

CGSA-4 5/1
1/1

**MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS**

**CONVENIO ASESORÍA DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS
ORDEN DE TRABAJO N° 3/2001**

INFORME FINAL PRIMERA ETAPA

OCTUBRE 2001

DIRECCION GENERAL DE AGUAS
Centro de Información Recursos Hídricos
Área de Documentación

Ramón Downey, Consultor

**INFORME
PRIMERA ETAPA
CONVENIO ASESORÍA DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS
SR. RAMÓN DOWNEY
ORDEN DE TRABAJO N° 3/2001
8.09.01- 10.10.01**

Objetivo General

El objetivo general, de la Orden de Trabajo N° 2 de este convenio de asesoría, es definir los efectos económicos, en la agricultura, asociados a la reducción de la calidad del agua en cauces naturales superficiales incluyendo aspectos del deterioro de la calidad de aguas subterráneas y de la salinización de suelos.

El estudio se realizará en dos etapas cuyos objetivos y resultados esperados son los siguientes:

Alcances de la Primera Etapa:

Objetivo:

Identificar los principales problemas que genera en la producción agrícola, en Chile, la reducción de la calidad del agua en cauces naturales superficiales, incluyendo aspectos del deterioro de la calidad de aguas subterráneas y de la salinización de suelos, y definir cuales son sus principales efectos económicos en la actividad agrícola.

Resultados:

a.- Definición de los principales problemas que genera en la actividad agrícola, en Chile, el deterioro de la calidad del agua en cauces superficiales, incluyendo aspectos del deterioro de la calidad de aguas subterráneas y de la salinización de suelos.

Efectos esperables del deterioro, de acuerdo al tipo de contaminantes, en los diferentes productos agrícolas y cuantificación de los mismos a nivel unitario, según la investigación y publicaciones disponibles en Chile y el extranjero. Entre otros se consideraran los siguientes:

- Reducción de calidad de productos
- Reducción de rendimientos
- Problemas en mercados de los productos agrícolas, especialmente los internacionales

b.- Identificar principales efectos económicos de los problemas relacionados con la calidad del agua y la salinización de suelos, desde el punto de vista del proceso productivo en la agricultura y de la comercialización y exportación de productos agrícolas.

- Cambios en el valor del producto
- Reducción de rendimientos
- Reducción de precios por calidad (manchas, calibre, etc.)
- Aumentos de costos de producción y manejo
- Aumento en costos de operación
- Costos adicionales de mantención y operación de equipos de riego tecnificado por aumento de la salinidad del agua
- Costos adicionales de control de salinización de suelos.
- Aumento de costos de manejo de productos
- Problemas de acceso a mercados:
 - No acceso a mercados
 - Costos de manejo y certificación

Segunda Etapa:

Objetivo:

Definir y estimar indicadores de los impactos económicos, derivados de problemas relacionados con la calidad del agua superficial incluyendo aspectos de la calidad del agua subterránea y de la salinización de suelos, en la actividad agrícola.

Resultados:

a.- Marco conceptual para construir indicadores de los impactos económicos, derivados de problemas relacionados con la calidad del agua superficial incluyendo aspectos de la calidad del agua subterránea y de salinización de suelos, en la productividad y rentabilidad de la agricultura.

- Problemas relacionados a la reducción de rendimientos
- Problemas relacionados a la calidad
- Costos adicionales por manejo de equipos de riego
- Costos adicionales por control de salinización

b.- Marco conceptual para estimar impactos relacionados con la calidad del agua en el comercio exterior, con especial referencia al caso de las exportaciones de frutas y hortalizas.

- Regulaciones internacionales (Normas ISO 14000, BPA, otras normas)
- Diferencias de precio
- Diferencias por volumen exportable
- Costos de manejo y certificación de productos

c.- Definición de casos más relevantes de deterioro de calidad del agua y salinización, con base a la información disponible en la DGA y otras fuentes, para analizar impacto económico.

d.- Sobre la base de dichos casos estimar el impacto económico global de problemas relacionados con la calidad del agua en la agricultura, con especial referencia a las exportaciones agrícolas.

1.- Definición de los principales problemas que genera en la actividad agrícola, en Chile, el deterioro de la calidad del agua.

1.1.- Principales problemas de calidad del agua de riego en Chile

En las aguas superficiales y subterráneas, utilizadas para el riego en Chile, es posible detectar problemas que derivan tanto de circunstancias naturales como de la acción del hombre. Las naturales derivan de las particulares condiciones de la conformación geológica y el clima de cada región. Las segundas o antrópicas, derivan de la recepción en los cursos de agua y napas, de desechos fecales, principalmente, y de residuos industriales líquidos. En general, la contaminación antrópica se debe a la carencia de plantas de tratamiento adecuadas en todo el país, situación que actualmente se está revirtiendo. Aunque los efectos de ambos tipos de contaminación se combinan en la realidad, vale la pena hacer esta distinción para comprender mejor el origen de los problemas y los cursos de acción para resolverlos.

Los problemas derivados de causas naturales o generados por elementos inorgánicos se refieren, principalmente, a los niveles de salinidad y la presencia de algunos de los denominados macroelementos, microelementos o iones tóxicos. En la perspectiva de la agricultura en Chile, las contaminaciones más importantes por macro elementos se relacionan con la presencia de sodio, cloruros y sulfatos, y entre los microelementos los principales contaminantes detectados son arsénico, boro, cloro, y cobre.

Como ya se mencionó, debido a las particulares condiciones de clima y conformación geológica, en Chile es posible encontrar una variedad de características químicas de las aguas en su estado natural. Es así que en las regiones del norte debido a su gran riqueza mineral es posible encontrar aguas de altos tenores salinos y trazas en elevada concentración de algunos de los elementos.

En el valle mas al norte del país, el valle del río Lluta, es posible encontrar altas concentraciones de boro, alto sodio porcentual, y una concentración total de sales, que en el inicio del valle ya introduce limitaciones en los cultivos y a lo largo del curso de este, debido al mismo uso agrícola, se concentran más aún más algunas sales y iones. Sumado a lo anterior uno de sus afluentes, el río Azufre, presenta altas concentraciones de sulfatos lo que le confiere una reacción o pH extraordinariamente

bajo. Finalmente en el río Lluta mismo, en la parte que tiene uso agrícola, también hay una presencia de cloruros, sulfatos y boro.

Si continuamos avanzando hacia el sur encontramos con el valle del río San José que recibe un aporte mayoritario del Río Lauca, el cual tiene sus orígenes en el altiplano, se presenta un tenor salino bastante aceptable, pero estas aguas están un poco excedidas en fluoruros.

Continuando hacia el sur, el otro curso importante es el río Loa, donde la problemática es aun mas compleja que los anteriores. En este río, inicialmente se encuentran altas relaciones porcentuales de sodio, acompañadas de altos niveles de cloruros, boro, arsénico y litio. Esta situación va agravándose en el curso del río por el uso agrícola de las aguas, lo cual implica una mayor concentración de sales y de diferentes elementos.

