



GOBIERNO DE CHILE
CONAMA
METROPOLITANA
DE SANTIAGO

1949

MEMORANDUM N°2568

A : Jorge Troncoso Contreras
Jefe Área de Control de la Descontaminación Ambiental
Comisión Nacional del Medio Ambiente

DE : Pablo Badenier Martínez
Director
Comisión Nacional del Medio Ambiente
Región Metropolitana

ANT : Memo N°239/2006 fecha de 19 de julio de 2006

MAT : AGIES NORMA MAIPO

FECHA : 22 de agosto de 2006.

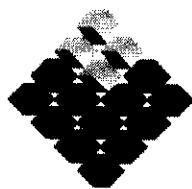
En el marco del proceso de la elaboración de la norma Secundaria de Calidad para Aguas Continentales Superficiales de la Cuenca del Río Maipo, tengo bien enviarle el análisis general del impacto económico y social de la misma, donde son consideradas las observaciones vertidas por dicha área, de acuerdo al memo citado en ANT.,

Sin otro particular, se despide atentamente



PABLO BADENIER MARTINEZ
DIRECTOR
COMISION NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE
REGION METROPOLITANA


EZR/CBF/mac



**CONAMA
METROPOLITANA
DE SANTIAGO**

1950

**ANALISIS ECONOMICO Y SOCIAL DE LA NORMA DE CALIDAD
SECUNDARIA PARA LA PROTECCION
DE LAS AGUAS CONTINENTALES SUPERFICIALES
EN LA CUENCA DEL MAIPO**

Informe Final

CONAMA Región Metropolitana de Santiago

Junio, 2006

INDICE

1951

	Pág.
Presentación	4
1 Introducción.	6
1.1 Marco legal que establece el requisito de elaborar AGIES.	
1.2 Fundamentos para la dictación de la norma.	
1.3 Criterios considerados para la confección de la norma.	
1.4 Ambito de aplicación de la norma.	
2 Metodología General de Análisis.	9
2.1 De la metodología.	
2.2 De lo que es posible valorar.	
3 Escenario base para efectos de evaluar la Norma.	11
3.1 Las fuentes y sus emisiones	
3.1.1 Fuentes industriales.	
3.1.2 Fuentes difusas	
3.1.3 Otras fuentes cuyos procesos no están regulados.	
3.2 El Plan de Saneamiento de Aguas Andinas.	
3.3 Período de evaluación	
4 Cuantificación de Beneficios.	16
4.1 Aspectos generales.	
4.2 Principales supuestos.	
4.3 Cuantificación de Impactos Evitados.	
4.3.3 Impacto sobre la agricultura	
5 Valorización de Impactos Evitados.	26
6 Cuantificación de Costos.	26
6.1 Costo para las fuentes.	
6.2 Costos para el Estado.	
6.2.1 Costos de Fiscalización	
6.2.2 Costos de monitoreo	
7 Resultado y Conclusiones.	30
8 Recomendaciones	31
9 Referencias.	32

Documento elaborado por:

Claudio Bonacic Fuica, CONAMA RMS

Colaboradores:

Pamela Zenteno Rivera, CONAMA RMS

Oriana Salazar Harby, CONAMA RMS

Ignacio Urrutia Cáceres, CONAMA RMS

El presente documento se basa fundamentalmente en los resultados del estudio ***"Apoyo Profesional para el Análisis Económico y Social de la Norma de Calidad Secundaria para la Protección de las Aguas Continentales Superficiales en la Cuenca del Maipo"*** preparado para la Comisión Nacional del Medio Ambiente, Región Metropolitana de Santiago, por el consultor Enrique Calfucura Tapia. Diciembre de 2005.

En este último periodo, hemos experimentado la recuperación paulatina de la calidad del agua en la cuenca del Maipo, producto de la aplicación de una norma de emisión elaborada en 1998 (DS 90/00). La decisión controvertida en un principio de aplicar una norma de emisión nacional antes de establecer los objetivos de calidad de las aguas por cuencas hidrográficas, ha tenido finalmente grandes ventajas ambientales, toda vez que la recuperación ambiental de las aguas se está produciendo.

Por lo mismo, debido a que es previsible que la calidad general de las aguas mejore en el corto plazo, los objetivos de calidad de agua propuestos en la norma secundaria no producirán beneficios en el corto plazo, sino que sus mayores beneficios serán en el mediano y largo plazo, situación que se traduce en que la evaluación que aquí se presenta, y que se restringe a un período de 10 años, no se muestran todos los beneficios que se obtendrán con la aplicación de la norma.

Si bien es cierto las normas tienen un carácter preventivo, dado el hecho relevante de haber establecido la mayor parte de los valores propuestos en valores de calidad actual (2004-2005), —coherentes con la protección de los usos y los ecosistemas acuáticos— y a la exigencia de cumplimiento del DS N° 90/00, que como ya se señaló, generará importantes reducciones de contaminantes e impondrá significativos costos al sector industrial y la población que reside dentro de la cuenca, utilizar el criterio preventivo para la norma como herramienta de gestión significaría, sin ningún beneficio directo, asumir costos adicionales de abatimiento por sobre lo ya exigido para la mayor parte de los parámetros controlados. En este escenario al cual nos vemos enfrentados, aplicar de inmediato el carácter preventivo de la norma resulta incoherente con los principios establecidos en nuestra propia Ley de bases.

Dada la información existente al momento de esta evaluación, hubo beneficios de la norma que no fueron valorados. Estos corresponden a los que se derivan del proceso normativo como un elemento que apoya la consecución de objetivos para la conservación de la biodiversidad, —materia que se discute en este informe—, y los beneficios derivados de una temprana regulación en vista a dar cumplimiento con las exigencias que impone la inserción internacional a la que aspira nuestro país. Dichos beneficios, sin lugar a dudas no merecen cuestionamiento alguno respecto de su importancia y de su relevancia en la gestión ambiental.

Asimismo, bajo la perspectiva del manejo integrado de cuencas, indicado en el Programa de Gobierno de la Presidenta Bachelet, este cuerpo normativo se constituye en el puntapié inicial para el desarrollo de una gestión integral del territorio, debido a que es la única herramienta legal en el país que reconoce a la cuenca como la unidad básica y fundamental para la gestión ambiental, y establece criterios para abordar dicha gestión, utilizando la actual institucionalidad.

Por lo anterior, se presenta aquí un análisis económico que no muestra beneficios tangibles en el corto plazo, y que considera que los impactos en términos de beneficios y costos sólo se producirán cuando la norma sea superada en forma sistemática, y por lo tanto sea necesario implementar medidas para su descontaminación.

Por lo mismo, sólo a partir de la superación sistemática de los valores de norma de calidad secundaria, se podría declarar zona saturada y dictar un Plan de Prevención y Descontaminación de las Aguas Superficiales en la cuenca del Maipo, generando reducciones de descargas que descontaminen y prevengan el cumplimiento de la norma secundaria.

El disponer de una norma secundaria de calidad para la cuenca del río Maipo, con la que se dé comienzo al proceso formal y sistemático de protección del recurso, permitirá inicialmente consolidar los sistemas de seguimiento y vigilancia de la calidad del agua en la cuenca, completar los déficit de información existentes, y avanzar posteriormente en un proceso de mejoramiento continuo, maximizando los beneficios sociales, económicos y ambientales para los miembros de esta sociedad. De este modo también se contribuirá a los objetivos nacionales, que conjugan la necesaria protección de los ecosistemas junto con el aprovechamiento racional del recurso.

Por otro lado el proceso de profundización en la inserción internacional al que aspira nuestro país, el avanzar en la regulación de esta importante cuenca, sienta las bases para alcanzar los estándares que se exigen en el exterior.

Independientemente de lo anterior, dentro del proceso normal de revisión de la norma, que es posible realizar en un plazo máximo de 5 años, y en posesión de los nuevos antecedentes que dentro de este mismo proceso se generará, se podrá evaluar la conveniencia de avanzar hacia mayores niveles de protección del recurso.



PABLO BADENIER MARTÍNEZ
DIRECTOR
COMISIÓN NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE
REGIÓN METROPOLITANA DE SANTIAGO

Análisis General del Impacto Económico y Social de la Norma Secundaria de Calidad Ambiental, Cuenca del río Maipo

1955

1 Introducción

1.1 Marco legal que establece el requisito de elaborar el AGIES

El presente documento corresponde al Análisis General del Impacto Económico y Social (AGIES) de la norma de calidad secundaria para la protección de las aguas continentales superficiales de la cuenca del río Maipo. La exigencia de realizar este análisis está consignado tanto en la Ley 19.300, de Bases Generales del Medio Ambiente, como el reglamento para la dictación de normas de calidad y emisión (D.S. N°93/95 MINSEGPRES).

En particular, la Ley de Bases del Medio Ambiente establece la necesidad de realizar un "análisis técnico y económico" dentro del proceso de dictación de normas; a lo cual responde el reglamento especificando que este último "deberá evaluar los costos y beneficios para la población, ecosistemas o especies directamente afectadas o protegidas; los costos y beneficios de los emisores que deberán cumplir con la norma; y los costos y beneficios para el Estado como responsable de la fiscalización del cumplimiento de la norma".

