



UNIVERSIDAD DE CHILE
Facultad de Ciencias Agronómicas
Departamento de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales Renovables

**IMPACTO ECONOMICO DE LA APLICACIÓN DE LA NORMA SECUNDARIA
DE CALIDAD DE AGUA EN EL SECTOR AGROPECUARIO DE LA CUENCA
MAIPO- MAPOCHO**

Ing. Agr., PhD. Alejandro León
Ing. Agr. Andrés de la Fuente
Ing. Agr., M.Sc. Ricardo Marchant
Ing. Agr. Eduardo Parra

Agosto 2005

TABLA DE CONTENIDOS

TABLA DE CONTENIDOS	2
1. INTRODUCCIÓN	3
2. MÉTODO	4
2.1 DEFINICIÓN DE LA LÍNEA BASE	6
2.2 IDENTIFICACIÓN DE LOS IMPACTOS	6
2.3 EVALUACIÓN DE COSTOS	7
2.4 EVALUACIÓN DE BENEFICIOS	8
2.5 SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA ASOCIADO A LA CUENCA MAIPO-MAPOCHPO.....	11
3. CARACTERIZACIÓN DE LA CALIDAD DE LAS AGUAS EN LA CUENCA MAIPO - MAPOCHO	13
3.1 CALIDAD DE AGUA DE RIEGO TRAMOS RÍO MAIPO	13
3.1.1 PRIMER TRAMO: MA-TR-10 (de acuerdo a la nomenclatura CADE- IDEPE)	13
3.1.2 SEGUNDO TRAMO: MA-TR-20	15
3.1.3 TERCER TRAMO: MA-TR-30	16
3.1.4 CUARTO TRAMO: MA-TR-40.....	18
3.1.5 QUINTO TRAMO: MA-TR-50	20
3.1.6 SEXTO TRAMO: MA-TR-60	22
3.2 CALIDAD DE AGUA DE RIEGO TRAMOS RIO MAPOCHO	24
3.2.1 PRIMER TRAMO: MP-TR-10	24
3.2.2 SEGUNDO TRAMO: MA-TR-20	26
3.2.3 TERCER TRAMO: MP-TR-30.....	28
4. EVALUACIÓN ECONÓMICA DE COSTOS	31
4.1 HABILITACIÓN Y MANEJO DE SUELOS	31
4.2 AUMENTO DE COSTOS POR DISMINUCIÓN DE APOORTE NITROGENADO EN EL AGUA	33
4.3 COSTOS DE ABATIMIENTO DE PARÁMETROS	34
5. EVALUACIÓN ECONÓMICA DE BENEFICIOS	36
5.1 DISMINUCIÓN DE CARGA DE COLIFORMES FECALES:.....	36
5.2 PLUSVALÍA DEL TERRENO.....	38
5.3 APOORTE DE FÓSFORO EN EL AGUA DE RIEGO.....	38
5.4 EXTERNALIDADES: ADOPCIÓN DE NORMAS DE CERTIFICACIÓN DE CALIDAD	39
6. CUADRO RESUMEN DE COSTOS Y BENEFICIOS ASOCIADOS AL ANTEPROYECTO DE NORMA SECUNDARIA DE CALIDAD DE AGUA	45
7. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA DE METODOLOGÍAS DE ANÁLISIS COSTO – BENEFICIO	46
8. CONCLUSIONES.....	48
9. BIBLIOGRAFÍA	49
10. ANEXOS	¡Error! Marcador no definido.
10.1 Anexo I: Valores recomendados por FAO para agua de riego.. ¡Error! Marcador no definido.	
10.2 Anexo II: Cálculos de beneficios y costos asociados a microcuencas identificadas en el SIG.....	¡Error! Marcador no definido.

1. INTRODUCCIÓN

El Anteproyecto de Norma Secundaria de Calidad del Agua de Riego se orienta a modificar el valor de algunos componentes físico – químicos, inorgánicos, metales esenciales, metales no esenciales, e indicadores microbiológicos del agua de riego. El presente estudio incluye una evaluación económica para determinar el impacto “potencial” de la aplicación del Anteproyecto de Norma en la cuenca Maipo – Mapocho, y se ha desarrollado en forma paralela al proceso de formulación de la Norma en el que participan el SAG, CONAMA y la CNR.

La evaluación económica se centró en la estimación de impactos tanto en i) los costos generados por el cambio en las prácticas de manejo y habilitación de suelos, ii) los beneficios relacionados a una potencial disminución en las necesidades de uso de fertilizantes, y iii) las externalidades positivas que se generan al mejorarse el acceso de los agricultores a certificación de buenas prácticas al producirse alimentos en suelos regados con aguas más limpias.

Es necesario indicar que los términos de referencia para la realización de la presente consultoría —elaborados por el SAG—especificaban que las fuentes de información debían ser secundarias. Como es habitual en Chile, una porción no menor de datos necesarios para dimensionar los impactos no existe, o no está disponible. Consecuentemente, la evaluación económica se sustenta en una serie de supuestos que pueden o no ser considerados adecuados por el lector. Sin embargo, lo que se ha buscado es desarrollar una metodología que sirva de guía para la evaluación de impactos en otras cuencas de la República, ya que la norma secundaria de calidad de aguas a la que se refiere este estudio será de aplicación nacional.

Por otra parte, se elaboró también un sistema de información geográfica—basado en sistemas proporcionados tanto por el SAG como la CNR—que identificó los “tramos” en los que actualmente se divide la cuenca para efectos de la aplicación de la norma. Parte de la evaluación económica entonces se realizó basándose en la categorización geográfica de este SIG.

2. MÉTODO

Los siguientes son los parámetros que el Anteproyecto de Norma Secundaria de Calidad de Aguas actualmente en estudio busca modificar:

Conductividad eléctrica	Sulfato	Manganeso
pH	Nitrito	Aluminio
Oxígeno disuelto	Cobre	Arsénico
RAS	Cromo	Zinc
DBO ₅	Molibdeno	Plomo
Cloruro	Fierro	Coliformes fecales

De acuerdo con el nivel presente en el agua de riego, estos parámetros fueron clasificados como “normales” o “sin restricción de uso.” Esta clasificación se basa en la información de FAO contenida en las publicaciones “Calidad del agua en la agricultura” (FAO 29, 1987) y “Necesidades de agua en los cultivos” (FAO 24, 1976). Los resultados de las estimaciones que se presentan en este estudio se basan en parte en los criterios de estas dos publicaciones de FAO, ya que a juicio de los expertos, estos documentos son considerados aun hoy como clásicos, sin que existan otros de fecha más reciente que los reemplacen.

Este estudio abarcó la cuenca Maipo – Mapocho y siguió la división de los ríos Maipo y Mapocho en tramos propuesta por la consultora CADE-IDEPE (CADE-IDEPE & MOP, 2004). Siguiendo esa división se elaboró un sistema de información geográfica (SIG) que contiene la distribución por tramos del área regada por los canales de la cuenca. El SIG también incluye la distribución del uso de suelo para cada una de las microcuencas identificadas.

La línea base se conformó con datos del estudio CADE-IDEPE (CADE-IDEPE & MOP, 2004) e información de calidad de agua aportada por la Dirección General de Agua (DGA). Respecto de la calidad del agua de riego, las tablas que aparecen en el capítulo 3 caracterizan las situaciones que a continuación se describen para cada una de los tramos de los ríos Maipo y Mapocho:

- i. Situación actual (línea base) de los parámetros de calidad,
- ii. Comparación entre la línea base y los valores propuestos en el Anteproyecto de Norma,
- iii. Comparación entre valores propuestos en el Anteproyecto de Norma y recomendaciones de FAO¹,
- iv. Identificación de parámetros que al cambiar generarán impactos en la actividad agrícola de la cuenca Maipo – Mapocho.

¹ Para la clasificación de restricciones de uso propuestas por FAO, ver tablas 1 a 3 en Anexo 1.

El uso del suelo se calculó en base a datos del censo agrícola (ODEPA, 2001) y de la actualización del proyecto OTAS (SAG, 2003). Siguiendo la clasificación del Censo (ODEPA, 2001) , el área cultivada se clasificó de acuerdo a los seis tipos principales de cultivos que existen en la cuenca: frutales, hortalizas, viñas, parronales, praderas y cultivos anuales. Basados en el SIG elaborado por los consultores, se calculó la superficie ocupada por cada tipo de cultivo en cada tramo de río (para detalles, ver Anexo II). Para estimar el aporte o disminución de parámetros (en este caso nitrógeno y fierro) en el agua de riego para el riego de una hectárea de frutales, hortalizas, viñas, parronales, praderas y cultivos anuales se estimó la necesidad de agua de cada cultivo en base a un plan de riego tipo basado en las necesidades de evapotranspiración ponderada promedio para cada tipo de cultivos presentes en la cuenca.

Luego se estimaron algunos efectos económicos—costos y beneficios— generados por la aplicación de esta norma. Los efectos económicos incluyeron:

- Cambio en la estructura de costos y beneficios por habilitación y manejo de suelos,
- Impacto económico debido al cambio en la producción dado un mejoramiento de la calidad de agua de riego,
- Externalidades positivas debido a la adopción de sistemas de aseguramiento de la calidad alimentaria del tipo EUREPGAP, PRIMUSLABS y NOICHERCHOICE, y
- Evaluación económica de tecnologías de abatimiento (en este caso sólo se recogió la escasa información secundaria disponible, a pedido del mandante).

La falta de información específica sobre el impacto de diferencias en la calidad del agua de riego sobre los cultivos, y de funciones de dosis-respuesta, sólo permiten realizar una evaluación económica basada en supuestos que pueden ser cuestionables. Para disminuir la incertidumbre, se consultó a especialistas en riego y suelos de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile.

Finalmente, es importante señalar que en la cuenca existe una extensa de red de canales de riego que conducen agua desde la bocatoma y que es utilizada muchos kilómetros aguas abajo. Es probable que en su recorrido estos canales crucen centros poblados y predios agrícolas, recibiendo aportes de aguas contaminadas. Dado que no estaba dentro de los objetivos de este estudio el monitorear la calidad en los canales, se convino con el SAG adoptar el siguiente criterio para el análisis: la calidad en los canales es igual que aquella del tramo en el que se origina el canal.

2.1 DEFINICIÓN DE LA LÍNEA BASE

Para definir la línea base de calidad de las aguas superficiales utilizadas para el riego en la cuenca Maipo –Mapocho, se tomaron los siguientes antecedentes:

- Valores generados por el estudio CADE-IDEPE.

Se elaboró una “tabla de comparación” por tramo para contrastar los valores establecidos por el estudio CADE – IDEPE (línea base) con los valores propuestos por el Anteproyecto de Norma. La resta de ambos valores permitió determinar la magnitud del cambio en los valores de los parámetros. Se seleccionaron entonces aquellos valores que presentan variaciones relevantes; en esos casos se comparó el nuevo valor propuesto por el Anteproyecto de Norma con los rangos propuestos por FAO. El resultado de esta comparación con los valores FAO permitió determinar si los nuevos valores propuestos por el Anteproyecto de Norma podrían representar un riesgo para los cultivos. Luego, se seleccionaron los parámetros que cambian y que tiene relevancia agrícola para realizar la estimación de costos, beneficios y valorar las externalidades.

2.2 IDENTIFICACIÓN DE IMPACTOS ECONOMICOS

Como se mencionó, para estimar los impactos económicos se compararon los valores de la situación base y los del anteproyecto de norma para cada tramo. Si la concentración de los parámetros propuestos por el anteproyecto son inferiores a los valores de la línea base se está en presencia de una situación beneficiosa. En estos casos se contrastaron los valores del anteproyecto de norma con aquellos considerados como aceptables por FAO 29 en la publicación “Calidad del agua en la agricultura” (FAO 29, 1987). Por el contrario, si el valor del anteproyecto de norma fuese superior a los rangos óptimos sugeridos por FAO 29, se consideró que se estaba en presencia de un problema potencial.

Posterior a la comparación entre los valores de la línea base (Estudio CADE-IDEPE), anteproyecto de norma y FAO 29 se estimaron los impactos potenciales de aquellos parámetros en los que hubiese un riesgo (por exceso) o un beneficio (por defecto) si es que se les incluye en la norma definitiva². La estimación de impactos potenciales se centró en las siguientes situaciones:

- Modificación de condiciones que puedan eventualmente afectar la productividad de los cultivos (esta estimación es, sin embargo, limitada por la inexistencia en Chile de información dosis respuesta). Estas modificaciones pueden ser, por ejemplo: cambios en la infiltración, salinidad, efectos sinérgicos producidos por aumentos o disminución de elementos aportados por el agua de riego.
- Modificación de costos de producción por alteración en la concentración de elementos presentes en el agua de riego. En este caso se consideran aspectos tales como aumento o disminución de costos por aplicación de enmiendas, y costos en tecnologías de abatimiento.

² A la fecha de este reporte no se contaba con la versión definitiva de la nueva norma

- Modificación en el uso de suelo y en el margen bruto. En este punto se debe realizar necesariamente un análisis de la legislación sanitaria existente que restringe o prohíbe el cultivo de ciertas especies.
- Cambio en el valor del suelo, tal como el mayor valor de terrenos por una mejora de la calidad de agua.
- Generación de externalidades positivas, como por ejemplo la mayor facilidad para lograr la certificación de calidad, cambios de cultivos

2.3 EVALUACIÓN DE COSTOS

2.3.1 Supuestos: Para estimar los costos asociados a una nueva calidad de agua, se supuso que si la calidad actual del agua de riego es inferior a la calidad propuesta en el anteproyecto de norma de calidad secundaria de agua, el agricultor deberá incurrir en 1) costos “directos,” y 2) costos “indirectos” que se relacionan con externalidades generadas por el anteproyecto de norma.

1. Los costos directos estarían conformados por dos partidas principales:
 - i. Al aumentar la razón de adsorción de sodio (RAS) y la conductividad eléctrica (CE), hay un aumento en los costos. Este aumento se relaciona con la aplicación de enmiendas calcáreas para habilitar suelos que presenten problemas de sodio, y la aplicación de láminas de agua para el lavado de suelos que presenten potenciales problemas de salinidad.
 - ii. Por otra parte, durante décadas los agricultores en ciertas zonas de la cuenca han requerido una fertilización nitrogenada menor a lo normal, dado el aporte de nitrógeno a través del agua de riego. Al disminuir el contenido de materia orgánica aportada por el agua, aumentaría la necesidad de fertilizar artificialmente con nitrógeno. La disminución de aporte nitrogenado fue calculada de acuerdo a la necesidad de agua de cultivos según el método de Blaney – Criddle propuesto en el estudio “Necesidad de agua de los cultivos” (FAO 24, 1976).
2. Los “costos indirectos” se relacionan con un acceso más expedito a programas de certificación. Dichos costos se encuentran representados por:
 - iii. Desembolso particular o colectivo en tecnologías de abatimiento que aseguren un riego libre de contaminación. En este punto cabe señalar que los costos de abatimiento en el río Maipo tienen que ver con los parámetros Nitritos, Cromo, Cobre, Fierro y Coliformes. En el caso del río Mapocho los costos de abatimiento tienen que ver con los parámetros: Cloruros, Nitritos, Sulfatos, Fierro y Coliformes.

2.4 EVALUACIÓN DE BENEFICIOS

2.4.1 Supuestos

- i. La producción hortalizas a ras de suelo se encuentra regulada por la norma Nch 1333, que restringe su cultivo cuando el agua de riego contiene cargas coliformes superiores a 1000 NMT/100 ml. El anteproyecto de Norma baja la concentración de coliformes a 1000 NMT/100 ml, por lo que una parte del suelo agrícola de la cuenca podría reorientarse a estas especies, según las condiciones de mercado. El impacto de este cambio se calculó estimando el margen bruto diferencial entre una hectárea de *cultivos anuales tradicionales* que con el anteproyecto podría cultivarse con *hortalizas a ras de suelo*.
- ii. Se evaluó la plusvalía de la tierra que se riega con agua de mayor calidad. En este caso, se supone que la calidad del agua permite la ampliación de las posibilidades de producción, por lo que el flujo futuro que genera el suelo es mayor, lo que finalmente se ve reflejado en el precio de mercado de cada hectárea.
- iii. Niveles relativamente altos de hierro (Fe) alteran la disponibilidad de Fósforo (P) y Molibdeno (Mo) en el suelo (FAO, 1987). De acuerdo con la opinión de especialistas en suelo, puede asumirse una relación lineal e inversamente proporcional entre hierro y fósforo (se descartó evaluar el potencial pero pequeño cambio en la disponibilidad de molibdeno): ante un menor contenido de hierro en el agua de riego se producirá una liberación de fósforo en el suelo. Ello redundará en un ahorro en fertilización fosforada. La cantidad de hierro que deja de aportarse—y por ende, igual cantidad de fósforo liberado—se calculó en base a la necesidad de agua promedio ponderada por cultivo, y fue calculada según el método propuesto en el estudio “Necesidades de agua en los cultivos” (FAO 24, 1976).
- iv. Agua de riego de mejor calidad genera externalidades positivas como la facilitación de adopción de sistemas de aseguramiento de la calidad del tipo “Eurepgap” y “Noicherchoise.” La adopción de estas normas permitirán, en forma creciente en el futuro, el acceso a los mercados a los que Chile tradicionalmente ha enviado su producción agrícola. La evaluación económica de esta externalidad se realizó comparando el margen bruto en el caso de frutas exportadas a mercados regidos por estas normas tales como la UE, y el envió a mercados menos exigentes (como el Latinoamericano).