Los dos valles importantes que siguen al sur, que corresponden a los Ríos Copiapó y Huasco, no presentan mayores complejidades salvo que hay efectos concentradores de salinidad en el curso del río llegando a tenores bastante altos en la parte final de los sectores de cultivo.

Luego, teniendo en cuenta la extensión de la contaminación, es necesario trasladarse al Río Maipo, donde a pesar de no tener una conductividad o nivel de salinidad limitante, se encuentran altos contenidos de sulfatos que exceden en muchas ocasiones a las normas de agua potable y riego, pero sin efectos notables.

Si continuamos al sur, el otro problema de origen no antrópico es el de las concentraciones de cobre en la subcuenca del Cachapoal asociada a la riqueza regional de este metal.

En lo que se refiere a contaminaciones antrópicas el problema de las contaminaciones fecales y residuos industriales afecta a un gran número de los cursos de agua del país. Entre los más importantes por su impacto en las aguas de riego debe mencionarse, en primer lugar, los Ríos Maipo y Mapocho que riegan la Región Metropolitana. Pero también es importante esta contaminación en los Ríos Aconcagua, Cachapoal, Claro, Maule y Putagán, por citar algunos. Aunque de menor importancia en riego, también vale la pena mencionara Río San Pedro , que riega los suelos de San Pedro de Atacama, donde un tiempo atrás se presento una epidemia de cólera.

Asimismo, un problema que es común a muchos cursos de agua menores, inclusive canales, es la contaminación con aguas servidas de pequeños poblados e industrias, especialmente agroindustrias. Al respecto cabe señalar que aun es frecuente el vertido de agua residuales o servidas y la instalación de casetas sanitarias sobre ríos, esteros y canales riego. Entre otros casos, de contaminación antrópica muy focalizada, vale la pena mencionar la contaminación del Embalse Rungue con sulfatos y fierro por la industria Refimet que estuvo a punto de afectar el área regada por dicho embales. Felizmente dicha industria dejó de operar.

Otra contaminación antrópica importante, que deriva de la actividad agrícola, es la que se produce en el caso de los nitratos y pesticidas, la cual afecta especialmente a las aguas subterráneas. Su distribución es amplia en todas las áreas con cultivos intensivos como los hortofrutícolas. Como se discutirá más adelante este tipo de contaminación al igual que la contaminación con materias fecales no afecta negativamente la productividad y costos de la agricultura. Sin embargo, por sus efectos en la salud humana puede afectar el acceso a mercados de los productos agrícolas especialmente en el caso de las exportaciones.

En lo que sigue se tratará de identificar los principales impactos en la actividad agrícola de los diferentes tipos de contaminaciones sobre las que hay antecedentes en Chile. En primer lugar se discutirán los efectos de la contaminación con aguas servidas, los niveles de salinidad y de diferentes iones en la agricultura.

1.2.- CONTAMINACION CON AGUAS SERVIDAS

El problema de las contaminaciones con aguas servidas está presente en una gran cantidad de cursos de agua naturales y artificiales. Entre otros ya se mencionaron casos como los Ríos San Pedro, Aconcagua, Mapocho, Maipo, Cachapoal, Claro, Maule y Putagán.

La contaminación con aguas servidas incluye tanto la contaminación fecal como los residuos industriales líquidos especialmente en el caso de las grandes ciudades. En el caso de Chile la contaminación fecal predomina en el caso de las aguas servidas y en lo que sigue este será el tema central.

El tema de este tipo de contaminaciones presenta grados diversos que van de unos pocos miles de coliformes fecales por cada 100 ml, como es caso del canal el Carmen, derivado del Canal San Carlos, región Metropolitana, hasta algunos millones de coliformes fecales por 100 ml, como es el caso del Río Mapocho y del Canal Mallarauco, el cual deriva sus aguas del río Mapocho después de recibir los aportes del Zanjón de la Aguada que como es sabido recibe gran parte de las aguas servidas del gran Santiago. El río Maipo tampoco está ajeno a esta situación debido a que en su curso recibe descargas de aguas servidas como son las de San José de Maipo Puente Alto, Buin y Talagante, para destacar sólo las mas importantes, y luego la contaminación se hace especialmente crítica cuando recibe los aportes del Río Mapocho. Esta situación se empezará a revertir una vez que entren en funcionamiento las plantas de tratamiento de aguas servidas del Gran Santiago.

Este tipo de contaminación con aguas servidas que derivan del uso doméstico se mide a través de los coliformes fecales, los cuales son habitantes normales del tracto digestivo del hombre y también de otros animales de sangre caliente. La norma es de que la cantidad de coliformes no debe ser superior a 1000 por cada 100 ml.

1.2.1. Riesgos de las contaminaciones fecales.

La experiencia indica que al utilizar directamente aguas residuales de ciudades para regar, las plantas no sufren efectos negativos y al contrario hay algunos positivos. Sin embargo, hay impactos negativos en la salud de los consumidores, por diseminación de las enfermedades distribuidas por las aguas, como son las denominadas entéricas o que se encuentran en el intestino de seres humanos y algunos animales de sangre caliente.

Como enfermedades entéricas comunes se encuentran el *Vibrio cholerae*, que produce el cólera, la *salmonella typhi* que produce la tifoidea, *Shingella spp*, productor de la chingelosis, los productores de la amebiasis o disentería amebiana, el virus productor de la hepatitis B y numerosos parásitos intestinales como platelmintos y nematelmintos.

Todo esto ha llevado a incluir en las normativas de agua de riego un límite de coliformes fecales igual a 1000 por cada 100 ml. Esto es especialmente importante en especies de hortalizas y frutales menores cuyo aporte comestible se desarrolla a ras de tierra, a fin de minimizar el riesgo de la transmisión de parásitos y enfermedades.

1.2.2.- Riesgo económico asociado a la contaminación con aguas servidas.

Como se dijo anteriormente la contaminación fecal de las aguas por si sola no produce efectos negativos en las plantas regadas con ellas, sino por el contrario es conocido el hecho que hasta hace algunos años el área que abastecía de productos hortícolas al gran Santiago por su cercanía y gran fertilidad era el sector de Pajaritos y en la actualidad el sector regado del Valle de Malleauro presenta una excelente fertilidad.

Como ya se mencionó el principal riesgo se asocia con la salud de las personas. Durante la epidemia de cólera en Chile a principios de los 90 el cultivo de una mayoría de las hortalizas fue prohibido en una serie de comunas de la Región Metropolitana que riegan con aguas servidas y que incluyen las principales áreas hortaliceras que abastecen el Gran Santiago. Esto afectó seriamente a muchos agricultores que tuvieron que abandonar sus cultivos habituales y poner otros menos rentables y que ellos desconocían.

