trato diferente cuando están acompañadas de proyectos del desarrollo de recursos hídricos o cuando se obtienen aguas inmediatamente, etc.

⑪ Necesidad de una administración integral de la cuenca

El régimen actual supone que DGA y las Juntas de Vigilancia actúan como instituciones para resolver conflictos entre derechos de aguas privados. Pero la primera no dispone de suficientes datos sobre derechos de aguas privados ni suficiente personal. A su vez las Juntas tienen como miembros tanto a consumidores como a no consumidores. Por consiguiente las dos organizaciones no pueden cumplir con su oficio de mediadores que tengan fuertes atribuciones,

y hay muchos casos en que tardan largo tiempo en resolver conflictos recurridos a la ley

Existen tres ideas para mejorar esta situación. Una de ellas es pretender resolver racional y forzadamente por medio de la ampliación de la organización y autoridad de DGA. Actualmente trabajan 400 funcionarios en DGA, de los cuales 200 personas se hacen cargo de los asuntos profesionales de todo Chile, pero hay alrededor de 240,000 tomas de agua y unos 10.000 derechos de aguas en el país, y por lo tanto es evidente que hay una brecha notable entre el número del personal y los trabajos. La segunda es dar el papel mediador a organizaciones de agricultores en vez de DGA. Esta idea se origina en que las organizaciones de agricultores, usuarios de aguas, conocen bien de situaciones del uso de aguas en los lugares, y que en algunos casos tarda más de un año en la decisión de DGA. Para el fortalecimiento de estas organizaciones de agricultores, el proyecto de modificación de la ley contempla el otorgamiento de la personalidad jurídica a las Asociaciones de Canalistas. De esta manera, se pueden reforzar atribuciones legales, se puede promover deliberaciones con otras organismos, formación institucional interna, etc., y de este punto hay muchos votos favorables por parte de los expertos. La tercera es organizar una entidad administrativa de la cuenca cuyos miembros son, además de DGA y las organizaciones de agricultores, grupos privados, municipalidades de la cuenca, instituciones públicas, etc. Es un movimiento a establecer una nueva entidad para hacer cumplir estándares elaborados por río a base de que cada río es diferente en materia de derechos de aguas, industrias de alrededores, y condiciones climáticas entre otros.

Los arriba mencionados son puntos considerados como problemas, relacionados con el actual sistema de derechos de aguas. Por añadidura hay asuntos como simplificación en tramitación de traslado de derechos de aguas en pequeña cantidad, y en resumen los temas mencionados hasta aquí son los que quedan para el futuro.

4,3 Orden de puntos en cuestión en el presente estudio

En este inciso ordenaré los puntos a discutir, que serán destinados a este estudio, a base de "Evaluación general del régimen de derechos de aguas vigente" mencionada en el 4.1 y "Puntos problemáticos indicados" en el 4.2. Como el objetivo de este trabajo es estudiar lo bueno o lo malo de permitir la propiedad privada de derechos de aguas, desde este punto de vista me centraré en temas necesarios. Del contenido del 4.1, los siguientes tres puntos, indicados como las afirmativas, son opiniones legales claramente relacionadas con el objetivo del presente estudio, y por lo tanto son objetos de discusión.

① Realización del uso eficiente de aguas como transferencia de derechos de aguas sin roces desde aguas para uso agrícola al agua potable
② Contención de inversiones públicas innecesaras mediante el uso eficiente de aguas
③ Efecto de la reducción del consumo del agua por medio de la sensibilización al valor de aguas

Por otro lado, los siguientes cuatro puntos, que son las opiniones negativas indicadas en el contenido del 4.1 y que son reordenados en el 4.2, son relacionadas con el objetivo del presente estudio, y por lo tanto también son objetos de discusión.

④ Concentración de aguas en los económicamente fuertes
⑤ Generación de la economía externa como problemas ambientales
⑥ Daños acompañados por la separación de derechos de aguas y de terrenos
⑦ Parcialidad en torno a los gastos debido a la generación de beneficiarios inevitables

Estos son los problemas que se generan cuando el agua se trata igual que otros bienes en el mecanismo del mercado. Además, de los temas ⑤ a ⑪ mencionados en el 4.2, la existencia

de derechos de aguas convencionales del ⑤, está fuertemente relacionada con la efectividad de la función del mercado, y por consiguiente es objeto de discusión. Los temas a partir del ⑥ dividen respectivamente opiniones de los interesados, y son difíciles de juzgar como temas legales y administrativos, pero no son problemas generados directamente desde la existencia del mecanismo del mercado, y por lo tanto no son objetos de discusión. Ellos deberán estudiarse con orientación a la modificación del sistema por expertos en materia de situaciones agrícolas, naturales, sociales, políticas y económicas.

5. Discusión

Aquí se discute lo bueno o lo malo de dejar derechos de aguas al mecanismo del mercado teniendo como base los hechos vistos hasta ahora sobre derechos de aguas en Chile, y para eso existen dos enfoques. Uno es cómo pensar de Chile que durante estos veinte años está usando este régimen, y el otro es la introducción de dicho sistema a otros países en el futuro. Es necesario pensar separando estos puntos.

Como método de analizar, primero examino cada uno de los puntos en cuestión ordenados anteriormente, y después discuto en forma integral sobre este régimen.

5.1 Consideración desde el punto de vista individual

En el capítulo anterior he ordenado ocho puntos a discutir sobre la propiedad privada de derechos de aguas para aprovecharse del mecanismo del mercado. Algunos se interrelacionan, y de acuerdo a su contenido analizo como se describen a continuación :

① Realización del uso eficiente de aguas como transferencia de derechos de aguas sin roces desde aguas para uso agrícola al agua potable

Esto es uno de los objetivos más importantes de la utilización del mecanismo del mercado en derechos de aguas. Algunas tesis sobre derechos de aguas en Chile también indican este punto como gran ventaja. Ciertamente es difícil transferir derechos de aguas sin roces y sin el mecanismo del mercado. En los países que permiten sólo el derecho de uso como derechos de aguas esta trasferencia de derechos de aguas es el trabajo más difícil. Porque, generalmente la autoridad competente del Código de Aguas está encargada de este trabajo, el cual realiza como acto administrativo, y se requiere la certificación de la justificación para la transferencia.