Las figuras 1 y 2 sintetizan la secuencia de pasos metodológicos seguidos en este estudio.

Figura 1. Método general

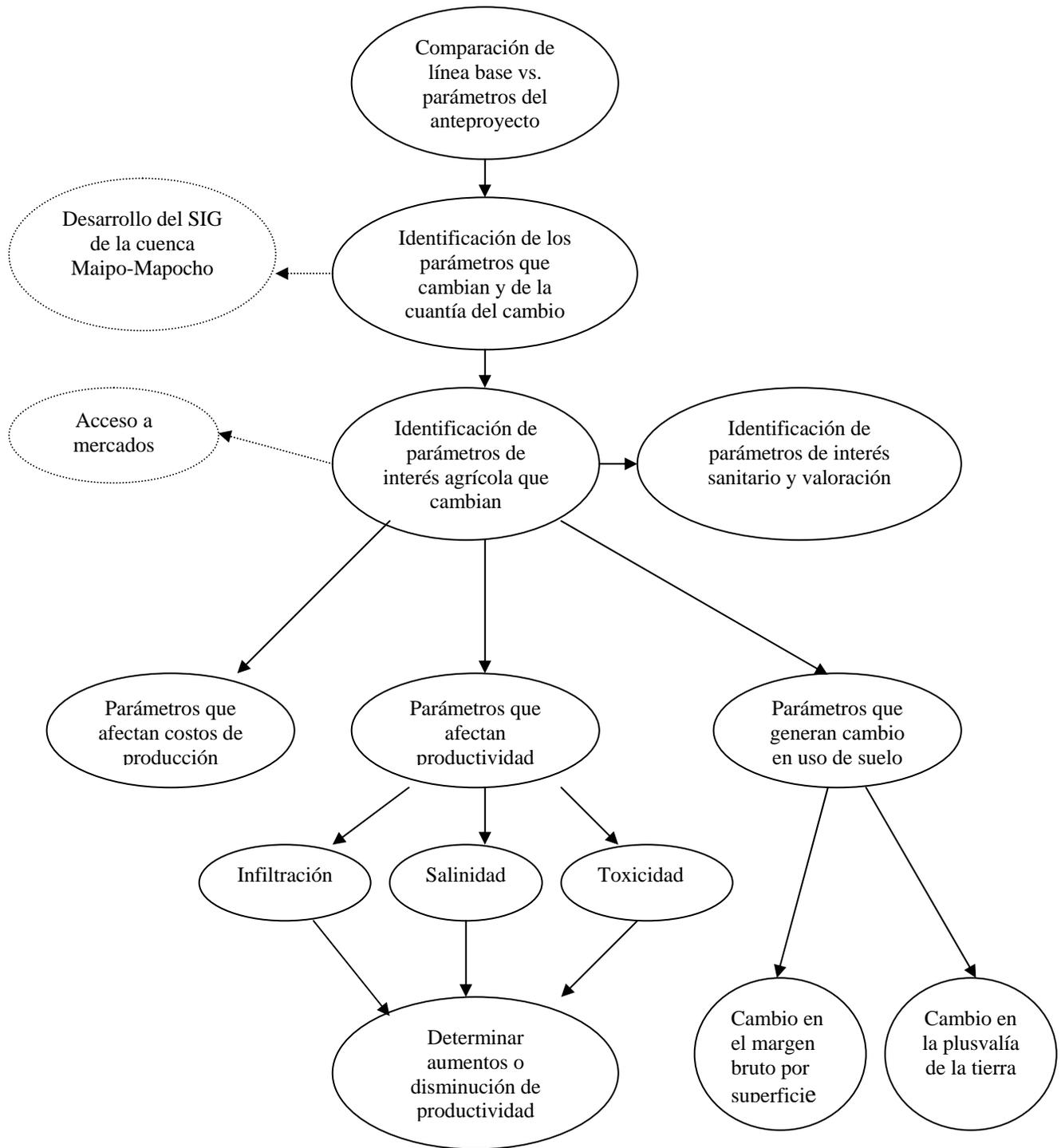
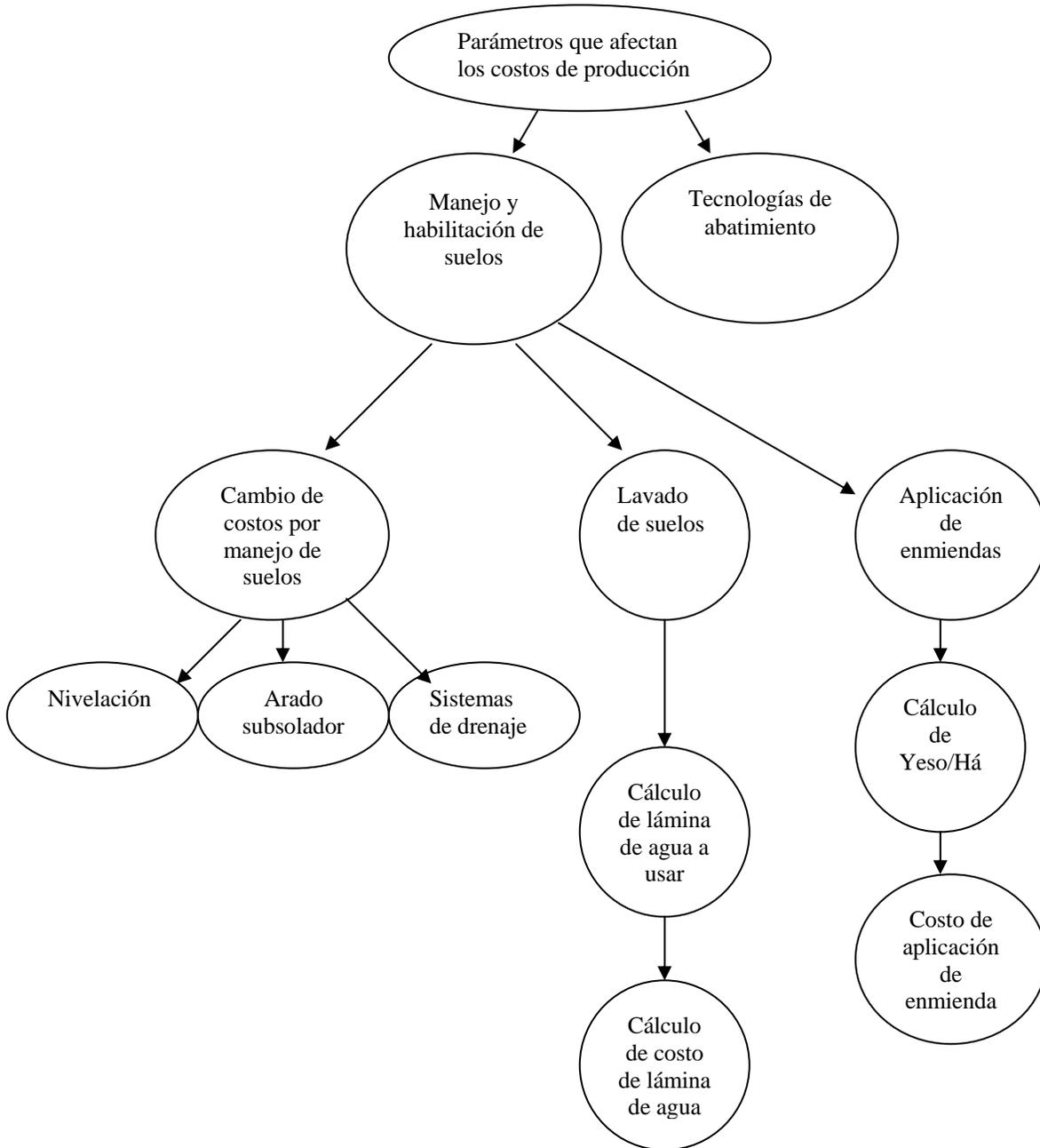


Figura 2. Método para evaluación de cambios en costos de producción.



2.5 SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA ASOCIADO A LA CUENCA MAIPO-MAPOCHPO

El método seguido para estimar el impacto económico de la aplicación de la Norma Secundaria de calidad de aguas en el sector agrícola de la cuenca Maipo – Mapocho se basó, en parte, en un SIG. Este se elaboró de acuerdo al siguiente procedimiento, compuesto por tres etapas. El SIG completo está contenido en un disco compacto que acompaña este informe:

i) Modelación de cuencas hidrográficas: A partir de un modelo digital de elevación (en inglés, *digital elevation model* DEM) de la zona de estudio con resolución espacial de 90m desarrollado por la *Earth Science Data Interface*³ (ESDI), se modeló la red de drenaje de la cuenca. La modelación se realizó aplicando un algoritmo⁴ que simula la cantidad acumulada de lluvia caída en cada una de los píxeles (o unidades) del DEM. Posteriormente se seleccionaron los valores para los cuales era posible visualizar los cursos de agua hasta el nivel K-2 (K = río Maipo). De esta forma se obtuvo la red de drenaje natural principal de la cuenca del río Maipo. Sobre la red de drenaje modelada, se marcaron mediante puntos las confluencias de los distintos afluentes del río Maipo (K-1) y luego las confluencias de los afluentes con sus respectivos cursos aportantes (K-2).

ii) Clasificación de sistemas de riego por calidad objetivo de agua: Su elaboración se dividió en tres sub-etapas:

a) Sub-etapa 1: Consistió en la corrección de la cartografía digital de sistemas de canales, bocatomas y cursos de agua principales. Dicha corrección se orientó a la solución de problemas de digitalización y a la edición y re-edición de los atributos de los distintos componentes de la cartografía..

b) Sub-etapa 2: Consistió en la identificación y atribución de los tramos de calidad objetivo de agua en los cursos de interés. La información sobre los límites de las distintas calidades objetivo de agua contenida en el documento “Diagnóstico y Clasificación de los Cursos y Cuerpos de Agua según Objetivos de Calidad” fue georreferenciada. Luego se confeccionaron las secciones (a las que se asignó sus respectivos códigos) que representan cartográficamente los tramos según aparecen definidos por el anteproyecto de norma.

c) Etapas 3: Se determinó y asignó la calidad objetivo de agua utilizada por los distintos sistemas de canales. Se identificaron las bocatomas presentes en cada uno de los tramos de calidad del río Maipo, las que se etiquetaron con el respectivo código del tramo. A cada una de ellas se asignó una base datos georreferenciada para cada uno de los sistemas de canales.

iii) Clasificación de zonas agrícolas de interés por calidad objetivo de agua: Este ítem se subdivide en tres sub-etapas:

³ DEM disponible en <http://glcfapp.umiacs.umd.edu:8080/esdi/index.jsp>

⁴ Este algoritmo es una modificación de la que se describe en Jensen, S. and Domingue, J., 1988.

- a) Sub-etapa 1: Se basa en la determinación de los usos de suelo de cada subcuenca y microcuenca.
- b) Sub-etapa 2: Con los datos generados en la sub-etapa anterior se efectuó una selección de los usos agrícolas de interés. De esta forma se obtuvo una cartografía con los usos agrícolas de interés (cultivos anuales, hortalizas, frutales, praderas, parronales y Viñas) para las distintas subcuencas y microcuencas. Además se procedió a calcular el área (en ha) de cada una de las unidades (polígonos) generadas.
- c) Sub-etapa 3: Consistió en la determinación de zonas de riego de los distintos sistemas de canales que se obtuvo a través de un álgebra de mapas (específicamente, una intersección). De esta forma se pudo determinar los canales que riegan cada una de las unidades de uso de suelo de la cuenca y la calidad de agua con que riegan.

3. CARACTERIZACION DE LA CALIDAD DE LAS AGUAS EN LA CUENCA MAIPO - MAPOCHO

La caracterización de la calidad de las aguas y el criterio de división (seis tramos para el Maipo y tres para el Mapocho) de los ríos se ajusta a la propuesta realizada en el estudio “Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua, según objetivo de calidad” desarrollado por MOP – CADE (2004). La determinación de área efectiva de riego y la clasificación de zonas agrícolas de interés por calidad objetivo de agua se obtuvo del SIG desarrollado.

3.1 CALIDAD DE AGUA DE RIEGO TRAMOS RÍO MAIPO

3.1.1 PRIMER TRAMO: MA-TR-10 (de acuerdo a la nomenclatura CADE-IDEPE)

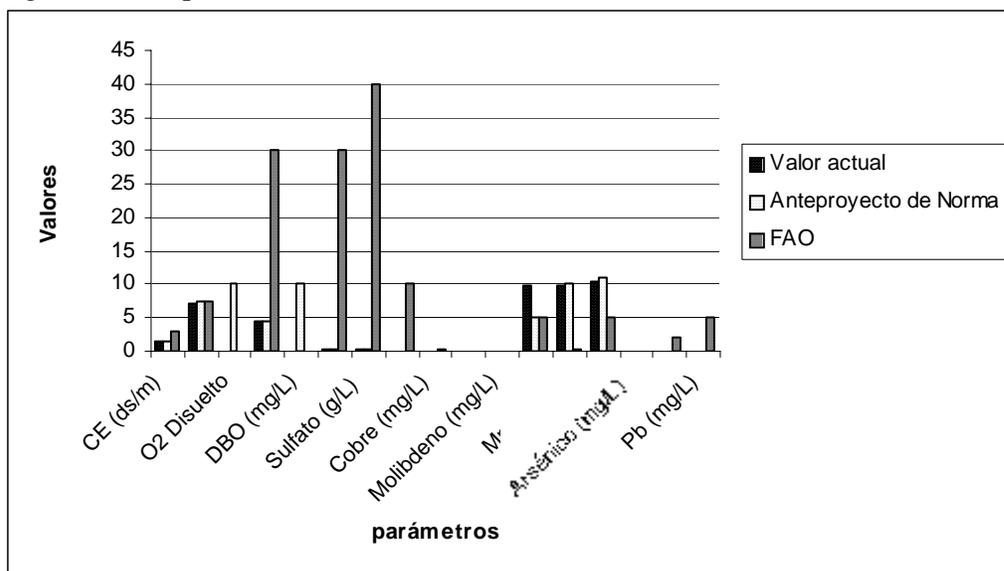
Cuadro1. Parámetros de calidad en el tramo MA-TR-10

Parámetros	Unidad	Valor actual	Anteproyecto De Norma	FAO
CE	ds/m	1,6	1,5	> 3
pH	Unidad	7,2	7,5	7,5
O2 Disuelto	mg/L	0	10	
RAS		4,4	4,5	0 – 30
DBO	mg/L	0	10	0
Cloruro	g/L	0,2765	0,15	0 – 30
Sulfato	g/L	0,3558	0,356	0 – 40
Nitrito	mg/L	0	0,06	0 – 10
Cobre	mg/L	0,05	0,05	0,2
Cromo	mg/L	0,04	0,04	0,1
Molibdeno	mg/L	0,01	0,01	0,01
Fe	mg/L	9,9	5	5
Mn	mg/L	9,9	10	0,2
Al	mg/L	10,5	11	5
Arsénico	mg/L	0	0,02	0
Zinc	mg/L	0	0,01	2
Pb	mg/L	0	0,03	5
Coliformes	(NMT/100ml)	s/i ⁵	1000	0

Fuente: Elaboración propia, según datos publicados por CADE – IDEPE (2004), DGA (2005) y FAO 29 (1987).

⁵ Sin información.

Figura 3. Comparación de indicadores de calidad en el tramo MA-TR-10



Fuente: Elaboración propia, según datos publicados por CADE – IDEPE (2004), DGA (2005) y FAO 29 (1987).