1.2 Fundamentos para la dictación de la norma.

A través del tiempo la actividad humana ha venido incrementándose en la región con el consiguiente incremento en la presión que se ejerce sobre el entorno. Esta situación genera riesgos para la protección y conservación del medio ambiente, así como para la preservación de la naturaleza asociada a dicho territorio. En relación a los cuerpos de agua, en particular la cuenca del Maipo, actividades humanas que han terminado con la deforestación de las laderas, la extracción irregular de áridos, la pérdida de suelo, las malas prácticas agrícolas, el mal manejo de los residuos sólidos, y las fuentes puntuales y difusas que descargan sus residuos líquidos sin tratamiento, han generado un potencial de degradación del recurso que justifica su gestión de una manera más integrada.

Sin perjuicio de lo anterior, a lo largo de los años se han desarrollado diversas iniciativas tendientes a proteger el recurso o revertir posibles daños. Se cuenta con un conjunto de normas de emisión vigentes, dentro de las cuales destaca el D.S. N°90/00 (Norma de Emisión para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos líquidos a aguas marinas y continentales superficiales), cuyo cumplimiento para establecimientos emisores entra en vigencia, a cabalidad, en septiembre de 2006.

Por otro lado, en la Región Metropolitana de Santiago se cuenta actualmente con el 75% de las aguas servidas tratadas, y con el 100% de saneamiento en la Región de Valparaíso. Sólo esta acción ha generado reducciones importantes de la contaminación hídrica.

No obstante el efecto positivo que han tenido estas situaciones, el disponer de una norma secundaria de calidad para la cuenca del río Maipo, con la que se dé comienzo al proceso formal y sistemático de protección del recurso, permitirá inicialmente consolidar los sistemas de seguimiento y monitoreo en la cuenca, completar los déficit de información existentes, y avanzar posteriormente en un proceso de mejoramiento continuo de la calidad de las aguas, maximizando los beneficios sociales, económicos y ambientales para los miembros de esta sociedad. De este modo también se contribuirá a los objetivos nacionales, que conjugan la necesaria protección de los ecosistemas junto con el aprovechamiento racional del recurso.

Adicionalmente, y teniendo en cuenta el proceso de profundización en la inserción internacional a que aspira nuestro país, el avanzar en la regulación de esta importante cuenca sienta las bases para alcanzar los estándares que se exigen en el exterior.

1.3 Criterios considerados para la confección de la norma

La norma secundaria de calidad que aquí se establece, se construye teniendo en cuenta, entre otros, la calidad y los usos actuales y potenciales de las aguas de la cuenca del río Maipo, y considerando, a la vez, los valores recomendados para las clases de calidad 1 y 2 de la Guía CONAMA para el *Establecimiento de las Normas Secundarias de Calidad Ambiental para Aguas Continentales Superficiales y Marinas*, que corresponden a niveles de protección relativamente estrictos. Lo anterior, además, mediado por aspectos como la calidad natural y la disponibilidad de información, que en el caso particular presenta ciertas deficiencias.

Debido a que es previsible que la calidad general de las aguas mejore en el corto plazo, por la entrada en total vigencia del DS N°90/00, la norma que se propone producirá sus mayores beneficios en el mediano y largo plazo, situación que se traduce en que la evaluación que aquí se presenta, y que se restringe a un período de 10 años, muestre beneficios de forma parcial.

Independiente de lo anterior, dentro del proceso normal de revisión de la norma, que es posible realizar en un plazo máximo de 5 años, y en posesión de los nuevos antecedentes que dentro de este mismo proceso se generará, se podrá evaluar la conveniencia de avanzar hacia mayores niveles de protección del recurso.

1.4 Ambito de aplicación de la norma

La norma aquí propuesta tendrá aplicación en la cuenca hidrográfica del río Maipo, la cual debe su nombre a su principal afluente, el río Maipo. Esta cuenca posee la más alta concentración de habitantes del país y agrupa además, el centro político, comercial e industrial del mismo. La cuenca cubre casi la totalidad de la superficie de la Región Metropolitana, y se extiende también por una fracción de la Provincia de San Antonio en

la Región de Valparaíso y otra de la Provincia del Cachapoal de la Región del Libertador Bernardo O'Higgins Riquelme.

El río Maipo, constituye la fuente principal de agua potable de la Región Metropolitana y de la Provincia de San Antonio,. Atiende alrededor del 70% de la demanda actual de agua potable y cerca del 90% de las demandas de regadío en la Región Metropolitana. Por su parte, el río Mapocho -segundo cauce en importancia dentro de la cuenca- constituye el principal receptor de las descargas de aguas servidas domiciliarias, y en parte importante, de residuos industriales líquidos.

Para efectos de la norma, y siguiendo la *Guía CONAMA para el Establecimiento de las Normas Secundarias de Calidad Ambiental para Aguas Continentales Superficiales y Marinas*, los cursos de agua al interior de la cuenca se dividieron en *áreas de vigilancia* (o tramos del curso de agua sobre los cuales aplican los estándares propuestos). Para cada una de estas áreas se establecieron valores de norma para un conjunto de 23 parámetros según consta en el anteproyecto de norma. La elección de estos 23 parámetros se fundó en las recomendaciones del estudio *Diagnóstico y Clasificación de los Cursos y Cuerpos de Agua según Objetivos de Calidad*, CADE-IDEPE, 2003, preparado para la Dirección General de Aguas.

En términos administrativos, y en función del concepto de manejo integrado de cuencas, de economía de gestión y de eficiencia procesal, la elaboración de la norma se realizó en forma conjunta con la Región de Valparaíso.

En la primera parte del documento se entregan los antecedentes generales del contexto en el que se da la norma. En el segundo capítulo se describe brevemente la metodología utilizada en la evaluación, dejando a los capítulos 3, 4 y 5 la proyección del escenario base de la norma, la cuantificación y valoración de impactos y la estimación de los costos de cumplimiento respectivamente. En cada uno de estos capítulos se describen los supuestos utilizados y las condiciones bajo las que se aplican las distintas metodologías de estimación y valoración. Un sexto capítulo presenta el resultado final de la evaluación y resume las principales conclusiones del análisis.

2 Metodología General de Análisis

2.1 De la metodología

La metodología general de análisis que se utilizará corresponde a la que se conoce como *Análisis Costo Beneficio (ACB)*, cuya aplicación es la práctica habitual en este tipo de situaciones a nivel global, y que en el caso particular, se aplica a los impactos directos de la norma, es decir, aquellos que se derivan de los valores puntuales que se establecen para cada uno de los parámetros considerados. La metodología contempla los pasos que se describen de manera general a continuación:

2.1.1 Establecimiento del escenario base: Corresponde a una proyección de la calidad de las aguas que prevalecería si ninguna acción, distinta a la que responde al cumplimiento de la de otra normativa existente, se llevara a cabo.

2.1.2 Determinación de impactos: Corresponde a la cuantificación, en número y extensión, de los efectos adversos que serían prevenidos con la dictación de la norma. En términos estrictos, corresponden a los beneficios de la norma. En esta sección se realiza un listado de todos los impactos y se procede a su valorización dependiendo de la información disponible.

2.1.3 Determinación de costos de cumplimiento: En función de las excedencias constatadas a los valores propuestos por tramo y por parámetro en el punto anterior, y de las responsabilidades de las distintas fuentes en las mismas, corresponde a una proyección razonable de los esfuerzos que debieran realizar los emisores para restituir la calidad de las aguas al valor de norma.

En función de lo anterior, el análisis continúa al comparar los beneficios que se derivan de los impactos evitados con los costos que involucra el hacer cumplir los estándares de la norma.

Siendo así, la evaluación no considera los beneficios que pueden derivarse del proceso normativo como un elemento que apoya la consecución de los objetivos que persigue la Estrategia Regional para la Conservación de la Biodiversidad, y con ello, los objetivos de la Estrategia de Desarrollo Regional. Tampoco se consideran los beneficios derivados de una temprana regulación en vista a dar cumplimiento con las exigencias que impone la inserción internacional. Ambos aspectos se reconocen de la mayor importancia, sin embargo, son tratados sólo en forma cuantitativa en la evaluación. Estos beneficios son reales y deben tenerse presentes al momento de juzgar los resultados que se obtengan de la valoración puntual que se realiza aquí.

2.2 De lo que es posible valorar

Otro aspecto metodológico a mencionar, es el relativo a los aspectos susceptibles de ser valorados dentro de esta evaluación. Conceptualmente, y en concordancia con la metodología ACB utilizada, corresponde determinar el *Valor Económico Total (VET)* de los activos ambientales que la norma va a proteger como la medida correcta de los beneficios que ésta produce. El VET puede ser descompuesto en los siguientes componentes:

Valor Económico Total	Valor de Uso	Directo	Usos consuntivos y no consuntivos directos del recurso.
		Indirecto	Usos funcionales
		Valor de Opción	Usos futuros, directos e indirectos
	Valor de No Uso	Valor de Existencia	Beneficios derivados del conocimiento que el recurso existe.

A partir de la clasificación anterior, y en función de la disponibilidad de información, es posible señalar que la evaluación deberá circunscribirse a valorar principalmente beneficios asociados a usos directos, como son el aprovechamiento del agua para riego.

Usos asociados a las funciones ambientales que presta el recurso, como el soporte de la vida acuática, fue posible analizar para peces, (Quantitativa, 2004), e invertebrados bentónicos (CEA, 2004), y de ellos se puede deducir que la norma otorgaba un grado de resguardo diferencial¹, siendo éste mayor en las cabeceras y en la parte baja de la cuenca, y menor en la parte media, debido a la mayor presión antrópica por cantidad y calidad de agua. La incertidumbre que siempre existe respecto a posibles usos futuros que se puede dar al recurso, significa que incorporar beneficios por este concepto sean fuertemente cuestionables, por lo que se tiende a evitar incluir este aspecto en el análisis. Esta decisión es la que se tomó aquí también.