Por ejemplo, para trasladar aguas desde el uso agrícola al agua potable, el aumento de la demanda de agua potable no es difícil de explicarse. Se necesitan fundamentos pertinentes tales como la inevitabilidad del aumento de la población en el futuro, el pronóstico de aumento de la demanda de aguas por persona debido al mejoramiento del nivel de la vida, etc., pero de todas maneras es posible explicar si los planes de largo plazo de diversos géneros están autorizados. Pero si se trata del aumento de la demanda de aguas para uso industrial su explicación es un poco difícil. Como las empresas privadas son objetos en este caso, se exigen pruebas como plan de ampliación de fábricas, y además se piden explicaciones detalladas como fundamento de la tasa de reutilización de aguas, plan alternativo en caso de que no avancen como planeado. Por otro lado, en cuanto a aguas para uso agrícola de que se hace la transferencia, es aún más difícil dar explicaciones sobre la pertinencia de la disminución de sus derechos de aguas. Porque en el caso de la agricultura, aunque la tierra agrícola se reduzca, el agua no disminuye en la misma proporción. Tomando como ejemplo el arrozal, el agua en él se usa corriendo de un bloque al otro sucesivamente. Es decir, el agua se trata repetidamente, y por lo tanto, aunque la suferficie se reduzca al 10%, la demanda de aguas no disminuye al 10%. La tierra de cultivo en secano está en una situación similar. Por consiguiente, lo primero que se necesita es calcular cuánto se pueden reducir aguas en un plan de uso de aguas. También en este plan se cuestiona cómo es un plan de administración agrícola en el futuro, porque dependiendo de tipos de cultivo la cantidad necesaria de aguas varía. Por otro lado, excluyendo las zonas extremas tal como la central y septentrional, la agricultura siempre depende tanto de aguas fluviales como de aguas de lluvia, y se necesita un pronóstico sobre este punto. En cuanto a aguas fluviales, naturalmente se exige un pronóstico futuro de que no hay suficiente cantidad de tal manera que debe disminuirse las aguas para uso agrícola. Sin cumplir todo lo arriba mencionado y sin convencer a los agricultores no es posible realizar sin roces la tranferencia de derechos de aguas. Esto puede convertirse en problemas políticos. Aunque la institución pertinente tenga el poder de cambiar

derechos de aguas establecidos por la ley, las personas a las que priva de derechos de aguas tienen libertad de entablar pleito a través de varios recursos legales en caso de quejas administrativas, y por ende finalmente se necesita una explicación que pueda convencer a terceras personas.

Viendo así, excepto casos extremos como, por ejemplo un terreno agrícola que componía un conjunto de parcelas se ha convertido en su totalidad en terreno para viviendas, es muy difícil transferir sin roces derechos de aguas. En realidad, en casos de otros países, a pesar de que evidentemente sobra el agua viendo con el sentido común, se observa que el agua no se transfiere a sectores necesitados debido a la resistencia del poseedor de derechos de aguas. Sus razones principales son el sentimentalismo por el cual quieren guardar por lo menos los derechos para el futuro y el hecho de que no hay ninguna compensación económica al deshacerse de ellos. Desde este punto, es evidente la ventaja del mecanismo del mercado. Si una empresa de aguas juzga que es más barato comprar a agricultores derechos de aguas que construir una represa, ella estará dispuesta a pagar bastante dinero. Y, si los agricultores piensan que el monto de dinero supera a la aminoración de ingresos debido a la disminución de derechos de aguas, prescindirán de ellos convencidos. En este momento no hay otra manera mejor que ésta, de realizar la transferencia sin roces de derechos de aguas.

Sin embargo, este traslado sin roces de derechos de aguas se enfrenta a un problema grande en el sentido de una transferencia de aguas para uso agrícola al agua potable (de vez en cuando al minero e industrial). Por el momento no hay informe de casos, pero se puede suponer que grandes agricultores acaparen aguas de agricultores pobres. Esto está en relación de cara y sello con las opiniones negativas mencionadas en el capítulo anterior 4.2, "④ Concentración de aguas en los económicamente fuertes" y "⑥ Daños por la separación de la propiedad de terreno y derechos de aguas", y por ende voy a analizar todo en conjunto a continuación.

Primero, se trata del caso de transferir derechos de aguas desde uso agrícola al agua potable (a veces al uso minero e industrial). Esto ocurre cuando agricultores quieren reducir el tamaño de la agricultura, cuando necesitan dinero, o cuando sienten que sobran derechos de aguas, etc., al mismo tiempo que la demanda de agua potable aumenta. En este caso compradores de agua potable compran solamente aguas, y el terreno agrícola está en la tenencia de agricultores. Pero, este terreno agrícola tiene menos aguas para riego, por lo tanto el valor como terreno para uso agrícola baja enormemente. Además como la selección de lugares está a discreción libre de agricultores, si surge esta situación en gran cantidad, la agricultura local no puede menos de arruinarse en forma de mosaicos. Aunque esto sea positivo económicamente para agricultores, es negativo desde el punto de vista de la agricultura local. Porque, si hay tierras agrícolas arruinadas en forma carcomida, puede suceder allí proliferación de insectos dañinos, crecimiento de malezas, pérdida del suelo, etc., y por consiguiente afecta a sus alrededores.