Impactos del anteproyecto de norma de calidad de agua en el tramo MA-TR-10:

- Parámetros que cambian: CE y Fe.
- Calidad de agua de riego actual: Sin restricciones de uso
- Calidad de agua de riego con anteproyecto de norma: Sin restricciones de uso.
- Toxicidad por Sodio: Ligera.
- Toxicidad por Cloruros: Ninguna.
- CE: Valores normales para agua de riego.
- Fe: De acuerdo con el anteproyecto de norma, el contenido de Fe pasará de 9,9 mg/L a 5 mg/L, lo que producirá una liberación de 4,9 mg/L. De acuerdo con los antecedentes técnicos, igual cantidad de fósforo será liberada en el suelo.
- Mn: El anteproyecto de norma excede la norma FAO en 9,8 mg/L.
- Coliformes: en la primera sección del río Maipo, no se pudo recolectar información sobre el contenido de Coliformes, por tanto no existe la posibilidad de cuantificar impactos.

Situaciones a evaluar: Costo de habilitación de suelos, ahorro en fertilización fosforada, situación del manganeso.

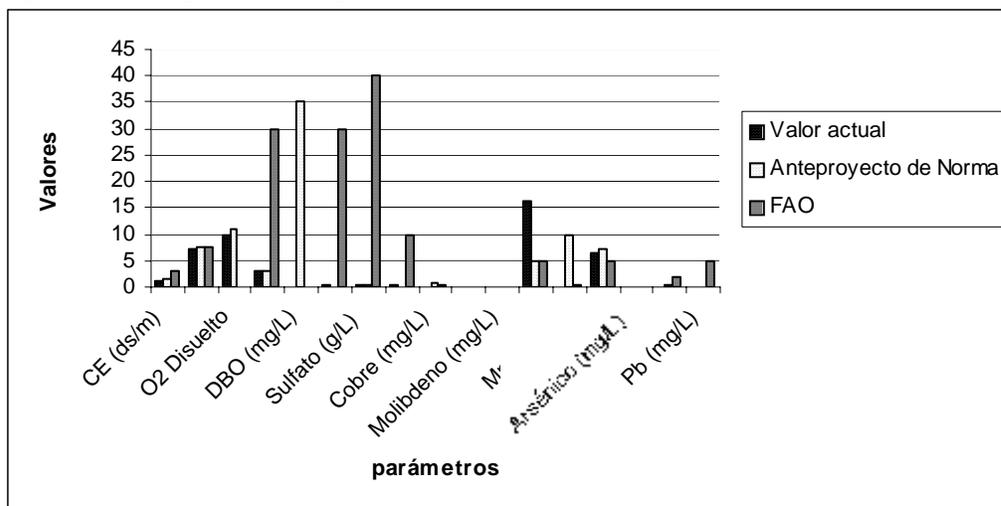
3.1.2 SEGUNDO TRAMO: MA-TR-20

Cuadro2. Parámetros de calidad en el tramo 2 (MA-TR-20)

Parámetros	Unidad	Valor actual	Anteproyecto de Norma	FAO
CE	ds/m	1,3	1,4	> 3
pH	Unidad	7,2	7,5	7,5
O2 Disuelto	mg/L	9,75	11	
RAS		3,1	3	0 – 30
DBO	mg/L	0,001	35	0
Cloruro	g/L	0,2151	0,15	0 – 30
Sulfato	g/L	0,3612	0,36	0 – 40
Nitrito	mg/L	0,37	0,06	0 -10
Cobre	mg/L	0,05	0,74	0,2
Cromo	mg/L	0,01	0,04	0,1
Molibdeno	mg/L	0,03	0,01	0,01
Fe	mg/L	16,1	5	5
Mn	mg/L	0,09	10	0,2
Al	mg/L	6,6	7	5
Arsénico	mg/L	0,01	0,02	0
Zinc	mg/L	0,04	0,2	2
Pb	mg/L	0,02	0,02	5
Coliformes	(NMT/100ml)	327	1000	0

Fuente: Elaboración propia, según datos publicados por CADE – IDEPE (2004), DGA (2005) y FAO 29 (1987).

Figura 4. Comparación de parámetros de calidad en el tramo MA-TR-20



Fuente: Elaboración propia, según datos publicados por CADE – IDEPE (2004), DGA (2005) y FAO 29 (1987).

Impacto del anteproyecto de norma de calidad de agua en el tramo MA-TR-20:

- Parámetros que cambian: RAS, CL⁻, Nitrito, Fe y Mo.
- Calidad de agua de riego actual: Sin restricciones de uso.
- Calidad de agua de riego con anteproyecto de norma: Sin restricciones de uso.
- Toxicidad por Sodio: Ninguna.

- Toxicidad por Cloruros: Ninguna.
- Toxicidad por Nitritos: Ninguna. Se liberan a raíz de la aplicación de la norma 0,31 mg/L.
- CE: Valores normales para agua de riego, pero existen limitaciones ligeras de uso de agua de riego.
- Fe: con el anteproyecto de norma se pasa de 16,1 mg/L a 5 mg/L. Se producirá una liberación de 11,1 mg/L de Fe, con lo que se supone que igual cantidad de fósforo será liberada.
- Al: exceso de aluminio (7 mg/L), que excede en 2 mg/L la recomendación FAO. Asimismo el anteproyecto de norma excede en 0,4 mg/L al valor muestreado por la DGA.
- Coliformes: en este tramo del río Maipo en la actualidad no se presentan problemas por exceso de coliformes.

Situaciones a evaluar: Costo de fertilización por menor aporte de nitrógeno en el agua, habilitación de suelos por problemas de salinidad a largo plazo, ahorro de fertilización fosforada, posibles efectos de toxicidad por efecto de aluminio.

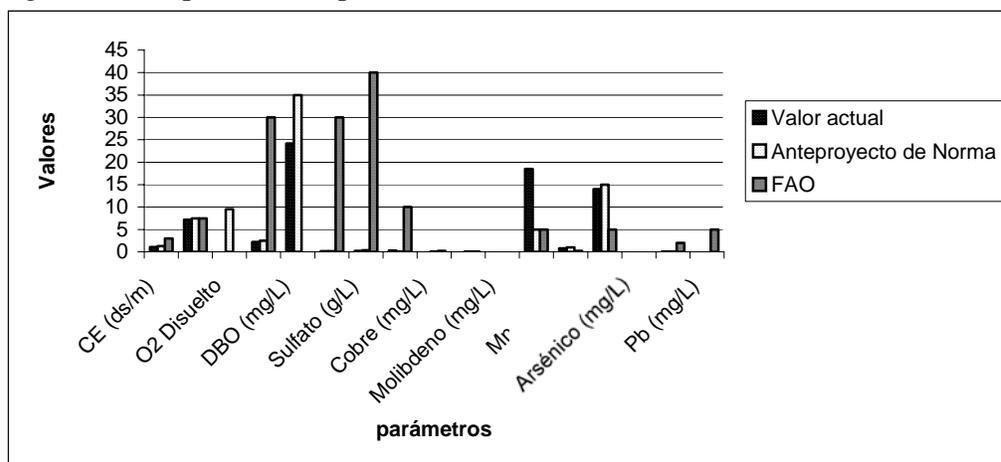
3.1.3 TERCER TRAMO: MA-TR-30

Cuadro3. Parámetros de calidad en el tramo MA-TR-30

Parámetros	Unidad	Valor actual	Anteproyecto de Norma	FAO
CE	ds/m	1,1	1,3	> 3
PH	Unidad	7,2	7,5	7,5
O2 Disuelto	mg/L	0	9,5	
RAS		2,2	2,5	0 - 30
DBO	mg/L	24,17	35	0
Cloruro	g/L	0,155	0,15	0 - 30
Sulfato	g/L	0,213	0,343	0 - 40
Nitrito	mg/L	0,266	0,06	10
Cobre	mg/L	0,03	0,05	0,2
Cromo	mg/L	0,01	0,04	0,1
Molibdeno	mg/L	0,03	0,02	0,01
Fe	mg/L	18,5	5	5
Mn	mg/L	0,8	1	0,2
Al	mg/L	14	15	5
Arsénico	mg/L	0,017	0,02	0
Zinc	mg/L	0,04	0,1	2
Pb	mg/L	0,01	0,03	5
Coliformes	(NMT/100ml)	350000	1000	0

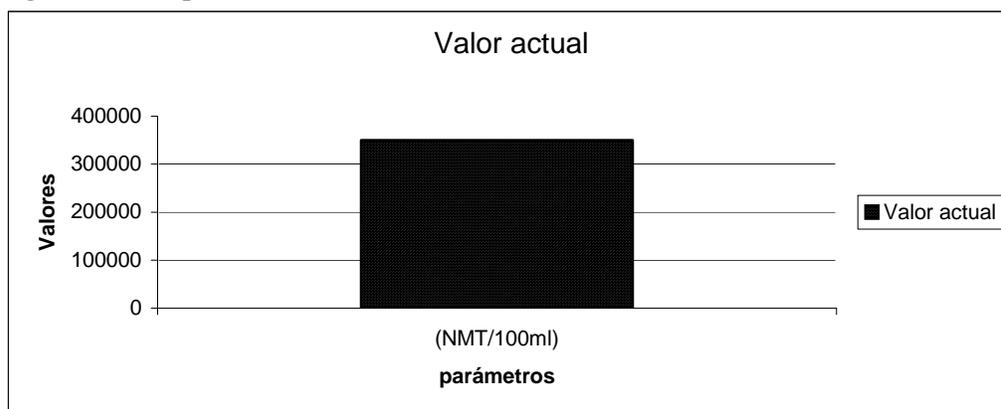
Fuente: Elaboración propia, según datos publicados por CADE – IDEPE (2004), DGA (2005) y FAO 29 (1987).

Figura 5. Comparación de parámetros de calidad en el tramo MA-TR-30



Fuente: Elaboración propia, según datos publicados por CADE – IDEPE (2004), DGA (2005) y FAO 29 (1987).

Figura 6. Comparación de niveles de Coliformes en el tramo MA-TR-30



Fuente: Elaboración propia, según datos publicados por CADE – IDEPE (2004), DGA (2005) y FAO 29 (1987).

Impacto del anteproyecto de norma de calidad de agua en el tramo MA-TR-30:

- Parámetros que cambian: Nitrito, Fe, Mn y Al.
- Calidad de agua de riego actual: Sin restricciones de uso.
- Calidad de agua de riego con anteproyecto de norma: Sin restricciones de uso.
- Toxicidad por Sodio: Ninguna.
- Toxicidad por Cloruros: Ninguna.
- Toxicidad por Nitritos: Ninguna. Ante la aplicación del anteproyecto de norma, el agua de riego en el tramo MA-TR-30 dejará de aportar 0,24 mg/L de nitrito al suelo.
- CE: Valores normales para agua de riego, sin embargo existen limitaciones ligeras de uso de agua de riego.
- Fe: El valor establecido por el anteproyecto de norma (5 mg/L) es menor que el contenido actual de hierro (18,5 mg/L) en el tramo MA-TR-30. Se producirá una disminución de aporte de hierro a través del agua de riego de

13,5 mg/L, con lo que se supone que igual cantidad de fósforo será liberada desde el suelo.

- Aluminio: el contenido actual (14 mg/L) excede en 9 mg/L a la recomendación FAO. Asimismo, el anteproyecto de norma excede en 1 mg/L al valor muestreado por DGA.

- Coliformes: en la tercera sección del río Maipo se presentan problemas por exceso de coliformes. Consecuentemente, tras la aplicación del anteproyecto de norma existirá la posibilidad de sustituir cultivos.

Situaciones a evaluar: Costo de fertilización por menor aporte nitrógeno en el agua de riego, habilitación de suelos por problemas de salinidad a largo plazo, ahorro de fertilización fosforada, posibles efectos de toxicidad por efecto de aluminio y cambio de uso de suelo por disminución de carga de coliformes.

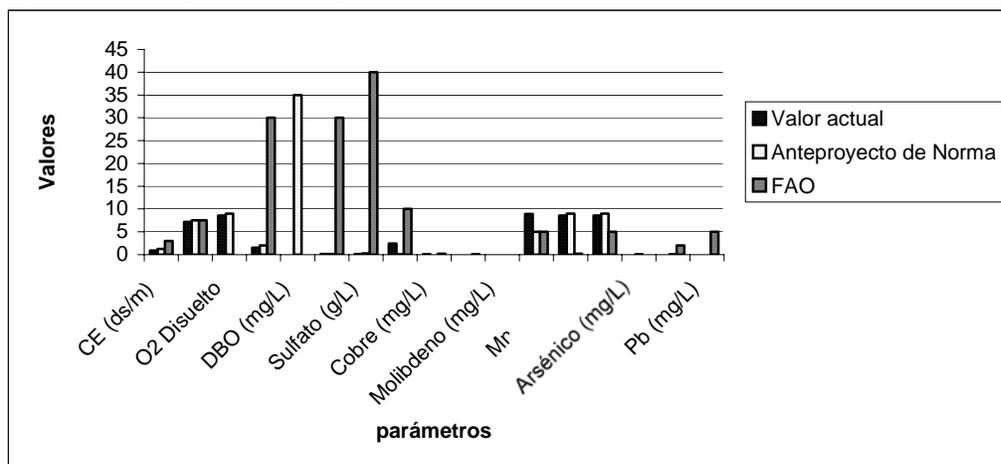
3.1.4 CUARTO TRAMO: MA-TR-40

Cuadro 4. Parámetros de calidad en el tramo MA-TR-40

Parámetros	Unidad	Valor actual	Anteproyecto de Norma	FAO
CE	ds/m	0,937	1,255	> 3
pH	Unidad	7,2	7,5	7,5
O2 Disuelto	mg/L	8,58	9	
RAS		1,536	2	0 - 30
DBO	mg/L	0,001	35	0
Cloruro	g/L	0,131	0,15	0 - 30
Sulfato	g/L	0,155	0,31	0 - 40
Nitrito	mg/L	2,45	0,06	0 - 10
Cobre	mg/L	0,05	0,03	0,2
Cromo	mg/L	0,01	0,03	0,1
Molibdeno	mg/L	0,01	0,02	0,01
Fe	mg/L	8,9	5	5
Mn	mg/L	8,6	9	0,2
Al	mg/L	8,6	9	5
Arsénico	mg/L	0,009	0,1	0
Zinc	mg/L	0,03	0,1	2
Pb	mg/L	0,01	0,02	5
Coliformes	(NMT/100ml)	1300	1000	0

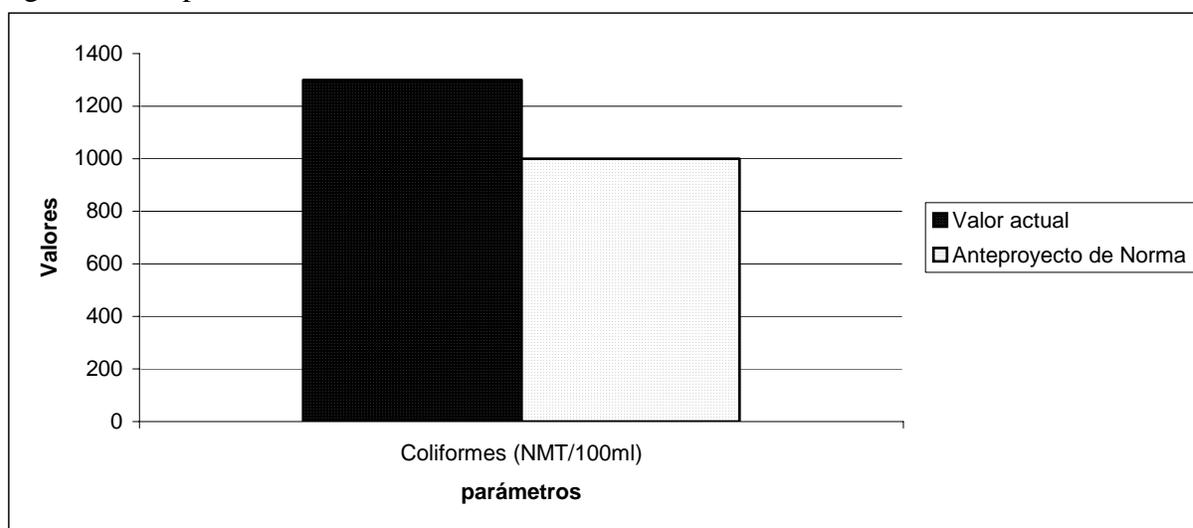
Fuente: Elaboración propia, según datos publicados por CADE – IDEPE (2004), DGA (2005) y FAO 29 (1987).

Figura 7. Comparación de parámetros de calidad en el tramo MA-TR-40



Fuente: Elaboración propia, según datos publicados por CADE – IDEPE (2004), DGA (2005) y FAO 29 (1987).

Figura 8. Comparación de niveles de Coliformes en el tramo MA-TR-40



Fuente: Elaboración propia, según datos publicados por CADE – IDEPE (2004), DGA (2005) y FAO 29 (1987).