Más importante, puede ser el efecto sobre las exportaciones de frutas y hortalizas, que en el futuro muy próximo estarán sujetas a normas de producción que incluyen severas restricciones de tipo ambiental y particularmente se refieren a la calidad del agua usada en el riego y en los procesos agroindustriales. Los países que están más avanzados en aplicar estas normas son los de la UE y Estados Unidos que son los principales compradores de fruta chilena.

1.3.- EFECTOS DE LOS NIVELES DE SALINIDAD.

1.3.1.- Antecedentes generales

La fuente original de la cual provienen naturalmente las sales del agua, son los minerales primarios que conforman las rocas y otros materiales. Durante la etapa de interemperización química de estos materiales, se liberan diferentes formas de sales que luego contienen tanto los suelos que se originan como las aguas que por ellos escurren o se filtran a las napas bajo el suelo.

Las sales que contiene un suelo pueden estar en forma libre ,como eflorescencias salinas, que son sales cristalizadas que le dan un color característico según la sal predominante (blanquecina por ej.). Estas se encuentran en forma iónica ocupando el complejo de intercambio de la parte coloidal del suelo , la cual corresponde a la fracción arcilla, y en disolución en el agua que ocupa el espacio poroso.

El contenido de sales en un suelo, está en equilibrio dinámico con las condiciones de humedad que derivan de los aportes de agua por la lluvia y del riego y los aportes de la napa freática y las condiciones de sequedad que derivan de los procesos evapotraspirativos.

Los suelos, no cultivados ni regados, en cualquier región presentan un grado de salinidad en equilibrio con la precipitación, En regiones húmedas con precipitaciones elevadas (superiores a 500 mm/año), las sales de suelo han sido lavadas en profundidad, no hay eflorescencias salinas, la solución del suelo presenta muy bajo contenido de cationes y en el complejo de intercambio éstos han sido saturados preferentemente por iones hidrógeno, lo que le otorga una reacción ácida (pH menor a 6.0).

En regiones intermedias con lluvias entre 150 a 500 mm/año, los suelos presentan un grado de salinidad aceptable para muchos cultivos. Pueden aparecer eflorescencias salinas libres durante el proceso de secado y desaparecer durante el de mojado. Los cationes ocupan una parte del complejo de intercambio, y el pH de los suelos tiende a ser neutro (pH 7).

Al incorporarse al riego, los equilibrios iniciales se alteran. Aunque el agua de riego contiene sales, por lo general su concentración es bastante menor que la que se presenta en el suelo, y por lo tanto, el agua que percola arrastra sales, siempre que el drenaje natural de los suelos sea adecuado. En consecuencia el contenido de sales libre y del complejo de intercambio de los suelos originales se ven disminuidos y llegan a un equilibrio con la salinidad del agua, al terminar los procesos de mojado, es decir, al finalizar un riego. La concentración salina de los suelos va en aumento durante el proceso de secado, al evaporarse el agua retenida en el suelo, por el proceso de evapotranspiración, que se invierte al comenzar un nuevo proceso de mojado.

En los suelos con drenaje restringido, sin embargo, no hay posibilidad de que las sales se muevan en profundidad y la aplicación de agua mediante el riego aumenta el

contenido de sales. La evaporación concentra las sales y va limitando severamente la posibilidad de cultivos, y hasta puede limitarlos del todo.

En zonas áridas y semiáridas, existe una estrecha relación del drenaje impedido, en cualquier grado, con niveles de alta salinidad aún cuando la calidad del agua de riego sea buena y tenga un bajo tenor salino. El problema es aún mas grave en los casos como el Valle del Lluta, la cuenca del Loa y, en menor grado, la del San Pedro, en las que existe un alto contenido salino total y de algunos microelementos, como el boro, que en concentraciones altas presenta una toxicidad para muchos vegetales.

La naturaleza de las sales del suelos depende de la composición iónica de la solución que llegue a ese suelo. Para el caso de suelos bajo riego, está será el agua. Las aguas de los ríos y pozos varían grandemente en su contenido salino y en su composición iónica, ella depende de los materiales que atraviesen en su curso.

Existen diferencias en la solubilidad de las sales presentes en el agua, mientras las sales que contienen combinaciones de sodio, cloruros y sulfatos presentan una alta solubilidad, las que contienen calcio y magnesio tienen solubilidad limitada por lo que los iones precipitan y pasan a formar parte de las eflorescencias o de las partículas sólidas del suelo.

1.3.2.- Efectos de la salinidad en los cultivos

Las plantas absorben el agua a través de la pared celular. desde el espacio poroso que las circunda. Esta absorción es sin inversión de energía por parte de la planta. El agua pasa desde el suelo hacia la raíz y desde allí hacia la atmósfera, siendo los responsables de estos movimientos las diferencias de gradientes de Potencial Hídrico entre el suelo (o solución suelo) y el tejido celular. El agua se moverá por gradientes, entre el mayor a menor potencial

En el tejido de las plantas, el potencial del agua celular es la resultante de los potenciales osmótico y de presión, mientras que en el suelo influyen el potencial gravitacional(por acción de los suelos) y osmótico (por acción de las sales). Las partículas del suelo, por acción de fuerzas de adhesión y cohesión, que ejercen sobre el agua que ocupa el espacio poroso, opondrán una resistencia para el flujo de agua hacia las plantas, la cual es más pequeña cuanto más agua contenga el suelo.

La resistencia al flujo aumenta, especialmente, con el mayor contenido de sales en la solución suelo, al disminuir el gradiente Hídrico Total entre el agua del suelo y la de la raíz, por fuerzas osmóticas, por cuanto la pared celular de las raíces actúa como una membrana semipermeable.

En consecuencia, el principal efecto directo de la salinidad suelo es que disminuye la cantidad de agua disponible si lo comparamos con un suelo normal. Este efecto va aumentando fuertemente a medida que la extracción de agua por el vegetal va

concentrando las sales en la solución del suelo, y los vegetales comienzan a sufrir déficit de agua bastante antes que en suelos sin tan alto grado salinidad, es lo que se denomina sequía fisiológica. Estos sucesivos estreses van reduciendo la tasa de crecimiento y afectando la productividad de los cultivos.

El grado de resistencia que presentan los diferentes vegetales a las condiciones salinas, está estrechamente relacionado con la concentración iónica de las células. Mientras mayor sea ésta (caso de plantas ya adaptadas a las condiciones de las cuencas de los ríos Lluta, Loa y San Pedro), mayores posibilidades tienen las raíces de crear gradientes con el agua del suelo. La absorción de agua se detiene cuando las concentraciones entre célula y suelo se igualan y la planta se marchita y muere.

Se han establecido diversas relaciones empíricas entre la presión osmótica de las soluciones y la concentración de sales en ellas. Una de estas la elaboró Richards propone una relación empírica basada en la conductividad eléctrica de la solución. La conductividad presenta la ventaja que es de fácil determinación y es un análisis de rutina en aguas y suelos para conocer su estatus salino. La ecuación que la sustenta es válida dentro del rango de salinidad en que se desarrollan las plantas.

$$PO = 0,36 \times CE$$

P.O. = Presión osmótica en atmósferas.
C.E. = Conductividad eléctrica en milimhos/cm.