Según la teoría de la escuela neoclásica, la tal situación de transferencias será que "si la agricultura disminuye después de haber ocurrido dicha situación y todos los productos agrícolas del país suben su precio, la prioridad relativa de la agricultura aumenta y por consiguiente esta vez agricultores compran aguas mediante el mecanismo del mercado, resultando que la tierra agrícola converge a una escala adecuada", pero es evidente que esto no encaja en la realidad. Es casi imposible que agricultores compren de nuevo las aguas una vez transferidas al agua potable por medio del mecanismo del mercado, y además necesitan muchos años para restaurar la tierra agrícola una vez abandonada. Por ejemplo ¿cómo se puede recuperar el suelo superficial substancioso una vez perdido? Aquí no están satisfechas nada "las condiciones en las que todos los elementos productivos pueden cambiar libremente su uso de acuerdo a condiciones del mercado en ese momento", como lo comenta el Sr. Uzawa. Por lo tanto, se puede decir que la transferencia sin roces del agua para uso agrícola al agua potable contiene un aspecto muy negativo por parte de la agricultura, porque aunque reciba nuevos beneficios del agua potable en

su vida, pierde el agua para riego y al mismo tiempo la tierra agrícola. Para la agricultura el agua y la tierra son inseparables. En la perspectiva de largo tiempo, la inactividad de la agricultura que es un componente importante de la sociedad local no es deseable desde el punto de vista del mantenimiento y el desarrollo de la sociedad local sana.

A continuación, considero el caso de que grandes agricultores compran a agricultores pobres derechos de aguas mediante el mecanismo del mercado. En este caso, también la tierra de agricultores pobres es una clave. Si grandes agricultores compran terrenos junto con derechos de aguas, los terrenos se utilizan también para la agricultura. Es alta la posibilidad de aprovecharse de los terrenos más eficientemente. Por lo tanto puede ser deseable para el fomento agrícola. Pero, en este caso surge un problema sobre la vida de labradores pobres que han perdido terrenos y aguas y que en su lugar han conseguido dinero. Es un gran problema que se discute en el gobierno de cualquier país si es razonable o no considerando en la totalidad del país que la tierra agrícola se concentra en propietarios de gran escala que poseen la gran tecnología y el gran capital y que los pobres agricultores se alejan de la agricultura. Desde el punto de vista de la eficiencia económica puede ser una política racional, pero en general se considera que provoca la inestabilidad social debido al desplome de la sociedad local, emigración a la ciudad de la gente errante. Es una política difícil si no dispone de muchas condiciones como preparaciones de recepción por otras industrias, o de establecimientos públicos tales como viviendas o escuelas. Por consiguiente no resultaría nada favorable para la política de agricultores pobres.

Por otro lado, en el caso de que agricultores pobres vendan a grandes agricultores derechos de aguas pero no terreno, la productividad agrícola en el terreno de grandes agricultores mejorará, pero igual que el caso de las empresas de aguas, el terreno agrícola de agricultores pobres se arruinará.

En resumen, hay casos en que se observan efectos de la transferencia sin roces de derechos de aguas, pero se ven muchos casos en que generan daños acompañados por esta acción.

② Contención de inversiones públicas innecesarias mediante el uso eficiente de aguas

Esto pretende que los necesitados de aguas las compren a precio bajo en el mercado a los no necesitados, y que de esta manera reduzcan inversiones de nuevos desarrollos de fuentes de agua y al mismo tiempo las utilicen eficientemente. Un caso es del río Elqui mencionado en el 3.2 "Situaciones actuales en torno a derechos de aguas". Allí mencioné que la empresa de aguas compra aguas a agricultores porque le resulta más barato comprar derechos de aguas que construir una nueva represa. El especialista del Banco Mundial que presentó este caso lo considera afirmativamente. Su argumento es que la compra de aguas para uso agrícola aprovechándose del mecanismo del mercado significa el uso eficiente de aguas y el impedimento de inversiones públicas innecesarias. Indudablemente, en muchos países donde permiten sólo el derecho de uso como derechos de aguas, aunque sobran aguas como se ha mencionado arriba, los propietarios de derechos de aguas no se deshacen de ellos, y por lo tanto se ven obligados a construir nuevas fuentes de aguas en la parte más alta del río.

Pero, el problema en este caso es si en aquel entonces realmente sobraba el agua para uso agrícola del río Elqui o no. Aunque no he hecho estudios, el sentido común nos dice que es difícil de pensar que sobraba el agua en la tal zona seca donde se llevaba a cabo la agricultura considerablemente. Si la demanda de aguas era realmente apremiante, la compra de aguas para uso agrícola es ni más ni menos que la disminución de aguas a usar en la agricultura. Aún este caso, ¿se podrá decir que "se ha hecho la distribución justa de los recursos porque en el mercado se ha convertido en el agua potable de más alta necesidad"?. Suponiendo que la transferencia de esta agua al agua potable sirve más para el bienestar público (su fundamento es sólo el valor en el mercado), ¿no había otra manera? Según esta forma de pensar, la suma de producción

aumenta por el incremento del agua potable, pero la de producción agrícola disminuye. A lo mejor esta idea puede ser coherente si la cantidad de aguas suministradas es limitada. Pero, en el caso del río Elqui, ¿el modo de coexistir las dos partes no será la construcción de una represa de uso exclusivo para el agua potable? Porque físicamente es posible. No obstante, esto es costoso, y los gastos por parte de la empresa de aguas son más altos que comprar aguas para uso agrícola en el mercado (premisa de que son difíciles los planes alternativos como desarrollo de aguas subterráneas o desalinización). Pero, ¿esto en sí no será un tipo de retórica? Porque, si los agricultores conocieran bien esta información de la represa, el valor de aguas para uso agrícola en el mercado habría subido cerca de los gastos de la represa. En aquella ocasión los agricultores vendieron aguas a precio de 2459 dólares por litro/ seg, los cuales resultaron demasiado baratos. En realidad esto es un ejemplo opuesto a "que los consumidores tienen suficiente información", lo que es la premisa de "Expectaciones y la Neutralidad de Dinero"

Por consiguiente, sobre la base de este caso se pueden considerar los siguientes cuatro puntos :

- Se puede contener la construcción de instalaciones innecesarias por la utilización del mercado, pero como premisa se necesita una situación de que sobra el agua.
- Para que el mecanismo del mercado funcione correctamente, es esencial que los participantes del mercado tengan suficientes informaciones.
- Si no se satisface dicha premisa, la agricultura se dirige a la reproducción reducida.
- Por lo tanto, en el caso del río Elqui, dependiendo del costo de construcción de una represa, hay posibilidad de que la construcción de una represa en la parte más alta del río haya sido la medida más apropiada.