Si los aspectos anteriores presentan complicaciones para ser incorporados dentro de la evaluación, los relativos a los valores de existencia presentan problemas aun más insalvables. No es difícil sospechar, y esto aplica a la parte alta de la cuenca, que existe una preferencia de la sociedad por mantener parte de éstos ecosistemas intocados, y que el deterioro en la calidad de las aguas, por menor que ésta sea, puede significar una pérdida no menor de bienestar para la sociedad. Sin embargo, las técnicas para llegar a conocer esta valoración son complejas y demandantes de tiempo y recursos, por lo que no fue posible incorporar estos efectos dentro de la evaluación. Lo anterior debe ser ponderado al momento de revisar los resultados de esta evaluación.

¹ No obstante el estudio señala que el grado de intervención de los cauces hace que hoy en día muchos de ellos no cumplan funciones ecológicas relevantes de hábitats y conectividad.

3 Escenario base para efectos de evaluar la Norma

Para efecto de la evaluación económica y social de la norma se ha considerado que los elementos más determinantes del escenario base son:

- El cumplimiento del Decreto Supremo N°90 MINSEGPRES del 2000 por parte de los establecimientos industriales que emiten riles a las aguas superficiales y Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas (PTAS) en la cuenca. Este decreto corresponde a una norma de emisión para un conjunto de parámetros, muchos de los cuales también son normados a través del anteproyecto que aquí se evalúa. En ausencia de emisores no sujetos a esta normativa, el cumplimiento del Decreto 90 determinaría una situación donde la calidad de las aguas alcanzarían como valor límite el consignado en este decreto. Este supuesto es un aspecto central de la evaluación económica y social de este anteproyecto. Los aspectos más relevantes considerados para la evaluación son:
 - El cumplimiento del mencionado decreto por parte de una treintena de establecimientos industriales, según la clasificación de la SISS para estos efectos; y,
 - El plan de saneamiento de Aguas Andinas, al cual por su importancia, se hace mención aparte.

Dado lo anterior, a continuación se consideran las emisiones según tipo de fuente y los supuestos que se utilizan para establecer el escenario base.

3.1 Las fuentes y sus emisiones

Para efectos de proyectar el escenario base se hace necesario conocer las fuentes antrópicas y naturales que actualmente impactan la calidad de las aguas en sus distintos tramos.

- Establecimientos industriales puntuales de acuerdo al DS N°90/00.
- Emisores difusos:
 - Aguas servidas provenientes de zonas rurales
 - Canales de regadío
 - Escorrentías
 - Otros agentes emisores (plantas de extracción de áridos, etc.)
- Afloramiento de aguas subterráneas con alto contenido de minerales y nitrógeno.

3.1.1 Fuentes industriales

Las emisiones de las fuentes industriales en la situación base, y en cualquier otra situación, se estiman de acuerdo a la siguiente expresión:

$$\text{Emisión} [\mu\text{g} / \text{año}] = \text{Concentración} [\mu\text{g} / \text{m}^3] \times \text{Caudal} [\text{m}^3 / \text{hora}] \times \text{Actividad} [\text{horas año}]$$

En la actualidad se dispone de información respecto a las fuentes que se encuentran regularizadas al año 2005 para operar y dar cumplimiento al DS N°90/00 en la Región Metropolitana (alrededor de 30 establecimientos industriales), y que actualmente se encuentran llevando a cabo un proceso de "autocontrol" para el cumplimiento de compromisos voluntarios de reducción de riles. Dichos compromisos voluntarios no corresponden al cumplimiento de los límites máximos establecidos en el DS N°90/00, sino que son límites intermedios entre la situación inicial sin tratamiento y lo establecido en dicho decreto.

Por otro lado, existe un número de establecimientos industriales que no han regularizado su situación o cuyos sistemas de tratamiento no han sido aún evaluados en el SEIA ni aprobados por la COREMA Región Metropolitana. De este modo, se hace necesario realizar una simulación de cumplimiento del DS N°90/00, que servirá para determinar la carga contaminante bajo esta situación.

En un escenario donde todas las fuentes industriales puntuales cumplan el DS N°90/00, la calidad de las aguas en los tramos debiese mejorar de manera importante. De hecho, en la revisión realizada de proyectos de tratamiento de riles dentro del SEIA, se constatan reducciones mayores al 90% para los contaminantes más relevantes.

Como consecuencia de la pronta exigencia de cumplimiento del DS N°90/00, una cantidad importante de fuentes puntuales industriales ha optado por el vertimiento de sus riles tratados al alcantarillado o para el riego de superficie dentro del establecimiento industrial (cumpliendo con la norma chilena de riego en vez del DS N°90/00), lo cual reduce las descargas de riles a aguas superficiales mejorando la calidad de las mismas.

Conocidas de alguna manera las emisiones de las fuentes industriales, se hace necesario tener una aproximación al impacto en la calidad de las aguas que éstas provocan. Para estos efectos se desarrolla una aproximación a la relación emisión-calidad que permita estimar como: i) el crecimiento de la actividad económica; y ii) el establecimiento de medidas de descontaminación; afectan la calidad de la cuenca en los tramos relevantes.

Esta relación, en términos generales, corresponde a un modelo hidrogeológico y de calidad de las aguas superficiales. Las siguientes variables se definen para estos efectos:

- C_{ti} = calidad de las aguas superficiales en el tramo "i" en el período "t"
- C_{oi} = calidad de las aguas superficiales en el tramo "i" en la condición actual "0" (período inicial)
- D_{ti} = descargas de contaminantes a las aguas superficiales en el tramo "i" en el período "t"
- D_{oi} = descargas de contaminantes a las aguas superficiales en el tramo "i" en la condición actual "0" (período inicial)
- D_{ON} = aporte "natural" en la condición actual "0" (período inicial)

DA_{ii} = descarga de contaminantes proveniente de fuentes industriales o antropogénicas en el tramo "i" en el período "t"

Lo primero consiste en definir el aporte natural en un tramo (D_{ON}) como:

$$D_{ON} = D_{Oi} - DA_{Oi}$$

Luego, se considera fijo el aporte natural a las descargas durante todo el período de análisis. De esta manera, el aporte natural viene a convertirse en la condición promedio de aporte de fuentes no antropogénicas en cada tramo. Siendo así, las descargas totales en el tramo "i" para el período "t" se definen como la sumatoria de las descargas naturales, más las descargas antropogénicas, más el aporte de descargas proveniente del tramo precedente.

$$D_{ii} = D_{ON} + DA_{ii} + D_{ii-1}$$

Finalmente, la calidad de las aguas en el tramo "i" en el período "t" se define como:

$$C_{ii} = D_{ii} \times \left(\frac{C_{Oi}}{D_{Oi}} \right)$$

Sobre la base de esta expresión se determinó el impacto de las emisiones industriales tanto en el escenario base como en el escenario de cumplimiento con la norma de calidad.

3.1.2 Fuentes difusas

Las principales fuentes de contaminación difusa que podrían tener impacto en la cuenca son las provenientes de la ganadería, los pozos negros, el vertido de residuos sólidos a los cuerpos de aguas superficiales, la contaminación agrícola proveniente del uso de fertilizantes y plaguicidas, y el impacto de las operaciones de mineras y de extracción de áridos.

En términos generales, no existen antecedentes oficiales que den cuenta de estas situaciones en términos cuantitativos, lo que limita fuertemente su incorporación en el análisis.

Cabe señalar que respecto a los parámetros regulados por la norma, en magnitud e importancia, sólo las emisiones provenientes de aguas servidas que son vertidas a ríos y canales provenientes del sistema de alcantarillado son relevantes, dado que aquellas emisiones que son descargadas directamente al suelo a través de pozos sépticos o letrinas tienden a infiltrar, afectando mayormente la calidad de las aguas subterráneas.

Del mismo modo, respecto a las descargas de contaminantes provenientes de los procesos de fertilización y uso de plaguicidas, estas sustancias inciden en mayor medida sobre la calidad de las aguas subterráneas que de las aguas superficiales.

La contaminación difusa proveniente de la ganadería, no parece ser un problema en el caso de sustancias orgánicas. Esto dado que la mayoría de los establecimientos de crianza y manejo de ganado son de tipo industrial y están sujetos al cumplimiento del DS N°90/00; y que las fecas de masa de ganado bovino, porcino y ovino en terrenos agrícolas de la Región Metropolitana son utilizadas preferentemente como fertilizante.

Por los motivos anteriores, el impacto de este tipo de fuentes no será considerado en el análisis.

3.1.3 Otras fuentes cuyos procesos no están regulados

En relación a este tipo de fuentes, la información disponible no permite realizar una evaluación de su posible aporte (fuentes difusas o no catastradas) a la calidad de las aguas superficiales en la cuenca. Dentro de este tipo de fuentes, se consideran:

- descargas en la cuenca del Maipo del sistema de alcantarillado para saneamiento rural
- descargas difusas de aguas servidas en la cuenca del río Maipo.
- impacto en el proceso de sedimentación producto de la operación de procesos de extracción de áridos y minerales en la Región Metropolitana.
- descargas provenientes de industrias no reguladas por el DS N°90/00.

Para saneamiento rural, dado que el programa de agua potable y alcantarillado se enfoca en localidades concentradas y semi concentradas (mayores a 150 habitantes), se espera que dichas descargas deban implementar sistemas de tratamiento para cumplir con el DS N°90/00.