Impacto del anteproyecto de norma de calidad de agua en el tramo MA-TR-40:

- Parámetros que cambian: Cu, Fe y Coliformes.
- Calidad de agua de riego actual: Sin restricciones de uso.
- Calidad de agua de riego con anteproyecto de norma: Sin restricciones de uso.
- Toxicidad por Sodio: Ninguna.
- Toxicidad por Cloruros: Ninguna.
- Toxicidad por Nitritos: Ninguna.
- Ce: Valores normales para agua de riego, sin embargo existe limitaciones ligeras de uso de agua de riego.

- Fe: El valor establecido por el anteproyecto de norma (5 mg/L) es menor que el contenido actual de fierro (8,9 mg/L) en el tramo MA-TR-40. La aplicación del anteproyecto producirá una disminución de aporte de fierro (presente en el agua de riego) de 3,9 mg/L, con lo que se supone que igual cantidad de fósforo será liberada del suelo.

- Cu: El contenido actual de cobre (0,05 mg/L) es mayor que el valor propuesto por el anteproyecto de norma (0,03 mg/L), por lo tanto se producirá una disminución de aporte de cobre en el agua de riego de 0,02 mg/L. Sin embargo el valor propuesto por el anteproyecto de norma es superior en 0,01 mg/L al valor propuesto por FAO (0,02 mg/L), lo que puede generar problemas potenciales de toxicidad a largo plazo.

- Coliformes: En la cuarta sección del río Maipo se presentan problemas por exceso de coliformes. Por lo tanto, tras la aplicación del anteproyecto de norma existirá la posibilidad de sustituir cultivos.

Situaciones a evaluar: Habilitación de suelos por problemas de salinidad a largo plazo, ahorro de fertilización fosforada y cambio de uso de suelo por disminución de carga de coliformes.

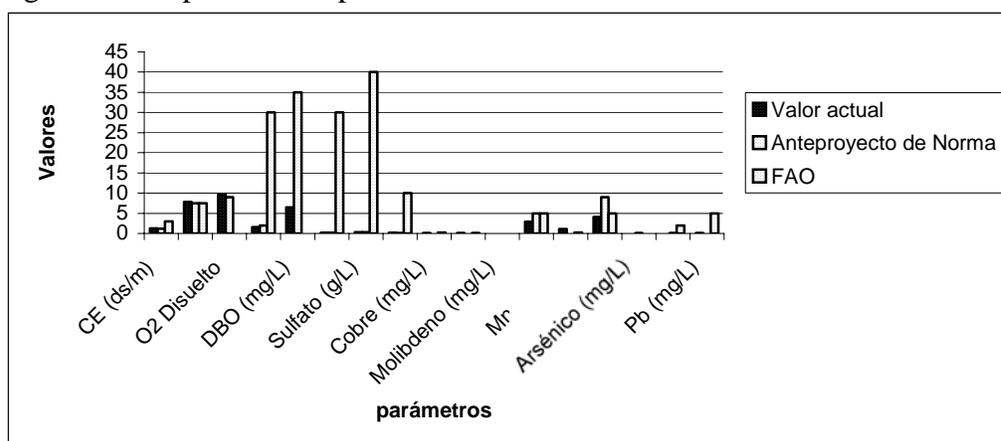
3.1.5 QUINTO TRAMO: MA-TR-50

Cuadro5. Parámetros de calidad en el tramo MA-TR-50

Parámetros	Unidad	Valor actual	Anteproyecto de Norma	FAO
CE	ds/m	1,3	1,2	> 3
pH	Unidad	7,8	7,5	7,5
O2 Disuelto	mg/L	9,7	9	
RAS		1,6	2	0 - 30
DBO	mg/L	6,5	35	0
Cloruro	g/L	0,138	0,15	0 - 30
Sulfato	g/L	0,29	0,31	0 - 40
Nitrito	mg/L	0,15	0,06	0 - 10
Cobre	mg/L	0,07	0,03	0,2
Cromo	mg/L	0,11	0,03	0,1
Molibdeno	mg/L	0,015	0,02	0,01
Fe	mg/L	2,9	5	5
Mn	mg/L	1,13	0,02	0,2
Al	mg/L	4,1	9	5
Arsénico	mg/L	0,01	0,1	0
Zinc	mg/L	0,03	0,1	2
Pb	mg/L	0,04	0,02	5
Coliformes	(NMT/100ml)	1400	1000	0

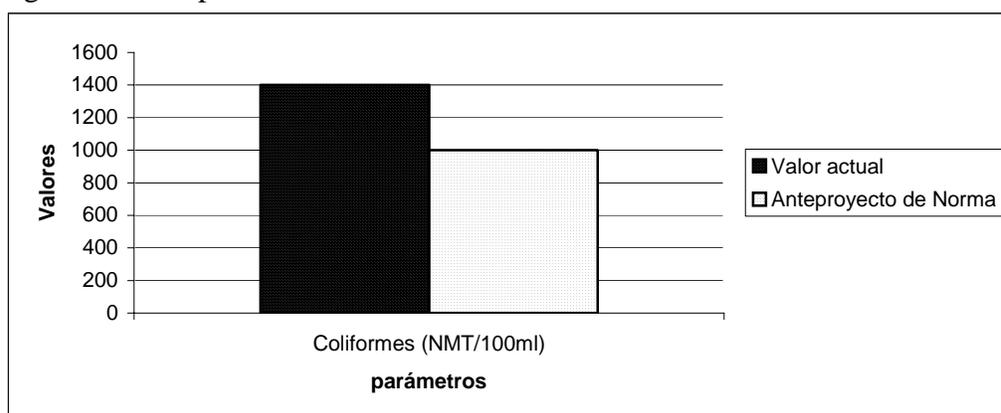
Fuente: Elaboración propia, según datos publicados por CADE – IDEPE (2004), DGA (2005) y FAO 29 (1987).

Figura 9. Comparación de parámetros de calidad tramo MA-TR-50



Fuente: Elaboración propia, según datos publicados por CADE – IDEPE (2004), DGA (2005) y FAO 29 (1987).

Figura 10. Comparación de niveles de Coliformes en el tramo MA-TR-50



Fuente: Elaboración propia, según datos publicados por CADE – IDEPE (2004), DGA (2005) y FAO 29 (1987).

Impacto del anteproyecto de norma de calidad de agua en el tramo MA-TR-50:

- Parámetros que cambian: CE, O2 disuelto, pH, Nitrito, Cu, Cr, Al y coliformes.
- Calidad de agua de riego actual: Sin restricciones de uso.
- Calidad de agua de riego con anteproyecto de norma: Sin restricciones de uso.
- Toxicidad por Sodio: Ninguna.
- Toxicidad por Cloruros: Ninguna.
- Toxicidad por Nitritos: Ninguna. Tras la aplicación del anteproyecto de norma se produce una disminución en el aporte de nitritos en el agua de riego de 0,09 mg/L.
- CE: Valores normales para agua de riego, sin embargo existen limitaciones ligeras de uso de agua de riego.
- Cu: El aporte de cobre en el agua de riego disminuye en 0,04 mg/L, valor que no es tóxico según las recomendaciones de FAO.

- Cr: No existe claridad sobre los efectos (no existe recomendación FAO), sin embargo se recomienda abatir los niveles existentes para evitar toxicidades.
- Al: En este caso el anteproyecto de norma establece una concentración de 9 mg/L, cantidad que excede los valores actuales de aluminio presentes en este tramo (4,9 mg/L) y excede en 4 mg/L a la recomendación FAO.
- Coliformes: En la quinta sección del río Maipo se presentan problemas por exceso de coliformes. Por tanto, tras la aplicación del anteproyecto de norma existirá la posibilidad de sustituir cultivos.

Situaciones a evaluar: Costo de fertilización por menor aporte de nitrógeno, habilitación de suelos por problemas de salinidad a largo plazo, posibles efectos de toxicidad por efecto de aluminio y cromo, cambio de uso de suelo por disminución de carga de coliformes.

3.1.6 SEXTO TRAMO: MA-TR-60

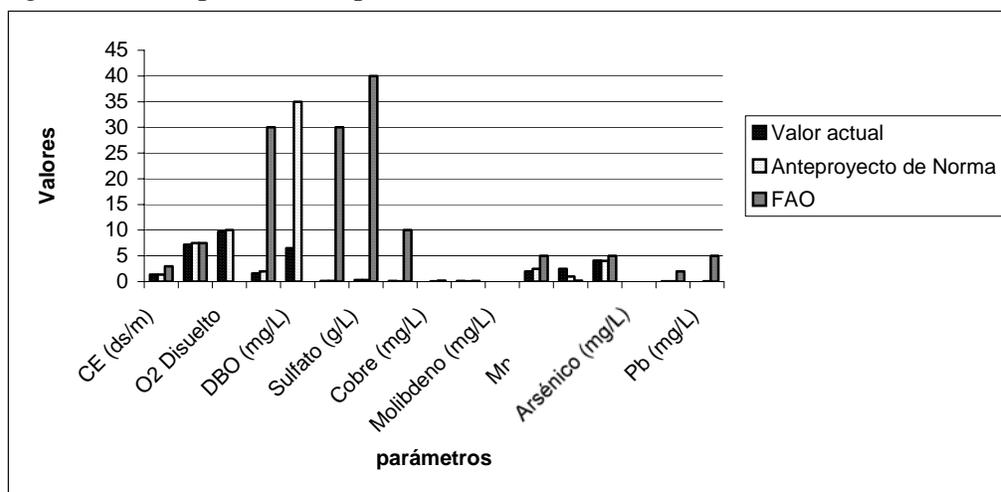
Cuadro 6. Parámetros de calidad en el tramo MA-TR-60

Parámetros	Unidad	Valor actual	Anteproyecto de Norma	FAO
CE	ds/m	1,359	1,36	> 3
pH	Unidad	7,2	7,5	7,5
O2 Disuelto	mg/L	9,7*	10	
RAS		1,6 *	2	0 - 30
DBO	mg/L	6,5 *	35	0
Cloruro	g/L	0,152	0,15	0 - 30
Sulfato	g/L	0,339	0,34	0 - 40
Nitrito	mg/L	0,15 *	0,06	0 - 10
Cobre	mg/L	0,03	0,07	0,2
Cromo	mg/L	0,112 *	0,07	0,1
Molibdeno	mg/L	0,015	0,02	0,01
Fe	mg/L	2	2,5	5
Mn	mg/L	2,5	1	0,2
Al	mg/L	4,1	4	5
Arsénico	mg/L	0,01	0,01	0
Zinc	mg/L	0,04	0,04	2
Pb	mg/L	0,0175 *	0,04	5
Coliformes	(NMT/100ml)	1400	1000	0

Fuente: Elaboración propia, según datos publicados por CADE – IDEPE (2004), DGA (2005) y FAO 29 (1987).

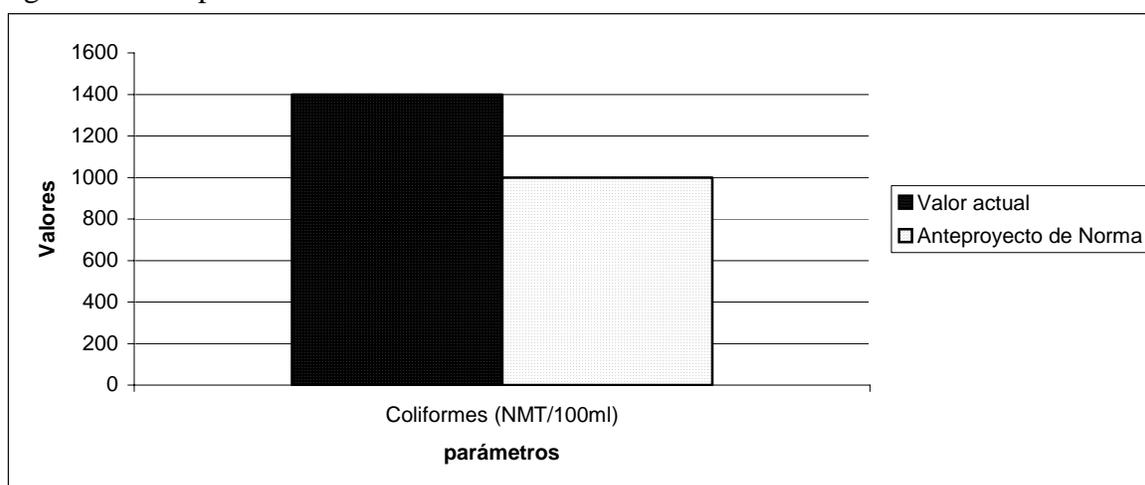
*: valores recientes medidos por DGA (promedio últimos cinco años)

Figura 11. Comparación de parámetros de calidad tramo MA-TR-60



Fuente: Elaboración propia, según datos publicados por CADE – IDEPE (2004), DGA (2005) y FAO 29 (1987).

Figura 12. Comparación de niveles de Coliformes en el tramo MA-TR-60



Fuente: Elaboración propia, según datos publicados por CADE – IDEPE (2004), DGA (2005) y FAO 29 (1987).

Impacto del anteproyecto de norma de calidad de agua en el tramo MA-TR-60:

- Parámetros que cambian: Nitrito, Cr, Mn y Coliformes.
- Calidad de agua de riego actual: Sin restricciones de uso.
- Calidad de agua de riego con anteproyecto de norma: Sin restricciones de uso.
- Toxicidad por Sodio: Ninguna.
- Toxicidad por Cloruros: Ninguna.
- Toxicidad por Nitritos: No existen efectos, sin embargo tras la aplicación del anteproyecto de norma se dejará de aportar en el agua de riego 0,09 mg/L de nitrito.
- CE: Valores normales para agua de riego, sin embargo existe limitaciones ligeras de uso de agua de riego.

- Cr: No existe claridad sobre los efectos (no existe recomendación FAO), sin embargo se recomienda abatir los niveles existentes para evitar toxicidades.
- Mn: Existe reducción de Mn por efecto de la norma: el agua de riego deja de aportar 1,5 mg/L. Sin embargo el valor propuesto (1 mg/L) sobrepasa en 0,8 mg/L las recomendaciones FAO (0,2 mg/L).
- Coliformes: En la sexta sección del río Maipo se presentan problemas por exceso de coliformes. Por lo tanto, tras la aplicación del anteproyecto de norma existirá la posibilidad de sustituir cultivos.

Situaciones a evaluar: Habilitación de suelos por problemas de salinidad a largo plazo, posibles efectos de toxicidad por efecto de cromo y cambio de uso de suelo por disminución de carga de coliformes.

3.2 CALIDAD DE AGUA DE RIEGO TRAMOS RIO MAPOCHO

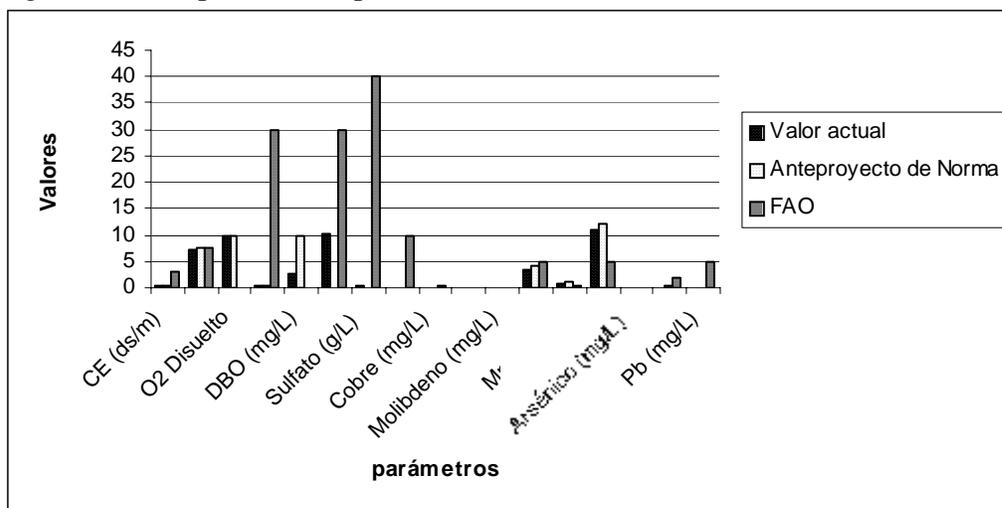
3.2.1 PRIMER TRAMO: MP-TR-10

Cuadro 7. Parámetros de calidad en el tramo MP-TR-10

Parámetros	Unidad	Valor actual	Anteproyecto de Norma	FAO
CE	ds/m	0,28	0,3	3
pH	Unidad	7,2	7,5	7,5
O2 Disuelto	mg/L	10	10	
RAS		0,4	0,4	30
DBO	mg/L	2,6	10	0
Cloruro	g/L	10,3	0,013	30
Sulfato	g/L	0,317	0,129	40
Nitrito	mg/L	0,02	0,06	10
Cobre	mg/L	0,023	0,05	0,2
Cromo	mg/L	0,02	0,02	0,1
Molibdeno	mg/L	0,015	0,02	0,01
Fe	mg/L	3,5	4	5
Mn	mg/L	0,6	1	0,2
Al	mg/L	11	12	5
Arsénico	mg/L	0,01	0,01	0
Zinc	mg/L	0,18	0,2	2
Pb	mg/L	0,02	0,01	5
Coliformes	(NMT/100ml)	220	1000	0

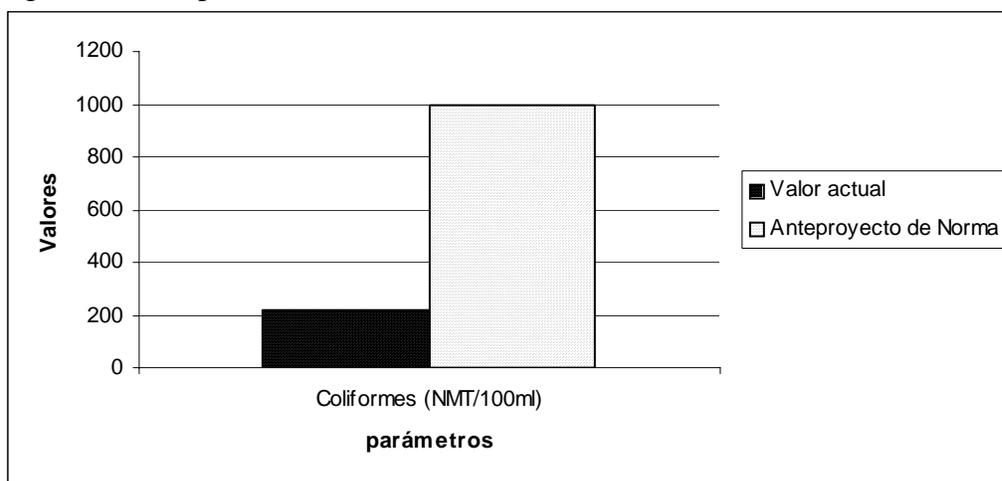
Fuente: Elaboración propia, según datos publicados por CADE – IDEPE (2004), DGA (2005) y FAO 29 (1987).