③ Efecto de la reducción del consumo del agua mediante la sensibilización al valor del agua

Esto significa que como el agua se evalúa en dinero en el mercado, tanto para venderla como para comprarla llegan a reducir el consumo del agua como condición. En el caso de Chile, se dice que los agricultores se han puesto sensibles al valor del agua y que se ha reducido el consumo del agua por la implementación del moderno sistema de riego por goteo, resultando en la ampliación del área de irrigación.

Aunque se permite sólo el derecho de uso como derechos de aguas, es necesario reducir el consumo del agua para aumentar el área de cultivo, introducir cultivos que necesitan mucha agua, etc. Pero, si se puede comercializar en el mercado, el valor del agua se convierte en tangible, por lo cual obviamente se puede elevar la conciencia acerca de la reducción del consumo del agua. En los últimos años, en Chile se ha introducido mucho el riego por goteo en la fruticultura o el cultivo en invernadero. No está claro cuánto este efecto se refleje en dicho caso, pero para los agricultores es posible hacer una comparación económica entre la compra de aguas necesarias en el mercado y su generación por medio de la reducción del consumo. Aunque se necesitan inversiones en nuevas instalaciones y equipos para la reducción del consumo del agua, no es difícil calcular los costos de equipos y los de mantenimiento y control. Los expertos a quienes entrevisté reconocen este efecto, pero al mismo tiempo se refieren al efecto de la reducción del consumo del agua en relación a la tecnología de administración agrícola. Es decir, los agricultores que hacen productos agrícolas de alta calidad reducen mucho el consumo del agua, y se considera que el riego con la reducción del consumo del agua es una medida necesaria desde los aspectos del uso eficiente de aguas y el mejoramiento de la calidad. Sobre todo, en la zona norte donde el agua está apremiante, se desea el desarrollo y difusión de la tecnología acordada al clima, hidrología, suelo, geografía y cultivos seleccionados de la zona.

Esto nos permite reconocer plenamente que la compraventa y el arrendamiento de aguas llevan consigo el efecto del ahorro de agua.

④ Concentración de aguas en los económicamente fuertes

De esto he analizado en el ①

⑤ Generación de la economía externa como problemas ambientales

Está señalado desde hace tiempo que como defecto del mecanismo del mercado existe la generación de la economía externa representada por los problemas ambientales. He mencionado los casos chilenos en el 4.2 "Puntos problemáticos indicados". Como mostré allí, el empeoramiento de la calidad fluvial es el problema a internalizar dentro de inversiones en instalaciones y equipos acompañadas por el reglamento legal o gastos de mantenimiento y control de equipos, y por lo tanto no son objetos de discusión. Lo problemático es la generación de efectos perniciosos debido a la disminucion de la cantidad de aguas. En el régimen actual que permite la compraventa de aguas, hay posibilidad de establecer derechos de aguas en todas las aguas utilizables, las cuales usuarios compran y venden libremente, por lo tanto no se toman en cuenta las que no entran en el mecanismo del mercado donde hay consideración al medioambiente. Por ejemplo, aguas para uso de recreo en la parte más baja del río o cantidad de aguas de cascadas antes mencionadas pueden reconocerse sus derechos de aguas como no consumidores. De esta manera se puede internalizar en el mercado. Y como entidad a la que otorga este derecho se pueden pensar en agentes de turismo, colectividad pública, ONG, etc.

Así, cuando se pueda internalizar, aún con un poco de dificultad, tanto mejor, pero las influencias dadas al ecosistema fluvial son difíciles de internalizar. Si todas las aguas del río se usan y el río se deseca aunque sea temporalmente, la fauna y la flora que habitan en el río reciben daños notables. Entonces, en Chile como contramedida de esta situación está en estudio el aseguramiento del flujo de mantenimiento del cauce, el cual se emplea en otros países. Se determina el mínimo caudal por río, y cuando el caudal fluvial se pone inferior a aquél, se restringe la toma de agua. En este caso el problema es cómo establecer el mínimo caudal necesario. Hay varias propuestas tales como, el 20% del caudal promedio, la cantidad mínima de aguas en la condición natural en que no hay ningún uso de aguas, la cantidad mínima necesaria para los organismos vivientes valiosos en el lugar.

Los expertos en este problema afirman también la necesidad del flujo de mantenimiento del cauce. Pero al mismo tiempo también comparten el reconocimiento de que es bastante difícil decidirlo y realizarlo. Primero, como problema real casi todos los ríos, lagos y pantanos chilenos tienen establecidos derechos de aguas. Situaciones difieren según río, pero en general la demanda de aguas en Chile está en una situación apurada igual que otros países avanzados, debido al desarrollo económico de los últimos años, al aumento de la demanda de aguas por el mejoramiento del nivel de la vida o adquisición a priori de derechos de aguas, atrasos en desarrollo de instalaciones de la fuente de aguas de gran escala como represas, etc. Esta tendencia es notable cada vez más a medida que transcurren los años. Ahora, como puntos para determinar la cantidad mínima necesaria del agua en Chile se pueden nombrar la concentración de sal, el contenido de metales como arsénico o boro en los ríos de la zona norte, la concentración de sales nutritivas, abonos y pesticidas agrícolas en la zona central y austral, y la protección de peces útiles como truchas en todo el país, pero es difícil mostrar objetivamente la cantidad necesaria para este fin. Sin embargo, su necesidad está reconocida conceptualmente, y es indispensable generar esta agua por medio de ajustes hidrológicos como traslado de una parte de derechos de aguas actuales, desarrollo de nuevas fuentes de aguas o utilización de aguas repetidas.