3.2 *El Plan de Saneamiento de Aguas Andinas*²

A modo de diagnóstico, se puede señalar que las descargas al alcantarillado de aguas servidas domésticas e industriales son la principal fuente de contaminación de las aguas superficiales en términos de caudal aportado a la cuenca del río Maipo. Existen en la actualidad alrededor de 50 puntos de descarga de aguas servidas a cuerpos receptores de la cuenca.

En el sistema de alcantarillado de Santiago, hasta al año 2001, se descargaban 13,8 m³/seg de aguas servidas en 40 puntos a lo largo de los ríos Maipo y Mapocho, y en el Zanjón de la Aguada. Este último es el curso más contaminado de Santiago en términos de Coliformes Fecales, además presenta muy bajo oxígeno disuelto y alta DBO.

² En este punto no se hace referencia a la Provincia de San Antonio ya que se encuentra con el 100% de sus aguas servidas saneadas producto del Plan de Saneamiento llevado a cabo por la empresa sanitaria ESVAL que opera en la V Región de Valparaíso.

Por su parte, la mayor contaminación del Mapocho se concentra en el puente Pudahuel de la comuna homónima y en la zona de Rinconada en Maipú. El EIA de la PTAS La Farfana señala que para el Gran Santiago, como promedio, la cantidad de materia orgánica es de 250 mg/l de DBO₅, y que los sólidos suspendidos se han estimado en 300 mg/l, además, en el caso del contenido de microorganismos patógenos, el valor de $5 \cdot 10^7$ NMP/100 ml de Coliformes Fecales, es representativo para las aguas servidas de Santiago. Lo anterior ha producido graves impactos sobre la sociedad y el ecosistema natural.

Aguas Andinas se encuentra implementando el Plan de Saneamiento de Aguas Servidas de la Región Metropolitana cuyo objetivo es reducir los niveles de contaminación producto de las descargas de aguas servidas e industriales a través del sistema de alcantarillado en la cuenca del Maipo. Esta situación redundará en una reducción sustancial de la contaminación físico-química y microbiológica en toda la cuenca del Maipo que eventualmente llevaría al cumplimiento de la norma de calidad secundaria.

El Plan de Saneamiento, como su nombre lo indica, consiste no sólo en la construcción de algunas plantas de tratamiento de aguas servidas, sino que en el desarrollo y realización de un programa que involucra el saneamiento completo de las aguas de la cuenca, desde el punto de vista de la materia orgánica y carga bacteriana en ella contenida. El Plan puede ser dividido en dos componentes, el Plan de Saneamiento del Gran Santiago, que involucra tres plantas de tratamiento de gran envergadura, y el Plan de Saneamiento de Localidades que involucra a trece plantas de tratamiento de mediano y pequeño tamaño que descontaminarán 13 localidades rurales de la Región Metropolitana.

La Planta de Tratamiento de Aguas Servidas La Farfana, en operación desde octubre de 2003, está diseñada para tratar un caudal medio de 8,8 m³/s lo que equivale al 50% de las aguas servidas generadas por los habitantes de la Región Metropolitana, atendiendo una población estimada de 3,3 millones de personas. Por su parte, la Planta de Tratamiento de Aguas Servidas El Trebal, que opera desde octubre de 2001, limpia las aguas servidas de aproximadamente 1,7 millones de habitantes de las áreas sur y sur-poniente de Santiago, y tiene una capacidad para tratar 4,4 m³/s. La tercera planta de envergadura está en diseño y no ha ingresado aún al SEIA.

En localidades periféricas de la Región Metropolitana, se encuentran en operación 6 plantas de tratamiento de aguas servidas: San José de Maipo, Paine, Cexas-Melipilla, Esmeralda de Melipilla, Pomaire y Til-Til (Los Olivos), las que en su conjunto tienen la capacidad de tratar un caudal medio de 197 litros por segundo. Durante el año 2003 el volumen de aguas servidas tratadas por dichas plantas fue de 6,3 millones de m³. Están en construcción las plantas de Valdivia de Paine, Talagante y El Monte. También está proyectada la planta Buin-Maipo, y Melipilla, en remplazo de las actuales plantas Cexas y Esmeralda.

3.3 *Período de evaluación*

El período de evaluación para el análisis se estableció en 10 años considerando que la revisión de la norma se realiza al menos una vez cada 5 años según el reglamento de dictación de normas. Se suma a lo anterior el hecho que la información disponible para la evaluación de la norma es débil en muchos casos, lo que justifica se realice una revisión de la misma quizás en un período previo al máximo que contempla el reglamento.

4 *Cuantificación de Beneficios*

4.1 *Aspectos generales*

Los beneficios derivados del anteproyecto de norma que aquí se discute se pueden apreciar en varios ámbitos. Los más importantes son los relativos al aporte de la norma a la consolidación de procesos de protección de la biodiversidad en la región, que se expresan por ejemplo en el mejoramiento de los sistemas de seguimiento y monitoreo en la cuenca, y de inserción internacional de nuestra economía, mencionados anteriormente.

No obstante lo anterior, y en virtud de la información disponible para la evaluación de la norma, la evaluación de beneficios se concentrará en los que se desprenden de los valores específicos establecidos para los distintos parámetros que contempla la norma, es decir, los beneficios directos. En las conclusiones se sopesarán estas decisiones.

En relación a los beneficios directos, la norma previene situaciones no deseadas por la sociedad y de esta manera permite asegurar que determinados usos del agua se produzcan en plenitud. A esta situación se la denomina *costos evitados de la norma*, ya que hacen referencia al hecho que si ésta se superara, la sociedad se vería expuesta a dichos costos.

Estos costos evitados, por tanto, se verificarán únicamente cuando la situación bajo el escenario base lleve a la excedencia de la norma. Al respecto, cabe entonces proyectar qué parámetros y en qué momento del tiempo llegarán a verificar las mencionadas excedencias.

4.2 *Principales supuestos*

A continuación se presentan los supuestos utilizados para efecto de determinar los costos evitados de la norma:

- a) Los tramos ubicados en la parte alta de la cuenca, y el último tramo del Maipo, no fueron incorporados en el análisis. Ello, por que la calidad actual es mejor que la que establece la norma y resulta difícil hacer una proyección razonable del incremento de la actividad antrópica en dichas zonas. Los tramos no

- considerados por este hecho son: MA-TR-10, MA-TR-60, OL-TR-10, CO-TR-10, MO-TR-10, YL-TR-10, MP-TR-10, AR-TR-10, YE-TR-10, YE-TR-20 y VO-TR-10.
- b) Los tramos donde no existe un registro estadístico histórico comparable con los registros de la Dirección General de Aguas, no fueron incorporados en el análisis. Estos tramos son: EEM-TR-10, EEC-TR-10, EM-TR-10, SN-TR-10, QR-TR-10 y EH-TR-10
- c) Los tramos MA-TR-20 y MA-TR-31, si bien presentan actividad antropogénica, ésta se encuentra limitada a descargas domiciliarias y de escasos establecimientos industriales, los cuales no generan impacto significativo en la calidad de las aguas dado el nivel de caudal del río Maipo en dichos sectores. Por este motivo, estos tramos tampoco fueron incorporados en el análisis

El cuadro siguiente muestra el resumen luego de aplicar los supuestos anteriores (en **negrita** los tramos que permanecen).

Cauce	Tramo	Tramos con alta calidad de sus aguas, de la parte alta y baja de la cuenca	Sin información sistemática	Tramos de bajo impacto antropogénico
Río Maipo	MA-TR-10	X		
	MA-TR-20			X
	MA-TR-31			X
	MA-TR-32			
	MA-TR-33			
	MA-TR-40			
	MA-TR-50			
	MA-TR-60	X		
Río Volcán	VO-TR-10	X		
Río Yeso	YE-TR-10	X		
	YE-TR-20	X		
Río Colorado	CO-TR-10	X		
Río Olivares	OL-TR-10	X		
Río Angostura	AN-TR-10			
Río San Francisco	SF-TR-10	X		
Río Molina	MO-TR-10	X		
Río Mapocho	MP-TR-10	X		
	MP-TR-20			
	MP-TR-31			
	MP-TR-32			
Estero Colina	EC-TR-10			
Estero Lampa	LA-TR-10			
Estero Puangue	PU-TR-10			
Estero Yerba Loca	YL-TR-10	X		
Estero Arrayán	AR-TR-10	X		
Estero El Manzano	EEM-TR-10		X	
Estero El Canelo	EEC-TR-10		X	

Estero Manzanito	EM-TR-10		X	
Estero San Nicolás	SN-TR-10		X	
Quebrada de Ramón	QR-TR-10		X	
Estero Las Hualtatas	EH-TR-10		X	

- d) Por otro lado, existe un conjunto de parámetros para los que no se cuenta con mediciones oficiales de la DGA, y por este hecho no fueron considerados. Estos parámetros son: DBO₅, sólidos suspendidos, amonio, cianuro, nitrito, coliformes fecales y coliformes totales. Con esto los parámetros considerados se restringen a 16.
- e) En función de la calidad actual, determinada a partir de información para los años 2003 y 2004, se decidió limitar el análisis de parámetros contaminantes a aquellos más relevantes en términos de la probabilidad de excedencia exhiben. Se definen como parámetros relevantes a aquellos que superan el 90% de la razón calidad actual/valor norma para el período en cuestión.