1.3.3.- Efectos indirectos

La textura del suelo esta determinada por la distribución de las fracciones arena, limo y arcilla. Las partículas pequeñas tienen una gran superficie específica o superficie por unidad de peso. En el caso de la ortmorillonita, arcilla dominante en áridas y semiáridas, la superficie específica puede alcanzar a 800 m²/gr. En su superficie las micelas arcillosas tienen cargas de tipo negativo en donde electrostática se adsorben cationes, los que pueden ser intercambiados. La proporción en que se encuentran los distintos cationes en el complejo de intercambio varía y depende de la composición del agua de riego. Cuando las aguas tienen una alta proporción de sodio en la fracción coloidal del suelo, este ión dominará, al tener el sodio propiedades dispersantes, y el suelo no tendrá una estructura adecuada generando problemas con la aireación y penetración del agua al suelo.

1.3.4.- Tolerancia a las sales

Las plantas tienen diferentes tolerancias a las sales, la que es determinada por los mecanismos fisiológicos ya mencionados. Los problemas de salinidad tienen consecuentemente efectos en los rendimientos debidos principalmente a la dificultad para obtener el agua necesaria aún en condiciones de alta humedad. En el cuadro

siguiente se relaciona para cada especie, el efecto que tendrá la salinidad, medida a través de la conductividad eléctrica, en los rendimientos totales .

Además de los efectos mencionados también se presentan problemas de calidad de los frutos que pueden hacer mucho mayor el impacto económico.

Cuadro N° 1 Tolerancia a la Salinidad de Cultivos Seleccionados en Relación con su Rendimiento Potencial y la Salinidad del Agua de Riego

Cultivos Extensivos	100%		90%		75%		50%		0%	
	Ecx	Eca	Ecx	Eca	Ecx	Eca	Ecx	Eca	Ecx	Eca
Cebada	8	5.3	10	6.7	13	8.7	18	12	28	19
Algodón	7.7	5.1	9.6	6.4	13	8.4	17	12	27	18
Remolacha Azucarera	7	4.7	8.7	5.8	11	7.5	15	10	24	16
Sorgo	6.8	4.5	7.4	5	8.4	5.6	9.9	6.7	13	8.7
Trigo	6	4	7.4	4.9	9.5	6.3	13	8.7	20	13
Trigo duro	5.7	3.8	7.6	5	10	6.9	15	10	24	16
Soya	5.5	3.3	5.5	3.7	6.3	4.2	7.5	5	10	6.7
Caupíes	4.9	3.3	5.7	3.8	7	4.7	9.1	6	13	8.8
Maní	3.2	2.1	3.5	2.4	4.1	2.7	4.9	3.3	6.6	4.4
Arroz	3.3	2	3.8	2.6	5.1	3.4	7.2	4.8	11	7.6
Caña de Azucar	1.7	1.1	3.4	2.3	5.9	4	10	6.8	19	12
Maíz	1.7	1.1	2.5	1.7	3.8	2.5	5.9	3.9	10	6.2
Lino	1.7	1.1	2.5	1.7	3.8	2.5	5.9	3.9	10	6.7
Frijoles	1	0.7	1.5	1	2.3	1.5	3.6	2.4	6.3	4.2
Hortalizas										
Zapallito Italiano	4.1	3.1	5.8	3.8	7.4	4.9	10	6.7	15	10
Remolacha Azucarera	4	2.7	5.1	3.4	6.8	4.5	9.6	6.4	15	10
Zapallo	3.2	2.1	3.8	2.6	4.8	3.2	6.3	4.2	9.4	6.3
Brócoli	2.8	1.9	3.9	2.6	5.5	3.7	8.2	5.5	14	9.1
Tomate	2.5	1.7	3.5	2.3	5	3.4	7.6	5	13	8.4
Pepino	2.5	1.7	3.3	2.2	4.4	2.9	6.3	4.2	10	6.8
Espinaca	2	1.3	3.3	2.2	5.3	3.5	8.6	5.7	15	10
Apio	1.8	1.2	3.4	2.3	5.8	3.9	9.9	6.6	18	12
Col	1.8	1.2	2.8	1.9	4.4	2.9	7	4.6	12	8.1
Papas	1.7	1.1	2.5	1.7	3.8	2.5	5.9	3.9	10	6.7
Maíz Dulce	1.7	1.1	2.5	1.7	3.8	2.5	5.9	3.9	10	6.7
Camote	1.5	1	2.4	1.6	3.8	2.5	6	4	11	7.1
Pimenton	1.5	1	2.2	1.5	3.3	2.2	5.1	3.4	8.6	5.8
Lechuga	1.3	0.9	2.1	1.4	3.2	2.1	5.1	3.4	9	6
Rábano	1.2	0.8	2	1.3	3.1	2.1	5	3.4	8.9	5.9
Cebolla	1.2	0.8	1.8	1.2	2.8	1.8	4.3	2.9	7.4	5
Zanahoria	1	0.7	1.7	1.1	2.8	1.9	4.6	3	8.1	5.4
Frejoles	1	0.7	1.5	1	2.3	1.5	3.6	2.4	6.3	4.2
Nabo	0.9	0.6	2	1.3	3.7	2.5	6.5	4.3	12	8