No es fácil deducir teóricamente una cantidad apropiada del agua, pero si se determina un estándar por zona o como país mediante alguna formalidad, éste servirá como una contramedida. Es decir, no se internalizan en el mercado diferente a otros asuntos, pero por medio de la reglamentación pública se pueden compensar efectos perniciosos del mecanismo del mercado.

Por consiguiente, se considera que la generación de la economía externa es negativa para

el mecanismo del mercado y que se pueden eliminar bastante sus malas influencias por la internalización en lo posible y por la reglamentación pública.

⑥ Daños acompañados por la separación de derechos de aguas y el derecho de terreno

De este punto hemos analizado en el ①

⑦ Parcialidad de los gastos por la generación de beneficiarios inevitables

Como ejemplo de beneficios inevitables, se citan mucho las abejas de apicultores que ayudan en la polinización de frutales como efecto externo del mecanismo del mercado, porque los valores de frutas no contienen gastos necesarios para la apicultura. Pero en este estudio en que se trata de derechos de aguas, el caso problemático es, como se ha mencionado en el 4.2 "Puntos problemáticos señalados", la existencia de "viajeros sin pagar", que no pagan gastos pero reciben beneficios inevitables. Según la Ley de Fomento de Riego en Chile, cuando se inician los proyectos de riego y de drenaje como proyectos públicos, los beneficiarios se ven obligados a hacerse cargo de gastos, y al mismo tiempo se necesita tener consentimiento de más de 33% antes del comienzo del diseño del proyecto y más de 50% antes de la construcción. En otros países existen leyes similares. Lo importante es que en general no se puede obtener un asentimiento de 100%. Esto se debe a que, como en caso de la agricultura, si se quiere hacer un mejoramiento en una determinada zona donde se involucran muchos propietarios de terreno, no se pueden formar los proyectos excluyendo los terrenos de opositores. Por ejemplo, las reparaciones de un canal agrícola dan beneficos a todos los usuarios que toman el agua. Es muy difícil obtener el consentimiento de todos los interesados. Por lo tanto, aparte del 50% o dos tercios, es lógico llevar a cabo los proyectos a petición de la mayoría. Pero, esto significa que a los opositores también se les generan automáticamente beneficios. En caso de los proyectos de drenaje, aún más gente indeterminada recibe beneficios inevitables. Para internalizarlo, es necesario cargarles obligadamente con una parte de los gastos, y de esta manera se soluciona teóricamente este problema.

Pero, en realidad es difícil cobrar gastos obligadamente a personas que no participan en este tipo de proyectos, y hay posibilidad de que esto influya en los valores de derechos de aguas comercializados en el mercado. Además este problema no sucede solamente en Chile sino en otros países donde permiten el derecho de uso como derechos de aguas.

⑧ Existencia de derechos de aguas convencionales

Estos constituyen un gran problema al pensar los derechos de aguas en Chile. Se dice que los derechos de aguas convencionales no legalizados en torno a aguas para uso agrícola son de un 50% a 60% en el año 1994 como se ha mencionado anteriormente, y se supone que aún ahora subsisten muchos. Las razones de no avanzar en la legalización son el alto impuesto sobre el terreno y trabajosas tramitaciones, los cuales se convierten en gran cuello de botella para la compraventa en el mercado. No se permite transar oficialmente los derechos de aguas no legalizados. Por ello, como se ha analizado en el 3.2 "Situaciones actuales en torno a derechos de aguas", se realiza con frecuencia el arrendamiento de derechos de aguas pero compraventas son pocas, resultando alto el valor de compraventas. Como contramedida de esto, DGA lleva adelante los proyectos con subsidio, y las organizaciones agrícolas también recomiendan a los agricultores la legalización de derechos de aguas para evitar el riesgo de perderlos

Pero, es necesario pensar una vez más sobre esta legalización. Porque, tomando en cuenta que la compraventa de derechos de aguas se realiza poco y que hay más arrendamientos, se puede considerar que esta existencia de derechos de aguas convencionales impide mucho la situación de que "como resultado de la separación de derechos de aguas y el derecho de propiedad de tierra agrícola. agricultores pobres venden a grandes agricultores o empresas los

derechos de aguas, resultando que tierras agrícolas restantes se arruinan", explicada en el presente inciso ①. Parece que la venta de derechos de aguas por parte de agricultores pobres se debe a que la agricultura ha aportado pocos ingresos de efectivo en el año y que en momentos necesarios se ven obligados a deshacerse de ellos. Como factores de la mala producción agrícola del año se pueden pensar por ejemplo, climas anormales como baja temperatura, sequedad, falta de insolación, y tempestad, nacimiento de plagas y enfermedades, baja repentina de los valores internacionales, prohibición de exportación, fracasos en selecciones de cultivos agrícolas, entre otros, y afortunadamente Chile es un país donde ocurren difícilmente climas anormales, comparando con otros países. El caso de la zona agrícola de la parte central y septentrional chilena, por naturaleza no llueve y las fuentes de aguas son aguas de nieve de los Andes, por lo tanto el pronóstico meteorológico e hidrológico es fácil de hacerse, y no ocurren casi nada de temperaturas bajas, falta de insolación, tempestad, etc. Hay plagas y enfermedades, pero en comparación con otros países son muy pocas. A lo mejor suceden muy pocos casos preocupantes como estamos viendo aquí. En cambio, en otros países puede aumentarse la posibilidad de que, debido a climas anormales, la producción agrícola de agricultores pobres disminuya drásticamente y que por eso vendan derechos de aguas, estropeando la agricultura en el futuro. Para evitarlo, ¿el permitir sólo el arrendamiento de derechos de aguas no será un freno efectivo?