Figura 13. Comparación de parámetros de calidad tramo MP-TR-10.



Fuente: Elaboración propia, según datos publicados por CADE – IDEPE (2004), DGA (2005) y FAO 29 (1987).

Figura 14. Comparación de niveles de Coliformes en el tramo MP-TR-10



Fuente: Elaboración propia, según datos publicados por CADE – IDEPE (2004), DGA (2005) y FAO 29 (1987).

Impacto del anteproyecto de norma de calidad de agua en el tramo MP-TR-10:

- Parámetros que cambian: Cloruros, Sulfatos, Plomo.
- Calidad de agua de riego actual: Restricción de uso leve a moderada.
- Calidad de agua de riego con anteproyecto de norma: Restricción de uso leve a moderada.
- CE: Valores normales para agua de riego, sin restricciones de uso.
- Toxicidad por Sodio: Ninguna.
- Toxicidad por Cloruros: Al aplicarse el anteproyecto de norma se obtendría una situación de uso de agua de riego sin restricciones. Además, se deja de aportar la cantidad de 10,28 mg/L de cloruro al suelo.
- Toxicidad por Sulfatos: Ninguna. Sin embargo el anteproyecto de norma disminuye la cantidad de sulfatos aportados en el agua de riego de 0,317 a

0,129 mg/L, dejando de aportar 0,18 mg/L de sulfato por efectos de la norma.

- Toxicidad por Pb: Ninguna. Sin embargo el anteproyecto de norma disminuye la cantidad de plomo de 0,02 a 0,01 mg/L, dejando de aportar 0,01 mg/L de plomo.

- Coliformes: En la primera sección del río Mapocho no se presentan problemas por exceso de coliformes por tanto, tras la aplicación del anteproyecto de norma, no existirá posibilidad de sustituir cultivos.

Situaciones a evaluar: Efectos de la disminución de cloro y disminución de sulfatos.

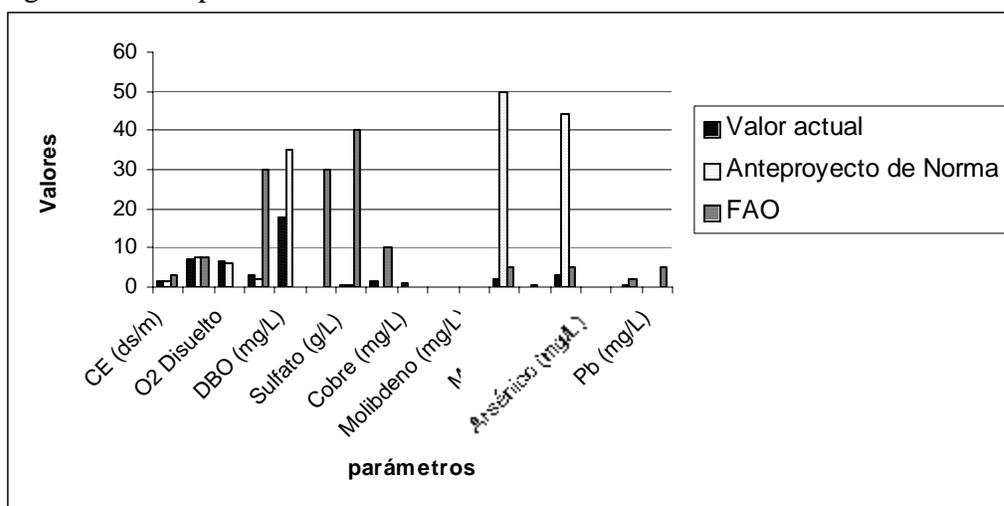
3.2.2 SEGUNDO TRAMO: MA-TR-20

Cuadro 8. Indicadores de calidad en el tramo MP-TR-20

Parámetros	Unidad	Valor actual	Anteproyecto de Norma	FAO
CE	ds/m	1,6	1,3	3
pH	Unidad	7,2	7,5	7,5
O2 Disuelto	mg/L	6,59	6	
RAS		3,3	2	30
DBO	mg/L	17,6	35	0
Cloruro	g/L	0,16	0,15	30
Sulfato	g/L	0,33	0,32	40
Nitrito	mg/L	1,63	0,06	10
Cobre	mg/L	1,1	0,05	0,2
Cromo	mg/L	0,01	0,05	0,1
Molibdeno	mg/L	0,01	0,01	0,01
Fe	mg/L	2	50	5
Mn	mg/L	0,14	0,3	0,2
Al	mg/L	3,1	44	5
Arsénico	mg/L	0,016	0,04	0
Zinc	mg/L	0,04	0,5	2
Pb	mg/L	0,13	0,01	5
Coliformes	(NMT/100ml)	8500000	1000	0

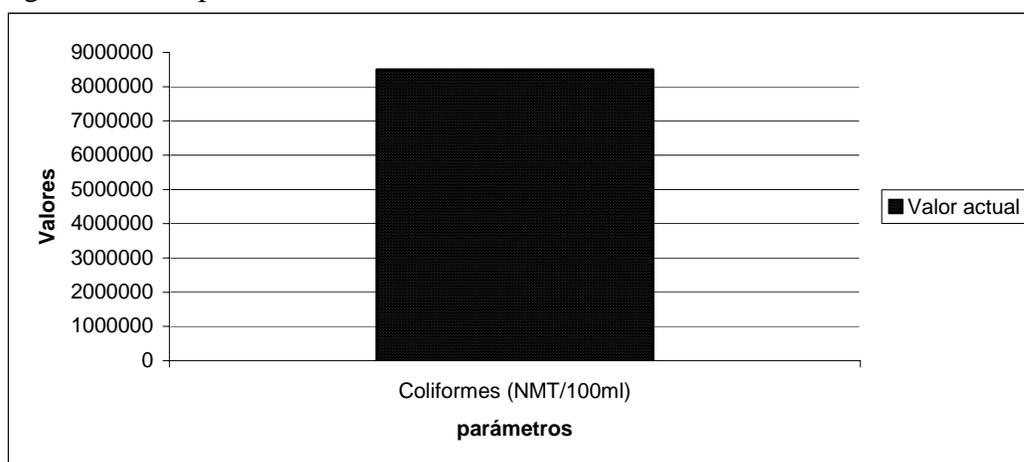
Fuente: Elaboración propia, según datos publicados por CADE – IDEPE (2004), DGA (2005) y FAO 29 (1987).

Figura 15. Comparación de indicadores de calidad tramo MP-TR-20



Fuente: Elaboración propia, según datos publicados por CADE – IDEPE (2004), DGA (2005) y FAO 29 (1987).

Figura 16. Comparación de niveles de Coliformes en el tramo MP-TR-20



Fuente: Elaboración propia, según datos publicados por CADE – IDEPE (2004), DGA (2005) y FAO 29(1987).

Impacto del anteproyecto de norma de calidad de agua en el tramo MP-TR-20:

- Parámetros que cambian: CE, O₂ disuelto, RAS, Cl⁻, Nitritos, Sulfatos, Cobre y Coliformes.
- Calidad de agua de riego actual: Sin restricción de uso.
- Calidad de agua de riego con anteproyecto de norma: Sin restricción de uso.
- CE: Valores normales para agua de riego, sin embargo genera efectos leves a moderados de salinidad.
- Toxicidad por Sodio: Ninguna.
- Toxicidad por Cloruros: Ninguna. Sin embargo el anteproyecto de norma disminuye la cantidad de cloruros aportados en el agua de riego de 0,16 a 0,15 mg/L, dejando de aportar 0,01 mg/L.

- Toxicidad por Nitritos: Ninguna. Sin embargo el anteproyecto de norma disminuye la cantidad de nitritos aportados en el agua de riego de 1,63 a 0,06 mg/L, dejando de aportar 1,57 mg/L.
- Toxicidad por Sulfatos: Ninguna. Sin embargo el anteproyecto de norma disminuye la cantidad de sulfatos aportados en el agua de riego de 0,33 a 0,32 mg/L, dejando de aportar 0,01 mg/L.
- Toxicidad por Cu: Actualmente podrían existir problemas de toxicidad. Tras la aplicación del anteproyecto de norma de calidad, las aguas de riego dejan de aportar 1,05 mg/L de cobre.
- Toxicidad por Pb: Ninguna, cambio imperceptible.
- Coliformes: En la segunda sección del río Mapocho se presentan problemas por exceso de coliformes por tanto, tras la aplicación del anteproyecto existirá la posibilidad potencial de sustitución de cultivos.

Situaciones a evaluar: Efectos de la sustitución de fertilización nitrogenada, habilitación de suelos y sustitución de cultivos por cambio en los niveles de coliformes.

3.2.3 TERCER TRAMO: MP-TR-30

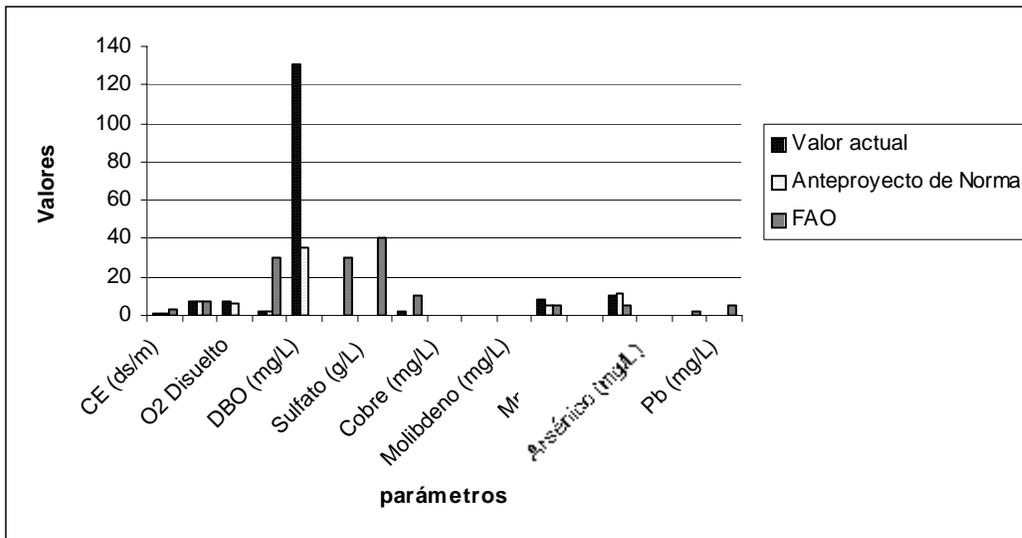
Cuadro 9. Parámetros de calidad en el tramo MA-TR-30

Parámetros	Unidad	Valor actual	Anteproyecto de Norma	FAO
CE	ds/m	1,47	1,45	3
pH	Unidad	7,2	7,5	7,5
O2 Disuelto	mg/L	7,64	6	
RAS		2,3	2,5	30
DBO	mg/L	130,78	35	0
Cloruro	g/L	0,185*	0,15	30
Sulfato	g/L	0,302	0,316	40
Nitrito	mg/L	2,32*	0,06	10
Cobre	mg/L	0,02	0,05	0,2
Cromo	mg/L	0,01	0,045	0,1
Molibdeno	mg/L	0,02	0,15	0,01
Fe	mg/L	7,9	5	5
Mn	mg/L	0,4	0,5	0,2
Al	mg/L	10	11	5
Arsénico	mg/L	0,007	0,02	0
Zinc	mg/L	0,04	0,2	2
Pb	mg/L	0,035	0,01	5
Coliformes	(NMT/100ml)	2900000	1000	0

Fuente: Elaboración propia, según datos publicados por CADE – IDEPE (2004), DGA (2005) y FAO 29 (1987).

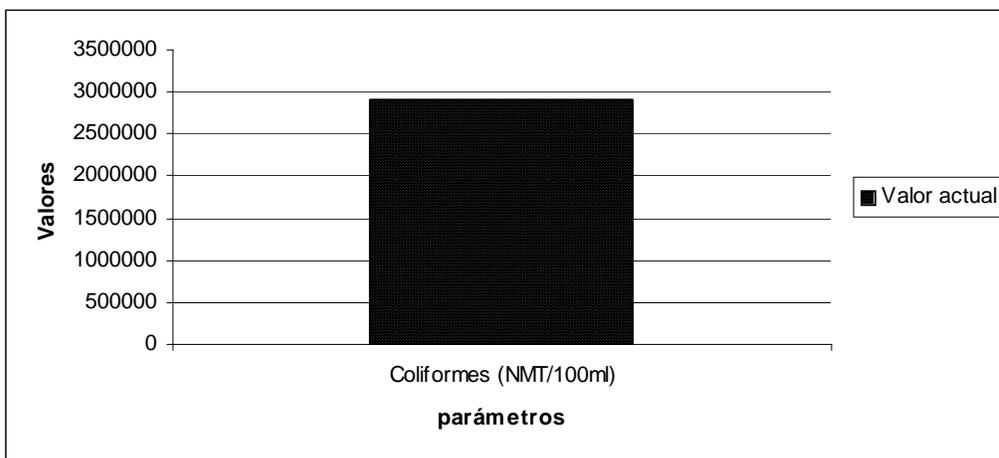
*: Valores recientes monitoreados por DGA

Figura 17. Comparación de parámetros de calidad en el tramo MP-TR-30



Fuente: Elaboración propia, según datos publicados por CADE – IDEPE (2004), DGA (2005) y FAO 29 (1987).

Figura 18. Comparación de niveles de Coliformes en el tramo MA-TR-30



Fuente: Elaboración propia, según datos publicados por CADE – IDEPE (2004), DGA (2005) y FAO 29 (1987).

Impacto del anteproyecto de norma de calidad de agua en el tramo MP-TR-30:

- Parámetros que cambian: CE, O₂ disuelto, RAS, Cl⁻, Nitritos, Fe, Pb y Coliformes.
- Calidad de agua de riego actual: Sin restricción de uso.
- Calidad de agua de riego con anteproyecto de norma: Sin restricción de uso.
- CE: Valores normales para agua de riego, sin embargo genera efectos leves a moderados de salinidad.
- Toxicidad por Sodio: Ninguna.
- Toxicidad por Cloruros: Ninguna, sin embargo al aplicarse el anteproyecto de norma se genera una disminución en el agua de riego de 0,03 mg/L de cloruro.