Cultivos Forrajeros	100%		90%		75%		50%		0%	
	Ecx	Eca	Ecx	Eca	Ecx	Eca	Ecx	Eca	Ecx	Eca
Agropiro	7.5	5	9.9	6.6	13	9	19	13	31	21
Agropiro Crestado	7.5	5	9	6	11	7.4	15	9.8	22	15
Pasto de Bermuda	6.9	4.6	8.5	5.6	11	7.2	15	9.8	23	15
Cebada Forrajera	6	4	7.4	4.9	9.5	6.4	13	8.7	20	13
Ballico	5.6	3.7	6.9	4.6	8.9	5.9	12	8.1	19	13
Loto	5	3.3	6	4	7.5	5	10	6.7	15	10
Falaris Bulbosa	4.6	3.1	5.9	3.9	7.9	5.3	11	7.4	18	12
Ftusca Alta	3.9	2.6	5.5	3.6	7.8	5.2	12	7.8	20	13
Agropiro	3.5	2.9	6	4	9.8	6.5	16	11	28	19
Veza de Hoja Estrcha	3	2	3.9	2.6	5.3	3.5	7.6	5	12	8.1
Sorgo de Sudan	2.8	1.9	5.1	3.4	8.6	5.7	14	9.6	26	17
Elimo	2.7	1.8	4.4	2.9	6.9	4.6	11	7.4	19	13
Caupí	2.5	1.7	3.4	2.3	4.8	3.2	7.1	4.8	12	7.8
Loto de Los Pantanos	2.3	1.5	2.8	1.9	3.6	2.4	4.9	3.3	7.6	5
Cañamo	2.3	1.5	3.7	2.5	5.9	3.9	9.4	6.3	17	11
Esfaeofisa	2.2	1.5	3.6	2.4	5.8	3.8	9.3	6.2	16	11
Alfalfa	2	1.3	3.4	2.2	5.4	3.6	8.8	5.9	16	10
Eragrostis	9	1.3	3.2	2.1	5	3.3	8	5.3	14	9.3
Maíz	1.8	1.2	3.2	2.1	5.2	3.5	8.6	5.7	15	10
Trébol de Alejandría	1.5	1	3.2	2.2	5.9	3.9	10	6.8	19	13
Dactilo Ramoso	1.5	1	3.1	2.1	5.5	3.7	9.6	6.4	18	12
Cola de Zorra	1.5	1	2.5	1.7	4.1	2.7	6.7	4.5	12	7.9
Trébol Rojo	1.5	1	2.3	1.6	3.6	2.4	5.7	3.8	9.8	6.6
Trébol Híbrido	1.5	1	2.3	1.6	3.6	2.4	5.7	3.8	9.8	6.6
Trébol Blanco	1.5	1	2.3	1.6	3.6	2.4	5.7	3.8	9.8	6.6
Trébol Fresa	1.5	1	2.3	1.6	3.6	2.4	5.7	3.8	9.8	6.6
Cultivos Frutales										
Palma Datilera	4	2.7	6.8	4.5	11	7.3	18	12	32	21
Pomelo	1.8	1.2	2.4	1.6	3.4	2.2	4.9	3.3	8	5.4
Naranja	1.7	1.1	2.4	1.6	3.3	2.2	4.8	3.2	8	5.3
Durazno	1.7	1.1	2.2	1.5	2.9	1.9	4.1	2.7	6.5	4.3
Damasco	1.6	1.1	2	1.3	2.6	1.8	3.7	2.5	5.8	3.8
Vid	1.5	1	2.5	2.7	4.1	2.7	6.7	4.5	12	7.9
Almendro	1.5	1	2	1.4	2.8	1.9	4.1	2.8	6.8	4.5
Ciruelo	1.5	1	2.1	1.4	2.9	1.9	4.3	2.9	7.1	4.7
Zarzamora	1.5	1	2	1.3	2.6	1.8	3.8	2.5	6	4
Boysenberry	1.5	1	2	1.3	2.6	1.8	3.8	2.5	6	4
Fresa	1	0.7	1.3	0.9	1.8	1.2	2.5	1.7	4	2.7

1) Fuente: Estudio de Riego FAO N°29 y Mass y Hoffma (1977) y de Mass. Los valores deben tomarse únicamente como guía de Tolerancia entre los grupos de cultivos. Los valores de tolerancia absoluta varían con el clima, Condiciones de suelo y prácticas de cultivo. En los suelos con yeso natural, las plantas pueden tolerar aproximadamente 2,0 dS/m de salinidad en el suelo (Ecx), por encima de los valores dados. La salinidad del agua (Eca), sin embargo, permanece igual a la mostrada en la tabla.

2) La E_{cx} , es la salinidad promedio del agua del suelo contenida en la zona radicular, representada por la conductividad eléctrica del extracto de saturación de su suelo, expresada en decisiémenes por metro (dS/m) a 25 C. La E_{ca} , es la conductividad eléctrica del agua de riego, expresada también en dS/m a 25 C. La relación entre la salinidad del agua y del suelo ($E_{cx} = 1,5 E_{ca}$), supone una fracción de lixiviación entre 0,15 y 0,20 y un patrón de extracción de agua normal. Lo mismo se ha supuesto en las directrices de la tabla 1.

3) El rendimiento potencial de 0%, implica la salinidad máxima teórica (E_{cx}), con la cual las plantas dejan de crecer.

1.4.- Cloro

1.4.1.-Antecedentes generales

El cloro es un alógeno, que se encuentra en abundancia bajo las formas de cloruro de sodio, cloruro de potasio, cloruro de magnesio y cloruro de calcio, en el agua salina y en los lechos marinos.

El cloro está distribuido extensamente en la naturaleza y, de acuerdo a la bibliografía, es aportado en grandes cantidades a los suelos por las lluvias siendo mayoritariamente de origen marino. En la situación particular de nuestro país, en la zona norte está presente en formaciones naturales, los salares, desde donde es fácil que pueda llegar a otros lugares debido a que éste es uno de los iones más solubles que existe y es fácilmente lixiviado.

En condiciones medias de pluviometría los aportes por aguas lluvias suelen ser del orden de 20 kg Cl/ha/año, pero, en regiones muy lluviosas y cerca de las riberas las cantidades pueden ser mucho mayores. El cloro no absorbido por los minerales, es uno de los iones más móviles del suelo donde es fácilmente lavado por las lluvias. La acumulación del Cl, sin embargo, puede producirse a través del riego con aguas ricas en Cl y en suelos mal drenados. En nuestro país, en los suelos regados con los ríos Lluta, Loa y San Pedro el cloro llega principalmente en la forma cloruros, que es el ion que se encuentra presente en el agua, es precisamente el agua de riego.

1.4.2.- Desinfección con Cloro

El cloro ha sido extensamente utilizado como agente desinfectante para aguas potables, siendo empleado como gas cloro, hipoclorito de sodio o hipoclorito de calcio. Además del uso en agua potable, la DOH del Ministerio de Obras Públicas, en los años 1992 y 1993, lo utilizó para desinfectar aguas de riego de los Canales El Carmen, Unidos de Buin y Huidobro, debido a la epidemia de cloro que afectó al país,

principalmente en la región Metropolitana y la zona norte. Recientemente el Canal Reina Norte, derivado del río Colina, piensa hacer esta misma desinfección, produciéndose cierta resistencia por ambientalistas, los cuales objetan adicionar este elemento. Ello ha sido rebatido por el hecho que de acuerdo a la química del cloro este termina finalmente como cloruro y el incremento de cloruros es mínimo, a veces menos del 1%.

1.4.3.- El cloro en la planta

El cloro es un elemento cuyo carácter esencial ha sido confirmado solo en los últimos años. Los investigadores han encontrado grandes dificultades para probar de una manera irrefutable la utilidad del cloro sobre el crecimiento los vegetales, sobre todo a causa de la dificultad de situarse rigurosamente en un medio privado de cloro, debido a su omnipresencia.

La mayor parte de las especies vegetales absorben Cl muy fácilmente y en cantidades importantes, según la riqueza en solución del suelo.

La absorción de Cl está sobre todo, bajo control metabólico siendo influida por la temperatura y los inhibidores fisiológicos (Mengel y Kirkby, 1982). Los movimientos, del cloro son fáciles en los tejidos vegetales a través de las membranas que limitan el citoplasma, pero, en el caso de una elevada absorción de Cl, éste se acumula en el citoplasma.