Por consiguiente, los derechos de aguas convencionales no legalizados no se pueden negar enteramente, sino parece necesario pensar en la pertinencia de la legalización junto con el problema fundamental de la separación de derechos de aguas y la propiedad de terrenos.

Los arriba mencionados son resultados de discusiones individuales de los puntos en cuestión ordenados. A continuación los discutiré en forma global.

5.2 Discusión desde el punto de vista global

Los puntos esenciales de la discusión desde el punto de vista individual sobre lo bueno o lo malo de dejar derechos de aguas en el mecanismo del mercado son los siguientes :

① La realización del uso eficiente de aguas sirve para la transferencia sin roces de aguas desde uso agricola al agua potable. Pero, sólo cuando sobra evidentemente el agua, se puede reconocer sus efectos de tipo de economía social, y en los otros casos salvo éste hay alta posibilidad de arruinar la agricultura y afectar el fomento agrícola. Su mayor causa es la separación de derechos de aguas y el derecho de terreno.

② En cuanto a la contención de inversiones públicas innecesarias, se reconoce una disminución de inversiones las cuales no tienen más remedio que hacerse debido a los pocos avances en la transferencia de derechos de aguas a pesar de que sobra evidentemente el agua. Pero en los otros casos aparte de éste hay alta posibilidad de llegar a la reproducción reducida de la agricultura. El fenómeno de resultar más barata la compra de derechos de aguas que la construcción de instalaciones ocurre por falta de informaciones en el mercado, lo cual es precisamente la mala función del mecanismo del mercado.

③ El efecto de ahorro de agua por la sensibilización al valor de aguas se reconoce teórica y prácticamente. Es indudable que la existencia del valor de compraventa en el mercado motiva más la reducción del consumo del agua que el caso de permitirse sólo el derecho de uso como derechos de aguas.

④ En relación a la generación de la economía externa como problemas ambientales, se pueden reducir sus efectos negativos hasta cierto punto, por medio de la internalización de lo que se pueda internalizar, y la reglamentación pública de lo que no se puede internalizar. Pero

para esto se necesitan intervenciones adecuadas del gobierno, lo cual niega parcialmente la competencia libre en el mercado.

⑤ En cuanto a la parcialidad de los gastos debido a la generación de beneficiarios inevitables, no hay otra manera que cobrarles legal y obligadamente. Esta existencia puede distorsionar el mercado, pero en realidad este problema ocurre también en el caso de permitirse sólo el derecho de uso como derechos de aguas, y por lo tanto no es un defecto que el presente régimen tiene.

⑥ En cuanto a la existencia de derechos de aguas convencionales, generalmente se comprenden como objetos de la legalización, y en Chile también se lleva a cabo su política. Por otro lado, ellos conllevan el aspecto de evitar la desolación de tierras agrícolas, y deben estudiarse junto con el problema ①. No se pueden rechazar enteramente.

5.2.1 Derechos de aguas en el futuro en Chile

Hay méritos y deméritos, como se han mencionado arriba, en dejar derechos de aguas en el mecanismo del mercado, pero no hay más remedio que pensar que los deméritos son más grandes desde el punto de vista de aguas para uso agrícola. El efecto de ahorro de aguas es un mérito claro, pero aparte de ésto son más grandes los deméritos, porque para ser méritos se necesita tener otras condiciones sociales y económicas. Sobre todo, desde el punto de vista del desarrollo sano de la sociedad agrícola en el cual el tema principal es el trato a agricultores pobres, hay alta posibilidad de que surjan más bien obstáculos.

Pero, viendo las situaciones chilenas en las que desde hace 20 años se emplea este régimen y que su modificación está en discusión, esta forma de pensar a lo mejor no encaja por las razones siguientes :

① Uno de los roles importantes que tiene este régimen en Chile es que estos derechos de aguas son bienes transables en el mercado para los agricultores. Generalmente éstos se consideran originalmente como bienes no contabilizables, pero en Chile se trata como un recurso. La opinión de expertos indica que el beneficio directo de tener derechos de aguas para los agricultores es que éstos se pueden utilizar como hipoteca para las instituciones financieras. Por lo tanto, los derechos de aguas son propiedad latente para los agricultores, y aunque se presente en el Congreso un proyecto de ley que se los quitare, no podrá ser aprobado.

También, a pesar de que la agricultura chilena se enfrenta a diversos problemas, está marchando bien macroeconómicamente. El monto de producción agrícola total y el de exportación en los últimos años están aumentando favorablemente junto con el avance del tratado de libre comercio. Es cierto que en Chile subsisten problemas grandes tales como medidas para agricultores pobres, mejoramiento de la calidad del agua para uso agrícola, etc., pero la agricultura es esencialmente ineficiente como la industria, y en cualquier país es difícil que todos los agricultores se independicen. Por eso todos los países desarrollados ayudan a su agricultura de cualquier forma. En la actualidad, tomando en consideración las negociaciones agrícolas de la Organización Mundial del Comercio (OMC), se realizan las asistencias a la agricultura que no produzcan problemas. La necesidad de proteger la agricultura de esta manera implica que la agricultura tiene las funciones de conservar el territorio nacional y el medioambiente que otras industrias no tienen, y que el aseguramiento de comestibles es un tema nacional. Considerando las situaciones de la agricultura chilena bajo estas circunstancias en el fondo, se juzga baja la necesidad de reformar drásticamente el manejo de derechos de aguas que puedan influir enormemente en los agricultores.