De acuerdo a lo anterior, el análisis se estaría circunscribiendo a los siguientes tramos y parámetros:

Tramo	CE	OD	pH	DQO	Fe	Mo	Zn	Pb	SO4-2	Cu	Cl	Mn	Al
MA-TR32		X	X	X	X	X	X	X					
MA-TR33		X	X		X	X	X	X					
MA-TR40	X	X	X						X				
MA-TR50	X	X	X						X				
MP-TR20	X	X	X						X		X		
MP-TR31	X	X	X						X	X	X		
MP-TR32	X		X								X		
EC-TR10			X			X			X			X	
LA-TR10	X		X			X			X	X	X		
PU-TR10	X	X	X	X						X	X		
AN-TR10		X	X			X	X	X				X	X

- f) Como se desprende del capítulo 3 sobre escenario base, las únicas fuentes verificables que impactan la calidad de las aguas, sin considerar el aporte natural, son de tipo puntuales, específicamente, establecimientos industriales. Es decir, la contaminación de origen difusa o de fuentes no reguladas no se ha considerado en el análisis. Los argumentos para esta decisión se presentaron en el mismo capítulo.
- g) El supuesto anterior tiene consecuencias determinantes para el análisis de los impactos económicos y sociales de la norma. Las fuentes contaminantes verificables de origen antrópico se reducen a establecimientos industriales sujetos al cumplimiento del DS N°90/00. Siendo así, la responsabilidad por la calidad de las aguas recaería en fuentes que a septiembre del año 2006 deberían estar en cumplimiento del mencionado decreto. De esta forma, la calidad de las aguas debiera tender —en el peor escenario, cuando desaparece

el caudal natural—, a los valores del DS N°90/00. Con esto es posible proyectar, dado los supuestos hechos hasta aquí, que la calidad actual de las aguas debiera mejorar a futuro en todos aquellos parámetros que regula la antedicha norma de emisión.

- h) En el espíritu del supuesto anterior, se sabe que la mayoría de las fuentes industriales descargan sus riles al sistemas de alcantarillado, mientras que una menor proporción lo hace a cuerpos de aguas superficiales o utilizan las aguas tratadas para riego. No se prevé que esta situación cambie en el futuro, pudiendo, incluso, incrementarse las descargas al sistema de alcantarillado.

4.3 Cuantificación de Impactos Evitados

A continuación se presentan en detalle el tipo de impactos adversos que la norma podría llegar a evitar de acuerdo a los principales usos de las aguas de la cuenca.

4.3.1 Impactos sobre biodiversidad de peces y pesca recreativa

Según información entregada en el estudio "Antecedentes respecto a la biodiversidad acuática en la cuenca del Maipo", elaborada por la consultora Cuantitativa en diciembre de 2004, existe una disminución de la riqueza de los peces nativos en la misma.

Para la subcuenca del río Mapocho, de nueve especies reportadas en 1900, se reportaron 5 en 1970 y se estima en 1 la presente hoy en día. Así mismo, en la subcuenca del río Maipo, la situación es altamente crítica dado que 4 especies son vulnerables, 1 es inadecuadamente conocida y 4 se encuentran en Peligro de Extinción. El estudio de Cuantitativa (2004) señala que la contaminación de las aguas, pérdida y fragmentación de hábitat e introducción de especies han sido sindicadas como las principales causas que han incidido en los estatus de las especies nativas durante las últimas décadas.

Por su parte, el estudio de calidad de aguas de CADE – IDEPE (2004), indica que la mala calidad del agua podría estar generando procesos locales de extinción y de impedimento de flujo génico (fragmentación). Sin embargo, el estudio de Cuantitativa (2004) revela, a partir de análisis con Sistemas de Información Geográfica (SIG), la presencia de otros factores que podrían explicar en mejor medida la extinción de la fauna íctica nativa: cambio de uso de suelo a agrícola y pérdida de hábitat ribereño (sectores donde las especies se alimentan y reproducen). De esta forma, si bien la contaminación de las aguas trae consigo la disminución de la biodiversidad acuática, la cantidad de agua y la morfología fluvial (hábitats, conectividad), juegan un papel aun más preponderante en la extinción de especies y mantenimiento de la biodiversidad.

Cabe señalar que el estudio del CEA (2004) concluye también que las mayores riquezas taxonómicas de macroinvertebrados bentónicos se reconocen en el sector alto y bajo de la cuenca, siendo esto coincidente con la calidad de las aguas descrita.

Tal cual en otras situaciones, el DS N°90/00 permitiría mejorar de manera importante la calidad de las aguas en parámetros limitantes y relevantes como la DBO₅, Coliformes Fecales y el oxígeno disuelto (OD), en especial en el sector del Mapocho en la cuenca media de la cuenca. Así, es esperable que bajo el escenario base, y para el período en que se evalúa la norma, se produzcan incluso mejoras que privilegien el proceso de conservación.

Para asignarle un valor a los bienes ambientales en cuestión, es necesario identificar *valores de uso y no-uso* que le sean asignados por la sociedad. Los valores de uso corresponden principalmente al disfrute directo del bien ambiental, mientras que los valores de no-uso se asocian a la permanencia del recurso independiente de cualquier uso. La pesca deportiva y recreativa, identificada como un uso directo, presenta un escaso desarrollo según el estudio de CADE-IDEPE (2004), y se realiza principalmente en la zona alta de la cuenca (Embalse Yeso) o en la Laguna de Aculeo, por lo que habría un reducido valor asociado a esta actividad en la cuenca. Por otro lado, los valores de no uso desde el punto de vista de la protección de la vida acuática son desconocidos. No existen estudios que a la fecha hayan realizado estimaciones de este valor.

Sin embargo, cabe consignar que la norma de calidad secundaria para la cuenca del Maipo establece como objetivos de calidad a mantener, las clases 1 y 2 de la "Guía CONAMA para el Establecimiento de las Normas Secundarias de Calidad Ambiental para Aguas Continentales Superficiales y Marinas". Las concentraciones de los parámetros relacionados con estas clases de calidad permiten, con distintos grados de resguardo, la protección de las comunidades acuáticas (Kristal, 1997). Por otro lado, dentro de la fauna íctica que se encuentra actualmente en la cuenca, la mayoría de las especies son introducidas, y por lo tanto, de menor valor para efectos de conservación.

A modo de conclusión, se puede señalar que los valores de norma propuesto son consistentes con la protección de la vida acuática, sumado a que las características de la fauna íctica de la cuenca del Maipo la confinan a sectores alejados de los principales focos de contaminación puntual y donde existen otros factores que serían los determinantes en su declinación tales como la alteración de hábitats, la contaminación difusa, y fundamentalmente la menor disponibilidad de agua.

4.3.2 Impacto sobre la disponibilidad y calidad del agua potable

Las principales fuentes de captación de agua para potabilización en la Región, se ubican en:

- Laguna Negra (600 millones de m³)
- Laguna Lo Encañado (50 millones de m³)
- Estero El Manzano
- Estero El Canelo
- Río Maipo (20,5 m³/s)
- Embalse El Yeso (250 millones de m³)

En la parte alta de la cuenca, la norma de calidad secundaria establece límites que protegen la calidad actual y el uso de las aguas superficiales para producción de agua potable. Lo último resulta evidente en los tramos de la cuenca que proveen de insumos para la producción de agua potabilizada (AR-TR-10, YE-TR-20, MA-TR-10, MA-TR-20). Estos límites son concordantes con límites máximos que han sido señalados en la literatura internacional para la captación de aguas (Kristal, 1997).

Independiente de lo anterior, y dada la función que realizan las plantas que potabilizan agua, ante la eventualidad que existan emisiones aguas arriba del punto de captación de agua para potabilización, que provoquen la superación de la norma, los beneficios de ésta vendrían dados por los costos evitados por la empresa sanitaria al no tener que tratar esa peor calidad. Por su parte, los costos de cumplimiento de la norma vendrían dados por el abatimiento que debiera llevar a cabo el agente emisor instalado aguas arriba. En principio, y desde un punto de vista social, no es claro qué agente debiera realizar el tratamiento. Por su parte, y en la medida que la cantidad de emisiones aumente, dadas las probables economías de escala de la sanitaria y el efecto dilución, se justificaría el tratamiento por parte de esta última. La prevalencia de alguna de estas situaciones no es clara en este caso.

4.3.3 Impacto sobre la agricultura

Al igual que en los casos anteriores, los beneficios de la norma se asocian al hecho de establecer un límite a la contaminación que permita evitar los costos económicos que implican exceder dichos valores bajo un escenario base sin norma. En el caso de la agricultura, ésta se vería beneficiada dado que la pérdida de productividad producto de la contaminación de las aguas superficiales en la cuenca se evitaría con la implementación de medidas de descontaminación.

Los principales impactos que serán considerados en la parte de evaluación de beneficios en agricultura corresponden a:

- Reducciones en la conductividad eléctrica (CE) respecto al escenario base, que determinan un aumento en el ahorro de costos relacionados con la aplicación de láminas de agua para el lavado de suelos que presenten potenciales problemas de salinidad.
- Disminución en la pérdida de producto agrícola debido a altos niveles de contaminantes en las aguas de riego. Dado que se carecen de funciones de dosis-respuesta para evaluar tal impacto, se recurre al método de costo de reposición, bajo el cual se producen ahorros de costos en tecnologías de abatimiento que aseguren un riego libre de contaminación.

Los principales efectos de la calidad del agua de riego sobre los cultivos están asociados a la salinidad, la tasa de infiltración de las aguas, y la toxicidad de ciertos iones específicos, tal como a continuación se analiza.

Salinidad: las sales en el suelo o el agua reducen la disponibilidad de agua hacia los cultivos y de este modo afectan el rendimiento de los mismos.