- Toxicidad por Nitritos: Ninguna, sin embargo al aplicarse el anteproyecto de norma se genera una disminución en el agua de riego de 2,24 mg/L de nitrito.
- Toxicidad por Sulfatos: Ninguna, sin embargo al aplicarse el anteproyecto de norma se genera una disminución en el agua de riego de 0,18 mg/L de sulfatos.
- Fe: Sin anteproyecto de norma existen problemas de exceso de fierro, tras la aplicación del anteproyecto de norma el valor se ajusta a las recomendaciones FAO, y se deja de aportar 2,9 mg/L de fierro.
- Toxicidad por Pb: Ninguna. Sin embargo al aplicarse el anteproyecto de norma se deja de aportar 0,025 mg/L de plomo en el agua de riego.
- Coliformes: En la tercera sección del río Mapocho se presentan problemas por exceso de coliformes por tanto, tras la aplicación de la norma secundaria de aguas existirá la posibilidad potencial de sustitución de cultivos.

Situaciones a evaluar: Efectos de la sustitución de fertilización nitrogenada, habilitación de suelos y fosforada, sustitución de cultivos por cambio en los niveles de coliformes.

4. EVALUACIÓN ECONÓMICA DE COSTOS

Del capítulo 3 se puede concluir que—en líneas generales—el agua para riego en la cuenca Maipo-Mapocho no presenta restricciones para el uso agrícola. Sin embargo se presentan algunas situaciones que podrían producir un cambio cuantitativo en la estructura de costos directos de producción debidos a la necesidad de habilitar y manejar suelos, aumentar la fertilización por disminución del aporte de nitrógeno en el agua, y por la necesidad de adoptar tecnologías de abatimiento.

Los costos potenciales que se han identificado, en ausencia de información adecuada, pueden considerarse como marginales, debido a la magnitud del cambio entre la calidad actual y la futura propuesta por el anteproyecto de norma para las aguas de la cuenca Maipo – Mapocho.

4.1 HABILITACIÓN Y MANEJO DE SUELOS

Las recomendaciones sobre riego y drenaje propuesta por los estudios “Calidad del agua en la agricultura” (FAO 29, 1987) y “Necesidades de agua en los cultivos” (FAO 24, 1976) permiten suponer que se producirían impactos potenciales que requerirían labores de habilitación de suelos sódicos a largo plazo en la primera sección del río Maipo.

De igual manera se requeriría solucionar problemas de salinidad (a largo plazo) desde el segundo al sexto tramo del río Maipo, así como en los tramos segundo y tercero del río Mapocho.

4.1.1. **Sodio:** Para aminorar el problema de exceso de sodio, FAO (1987) recomienda el uso de enmiendas de yeso ya sea incorporadas directamente al suelo o en forma asociada con agua de riego. Las cantidades de yeso varían entre 30 – 40 ton/ha para suelos altamente sódicos. Sin embargo se considera que montos de 10 ton/ha se obtienen buenos resultados y económicamente rentables para los casos puntuales de suelos sódicos en la cuenca en estudio. Esta cantidad se basa en las recomendaciones de FAO como asimismo las de expertos de la Facultad de Ciencia Agronómicas de la Universidad de Chile. El cuadro 10 se muestra el valor por hectárea de la aplicación de enmiendas de yeso.

Cuadro 10. Costo de enmienda de yeso para 1 Há

Dosis de enmienda (Ton/Há)	Costo de yeso (\$/ ton)	Costo total enmienda (\$)
10	80.000	800.000

4.1.2. **Salinidad:** Para aminorar problemas de salinidad, FAO recomienda la eliminación de sales por lixiviación (lavado de suelos). El cálculo de la lámina de agua a utilizar se extrajo del modelo propuesto por Rhoades & Merryll (FAO 24, 1976):

$$RL = Eca / 5 * Ecx - Eca. (1)$$

Donde:

RL: Requerimiento de lixiviación mínimo que se necesita para controlar las sales dentro del rango de tolerancia de un cultivo, utilizando métodos comunes de riego.

Eca: Salinidad de agua de riego en ds/m.

Ecx: Salinidad del extracto de saturación en ds/m, que representa la salinidad tolerable por un cultivo determinado.

La lámina anual de riego que debe aplicarse para satisfacer la demanda de agua del cultivo como el requerimiento de lixiviación se estima a través de la siguiente ecuación propuesta por Rhoades & Meryll (FAO 24, 1976):

$$LA = ETC / 1 - RL \quad (2)$$

Donde:

LA: Lámina anual de riego (mm/año)

ETC: Evapotranspiración anual de cultivo (mm/año)

RL: Requerimiento de lixiviación.

A continuación (cuadro 11) se muestra el cálculo de la lámina de riego a utilizar en la cuenca Maipo – Mapocho para una CE (Eca de la fórmula (1)) promedio de 1,3 ds/m (CADE & MOP, 2004) en la cuenca. El valor de la CE máxima tolerable se obtiene de las recomendaciones propuestas por Rhoades & Meryll (FAO 24, 1976). Los cálculos incluyen los rubros principales (considerados principales por la superficie que ocupan) de la cuenca (frutales, hortalizas, cultivos anuales, forrajeras y viñas. Se utilizaron como ejemplo de cada uno de estos rubros los siguientes cultivos: ciruelo, zapallo, trigo candeal y viñedos variedad cabernet sauvignon respectivamente, por ser las especies de mayor superficie cultivada en la cuenca.

Los valores de ETC para cada cultivo se obtuvieron del informe FAO 24. La inclusión del valor obtenido en (1) en la ecuación (2) da como resultado el valor para LA.

Cuadro 11. Lámina anual de riego estimada para lavado de sales en la cuenca Maipo – Mapocho

Rubro	CE agua riego (ds/m)	CE máxima tolerable (ds/m)	ETC (mm/año)	RL	LA (mm/año)
Frutales (ciruelo)	1,3	1,5	590,4	0,2	747
Hortalizas (zapallo)	1,3	4,1	676,8	0,07	726
Cultivos anuales (Trigo candeal)	1,3	5,7	528	0,05	555
Forrajeras (alfalfa)	1,3	2	720	0,15	847
Viñas (Cabernet)	1,3	1,5	393,6	0,2	498

Fuente: Elaboración propia, según información publicada por FAO (1987).

LA: Lámina anual de riego (mm/año)

ETC: Evapotranspiración anual de cultivo (mm/año)

RL: Requerimiento de lixiviación.

4.1.3. **Labores culturales:** Según FAO (1987) valores de RAS entre 0 – 3 y valores de conductividad eléctrica menores a 1.2 ds/m provocan problemas de infiltración en el suelo. Por lo tanto se debe recurrir al uso de arados subsoladores. El costo de las labores de arado subsolador se muestra en el cuadro 12

Cuadro 12. Costo por hectárea del uso de arado subsolador

Implemento	Costo horario (\$) (Tractor + implemento)	Rendimiento (Horas / Há)	Costo / Há (\$) (Tractor + implemento)
Arado Subsolador	6.540	4	26.161

Fuente: Elaboración propia, según información publicada por Agroeconómico (2003).

4.2 AUMENTO DE COSTOS POR DISMINUCIÓN DE APORTE NITROGENADO EN EL AGUA

La aplicación del Anteproyecto de Norma generará una disminución de nitritos en el río Maipo en los tramos MA-TR-20, MA-TR-30 y MA-TR-50 así como en el río Mapocho en los tramos MP-TR-20 y MPO-TR-30.

El supuesto utilizado en este caso es que el productor agrícola deberá fertilizar en una cantidad igual a la cantidad de nutrientes que deja de aportar el agua de riego. En este supuesto no se considera la capacidad de acumulación de nitrógeno del suelo.

El cuadro 13 muestra las cantidades de nitrógeno que dejará de aportar cada sección de los ríos Maipo-Mapocho, mientras que el cuadro 14 muestra la cantidad que dejará de aportar el agua de riego en una temporada de cultivo y por hectárea para cada uno de los rubros agrícolas. El cuadro 15 muestra el costo en fertilizante asociado a la cantidad de nitrógeno que se deja de aportar.

Cuadro 13. Disminución de nitrógeno aportado por el agua

Sección	Disminución de Nitrógeno aportado por el agua (mg/m ³)
MA-TR-20	310
MA-TR-30	230
MA-TR-50	90
MP-TR-20	1.570
MP-TR-30	2.240

Fuente: Elaboración propia, según datos publicados por CADE – IDEPE (2004) y DGA (2005).

Cuadro 14. Disminución de aporte de nitrógeno (Kg/año) para cada uso de suelo en base a plan de riego anual⁶

Uso de suelo	Riego anual m ³ /año	MA-TR-20	MA-TR-30	MA-TR-50	MP-TR-20	MP-TR-30
Frutales	5.940	2	1	0,5	9,3	13
Hortalizas	6.768	2	1,5	0,6	11	15
Viñas	3.936	1	0,9	0,3	6,1	9
Cultivo anual	5.280	2	1	0,5	8	12
Forrajeras	7.200	2	2	0,6	11	16

Fuente: Elaboración propia, según datos publicados por CADE – IDEPE (2004) y DGA (2005).

Los valores de la lámina anual de riego para cada uso de suelo se obtuvieron del informe FAO 24 (1978) (además, corresponden a los valores presentados en el cuadro 1). En el cuadro 14 se presentan en m³/ha y la disminución de aporte de Nitrógeno en el agua de riego se expresa en kg/año. La disminución de unidades de nitrógeno se valoró a precio

⁶ El cálculo de la disminución de nitrógeno para toda la cuenca se muestra en el anexo II, datos asociados a la elaboración del SIG de la cuenca Maipo-Mapocho.

de la urea en el mercado, obtenido del Boletín Estadístico de Comercio Exterior Silvoagropecuario N° 37 (ODEPA, 2005) que corresponde a \$208/Kg (cuadro 15).

Cuadro 15. Costo (\$Kg Urea/ha) asociado a disminución equivalente de aporte en el agua

Uso de suelo	MA-TR-20	MA-TR-30	MA-TR-50	MP-TR-20	MP-TR-30
Frutal	833	618	242	4.217	5.909
Hortalizas	949	704	275	4.805	6.733
Viñas	552	409	160	2.794	3.915
Cultivo anual	740	549	215	3.748	5.252
Forrajeras	1.009	749	293	5.111	7.162

Fuente: Elaboración propia, según datos publicados por CADE – IDEPE (2004) y DGA (2005).

4.3 COSTOS DE ABATIMIENTO DE PARÁMETROS

Los costos de abatimiento evaluados tienen que ver con la evaluación de tecnologías que permiten abatir los siguientes parámetros: Nitritos, Coliformes, Cloruros, Cromo, Cobre, Fierro y sulfatos. Los datos técnicos y la estimación de costos aquí presentada fueron tomados del informe “Tecnologías de abatimiento” (TESAM, 1997), y se presentan aquí sólo como una referencia general.

- 4.3.1 Desnitrificación:** Corresponde a un proceso biológico posterior al proceso de nitrificación llevado a cabo por varios géneros de bacterias heterótrofas que permite la remoción de nitrógeno como nitrato a través de su conversión a nitrógeno gaseoso. El proceso se realiza en dos pasos: El primer paso permite la conversión de nitrato a nitrito y el segundo la producción de óxido nítrico, óxido nitroso y nitrógeno gaseoso. El costo combinado de las tecnologías de nitrificación y desnitrificación es de US\$ 108/ m³ de agua.
- 4.3.2 Desinfección:** Se utiliza para destruir microorganismos patógenos (coliformes principalmente) y puede lograrse por medio de agentes químicos, físicos o mecánicos. Los agentes químicos son los más comúnmente usados y corresponden al cloro gaseoso (CL₂), hipoclorito de calcio (Ca(OCl₂)₂), hipoclorito de sodio (NaOCl) y dióxido de cloro (ClO₂). La gran desventaja de esta tecnología es la producción de compuestos organoclorados que tienen efectos perjudiciales en la salud humana. Por esta razón en forma posterior al proceso de cloración se debe realizar la decloración de las aguas residuales tratadas con cloro. El costo de desinfectar el agua se estima en US\$ 2,7 / m³ de agua.
- 4.3.3 Decloración:** Se utiliza para la eliminación del cloro residual. La eliminación del cloro se logra mediante la reacción con agentes reductores como el dióxido de azufre, metasulfito de sodio o por adsorción con carbón activado. La decloración por dióxido de carbono es la alternativa más barata para lograr la remoción de cloro residual. El costo de dicho tratamiento no está disponible.
- 4.3.4 Reducción Química:** Su principal aplicación es la eliminación del cromo hexavalente a cromo trivalente a través de una reducción química. Los compuestos reductores más usados corresponden a compuestos reducidos del azufre. La

eliminación del cromo se realiza a través de precipitación. El costo de aplicación corresponde a US\$ 0,4 / m³ de agua.

- 4.3.5 Precipitación química:** Es un proceso físico químico en el cual, por intermedio de una reacción química en la solución, un contaminante disuelto se transforma en un material insoluble que se elimina en una fase posterior por sedimentación o filtración. La precipitación, mediante la formación de hidróxidos es recomendable para remover Fe, Cu, Mn, Zn y Ni. El costo corresponde a US\$ 1,3 / m³ de agua.
- 4.3.6 Osmosis inversa:** La osmosis inversa (OI) es un proceso de separación que usa membranas semipermeables para remover sólidos disueltos, tales como sales inorgánicas. Se utiliza presión para forzar el paso del agua desde una solución a través de una barrera semipermeable, la cual permitirá el paso solamente de ciertos componentes de la solución, pero es impermeable a la mayoría de los sólidos disueltos. El costo es de US\$ 0,63 / m³ de agua.

5. EVALUACIÓN ECONÓMICA DE BENEFICIOS

5.1 DISMINUCIÓN DE CARGA DE COLIFORMES FECALES:

Las secciones del río Maipo en las que se estima se producirán beneficios debido a la aplicación del Anteproyecto de Norma Secundaria de Calidad de Agua son las siguientes: MA-TR-30, MA-TR-40, MA-TR-50, MA-TR-60. En el río Mapocho, las siguientes: MP-TR-20 y MP-TR-30. La disminución en la concentración de coliformes en estos tramos permitiría la reconversión potencial hacia el cultivo de hortalizas a ras de suelo, debido a que la calidad de agua de riego superficial cumplirá con la normativa que actualmente restringe el cultivo de este tipo de hortalizas (Nch 1333). El cambio productivo dependerá de los siguientes factores:

- i. Condiciones de mercado y expectativas de precios futuros.
- ii. Calidad de agua con la que se riegan los predios agrícolas: La norma secundaria de calidad de agua se aplica sobre los cursos de agua principales. Sin embargo en el recorrido entre la fuente principal de abastecimiento de agua y el predio agrícola, el agua puede sufrir deterioro por fuentes contaminantes y por tanto no cumplir con la normativa sanitaria (Nch 1333) ni el anteproyecto discutido en el presente informe. Esto es importante de considerar ya que los productores de hortalizas a ras de suelo dependen de la inocuidad del agua de riego. Estos productores, en la actualidad, usan agua de pozo y el cambio a riego con agua superficial podría incorporar un riesgo, aun cuando los costos de producción fuesen menores.

El cuadro 16 muestra los costos de producción y márgenes brutos de las hortalizas a ras de suelo y cultivos anuales presentes en la cuenca Maipo – Mapocho. Para el caso de betarraga, coliflor, lechuga y zanahoria el margen bruto (MB) que se presenta en los cuadros 16 y 17 corresponde al margen bruto anual con tres rotaciones. La sustracción entre los valores de los márgenes brutos (columnas ** - *) de hortalizas a ras de suelo y cultivos anuales, se presentan en el cuadro 16. En las celdas de dicho cuadro, cuándo se presentan valores positivos (resultantes de la resta entre los márgenes brutos (** - *)) se está en presencia de posibilidad de sustitución de cultivos, de caso contrario (que el resultado sea negativa) dicha sustitución es económicamente inconveniente.

Cuadro 16. Variación de Margen Bruto (MB), al reconvertir 1 Há de cultivos anuales a hortalizas a ras de suelo

Hortaliza**	MB	Hort – Maíz*	Hort –Papa*	Hort-Trigo Blanco*	Hort-Trigo Candeal*
Acelga	439.834	177.434	-57.793	229.473	169.834
Ajo	1.227.114	964.714	729.487	1.016.753	957.114
Betarraga	546.390	283.990	48.763	336.029	276.390
Cebolla	1.743.733	1.481.333	1.246.106	1.533.372	1.473.733
Coliflor	2.760.432	2.498.032	2.262.805	2.550.071	2.490.432
Lechuga	4.887.750	4.625.350	4.390.123	4.677.389	4.617.750
Melón	1.733.845	1.471.445	1.236.218	1.523.484	1.463.845
Zanahoria	2.543.784	2.281.384	2.046.157	2.333.423	2.273.784
Zapallo	1.423.250	1.160.850	925.623	1.212.889	1.153.250

Fuente: Elaboración propia, según datos publicados por ODEPA(2005) y Agroeconómico (2004).