② Como he mencionado anteriormente, Chile es un país relativamente difícil de sufrir climas anormales y propagación desusada de plagas y enfermedades, y además sus productos agrícolas no son de producción única, habiendo agricultores de explotación múltiple como frutas,

verduras, etc. Como resultado de esto, difícilmente ocurren casos en que la administación agrícola del año se abata extraordinariamente y que no puedan vivir si no venden derechos de aguas. También, como subsisten muchos derechos de aguas convencionales, aunque quieran venderlos, la situación no lo permite. Por lo tanto, hay pocos casos en que los derechos de aguas se venden y que la tierra agrícola restante se arruina.

De todo esto, propongo lo siguiente para los derechos de aguas en el futuro :

El régimen actual de permitir la transacción libre en el mercado no es deseable, pero considerando el hecho de no haber ocurrido problemas serios hasta ahora, confusiones políticas que se preve generar por el despojo del derecho de bienes, y las situaciones actuales de la agricultura que está desarrollándose favorablemente en forma general, el principio del régimen debiera mantenerse tal como está.

En este caso, es deseable tomar contramedidas para el demérito del régimen "desolación de la tierra agrícola por la venta de derechos de aguas". La causa principal es la separación de la propiedad de derechos de aguas y la del terreno. Pero si se hacen coincidir éstos, es decir "la compraventa simultánea de derechos de aguas y el derecho de terreno" impide al contrario el uso eficiente de terrenos, teniendo en cuenta la situación de que el traslado de aguas se dirige del uso agrícola al uso urbano. La posibilidad de dejar los terrenos comprados es alta. Por otro lado, en caso de la compraventa entre los agricultores, generalmente se considera conveniente que los terrenos y las aguas se transfieran al mismo momento, pero se puede suponer casos en que no haya demanda de terrenos. Su ejemplo es que se aumenta la cantidad de aguas necesaria para mejorar la productividad de la tierra agrícola existente. Por consiguiente, es adecuado dejar el juicio en manos de los agricultores si es pertinente comprar al mismo tiempo el terreno y el agua o no. Viendo así, tampoco es adecuada la política de obligar "la compraventa simultánea de derechos de aguas y de terreno".

Pero, si se deja así, se puede suponer que el traslado de derechos de aguas (en realidad del uso agrícola al agua potable) se amontone y que aumenten paulatinamente terrenos inactivos, por lo cual se necesita tomar algunas medidas. Para ello, recomiendo que hagan "la designación de terrenos excelentes" en el territorio nacional. Ésta es una política condicional por que desde el punto de vista del fomento agrícola se designan terrenos agrícolas que el país necesita proteger, para los cuales se permite la transferencia de derechos de aguas sólo entre los agricultores, y de esta manera para el futuro se aseguran como tierra agrícola con agua para riego. Por supuesto sólo se permite el traslado de tierras del uso agrícola al público como escuelas, carreterras, aeropuertos, etc. Considerando el aseguramiento de la tasa de autarquía alimentaria para el país y la estabilidad de la posición como industria exportadora, se designan terrenos agrícolas de alta productividad agrícola por unidad de unos millones de hectáreas. En Chile hay ejemplos en que se designan usos de terreno desde el punto de vista de la planificación rural o urbana. La idea es ampliarlo en todo el país y asegurar los terrenos agrícolas excelentes necesarios como nación.

Pero esta política resulta una reforma más drástica que el cambio del manejo de derechos de aguas, y en este momento no es adecuado realizarlo apresuradamente. Porque la agricultura actual anda bien en general. Por lo tanto, ¿qué les parece que en vez de esta reforma, como política real sólo se designen terrenos agrícolas excelentes como nación, y que cuando allí surjan solicitudes de la transferencia de derechos de aguas o de terrenos, se necesite el permiso?. Como entidad que otorga el permiso, se pueden pensar en DGA, municipalidades o nuevas organizaciones (compuestas de colectividad pública, grupo de agricultores, institución privada, etc. por cuenca). Como estándar de este permiso se pueden considerar la necesidad del desarrollo local, la importancia como la agricultura, la conservación del medioambiente, entre otros. De esta manera se puede evitar la inactividad de terrenos buenos y posteriores daños acompañados por ésta. Pero, como las tierras agrícolas designadas llevan deméritos como

dificultad de traslado de sus derechos de aguas o de terrenos, es necesario indemnizar por esto. En relación a esta indemnización se puede pensar en la adopción preferente de proyectos públicos. Es un sistema en que, si se designan como terreno agrícola excelente, se restringe la compraventa de aguas o de terrenos, y que pueden recibir preferentemente la adopción de proyectos públicos. Dependiendo del caso, también se puede pensar en deducción de impuestos sobre terrenos o aumento de la tasa de subsidio para proyectos.

Este tipo de política es contrario a la reforma administrativa o a la política de la utilización del mecanismo del mercado que el gobierno chileno viene llevando a cabo, pero en caso de la agricultura las tierras agrícolas no son bienes libremente transables en el mercado, lo cual he mencionado varias veces. Considerando la economía externa tales como conservación de agua en la tierra agrícola, prevención de pérdida del suelo, conservación del ecosistema, función de absorción del monoóxido de carbono, esto resulta aún más claro.

Resumiendo todo lo arriba mencionado, en materia del régimen de derechos de aguas chileno, estoy de acuerdo con la idea actual de modificar el Código de Aguas sin cambiar el principio. Pero, lo importante al mismo tiempo es asegurar una determinada área de tierras agrícolas buenas como nación, permitir allí el trastado de derechos de aguas y de terrenos, y emplear políticas como adopción preferente de proyectos públicos.