Tasa de infiltración de las aguas: contenidos relativamente altos de sodio o bajos de calcio del suelo o el agua, reducen la tasa a la cual el agua de riego entra al suelo de manera que insuficiente agua se ve infiltrada para suministrar al cultivo adecuadamente desde un riego al próximo.

Toxicidad de iones específicos: ciertos iones, tales como el sodio, el cloro y el boro, provenientes del suelo o el agua pueden acumularse en concentraciones lo bastante altas para causar daños en cultivos sensibles y reducción de su rendimiento.

La siguiente tabla resume las restricciones de uso de las aguas de riego en función de la salinidad, infiltración y otros efectos, a diferentes niveles de dosis.

Caracterización de los principales problemas en la calidad del agua de riego

Potencial problema de riego			Unidades	Grado de restricción de uso		
				Ninguno	Leve a Moderado	Severo
Salinidad						
	Ecw		DS/m	<0.7	0.7-3.0	>3.0
	TDS		Mg/l	<450	450-2000	>2000
Infiltración						
RAS	0-3	Cew		>0.7	0.7-0.2	<0.2
	3-6			>1.2	1.2-0.3	<0.3
	6-12			>1.9	1.9-0.5	<0.5
	12-20			>2.9	2.9-1.3	<1.3
	20-40			>5.0	5.0-2.9	<2.9
Efectos misceláneos						
	Nitrógeno (NO3-N)		Mg/l	<5	5-30	>30
	PH			Rangos normales 6.5-8.4		

Fuente: Ayres y Westcott (1987).

El objetivo del riego es proveer a los cultivos adecuados y periódicos suministros de agua, evitando las pérdidas de rendimiento causadas por extendidos períodos de estrés de aguas durante estados de crecimiento del cultivo.

La planta extrae agua desde el suelo por medio de la ejecución de una fuerza absorbente mayor que la que retiene al agua en el suelo. Durante riego repetido, las sales en las aguas de riego pueden acumularse en el suelo, reduciendo la disponibilidad de agua a los cultivos. Las sales en las aguas del suelo incrementan la fuerza que la planta debe ejercer para extraer agua requiriéndose más energía por unidad de agua absorbida. Si la planta no puede hacer la fuerza suficiente, no será capaz de extraer el agua necesaria y sufrirá de estrés por agua. La conductividad eléctrica mide esta condición.

En relación a la toxicidad de los iones, el siguiente cuadro da cuenta de los impactos de los mismos sobre la productividad de las plantas y cultivos.

Concentraciones máximas de iones tóxicos en agua de riego

1972

Elemento	Concentración máxima recomendada (µg/l)	Observaciones	Análisis
Aluminio	5.0	Puede producir no productividad en suelos ácidos (<5.5), pero en suelos más alcalinos a pH 7.0 puede precipitar el ión y eliminar cualquier toxicidad.	Dada las características de pH en las aguas superficiales y suelo dentro de la cuenca, es esperable que las concentraciones actuales de Aluminio no produzcan efectos adversos.
Arsénico	0.10	La toxicidad en plantas varía ampliamente desde rangos de 12 µg/l en pasto hasta menos de 0.05 para el arroz.	Dependiendo de la especie, soluciones que contengan entre 0,5 – 10 µg/l pueden inducir toxicidad. De acuerdo a los niveles actuales de concentraciones y los valores de norma propuestos, los que se encuentran muy por debajo de las concentraciones antes señaladas (entre 0,01 y 0,02 µg/l), no se esperan mayores efectos sobre el rendimiento de los cultivos.
Cromo	0.10	No es reconocido generalmente como un elemento esencial. Se establece un límite conservador debido a la carencia de conocimiento respecto a sus efectos de toxicidad en las plantas.	
Cobre	0.2	Elemento esencial. Tóxico para un número de plantas desde 0.1 hasta 1.0 µg/l en soluciones nutrientes.	Sancha et al. (2005) señala que la concentración máxima total de cobre no debería exceder 200 µg/l para proteger la vegetación de los efectos nocivos del cobre.
Hierro	5.0	No tóxico en plantas en suelos aireados, pero puede contribuir a la acidificación de los suelos y la pérdida de disponibilidad de fósforo y molibdeno esenciales.	
Manganeso	0.20	Tóxico para un número de cultivos pero sólo en suelos ácidos.	El Manganeso es tóxico para algunos cultivos a niveles de concentraciones superiores a 0,2 µg/l. Los valores de calidad observados en la cuenca fluctúan entre 0.01 y 0.03 µg/l para los tramos relevantes. Existen tramos donde se supera el valor de 0,2 µg/l pero donde no se excede la norma.
Molibdeno	0.01	No es tóxico para plantas en concentraciones normales en suelo y agua. Puede ser tóxico para el ganado si el forraje crece en suelos con alta concentración de molibdeno.	Sancha et al. (2005) señalan que concentraciones máximas permisibles de Molibdeno que pueden ser utilizadas para riego de forraje son 0,01 µg/l para suelos drenados con tasas Cu:Mo < 2:1; 0,02 µg/l para riego de forraje en suelos bien drenados o con tasas Cu:Mo > 2:1; y 0.03 µg/l para cultivos no forrajeros.
Plomo	5.0	Puede inhibir el crecimiento de las células de la planta a concentraciones muy altas.	Dependiendo de la especie, las soluciones que contienen > 0,2 µg/l pueden inducir toxicidad por Plomo. Los niveles actuales de concentraciones y los valores de norma propuestos se encuentran muy por debajo de las concentraciones antes señaladas (entre 0,01 y 0,03 µg/l), por lo que no se espera efectos sobre el rendimiento de los cultivos.
Zinc	2.0	Tóxico para muchas plantas en amplias y variadas concentraciones; su toxicidad se ve reducida a pH>6.0 y en suelos de textura fina u orgánicos.	Se recomienda que la concentración total de zinc en agua de riego no exceda 1,0 µg/l para suelos con pH < 6, no exceda 2,0 µg/l para suelos con pH entre 6,0 y 7,0 y no exceda 5,0 µg/l para suelos con pH 7,0. Los límites máximos de la norma fluctúan entre 0,025 y 0,2 µg/l.

Fuente: Ayres y Westcott (1987)

Por otro lado, en relación a los siguientes compuestos o contaminantes se puede señalar:

Cloruro: El cloruro es captado por plantas y se acumula en las hojas. Si su concentración en éstas excede la tolerancia del cultivo, se desarrollan síntomas de daño hasta quemarla, efecto que en algunos cultivos limita su comercialización.

De acuerdo a Sancha et al. (2005), un rango de concentraciones de 140 a 175 $\mu\text{g/l}$ de cloruros presentará problemas leves, a niveles tóxicos, a cultivos cuando éste sea consumido a través de la absorción de las raíces. Propuestas de la FAO (Ayres y Wescott, 1987) establecen que aguas de riego con contenido de cloruros bajo los 192 $\mu\text{g/l}$ pueden ser utilizadas sin ninguna restricción en la agricultura. Por lo tanto, a los niveles de calidad actual de las aguas y los valores de norma que han sido propuestos, son esperables efectos leves de este contaminante sobre los cultivos más sensibles.

Conductividad Eléctrica: Los valores del parámetro de conductividad eléctrica para los tramos relevantes de la cuenca fluctúan entre 1.6 y 2.2 dS/m, lo que implica un impacto leve del riego con dichos valores sobre los cultivos según Westcott y Ayres (1987). Por otra parte, CADE-IDEPE (2004) señala que dichos valores no representan problemas para el riego de cultivos en la cuenca.

Sólidos Suspendidos: El problema de los sólidos suspendidos está asociado a la obstrucción de los sistemas de riego por goteo. De acuerdo a Sancha et al. (2005) prácticamente no hay problemas con la obstrucción de estos sistemas para concentraciones inferiores a 50 $\mu\text{g/l}$. La norma de calidad propuesta para la cuenca establece límites máximos de concentraciones que fluctúan entre 30 y 50 $\mu\text{g/l}$ en sus diferentes tramos.

Sulfatos: La literatura indica que altas concentraciones de sulfatos presentarían efectos negativos sobre la productividad agrícola de ciertos cultivos al aumentar la salinidad del agua de riego (Ayres y Westcott, 1994).

Sancha et al (2005) clasifica la calidad de las aguas de riego en función del contenido de Sulfato según el siguiente cuadro:

CLASE DE AGUA	SO ₄ (mg/l)
Muy buena	192 o menor
Buena	192 – 336
Puede ser usada	336 – 576
Usar con precaución	576 – 961
Dañina	mayor a 961

Fuente: Sancha et al. (2005)

Los niveles de sulfatos en la cuenca se sitúan entre los 280 y 450 mg/l para el percentil 66, por lo que pueden considerarse bajos en relación a los potenciales impactos sobre la salinidad de los suelos.

A partir del análisis anterior, se puede constatar que existirían efectos discretos sobre pérdida de productividad agrícola evitada por la aplicación de la norma de calidad secundaria.