*: Las cifras presentadas en la columna corresponden a la diferencia del margen bruto de la hortaliza a ras de suelo y del cultivo anual (maíz, papa y trigo).

** : El margen bruto de betarraga, lechuga, coliflor y zanahoria se calculó en base a tres cultivos por año

El cuadro 17 muestra costos de producción y márgenes brutos de las hortalizas a ras de suelo y hortalizas sobre suelo presentes en la cuenca Maipo – Mapocho. La resta entre los valores de los márgenes brutos (** - *) de hortalizas a ras de suelo y hortalizas sobre suelo, se presentan en el cuadro 17. Cuando la resta genera valores positivos (resultantes de la sustracción entre los márgenes brutos (** - *)) se está en presencia de posibilidad de sustitución de cultivos, de caso contrario (que el resultado de la sustracción sea negativa) dicha sustitución es económicamente inconveniente.

Cuadro 17. Variación del MB, al reconvertir 1 Há de hortalizas sobre suelo a hortalizas a ras de suelo

Hortaliza	MB**	Hort- alcachofa *	Hort- Arveja*	Hort- Choclo*	Hort - Haba*	Hort- poroto granado*	Hort poroto verde*	Hort- Tomate*
Acelga	439.834	-855.563	-461.266	177.454	74.007	-986.746	-2.274.166	-785.780
Ajo	1.227.114	-68.283	326.014	964.734	861.287	-199.466	-1.486.886	1.500
Beterraga	546.390	-749.007	-354.710	284.010	180.563	-880.190	-216.7610	-679.224
Cebolla	1.743.733	448.336	842.633	1.481.353	1.377.906	317.153	-970.267	518.119
Coliflor	2.760.432	1.465.035	1.859.332	2.498.052	2.394.605	1.333.852	46.432	1.534.818
Lechuga	4.887.750	3.592.353	3.986.650	4.625.370	4.521.923	3.461.170	2.173.750	3.662.136
Melón	1.733.845	438.448	832.745	1.471.465	1.368.018	307.265	-980.155	508.231
Zanahoria	2.543.784	1.248.387	1.642.684	2.281.404	2.177.957	1.117.204	-170.216	1.318.170
Zapallo	1.423.250	127.853	522.150	1.160.870	105.7423	-3.330	-1.290.750	197.636

Fuente: Elaboración propia, según datos publicados por ODEPA(2005) y Agroeconómico (2004).

*: Las cifras presentadas en la columna corresponden a la diferencia del margen bruto de la hortaliza a ras de suelo y la hortaliza a sobre de suelo.

El cuadro 17 muestra que en cada celda donde la diferencia entre hortaliza a ras de suelo y hortaliza sobre suelo es positiva, existe posibilidad de sustitución de cultivos.

5.2 PLUSVALÍA DEL TERRENO

Desde un punto de vista teórico y agregado, el precio de un factor, en competencia perfecta, al valor de su producto marginal. En el caso del suelo, corresponderá al valor de la producción que de éste se obtiene, por tanto si la actividad es de corto plazo, se utilizará el margen bruto por hectárea para determinar el valor del suelo y si la actividad es de largo plazo, el cálculo de la plusvalía quedará supeditado al valor presente neto de la producción. Es inmediato que el precio del suelo tendrá una dispersión geográfica, dada la heterogeneidad en las aptitudes agronómicas del mismo. Entonces desde una perspectiva general se puede plantear que:

$$P_s = P_y P M_g s$$

Donde P_s corresponde al precio del suelo; P_y , al precio del producto agrícola final que se obtiene del suelo y $P M_g s$, es la productividad del suelo.

Considerando esta perspectiva, y dado el rendimiento físico por hectárea constante, el valor del suelo que en función del comportamiento de los precios de los productos que se generan. Entonces considerando el uso actual de los suelos en la cuenca, se observa una caída persistente en el precio del trigo, a razón de \$2,3 por kilo al año y de \$1,1 por unidad al año para el caso de la lechuga. Este comportamiento sugiere una caída en el valor del suelo asociado al comportamiento de los precios.

Ahora, el mejoramiento en la calidad del agua puede incrementar el valor de los suelos en aquellos casos en que, dicho mejoramiento, permita sustituir el uso actual por otro de mayor margen bruto o de mayor valor presente neto. Este es el caso que se desprende de los cuadros 16 y 17. En ello se aprecia que la sustitución genera efectos positivos en el margen bruto el que se reflejará en el valor del suelo, en magnitud variable. Es así que sustituir el cultivo del maíz por cultivo de acelga, genera un cambio en el margen bruto de 67,6%, pasando de \$262.400 a \$439.834. El valor del suelo en este caso se incrementará en 67,6%.

La dispersión geográfica en el valor del suelo se asocia a la heterogeneidad en calidad y aptitud agrícola, como asimismo al potencial desarrollo urbano. Los valores observados en la Región Metropolitana van desde \$118.000 a \$17.000.000 por hectárea.

5.3 APORTE DE FÓSFORO EN EL AGUA DE RIEGO

El estudio de riego y drenaje “La calidad del agua en la agricultura” (FAO, 1987), evidencia que existe interrelación entre la cantidad de fierro y la disponibilidad de fósforo en el perfil suelo. Se asume que existe una interrelación lineal (según opinión de expertos) e inversamente proporcional entre la cantidad de fierro y fósforo sin considerar otras características del suelo como porcentaje de arcillas, estructura y profundidad. Por lo tanto, ante la aplicación del Anteproyecto de Norma Secundaria de Calidad de Agua se generará una disminución de los niveles de fierro en el río Maipo en los tramos MA- TR-10, MA- TR-20, MA- TR-30 y MA-TR-40 así como en el río Mapocho en el tramo MP-TR-30. Esta situación debería generar un ahorro para el productor en esos tramos.

El cuadro 18 muestra las cantidades de Fierro liberado en cada sección de los ríos Maipo-Mapocho. El cuadro 19 muestra la cantidad de fósforo disponible (teóricamente) que se producirá por el menor aporte de fierro en el agua de riego en una temporada por hectárea para cada uno de los usos de suelo de la cuenca. El cuadro 20 muestra el ahorro de fertilización asociado a la nueva cantidad de fósforo que estará disponible en forma natural en el suelo.

Cuadro 18. Disminución de Fe por m³ de agua

Sección	Fierro liberado (mg/m ³)
MA-TR-10	4.900
MA-TR-20	11.000
MA-TR-30	13.500
MA-TR-40	3.900
MP-TR-30	2.900

Fuente: Elaboración propia, según datos publicados por CADE – IDEPE (2004) y DGA (2005).

Considerando los cálculos de lamina anual de riego expresados en el cuadro 11 y la interrelación lineal e inversamente proporcional entre el fierro y fósforo se calculó el aporte de fósforo (Kg/año) en la cuenca Maipo-Mapocho por efecto del agua de riego. El aporte de fósforo en Kg. /año para cada tramo del río se presenta en el cuadro 19.

El aporte de fósforo (Kg/año) es valorado respecto del valor que presenta el fertilizante P₂O₅ en el mercado. El precio se del Boletín estadístico de comercio exterior silvoagropecuario N° 37 (ODEPA, 2005) y corresponde a \$186 / Kg. El aporte de fósforo de P₂O₅ se consideró en un 43,7% (1 Kg. de P₂O₅, aporta 437 gr. de Nitrógeno). La relación entre los Kg. de fósforo aportados y el precio del fertilizante P₂O₅ da como resultado el beneficio asociado por ahorro de fertilización de fósforo que se presenta en el cuadro 20.

Cuadro 19. Aporte de fósforo (Kg / año), para cada uso de suelo, en base a plan de riego anual

Uso de suelo	Riego anual m ³ /año	MA-TR-10	MA-TR-20	MA-TR-30	MP-TR-40	MP-TR-30
Frutales	5940	29	65	80	23	17
Hortalizas	6768	33	74	91	26	20
Viñas	3936	19	43	53	15	11
Cultivo anual	5280	26	58	71	21	15
Forrajeras	7200	35	79	97	28	21

Fuente: Elaboración propia, según datos publicados por CADE – IDEPE (2004) y DGA (2005).

Cuadro 20. Ahorro en Costo (\$/Kg) por aumento de fertilización fosforada a través del agua de riego

Uso de suelo	MA-TR-10	MA-TR-20	MA-TR-30	MP-TR-40	MP-TR-30
Frutal	12.388	27.810	34.131	9.860	7.331
Hortalizas	14.115	31.687	38.889	11.235	8.353
Viñas	8.209	18.428	22.616	6.534	4.858
Cultivo anual	11.012	24.721	30.339	8.764	6.517
Forrajeras	15.016	33.710	41.371	11.952	8.887

Fuente: Elaboración propia, según datos publicados por CADE – IDEPE (2004) y DGA (2005).

5.4 EXTERNALIDADES: ADOPCIÓN DE NORMAS DE CERTIFICACIÓN DE CALIDAD

La próxima entrada en vigencia (año 2006) del decreto 90 y la construcción de nuevas plantas de tratamiento de aguas servidas generarán una externalidad positiva: mayor facilidad para suscribirse a programas de certificación tales como EUREPGAP, NOICHERCHOISE o PRIMUSLABS. Si bien esta situación no se debe a un efecto directo de la entrada en vigencia de la norma secundaria de aguas, se considera importante tenerlo en cuenta como una externalidad positiva.

El proceso de certificación lo realizan empresas de auditoría medioambiental. Sin embargo, el Estado a través de la Corporación Nacional de Fomento (CORFO), bonifica la implementación de programas de certificación de calidad. El cuadro 21 muestra los costos de algunos ítem de certificación y las bonificaciones hechas por CORFO.

Cuadro 21. Costos de algunos ítem en el proceso de certificación

Capacitación formal	Valor curso por persona	Horas del curso	Valor cubierto por Sence (UF)	Diferencial pagado por la empresa (UF/Persona)
Manejo de productos químicos	6 UF	25	5,75	0,25
Calibración de equipos fitosanitarios	4 UF	16	3,7	0,3
Primeros auxilios	3 UF	8	1,8	1,2
Buenas prácticas agrícolas	1.8 UF	10	1,8	0

Fuente: Carvajal, C. 2004.

El costo estimado de certificación alcanza a los \$183.750/ha (10,5 UF/ha). Se presume que el sector frutícola es el más proclive a aceptar los protocolos de producción limpia y por tanto, el cálculo de costo total de certificación mostrado en el cuadro 22 se hace en relación a este sector.

Cuadro 22. Costo potencial de certificación en cuenca Maipo – Mapocho

Superficie frutícola Cuenca Maipo – Mapocho (Há)	Costo de certificación cuenca (\$/Miles)
21.421	3.936.108

Fuente: Elaboración propia, según datos publicados por ODEPA(2001) y OTAS (2004).

Por otra parte, si los productores de fruta de la cuenca no se certificaran, ello podría resultar en la pérdida de algunos mercados. Por esta razón, se ha calculado el impacto que ello significaría en la economía de la región. Para ello, se tomaron en cuenta los precios medios que la fruta exportada de la región puede obtener en mercados externos que tienden a exigir certificación, tales como el de la Unión Europea, APEC, y NAFTA y otros en los que no se exige certificación, tales como MERCOSUR. Los distintos precios unitarios (por tonelada) que se obtienen en estos mercados aparecen en el cuadro 23.

Cuadro 23. Precio unitario de exportaciones según zona económica (en miles de US\$/ton)

Exportación	Precio UE	Precio APEC	Precio MERCOSUR	Precio NAFTA
Frutas	1,8	1,8	0,2	3
Hortalizas	0,5	0,49	0,06	0,8
Cultivos Anuales	0,1	0,1	0,01	0,2
Vino	24	23	3	39

Fuente: Elaboración propia, según datos publicados por ODEPA (2005).

La no implementación de normas de calidad de aseguramiento de la calidad alimentaria puede provocar la pérdida de importantes mercados y por tanto la redistribución de la producción hacia mercados menos exigentes, como el Mercado Común del Sur (MERCOSUR), con menores expectativas de precio.

Actualmente, se estima que sólo el 1% del volumen de fruta exportado cuenta con certificación de calidad. Sin embargo el aumento en el uso de sistemas de certificación crece a un ritmo anual promedio de 6,5%, de acuerdo con la información proporcionada por la empresa BSI⁷. El volumen, los ingresos brutos por zona económica y el ingreso por exportación de fruta certificada aparecen en el cuadro 24.

Cuadro 24. Volumen e ingreso por exportación según destino de zona económica (en miles de US\$/ton)

Exportación	Volumen UE (Ton)	Valor UE	Volumen APEC	Valor APEC	Volumen NAFTA (Ton)	Valor NAFTA	Volumen MERCOSUR (Ton)	Valor MERCOSUR
Frutas	14.569	26.224	15.418	27.753	28.615	85.845	5.030	1.157
Hortalizas	2.336	1.168	2.472	1.236	4.588	3.671	807	48
Uvas de mesa	5.873	10.571	6.215	11.188	11.535	34.606	2.029	20
Vino	7.136	171.264	7.552	173.696	14.016	546.624	2.464	7.392

Fuente: Elaboración propia, según datos publicados por ODEPA (2005).

A continuación (cuadros 25 al 27) se muestra el total del volumen de fruta exportado según zona económica de destino, y el impacto que produciría la pérdida de algunos mercados y la redistribución de productos hacia mercados menos exigentes (valorado a precios esperados en MERCOSUR). La fruta que actualmente se certifica (1%) y se exporta no logra mayores precios, pero sí asegura su acceso a algunos mercados, tales como los supermercados del Reino Unido. Dado que en el futuro los mercados de destino exigirán la certificación con mayor frecuencia, se estimó la pérdida de ingreso total potencial en la cuenca (valorada a precios FOB) si es que la fruta que actualmente se envía a esos mercados tuviese que reorientarse a mercados menos exigentes.

Cuadro 25. Pérdidas económicas potenciales para la cuenca Maipo – Mapocho por no adopción de certificación de calidad, Caso Unión Europea (en miles de US\$/ton)

Exportación	Volumen de exportación Destinado a la UE a valorado a precios esperados en la UE	Volumen destinado a la UE valorado a Precios MERCOSUR	Pérdida monetaria potencial	Pérdida monetaria actual por no certificación (1% del total)
Frutas	26.224	3.351	22.873	229
Hortalizas	1.168	140	1.028	10
Uvas de mesa	10.571	1.351	9.220	92
Vino	171.264	21.408	149.856	1.498

Fuente: Elaboración propia, según datos publicados por ODEPA (2005) y BSI (2005)

⁷ Daniela Díaz Bowen, Coordinadora de programas de certificación de calidad, BSI, Comunicación personal.

Cuadro 26. Pérdidas económicas potenciales para la cuenca Maipo – Mapocho por no adopción de sistemas de calidad, Caso APEC (en miles de US\$/ton)

Exportación	Volumen de exportación Destinado a APEC valorado a precios esperado en APEC	Volumen destinado A APEC valorado a Precios MERCOSUR	Perdida monetaria potencial	Pérdida monetaria actual por no certificación (1% del total)
Frutas	27.753	3.546	24.206	242
Hortalizas	1.236	148	1.089	11
Uvas de mesa	11.188	1.430	9.758	98
Vino	173.696	22.656	151.040	1.510

Fuente: Elaboración propia, según datos publicados por ODEPA (2005) y BSI (2005) .

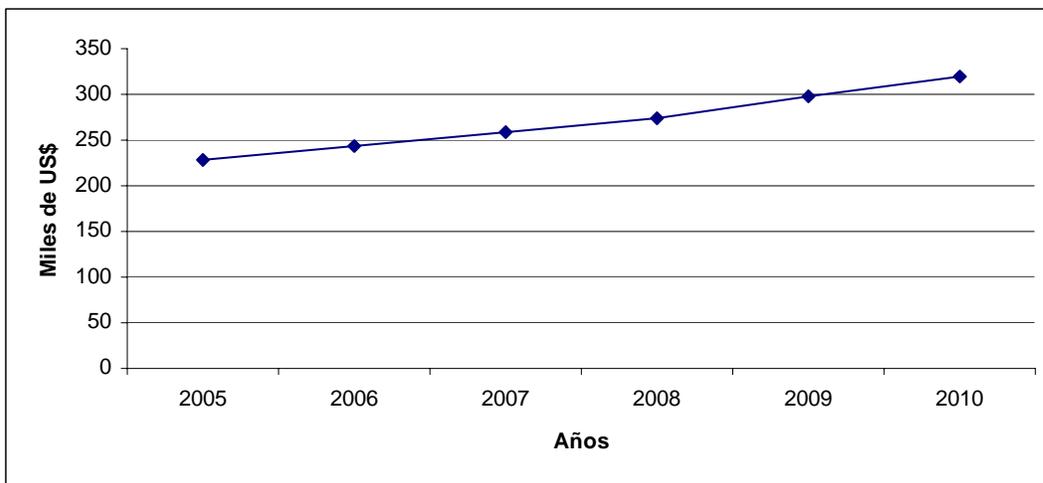
Cuadro 27. Pérdidas económicas potenciales para la cuenca Maipo – Mapocho, por no adopción de sistemas de calidad, Caso NAFTA (en miles de US\$/ton)

Exportación	Volumen de exportación Destinado a NAFTA valorado a precios esperado en NAFTA	Volumen destinado A NAFTA valorado a Precio MERCOSUR	Perdida monetaria potencial	Pérdida monetaria actual por no certificación (1% del total)
Frutas	85.845	6.581	79.263	793
Hortalizas	3.671	275	3.395	34
Uvas de mesa	34.606	329	34.277	343
Vino	546.624	42.048	504.576	5.046

Fuente: Elaboración propia, según datos publicados por ODEPA (2005) y BSI (2005) .