5.2.2 Introducción del modelo chileno a otros países

La introducción del modelo chileno varía naturalmente su pertinencia según la situación del país. Pero, lo que tenemos que pensar en general son sus pros y sus contras de la introducción destinada a los países en vías de desarrollo. En realidad, son estos países a los que el Banco Mundial y el Banco Interamericano de Desarrollo recomiendan.

En este caso, como los países pensantes en lo bueno o lo malo de la introducción no adoptan todavía este régimen, la clave a estudiar está en el punto de partida. Es decir, como he mencionado al inicio del 5.2.1, el dejar los derechos de aguas para uso agrícola en manos del mecanismo del mercado tiene méritos y deméritos, pero no puedo menos de decir que en forma global hay más deméritos. Sobre todo, si países pobres introducen este régimen, hay alto riesgo de que agricultores pobres vendan sus derechos de aguas para la vida diaria y que tierras agrícolas en que faltan aguas se arruinen. Seguramente esas aguas irán al uso urbano o al industrial. Viendo así, lo que recomienda el Banco Mundial y otros es la industrialización de los países pobres, y sólo puedo pensar que la agricultura se dirija a la decadencia. Como resultado de esto, ¿se fomentará el nomadismo de gran cantidad de agricultores, llevando a la caída de la sociedad local.? Como las aguas han sido gratis hasta ese momento y ahora se pueden vender siendo valoradas, los ingresos individuales aumentan temporalmente. Pero esos son bienes de burbuja que no tienen sustitutivos como bienes tangibles, y finalmente se reflejan en los precios de productos industriales que compraron las aguas, produciendo productos caros nacional e internacionalmente. Es evidente que esto no favorece nada económicamente a los países en cuestión.

Por consiguiente, la política a adoptar es asegurar la producción agrícola designando tierras agrícolas excelentes, desde el punto de vista de la agricultura que es la principal industria para la mayoría de los países en vías de desarrollo. Esta política se liga al mismo tiempo al mantenimiento de la función de conservación del ambiente del territorio nacional. Basándose en esto, si se introduce el modelo chileno con miras a terrenos considerados fuera de las tierras agrícolas buenas, hay posibilidad de realizarse el mérito más grande de esta política, que es "la utilización eficiente de aguas por el traslado sin roces de derechos de aguas". Por lo menos se debe ejecutar paraleramente el desarrollo industrial y el aseguramiento de terrenos agrícolas excelentes mediante la transferencia sin roces de derechos de aguas.

6. Epílogo

Este estudio es la reflexión del régimen de derechos de aguas en Chile, teniendo en cuenta las opiniones de expertos y los resultados de investigaciones hasta la fecha. El régimen en que los derechos de aguas se comercializan en el mercado igual que otros bienes es un experimento de gran magnitud, llamado modelo chileno, rivalizando con otras liberalizaciones económicas. Parece que el experimento tiene buenos resultados en forma general aunque contiene varios problemas. Pero a ésto contribuyen mucho las singularidades de este país tales como condiciones peculiares climáticas e hidrológicas, la radicación de derechos de aguas convencionales, etc. También influyen favorablemente las buenas situaciones sociales y económicas y el avance en el desarrollo del país. Excluyendo estos puntos y analizando puramente los pros y los contras del régimen, las aguas para uso agrícola y los terrenos agrícolas no tienen la maleabilidad como elementos productivos, acompañándose de muchos elementos difíciles de internalizar en el mercado, lo cual nos permite pensar que no se puede tratar igual que otros bienes desde el punto de vista de la economía política. Mirando las situaciones reales de Chile, se puede reconocer los méritos como la transferencia sin roces de derechos de aguas y el efecto de la reducción del consumo del agua, pero también hay muchos deméritos tales como la desolación de tierras agrícolas, la generación de problemas ambientales. En general, no puedo menos de decir que este régimen tiene la posibilidad de traer más deméritos para la agricultura. Bajo esta circunstancia, para aprovecharse de los méritos sin generar defectos lo más posible, se necesita una preparación cuidadosa en materia de políticas agrícolas.

Para esto, lo importante es asegurar ampliamente tierras agrícolas excelentes necesarias como nación. Esto es un tema esencial en las políticas agrícolas dependiente del problema de derechos de aguas, y considerando la posibilidad de arruinar el terreno agrícola por la transferencia de derechos de aguas, su necesidad se acentúa aún más. Esto debilita la función del mecanismo del valor basada en la competencia libre, pero muestra que la agricultura no se familiariza con la competencia perfectamente libre en el concepto de la irreversibilidad que tiene la agricultura y de la función de conservación ambiental del territorio nacional. Además, si se considera la seguridad de comestibles, con mayor razón. Para reprimir generaciones de desventajas se necesita tomar medidas tales como un establecimiento de flujo ecológico del cauce, implementación de organismos mediadores de conflictos que posean conocimientos especializados, colección y publicación de diversos tipos de datos, etc.

Por lo tanto no pienso que sea deseable la medida de introducir inmediatamente el régimen chileno a otros países, sobre todo, de base financiera débil. Me parece que para estos países se hace posibile el desarrollo industrial mediante la transferencia sin roces de derechos de aguas sólo después de que ellos primero lleven adelante las políticas agrícolas y que posteriormente implementen esta política.

Desde este punto de vista, la conclusión de este estudio es que el pensar la forma deseable de la existencia de derechos de aguas es todo igual al pensar la forma deseable de existir las tierras agrícolas excelentes.

A próposito, he escrito este trabajo como experto de JICA que presta servicio al Ministerio de Agricultura en Chile, y advierto que sus contenidos son opiniones personales, no las del Ministerio de Agricultura ni de la oficina de JICA en Chile. Finalmente, al resumir este estudio, me ayudaron y orientaron mucho el Sr. Carlos Aviles y los funcionarios de la Comisión Nacional de Riego del Ministerio de Agricultura y la Sra. Karin Baeza de la Universidad de Chile. Nuevamente quiero expresarles mis agradecimientos.