En función de los supuestos realizados al comienzo de este capítulo y el análisis posterior, se procedió a simular la evolución de las concentraciones de Cloruros en los tramos MP-TR-20, MP-TR-31 y MP-TR-32; y Sulfatos en el tramo LA-TR10, considerando que corresponden a las situaciones más probables de superación de la norma de calidad secundaria. Los supuestos utilizados en esta sección son los siguientes:

- a) Dado que no se cuenta con datos de concentraciones para Cloruros en el efluente para la PTAS El Trebal y no existe información respecto a las descargas industriales al sistema de alcantarillado asociados a la futura Tercera PTAS, se utilizó la información de concentraciones de Sulfatos de la PTAS La Farfana en la futura Tercera PTAS y la actual PTAS El Trebal, asumiendo que son tecnologías similares y sirven proporcionalmente poblaciones equivalentes en términos de composición de descarga.
- b) Para los Cloruros, no se consideraron los aportes de fuentes industriales que descarguen directamente en los tramos MP-TR-20, MP-TR-31 y MP-TR-32, dado que es despreciable.
- c) Se consideró que la calidad de las aguas para Cloruro en el tramo era explicado básicamente por el efluente de las PTAS y un valor de fondo natural. Este último se supuso fijo en términos de concentración y caudal dentro del período de análisis, mientras que el efluente se asumió que mantenía la calidad 2003-2004 para el percentil 66 (212 $\mu\text{g/l}$) durante el período de análisis. Se asumió que el efluente de las PTAS crece a una tasa que es un promedio ponderado del crecimiento de la población (2%) y el crecimiento industrial (4%) en función de la cantidad de agua utilizada.
- d) Respecto a los Sulfatos en el tramo LA-TR-10 se utiliza el mismo supuesto que para Cloruros.

Los resultados obtenidos muestran que la norma se sobrepasaría para Cloruros a partir del año 2010 en el tramo MP-TR-20 y a partir del año 2014 en el tramo MP-TR-32. No se observaría superación de norma para este parámetro en el tramo MP-TR-31 durante el período de evaluación. La norma de calidad secundaria para Cloruros corresponde a 160 $\mu\text{g/l}$ en los tramos MP-TR-20 y MP-TR-32, y 155 $\mu\text{g/l}$ en el tramo MP-TR-31.

Respecto a los Sulfatos, la norma establece un límite máximo de concentración de 445 $\mu\text{g/l}$ para el tramo LA-TR-10, y la proyección muestra que dicho límite se verá sobrepasado a partir del año 2010.

De lo anterior, se deduce que sería necesario realizar esfuerzos de reducción de contaminantes en Cloruros en los tramos MP-TR-20, MP-TR-32 y en Sulfatos en el tramo LA-TR-10, a objeto de dar cumplimiento de la norma de calidad secundaria para la cuenca del Maipo.

5. Valorización de Impactos Evitados o beneficios

1975

Considerando que las excedencias observadas no son dramáticas, que se producen en un horizonte de tiempo que no es inmediato y principalmente que sus consecuencias sobre la agricultura son despreciables, no se consideran beneficios asociados al cumplimiento de la norma secundaria de calidad de las aguas en la cuenca del río Maipo.

Lo anterior, eso sí, se circunscribe a los beneficios directos que produce la norma como se mencionó al comienzo de esta sección.

6. Cuantificación de Costos

Según establece la normativa actual, el análisis económico y social debe dar cuenta de los costos que la norma impone al Estado y fuentes responsables, en este caso particular.

En virtud que efectivamente se produzcan excedencias de la norma de calidad, se hará necesario generar medidas de control que permitan restablecer la calidad de las aguas al valor que la norma señala. Estas acciones las deberán realizar las fuentes puntuales o difusas responsables de dicha superación, acarreándoles por este hecho ciertos costos. Pero dichos costos ya han sido internalizados en parte por la empresas a través de la aplicación del DS 90/00, al menos para fuentes nuevas y para aquellas antiguas que se hayan sometido voluntariamente a dicha norma.

El Estado por su parte, se verá obligado a incrementar el monitoreo en la cuenca estableciendo nuevos puntos de control y una mayor cantidad de parámetros a vigilar, situación que redundará en mayores costos también. Estos costos son los que se analizan a continuación.

6.1. Costo para las fuentes

De acuerdo al capítulo anterior, se producirían excedencias de la norma para cloruros en los tramos MP-TR-20 y MP-TR-32, y sulfatos en el tramo LA-TR-10. En función de esto, se hará necesario entonces que las fuentes emisoras realicen las inversiones necesarias que permitan recuperar la calidad de las aguas en dichos tramos para los respectivos parámetros.

La metodología aplicada para aproximarse a los posibles costos que deberán enfrentar los emisores para recuperar la calidad de las aguas consistió en aplicar las tecnologías para el abatimiento de cloruros y sulfatos, en los tramos relevantes, al porcentaje del caudal que permita, en función de la eficiencia de las tecnologías, alcanzar los valores de la norma. Las tecnologías consideradas son Ósmosis Inversa para cloruros e Intercambio Iónico para sulfatos.

1976

Para alcanzar el cumplimiento se asumen los siguientes supuestos:

- El abatimiento de la contaminación comienza a realizarse a partir de 4 años desde la superación de la norma. Esto considerando el período para verificar la excedencia (3 años como criterio) y el plazo necesario establecer el Plan de Prevención y Descontaminación. Lo anterior deja fuera del análisis de costos al tramo MP-TR-32.
- En sulfatos, para el tramo LA-TR-10, se requeriría una reducción del 25% en las concentraciones de las empresas más contaminantes en el tramo a partir del año 2014.
- Para cloruros, bastaría tratar el 4% del caudal de Los Nogales (0,2 m/s) para el cumplimiento en el tramo MP-TR-20 (Pudahuel) a partir del 2014.
- No se evalúan los costos adicionales de modificación de infraestructura para desviar y tratar el caudal en cada caso.

La información para la evaluación de costos provino del estudio realizado por TESAM (1997) para el Análisis General de Impacto Económico Social de la Norma de Emisión para Riles que descargan a Aguas Superficiales (DS N° 90/00), en conjunto con cotizaciones provenientes del sitio www.aguamarket.com para el caso específico de Osmosis Inversa. Los antecedentes del estudio CENMA (2004) para el tranque de relaves Carén también fue relevante respecto a comparar los costos de abatimiento por caudal y concentración reducida.

Se debe tener presente que los costos en que en definitiva se incurrirá, dependerán de las estrategias específicas que se utilicen para el control de la contaminación. En particular, para el caso de la Osmosis Inversa, el funcionamiento de las membranas es crucial a la hora de evaluar los costos, lo que puede traducirse en que los costos aquí proyectados sean inferiores a los que se observen en la realidad. Por otro lado, en el caso del tratamiento de Cloruros en la futura Tercera PTAS, donde existen economías de escala en el tratamiento de este contaminante, se asumió una tasa de reducción de los costos medios por m³/s consistente con reducciones observadas para niveles de abatimiento menores, dado que no se cuenta con antecedentes para el tratamiento de caudales mayores a 1.500 m³/día.

De esta forma, los costos anualizados alcanzaron a US\$ 3.000.000/año para el caso de los cloruros y US\$ 313.000/año para el caso de los sulfatos para el cumplimiento de la norma a partir del año 2014. El valor presente de los costos de abatimiento para cloruros en el tramo MP-TR-20 y sulfatos en el tramo LA-TR-10 ascendieron a US\$ 2.670.000 y US\$ 278.000, respectivamente.

6.2. Costos para el Estado

1977

6.2.1 Costos de Fiscalización

Las medidas definidas para el cumplimiento de la norma de calidad secundaria deberían ser fiscalizadas por la Superintendencia de Servicios Sanitarios, quién deberá establecer la forma que permita verificar su cumplimiento.

En la actualidad, la Superintendencia de Servicios Sanitarios realiza la función de fiscalización a las empresas nuevas y a las antiguas que voluntariamente se han acogido a cumplir el DS N°90/00 con anterioridad a la fecha de entrada en vigencia del mismo. Conforme con ello, se pudo constatar con dicho organismo que el número de inspecciones al año era en promedio de una por establecimiento industrial. El costo de dichas inspecciones está asociado al costo de traslado, el costo de personal de la Superintendencia, y el contrato de un laboratorio acreditado a objeto de realizar la toma de muestras y análisis de las mismas.

Considerando los tramos y parámetros que han sido definidos como relevantes en el análisis de la norma secundaria de aguas superficiales para la cuenca del Maipo, cualquier regulación adicional sobre la descarga de dichos parámetros no significaría ningún costo adicional al actual para la Superintendencia de Servicios Sanitarios en la medida que son parámetros ya considerados en la fiscalización del cumplimiento del DS N°90/00.

6.2.2 Costos de Monitoreo

Los costos incrementales de la norma de calidad secundaria de la cuenca del Maipo consideran tanto la incorporación de nuevos parámetros a ser monitoreados, ya sea en las estaciones existentes y nuevas que se proponen, como la incorporación de nuevas estaciones pluviométricas y de monitoreo de la calidad de las aguas.

En el primer caso, los nuevos parámetros corresponden a aquellos que no son actualmente monitoreados por la DGA dentro de la cuenca. En el segundo caso, corresponden a estaciones de monitoreo que son necesarias para determinar la calidad de las aguas en tramos donde actualmente existe caudal y no existe monitoreo, o la incorporación de nuevos puntos de monitoreo en sectores de interés.

De manera específica, los mayores costos de la norma provendrán de:

- Incorporar 10 nuevas estaciones asociadas a 10 tramos actualmente no cubiertos.
- Agregar 3 estaciones en tramos existentes para mejorar la medición de calidad.
- Necesidad de medir 7 nuevos parámetros en cada estación (antigua o nueva) al menos 4 veces al año.