El ión Cl es necesario para la fotosíntesis. Algunas investigaciones realizadas sobre los cloroplastos aislados han demostrado que Cl es necesario a nivel de la transferencia de electrones del agua a la clorofila.

El cloro tiene otros papeles en las plantas. El ión Cl favorece la hidratación y frena la transpiración por acción sobre la turgescencia de las células subestomáticas. En numerosas especies se ha comprobado que los aportes de cloro se acompañan a menudo de grandes absorciones de iones, contenidos de agua en los tejidos más elevados y una reducción de materia seca en relación a las plantas que reciben aportes de SO.

Sin embargo, la necesidad fisiológica de Cl parece muy baja en proporción a las cantidades encontradas normalmente en las plantas, que van de 0,15 a 1,5%.

En principio, el cloro no plantea problemas de deficiencia en las condiciones agrícolas. Los cultivos reciben cantidades suficientes a través de las lluvias y sobre todo a través de las aplicaciones de Cl no intencionales en los abonos, Sin embargo, conviene señalar que el papel del cloro ha sido puesto de manifiesto sobre cultivos tropicales (palmera de aceite y cocotero).

1.4.4.- Toxicidad

El problema opuesto, el de la toxicidad Cl, es mucho más importante.

Los estudios sobre las relaciones entre la riqueza del medio en cloro y la acumulación de cloro en la planta, así como también su efecto depresivo en el crecimiento son numerosos y han sido recopilados por Eaton (1966). A partir del umbral de toxicidad, estas relaciones son prácticamente lineales. Los umbrales críticos de toxicidad son sin embargo muy variables según las especies y los muestreos practicados (de 0,5 a 2,0 % y hasta 4% de Cl).

Los síntomas de toxicidad de Cl han sido descritos por diversos autores. Las hojas presentan un color más claro, producto de la reducción del contenido de pigmentos y manchas o necrosis marginales así como un principio de enrollamiento. Las hojas son también más pequeñas.

Las plantas han sido clasificadas según su resistencia al cloro (plantas clorófilas), o por su sensibilidad (plantas cloróforas). Las clorófilas son frecuentemente halófilas como el apio, remolacha, espinaca, espárrago, col, etc. Las plantas indiferentes al cloro pueden soportar determinadas concentraciones en Cl, entre ellos los cereales y particularmente en cebada, después el maíz y en un menor grado el trigo.

Las papas son más bien cloróforas y un elevado contenido de Cl del suelo provoca una reducción del contenido de materia seca de los tubérculos. Por último, las plantas sensibles al cloro comprenden numerosos cultivos especiales, los frutos de hueso, la mayor parte de los agrios, frutos pequeños, el tabaco, y numerosas coníferas. Numerosas legumbres son también cloróforas.

Los riesgos de toxicidad del Cl- dependen por lo tanto de la especie, más o menos tolerante, de la acumulación de cloro a causa de las aplicaciones no intencionadas (agua de riego y fertilizantes) y a causa del bajo lavado de Cl relacionado con un mal drenaje.

Las soluciones se sitúan sobre todo, en la elección de cultivos y en el control de contenido de cloro del agua de riego y del lavado de las cantidades así producidas. Para ciertos cultivos muy sensibles, deben evitarse abonos que contengan cloruros. Por último, es preciso no olvidar que el estiércol contiene frecuentemente cantidades importantes de cloro.

En el cuadro siguiente se presenta tanto el umbral de tolerancia al cloro de diferentes especies como el impacto sobre los rendimientos, expresado en la relación que existe entre el aumento del % de Cl sobre el umbral y el % de caída en los rendimientos

Cuadro N°2 Tolerancia al cloro de especies de cultivo. Listada en orden de incremento de la tolerancia.

Especie	Máxima concentración de Cloro sin pérdida de rendimiento (umbral) mol/m ³	% de decrecimiento de rendimiento a concentración de cloro, sobre el umbral pendiente % por mol/m ³
Frutilla	10	3,3
Poroto	10	1,9
Cebolla	10	1,6
Zanahoria	10	1,4
Rábano	10	1,3
Lechuga	10	1,3
Nabo	10	0,9
Arroz	30	1,2
Pimienta	15	1,4
Trébol frutilla	15	1,2
Trébol rojo	15	1,2
Trébol alsike	15	1,2
Trébol ladino	15	1,2
Maíz	15	1,2
Lino	15	1,2
Papa	15	1,2
Camote	15	1,1
Poroto ancho	15	1,0
Berza o col	15	1,0
Cola de zorro de pradera	15	1,0
Apio	15	0,6
Trébol	15	0,6
Pasto de huerto	15	0,6
Caña de azúcar	15	0,6
Trébol grande	20	1,9
Espinaca	20	0,7
Alfalfa	20	0,7
Pepino	25	1,3
Tomate	25	1,0
Brócoli	25	0,9
Limón-Naranja	30	1,6
Centeno	30	0,6
Pasto sudan	30	0,4
Trigo	35	0,4
Betarraga	40	0,9

Cuadro N°2 Continuación

Especie	Máxima concentración de Cloro sin pérdida de rendimiento (umbral) mol/m ³	% de decrecimiento de rendimiento a concentración de cloro, sobre el umbral pendiente % por mol/m ³
Festuca	40	0,5
Calabacines arbeja	45	0,9
Arbeja	50	1,2
Centeno	55	0,8
trigo, duro	55	0,5
Cebada forrajera	60	0,7
Trigo	70	0,7
Sorgo	70	1,6
Pasto Bermuda	70	0,6
Remolacha azucarera	75	0,7
Algodón	75	0,5
Trigo forrajero	75	0,4
Cebada	80	0,5

1.5. BORO

El Boro es otro de los denominados macro elementos u oligoelementos o elementos trazas. Una de sus particularidades, con respecto a otros elementos contaminantes, es que el Boro tiene además un papel de elemento esencial en el desarrollo de los vegetales.

1.5.1.- Geoquímica del Boro

Los principales minerales que contienen Boro ,son los siguientes:

- Boratos hidratados: Borax $B_4O_7Na_2 \cdot 10H_2O$: Colemanita $B_6O_{11} Ca_2 \cdot 5 H_2O$.
- Boratos anhidros: Ludwigita Mg_2FeBO_5 .
- Borosilicatos Turmalina , Axinita.

La distribución del boro en las rocas es diferente a otros microelementos, debido a su predominancia en las rocas sedimentarias.

Respecto a su presencia en el agua del mar el boro es el doceavo elemento en cuanto a abundancia en dicho elemento siendo su presencia en el mar mas importante que en las rocas ígneas . En las rocas sedimentarias se encuentra en forma de borosilicatos, asi como en los minerales arcillosos y bajo formas de boratos cálcicos o magnésicos en los depósitos salinos.

1.5.2.- Presencia de Boro en aguas naturales de la I y II Región en Chile

Al igual que en el caso del arsénico, es en las dos primeras regiones del país donde se ha encontrado una presencia más significativa de este contaminante natural. A lo cual debemos agregar casos de pozos con altos contenidos de este elemento en el valle de Copiapó.