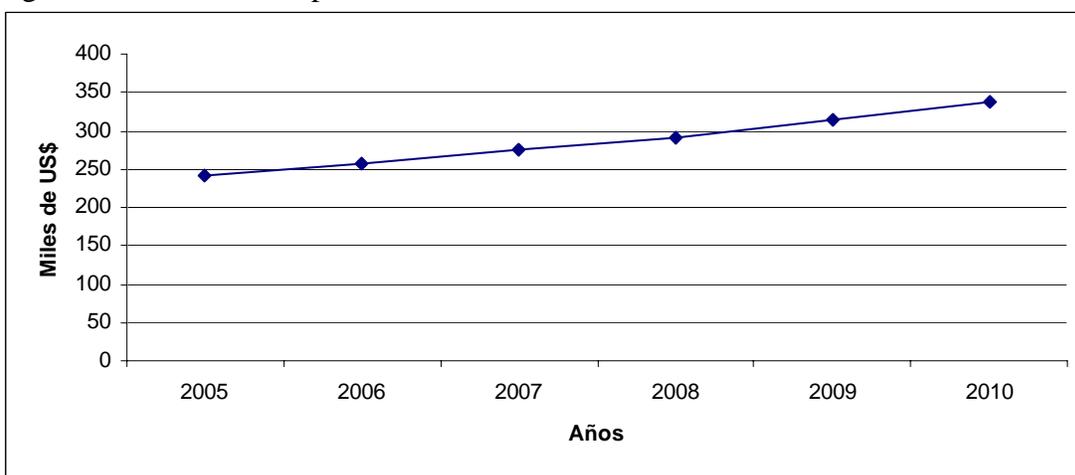
La evolución de las pérdidas monetarias para los próximos 5 años por la no adopción de sistemas de calidad bajo las condiciones y tendencias actuales de mercado se muestran en las figuras 19-21.

Figura 19. Evolución de pérdidas económicas 2005-2010. Caso Unión Europea



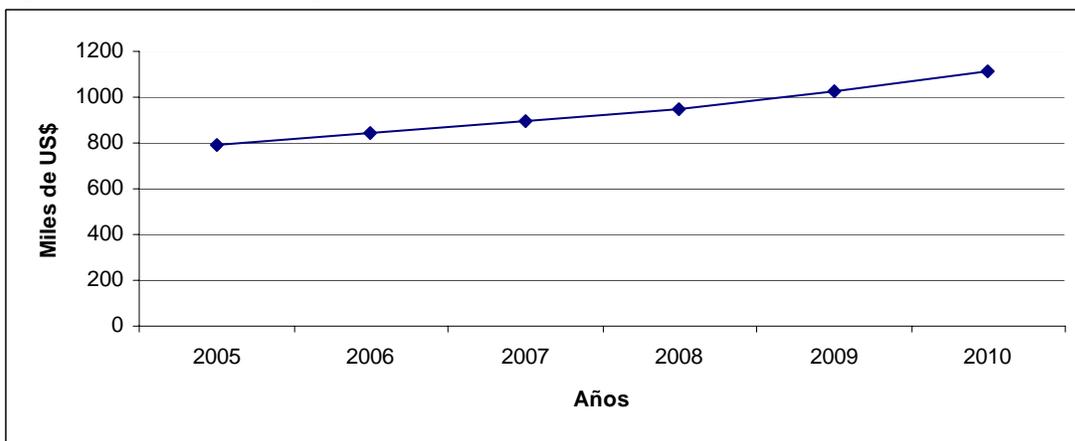
Fuente: Elaboración propia, según datos publicados por ODEPA (2005) y BSI (2005) .

Figura 20. Evolución de pérdidas económicas 2005-2010. Caso APEC



Fuente: Elaboración propia, según datos publicados por ODEPA (2005) y BSI (2005) .

Figura 21. Evolución de pérdidas económicas 2005-2010. Caso NAFTA



Fuente: Elaboración propia, según datos publicados por ODEPA (2005) y BSI (2005) .

6. CUADRO RESUMEN DE COSTOS Y BENEFICIOS ASOCIADOS AL ANTEPROYECTO DE NORMA SECUNDARIA DE CALIDAD DE AGUA

A continuación se presenta un cuadro resumen con los efectos netos del anteproyecto de norma secundaria de calidad de agua. Los cuadros resumen (cuadro 28 y 29) presentan el impacto neto (diferencia entre beneficios y costos) derivados de la aplicación del anteproyecto de la norma secundaria de calidad de agua de riego en el sector agropecuario de la cuenca. Las cifras presentadas representan el impacto económico por hectárea asociada a un determinado tramo de los ríos Maipo y Mapocho.

Cuadro 28. Resumen del impacto económico debido a la aplicación de la norma secundaria de calidad de agua de riego en el sector agrícola en el río Maipo

	MA-TR-10	MA-TR-20	MA-TR-30	MA-TR-40	MA-TR-50	MA-TR-60
Beneficios						
Fertilización Fosforada	12.148	27.271	33.469	0	0	0
Cambio rubro (Hortaliza -Hortaliza)	0	0	59.580	59.580	59.580	59.580
Cambio rubro (Hortaliza -Cultivo anual)	0	0	1.612.807	1.612.807	1.612.807	1.612.807
Total de beneficios	12.148	27.271	1.705.856	1.672.387	1.672.387	1.672.387
Costos						
Costo fertilización Nitrogenada	0	816	606	0	237	0
Costo habilitación de suelos	26.161	26.161	26.161	26.161	26.161	26.161
Total costos	26.161	26.977	26.767	26.161	26.398	26.161
EFFECTO TOTAL	-14.013	294	1.679.089	1.646.226	1.645.989	1.646.226

Fuente: Elaboración propia, según datos publicados por ODEPA (2005), ODEPA (2005) y BSI (2005) .

Cuadro 29. Efecto económico para el río Mapocho

	MP-TR-10	MP-TR-20	MP-TR-30
Beneficios			
Fertilización Fosforada	0	9.669	7.190
Cambio rubro (Hortaliza -Hortaliza)	0	59.580	59.580
Cambio rubro (Hortaliza -Cultivo anual)	0	1.612.807	1.612.807
Total de beneficios	0	1.682.056	1.679.577
Costos			
Costo fertilización nitrogenada	0	4.135	5.794
Costo habilitación de suelos	0	26.161	26.161
Total de costos	0	30.296	31.955
EFFECTO TOTAL	0	1.651.760	1.647.621

Fuente: Elaboración propia, según datos publicados por ODEPA (2005), ODEPA (2005) y BSI (2005) .

7. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA DE METODOLOGÍAS DE ANÁLISIS COSTO – BENEFICIO

Los estudios con los cuales se comparó metodología corresponden a los siguientes:

1- Análisis general del impacto económico social: Plan de descontaminación para el área circundante a la fundición Caletones de la división El Teniente de Codelco – Chile. (CONAMA, 1996): La cuantificación de los beneficios se realizó por intermedio de valoración indirecta (determinación del costo de una vida y su productividad diaria). Se estimó los beneficios sociales por la disminución del impacto medioambiental a través de la medición de variabilidad de la tasa de morbilidad, beneficios agrícolas por el mejoramiento de insumos para los rubros ganaderos asociados a la zona, beneficios a los recursos hídricos, materiales varios, turismo y recreación de las zonas adyacentes y la imagen como empresa y como país.

Los costos se identificaron como los derivados de los procesos de control y verificación, costos de operación derivados de las mejoras tecnológicas del plan de descontaminación y finalmente por costos que deben incurrir potenciales rubros que quieran instalarse en la zona.

2- Instrumentos económicos ambientales para la valoración de cuencas hidrográficas. (Eschborn , 2004): El presente estudio utilizó el método de valoración contingente, con el desarrollo de material apoyo (de material educativo). Se planteó un escenario de alternativas de impacto económico bajo tres escenarios de balance hídrico en la cuenca en la que se ubica la ciudad de Estocolmo, Suecia. El estudio realiza una discusión metodológica previa y compara el uso de metodología de valoración tales como: cambios en la productividad de las localidades adyacentes, pérdidas de ganancias, gastos preventivos, precios sombra, diferencias salariales, método del costo de viaje, precios hedónicos y por último el método utilizado por el estudio, el método de la valoración contingente.

3- El valor del mejoramiento de la calidad del agua. (Soutukorva, A. 2001): El método utilizado por el estudio correspondió al del costo de viaje con una variable de asociación de probabilidades según un esquema estadístico aleatorio. El estudio no indica la cantidad de individuos que pueden asistir o no a un determinado lugar, sino por el contrario solo asigna probabilidades a los grupos que pretenden realizar la visita (viaje).

4- Manejo y mejoramiento de la calidad del agua en Australia. (Mckay, J. 2000): El estudio se basa en la aplicación del método de valoración contingente, sin embargo combina elementos de valoración indirecta como la determinación de los costos de enfermedad y la determinación de la conducta de algunos agentes del mercado.

5- Mejoramiento de calidad del agua. (Kruavan, J. 2003): estudio de valoración contingente del río Chao Phraya en Tailandia: El estudio se fundamenta en la utilización de la técnica de la valoración contingente para los tópicos de recuperación de zonas turísticas y zonas adyacentes. Al mismo tiempo indaga en los costos de recuperación de ciertas zonas utilizando técnicas de valoración indirecta (precios hedónicos).

6- Análisis Costo – Beneficio de limpieza del aire en el período 1990 – 2020. (EPA. 2001): La valoración se realizó a través de métodos indirectos estableciendo los costos y beneficios de la disminución de morbilidad y mortalidad, además la evaluación contó con datos de campo surgidos del seguimiento de una muestra constituida por 65 personas.

7- Aplicación de economía ambiental en Chile. (O’ryan, R. 2003): Se presenta como un estudio de casos donde el autor aplica técnicas cuantitativas de Riesgo – Costo y enlaza las técnicas cuantitativas con los instrumentos regulatorios utilizados. El estudio presenta elementos de análisis y toma de decisiones nuevos como son los Análisis de equilibrio parcial y general que derivan en la conformación del modelo “Ecogem - Chile”.

8- Valoración económica del impacto ambiental de las descargas de aguas residuales municipales en ciudad de México. (Gómez, et al. 2002): El estudio se realizó con una combinación de técnicas de valoración indirecta y modela los efectos del reingreso de agua de baja calidad a canales destinados al riego agrícola. Aborda y valora el tema de daños evitados y costos evitados.

9- Análisis Costo – Beneficio de la deforestación en el Amazonas. (Amersen, L. 1997): El estudio determina el valor económico total de las pérdidas derivadas de la deforestación de la región del Amazonas. El valor económico total se divide en valor directo e indirecto. La valoración se sustenta en la determinación de los precios hedónicos asociados a los puntos de la selva del Amazonas estudiados.

8. CONCLUSIONES

1. Si se implementa el anteproyecto de norma estudiado, la calidad del agua de la cuenca Maipo-Mapocho no presentará restricciones graves de uso para el riego agrícola.
2. Se estima que un impacto relevante al mejorar la calidad del agua puede producirse al abrirse la posibilidad de cultivar especies a ras de suelo, las que en la actualidad están restringidas debido a la alta concentración de Coliformes fecales.
3. En algunos tramos del río, la nueva norma podría producir un aumento de costos directos de producción, debido a la disminución del aporte nitrogenado del agua de riego. Por otra parte, en otros tramos, se producirá un beneficio derivado del aumento de fósforo disponible en el suelo al disminuir el aporte de hierro a través del agua.

Estas conclusiones son preliminares debido a que no existe información científica para sustentar los resultados presentados. Por ejemplo, no hay datos sobre relaciones dosis-respuesta frente a una nueva calidad del agua de riego que implica una modificación en los aportes de algunos macro o micronutrientes.

9. BIBLIOGRAFÍA

1. AMERSEN, L. 1997. A Cost –Benefits analysis of deforestation in the Brazilian Amazon. Río de Janeiro, Brasil. 39 p.
2. BOARDMAN, A & Greenberg, D. Cost – Benefits analysis. Segunda edición, USA. Prentice may. 526 p.
3. CADE – IDEPE. 2004. Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad. Santiago, Chile. 201 p.
4. CARVAJAL, C. 2004. Sistemas de aseguramiento de calidad. Memoria Ing. Rec. Nat. Ren. Santiago, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias. 75 h.
5. CNR – JICA. 1999. Estudio para el desarrollo agrícola y manejo de aguas del área Metropolitana. Informe Principal. 220 p.
6. CONAMA. 1996. Análisis general del impacto económico social: Plan de descontaminación para el área circundante a la fundición Caletones de la división El Teniente de Codelco – Chile). 27 p.
7. FAO. 1976. Estudio FAO riego y drenaje 24: Necesidad de agua en los cultivos. Segunda edición, Italia. FAO. 194 p.
8. FAO. 1987. Estudio FAO riego y drenaje 29: La calidad del agua en la agricultura. Primera edición, Italia. FAO. 174 p.
9. EPA. 2001. Análisis Costo – Beneficio de limpieza del aire en el período 1990 – 2020. EPA Science Advisory Board report. Vol 14 (Septiembre 2001): 1 - 90
10. FIELD, B & FIELD, M. Economía ambiental. Tercera edición, Madrid. Mc Graw Hill. 556 p.
11. GIACONI, V. 1995. Cultivo de hortalizas. Undécima edición, Chile. Editorial Universitaria. 337 p.
12. GEOFÚN CONSULTORES. 2001. Estudio integral de optimización del regadío de la tercera sección del río Maipo y valles del Yali y Alhué. Santiago, Chile. 263 p.
13. GÓMEZ, et al. 2002. Valoración económica del impacto ambiental de las descargas de aguas residuales municipales en ciudad de México. IMPTA. Vol 6 (Octubre 2002). 1-12 .
14. GREEN, W.1999. Análisis Econométrico. Tercera edición, México. Prentice hall. 914 p.

15. KOLSTAD, C. 1999. Economía ambiental. Segunda edición, México. Oxford press. 458 p.
16. KRUAVAN, J. 2003. Water Quality improvements: A contingent valuation study of the Chao Praya River. 29 p. Disponible en: <http://203.116.43.77/publications>
17. McKAY, J. 2000. Manejo y mejoramiento de la calidad del agua en Australia. Environment and sustainability 3 (Mayo 2001): 127-143.
18. O'RYAN, R. 2003. Aplicación de economía ambiental en Chile. Programa de gestión y economía ambiental. Santiago, Chile. 30 p.
19. ODEPA. 2001. Agricultura Chilena, rubros según tipo de productor y localización geográfica. Documento de trabajo N° 8. 170 p.
20. ODEPA. 2005. Precios insumos agropecuarios N° 3. Santiago, Chile. 29 p.
21. ODEPA. 2005. Boletín estadístico de comercio exterior silvoagropecuario N° 37 (Enero –Marzo). Santiago, Chile. 22 p.
22. REVISTA AGROECONÓMICO. 2002 – 2003. Fichas técnicas de cultivos.
23. ROSENGRANT, R; RINGLER, C; McKINNEY, P; CAI, X; SÉLLER, A; DONOSO, G. 2000. Integrate economics – hydrologic water modeling at the basin scale: The Maipo River basin. American Journal Agricultural Economics. Vol 24 (Septiembre, 2000): 33-46.
24. SOUTUKORVA, A. 2001. The value of improved water quality. International institute ecological economics. Estocolmo, Suecia. 33 p.
25. URIBE, E; CORONADO, H y PANAYOTOU, T. 2001. La gestión ambiental y competitividad de la industria Colombiana. Harvard University & Universidad de los Andes, Documento de trabajo. Bogotá, Colombia. 137 p.
26. WATTEMBACH, H. 2004. Instrumentos económicos ambientales para la valoración de cuencas hidrográficas. Deutsche Gelleschaft für. Eschborn, Alemania. 200 p.