Los nuevos parámetros a ser monitoreados son:

- DBO5
- Coliformes Fecales
- Coliformes Totales
- Sólidos Suspendidos

- Razón de Absorción de Sodio (RAS)
- Amonio
- Cianuro
- Nitrito

1978

Y las nuevas estaciones de monitoreo y de calidad propuestas son:

- Sector EEM-TR-10
- Sector EEC-TR-10
- Sector EM-TR-10
- Sector SN-TR-10
- Sector QR-TR-10
- Sector EH-TR-10
- Sector YE-TR-20
- Sector MA-TR-31
- Sector MA-TR-32
- Sector MA-TR-50
- Sector EC-TR-10 bajo
- Sector LA-TR-10 alto
- Sector PU-TR-10 alto

En cada nueva estación se ha considerado la instalación de un medidor de caudal, con un costo de inversión de entre US\$ 1.950 y US\$ 4.600 según el tipo de tecnología utilizada. La vida útil de estos equipos ha sido estimada en 5 años según antecedentes del productor (www.waterstevens.com), por lo que se requerirían inversiones en los años 2006 y 2011.

En relación a los costos de análisis de muestras, se dispone de información de la DGA que asigna un costo de \$1.680 por análisis, 0,09 UF. Sin embargo, y en función de los costos totales de muestreo, que incluye los gastos corrientes y de capital que debe incurrir la DGA para realizar esta función, se ha podido extrapolar un costo de \$6.013 por análisis, 0,34 UF. Por otro lado, información comercial de análisis de muestras apuntaría a un costo promedio de 0,36 UF por muestra.

Para efectos de evaluación, se han considerado dos escenarios de estimación de los costos de monitoreo, un primer escenario donde se utiliza el costo por análisis de muestreo estimado por la DGA (0,09 UF por muestra); y un segundo escenario donde se utiliza el costo promedio comercial por análisis (0,36 UF por muestra). Incorporando el costo de movilización y viáticos por cada toma de muestra en las 13 nuevas estaciones de monitoreo, el cual corresponde a \$14.000 en la Región Metropolitana, según información de la DGA durante el último año se tienen los antecedentes necesarios para estimar los costos por este concepto.

Así, los costos de control y fiscalización de la norma para el período 2006-2015, utilizando una tasa de descuento del 10%, acorde con el valor que utiliza MIDEPLAN en sus evaluaciones, corresponden a.

- Muestreo y Análisis: US\$ 46.000 (escenario 1) – US\$ 171.000 (escenario 2)
- Nuevas Estaciones Pluviométricas y de Calidad: US\$ 41.000 – US\$ 97.000

1979

7. Resultados y Conclusiones

A continuación se presentan los principales resultados y conclusiones de la evaluación económica y social de la norma de calidad secundaria.

- De acuerdo a la evaluación de los beneficios y costos directos de la norma, entendiendo por tal los costos para las fuentes y para el Estado los que se derivan de los valores específicos de los distintos parámetros, se puede señalar que ésta arroja un beneficio neto negativo que fluctúa entre US\$ 3.216.000 y US\$ 3.035.000 dependiendo del escenario de costos considerado.
- El resultado anterior es concordante con uno de los principios aplicados en la determinación de los valores de norma para los parámetros, que privilegiaba el mantenimiento de la calidad actual como criterio, considerando un escenario ambiental favorecido por la aplicación aun parcial del D.S. N°90/00.
- Además y como resultado de la cabal aplicación del D.S. N°90/00, se espera que la calidad de las aguas mejore aun más en varios tramos de la cuenca para la mayoría de los parámetros.
- Lo anterior no significa que la norma no proteja el recurso, ya que la mayoría de los valores establecidos para los parámetros - salvo aluminio, fierro y manganeso- son iguales o inferiores a los recomendados en la Guía CONAMA para el Establecimiento de las Normas Secundarias de Calidad Ambiental para Aguas Continentales Superficiales y Marinas para las clases de calidad 1 y 2.
- Independiente de lo anterior, se reconocen otros beneficios de la norma que no fueron valorados. Estos corresponden a los que se derivan del proceso normativo como un elemento que apoya la consecución de objetivos en el ámbito de la conservación de la biodiversidad, materia ya discutida en los puntos 2.2 y 4.3.1. Tampoco estarían siendo considerados los beneficios derivados de una temprana regulación en vista a dar cumplimiento con las exigencias que impone la inserción internacional a la que aspira nuestro país, debido a la dificultad para determinar los impactos y la información necesaria para la valoración respectiva, en el periodo de análisis de este documento.
- Bajo la perspectiva del manejo ambiental integrado de cuencas, indicado en el Programa de Gobierno de la Presidenta Bachelet, el cuerpo normativo que presentado se constituye en la única herramienta legal en el país, que reconoce a la cuenca como la unidad básica para la gestión ambiental, y establece criterios para gestionarla a partir de la calidad del agua, utilizando la actual institucionalidad.
- Bajo el escenario presentado en este informe, el establecimiento de esta normativa permite avanzar, dentro del marco del mismo proceso, en la recolección

de información clave para la reformulación de la norma, sin ocasionar grandes perturbaciones a las actividades económicas que se desarrollan en la cuenca, protegiendo a la vez los ecosistemas de ésta.

8. Recomendaciones

- Dado que no existen beneficios económicos tangibles para los tramos y parámetros donde existe o existiría potencialmente superación de norma, estos parámetros no son limitantes para la vida acuática, y existen costos económicos para el cumplimiento de la misma, se sugiere aumentar los límites de concentraciones en Cloruros y Sulfatos en los tramos con potencial de superación de la norma secundaria de calidad que han sido analizados. Se sugieren los siguientes límites:
 - Tramo LA-TR-10: 470 mg/l para Sulfatos
 - Tramo MP-TR-20: 180 mg/l para Cloruros
- Respecto de los Sulfatos en el tramo MP-TR-31, dado que sólo habrían costos de cumplimiento y no beneficios económicos en dicho tramo por la superación de la norma de calidad secundaria, se sugiere subir el límite de dicho parámetro desde 317 mg/l a 350 mg/l.

9. Referencias

- "Water Quality for Agriculture", Documento de Trabajo N° 27, FAO.
- Estudio: "Diagnóstico y Clasificación de los Cursos y Cuerpos de Agua según Objetivos de Calidad", elaborado por la empresa consultora CADE-IDEPE para la Dirección General de Aguas, el cual propondrá la calidad objetivo de la cuenca en referencia.
- Antecedentes relativos al avance de la consultoría "Análisis económico de normas secundarias de calidad de aguas: que realiza la Facultad de Ciencias Agronómicas, de la U. de Chile, por encargo del Servicio Agrícola y Ganadero.
- Memoria "Análisis del efecto de uso de suelo en la calidad del recurso hídrico o superficial de la cuenca del río Maipo" (Sandra Salles), Departamento de Hidráulica, Sanidad y Ambiente, Facultad de Ingeniería, Universidad de Chile. 2003
- Memoria "Evaluación Integral de Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas" (Ignacio Dunner), Departamento de Hidráulica, Sanidad y Ambiente, Facultad de Ingeniería, Universidad de Chile. 2004
- Memoria "Estudio de las Alternativas de Desinfección en Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas y Aplicación a la Planta Buin-Maipo" (Carla Diaz), Departamento de Hidráulica, Sanidad y Ambiente, Facultad de Ingeniería, Universidad de Chile. 2004
- Memoria "Evaluación de las Contaminación de las Aguas Superficiales del Sistema Maipo-Mapocho" (Gabriel Zamorano), Departamento de Hidráulica, Sanidad y Ambiente, Facultad de Ingeniería, Universidad de Chile. 1999
- Memoria "Funciones de Costo para Procesos Comerciales de Tratamiento de Aguas Servidas para Pequeñas y Medianas Comunidades" (Sandro Aguilera), Departamento de Hidráulica, Sanidad y Ambiente, Facultad de Ingeniería, Universidad de Chile. 2003
- Memoria "Análisis de Vulnerabilidad de Sistemas de Producción de Agua Potable localizados en la Subcuenca del río Mapocho" (Francisco Chadwick), Departamento de Hidráulica, Sanidad y Ambiente, Facultad de Ingeniería, Universidad de Chile. 2004
- Estudio "Análisis General del Impacto Económico y Social del Anteproyecto de norma para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos líquidos a aguas superficiales", TESAM, 1997.
- Manual: ground-water and leachate treatment systems. Cincinnati, Ohio: Center for Environmental Research Information, Office of Research and Development, U.S. Environmental Protection Agency, 1995.
- Modelo de Simulación Hidrológico Operacional Cuencas de los ríos Maipo y Mapocho. Dirección General de Aguas, Mayo 2000.
- Criterios de Calidad de Aguas o Efluentes utilizados para uso en Riego. Informe Final para el SAG preparado por el Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Chile, Marzo 2005, como referencia Sancha et al. (2005)
- Proposición de Normas de Calidad de Aguas para Proteger Usos Determinados. Informe Final elaborado por KRISTAL, Ingeniería Avanzada en Preservación Ambiental, 1997.
- Ingeniería de Aguas Residuales. Metcalf and Eddy Inc., McGraw-Hill Editores, 1996.

- Proyecto Regional: Sistemas Integrados de Tratamiento y Uso de Aguas Residuales en América Latina: Realidad y Potencial. Estudio Elaborado por María Pía Mena, junio 2001.
- Catastro de Descargas Industriales de Riles, 1997. Superintendencia de Servicios Sanitarios.
- Cuantitativa (2004). Antecedentes respecto a la Biodiversidad en la Cuenca del Río Maipo. Estudio elaborado para CONAMA Región Metropolitana.
- CEA (2004). Metodología para la determinación de la calidad hídrica mediante comunidades zoobénticas, río Maipo. Estudio elaborado para la Comisión Nacional de Riego, con el apoyo de la Japan International Cooperation Agency.