A modo de referencia y para una mejor interpretación de los de lo expuesto a continuación, debe decirse que los límites establecidos por la norma chilena NCH 1.333 para el B como "requisitos de calidad del agua para diferentes usos" es de 0,75 mg/l,. La NCH 409 para Agua Potable no establece límite.

En la Primera Región, se ha encontrado Boro en las aguas de la cuenca del río Lluta, especialmente en el río Azufre, siendo esta del orden de la indicada a continuación:

Río Azufre	35,00	mg/l
Río Colpitas	30,00	mg/l
Río Putre	20,00	mg/l
Río Socoroma	1,00	mg/l
Lluta en Molinos	16,32	mg/l
Lluta en Poconchile	15,55	mg/l
Lluta en Panamericana	19,89	mg/l

La situación del Río Loa en cuanto a las concentraciones de boro no es mejor, siendo los valores medios para algunos puntos del río Loa los que se indican a continuación

- Río Loa en Lequena:	4,83	mg/l
- Río Loa en Alcantarilla Conchi	8,72	mg/l
- RíoLoa antes junta con Salado	12,93	mg/l
- Río Salado antes de Sifón Ayquina	9,31	mg/l
- Río Loa en Yalquincha	13,89	mg/l
- Río Loa en Quillagua	30,61	mg/l
- Río Vilama en canal Vilama	12,74	mg/l
- Río San Pedro en Cuchabrache	2,52	mg/l

1.5.3. Boro en las plantas

El Boro a diferencia de otros elementos o iones contaminantes es esencial para el desarrollo de las plantas, siendo el margen entre deficiencia y exceso bastante estrecho

El boro es absorbido por las plantas en la forma de ácido bórico no dissociado. Diversos autores han demostrado que la absorción de boro por las plantas no es un proceso metabólico.

El boro es relativamente poco móvil en las plantas y, en general, el contenido de boro se eleva de las partes inferiores a las superiores. El transporte del boro desde las raíces a los tallos se haría en forma pasiva.

Las funciones del boro en la fisiología vegetal aun no están del todo aclaradas, aunque aquellas relacionadas con las deficiencias han recibido una gran atención. El exceso de B es un problema en los Ríos antes mencionados pero de Santiago al Sur se presenta deficit.

Un aspecto general de la deficiencia de Boro es el mal desarrollo de los tejidos meristemáticos tanto a nivel de las extremidades de las raicillas como de los brotes. Guypta estimó que la actividad meristemática requiere del suministro regular de boro. La razón de esta necesidad no es bien conocida pero se ha demostrado que el Boro es necesario para la síntesis de bases nitrogenadas

1.5.4.- Exceso de boro

El boro puede llegar a ser tóxico para numerosas especies en contenidos de la planta poco superiores a aquellos juzgados necesarios o correctos. La relación de los contenidos tóxicos con los normales es claramente menor para el B que para los demás elementos nutritivos.

Los síntomas de toxicidad son casi los mismos sobre la mayor parte de los cultivos. Consisten en una necrosis progresiva de las hojas que empieza por un amarillamiento de las extremidades y de los bordes de las hojas, que progresa entre los nervios laterales hacia la nervadura central y evoluciona con un oscurecimiento y posterior necrosis y las hojas caen prematuramente. Todo ello afecta la producción en calidad y cantidad llegando a impedir totalmente el desarrollo en algunos casos

Los cultivos difieren en cuanto a su tolerancia al exceso de boro. Los cultivos pueden ser clasificados según las tres categorías siguientes y por orden de tolerancia creciente en cada grupo según Bradford (1956):

- cultivos más sensibles: agrios, cerezo, melocotonero, higuera, fresa], viña;
- cultivos semitolerantes: cebada, guisante, zanahoria, maíz, patata, col, avena,
- apio, alfalfa, lechuga, tabaco, tomate;
- cultivos tolerantes: nabo, remolacha forrajera, azucarera, algodón, alcachofa y espárragos.

Los suelos en los que el exceso de boro puede presentarse, son aquellos derivados de los sedimentos marinos, los suelos de las regiones áridas o semiáridas, los suelos derivados de una roca madre rica en boro.

Ciertas prácticas de cultivo pueden promover exceso, entre las que cabe destacar sobre todo el riego con aguas demasiado ricas en boro. En California, por ejemplo se ha comprobado que los cultivos sensibles podían presentar signos de exceso con un agua conteniendo 1 ppm de B y los cultivos más tolerantes con un agua con 10 ppm de B (Reisenauer, 1973).

Las aplicaciones elevadas de B bajo forma muy soluble pueden provocar excesos en los cultivos siguientes menos exigentes en B o poco tolerantes. Sin embargo en presencia de dosis no demasiado altas, la toxicidad es poco probable salvo en casos de aplicación no uniforme con zonas localizadas de exceso.

A partir de soluciones nutritivas, Oertli y Roth (1969), han investigado las cantidades del medio en B que correspondían a una reducción del rendimiento y a síntomas de toxicidad. En soja una ligera toxicidad se presentaba con 2 ppm de B mientras que en algodón aparecía con 10 ppm y en remolacha azucarera con más de 40 ppm. El contenido de boro en la planta podría alcanzar 200 ppm en la soja y solamente 30 ppm en el caso de la remolacha azucarera.

Los medios de lucha consisten sobre todo en controlar las aguas de riego, practicar un encalado moderado para disminuir la asimilabilidad y, en algunos casos, una fertilización nitrogenada intensiva.

La toxicidad puede afectar prácticamente a todos los cultivos, al igual que en el caso de la salinidad, la tolerancia es amplia. Los síntomas de toxicidad aparecen, primero en hojas viejas, con manchas amarillas o secasen los bordes y ápices de las hojas.

A medida que el exceso se acentúa, las manchas se extienden por los espacios intervenales hacia el centro. Obviamente la toxicidad afecta finalmente los rendimientos.

La mayor parte de las tablas de tolerancia se basan en trabajos realizados por EATON en 1944, utilizando la técnica de cultivos en arena. Estas tablas reflejan la tolerancia a AM cual aparecen los síntomas de toxicidad, y abarcan 1 a 3 temporadas de riego.

Los antecedentes de EATON han sido revisados por MASS (1984). La tabla que a continuación se reproduce parcialmente, incluye esta revisión.

Los valores indicados corresponden a la concentración a la que se manifiesta una reducción en los rendimientos.

Cuadro N°3 Tolerancia de los distintos cultivos al Boro.

Muy sensibles	0	0,5mg/1t	Moderadamente sensibles 1-2 mg/1t
Limonero			Pimiento, Aji Arveja Zanahoria Rabanito Papas Pepino
Sensibles	0,50-0,75	mg/1t	Moderadamente tolerantes 2-4 mg/1t
Pomelo			Lechuga
Naranja i			Repollo
Caju			Apio
Higuera			Maíz
Cebolla			Alcachofa
			Melón
	0,75-1,0	mg/1t	Tolerantes 4,0-6,0 mg/lt
Camote			Tomate Alfalfa Beterraga
			Muy tolerantes 6,0-15 mg/1t
			Nabo
			Algodón
			Alcahofa
			Espárragos

Otra tabla similar, preparada por E.V. Maas del U.S. Salinity Lab. De Riverside California, se muestra en el Cuadro N° 4 y entrega resultados similares. Este autor indica que las tolerancias al B varían dependiendo del clima , las condiciones de suelo y las variedades de cada especie.

CUADRO N°4 Tolerancia al boro

Sensibles 0,028 a 0,093 moles boro/m ³ 0,300 a 1,01 mg/l	Semitolerantes 0,093 a 0,19 moles de boro/m ³ 1,01 a 2,06 mg/l	Tolerantes 0,19 a 0,37 moles de boro/m ³ 2,06 a 4,00 mg/l
Pomelo	Poroto lima	Zanahoria
Palto	Camote	Lechuga
Zarzamora	Pimiento	Col
Damasco	Calabaza	Nabo
Durazno	Avena	Ceboll
Cerezo	Sorgo	Haba
Persimon	Maíz	Alfalfa Beterraga
Higuera	Trigo	Remolacha
Vid	Cebada	Palma datilera
Manzano	Olivo	Esparrago
Pera	Arveja	
Ciruelo	Rábano	
Poroto	Tomate	
Alcachofa	Algodón	
Nogal	Papa	
Nogal ecano		

1.6.- Sodio.**1.6.1.- Geoquímica del sodio.**

El sodio es un elemento ampliamente repartido en la corteza terrestre. Pertenece al Grupo IA denominado de los metales alcalinos, entre los cuales el sodio es el más abundante representando un 2,6% en peso seco de la corteza terrestre. El otro metal abundante lo constituye el potasio con una presencia de un 2,4 %.

Los metales alcalinos no se encuentran libres en la naturaleza debido a que se oxidan con mucha facilidad y se encuentran formando los mas diversos compuestos o como parte de los minerales. En los procesos de intemperización son fácilmente liberados. El agua que fluye a través de rocas magmáticas son al final mineralizados y contienen principalmente carbonatos, cloruros y silicatos de metales alcalinos.

En la región norte por su naturaleza son abundantes los minerales o compuestos de sodio, razón por la cual las aguas naturales son ricas en este elemento lo cual les confiere características especiales.

Aparte de su presencia en las formaciones geológicas y en las aguas, el sodio puede llegar a las aguas naturales con el uso doméstico, las cuales se enriquecen en este ión por el uso de cloruro de sodio para sazonar los alimentos. Asimismo, hay detergentes con altos contenidos de este elemento. Las aguas aunque sean tratadas en plantas de tratamiento quedan con concentraciones de este elemento mayores que el agua utilizada con fines potables.

1.6.2.- Efectos del Sodio

El sodio no es considerado un elemento esencial para el desarrollo de los vegetales por lo que esta sección se referirá solamente a los excesos de este elemento en las plantas.

El exceso de sodio puede afectar tanto directamente a las plantas como indirectamente a través del suelo, y ambos efectos están relacionados con una alta concentración de Na en el agua de riego. Cuando el exceso de Na afecta al suelo deteriora la estructura de este, creando problemas de aireación, infiltración, permeabilidad etc.

Cuando el sodio llega al suelo es adsorbido por las partículas del suelo y específicamente por la fracción coloidal de este. Si el Na adsorbido sobrepasa el 15 % (PSI), se provoca una dispersión de las partículas del suelo deteriorándose la estructura, lo que trae como consecuencia una disminución de los espacios porosos, especialmente los macroporos dificultando el intercambio gaseoso suelo atmósfera y la penetración, con lo cual la planta recibe menos agua y las raíces reducen tasas respiratorias y crecimiento de las plantas.

Los síntomas de la toxicidad aparecen en primer término en los ápices de las hojas, presentándose como una quemadura o necrosis en los bordes de las hojas mas viejas y a medida que avanza se extiende a las zonas intervenales. La toxicidad del sodio está relacionada con un desbalance en el metabolismo del calcio.

El efecto de los excesos de sodio son caídas en los rendimientos y en el tamaño o calidad de los frutos.

Las distintas especies y variedades tienen diferentes grados de tolerancia a altos niveles de sodio

La bibliografía recomienda también un nivel de 200 mg/l como límite seguro sin embargo nos inclinamos a dejar solo la expresión porcentual debido a que es mas interesante bajo el punto de vista del riego esta que la concentración absoluta.

Las aguas analizadas en Chile, tanto las naturales como la potables, e incluso las que poseen alguna contaminación se encuentran muy por debajo del porcentaje antes citado, de modo que cuando se sobrepase lo establecido como límite se debería a contaminación antrópica.

Respecto a la modificación de los suelos por efectos de altos contenidos de sodio en las aguas de riego el Laboratorio de Salinidad de Riverside plantea la siguiente fórmula empírica

$$PSI = \frac{100(-0,0126+0,01475RAS)}{1+(-0,0126+0,01475RAS)}$$

$$RAS = na/ Ca \times Mg/2$$

Se ha elaborado un listado de tolerancia de las plantas al sodio porcentual la cual se reproduce a continuación

Muy sensibles 15% PSI	Sensible 15-40% PSI	Mas de 40% PSI
Algodón germinación	Zanahoria	Alfalfa
Maíz	Lechuga	Betarraga
Pomelo	Caña de azúcar	Algodón
Naranja	Rábano	
	Sorgo	
	Tomate	

1.7.- ARSÉNICO.

1.7.1. Presencia de As en aguas naturales de la Primera y Segunda Regiones de Chile.

Es en las dos primeras regiones del país donde se ha encontrado principalmente la presencia de este contaminante natural debido a las particularidades de las conformaciones geológicas de las áreas donde se forman los Ríos.

A modo de referencia y para una mejor interpretación de lo expuesto debemos decir que los límites establecidos para las normas chilenas son 0,05 mg/l para la el agua potable , NCH 409 y 0,1 mg/l para el agua de riego, NCH 1.333, valores que corresponden a normativas o recomendaciones internacionales.

En la Primera Región, se ha encontrado As en las aguas de la cuenca del río Lluta, especialmente en el río Azufre, siendo esta del orden de 0,1 a 0,4 ppm; las aguas que abastecen a Arica e Iquique presentan vestigios o nada de As (Klohn, 1972). Se ha informado presencia de As en el río Camarones entre 1,0 y 1,5 ppm (Razmilic, 1980)

En la Segunda Región, el agua que abastece de agua potable a la ciudad de Antofagasta, presenta alrededor de 0,8 ppm de As, debido principalmente al aporte de los afluentes del río Toconce. Esta situación ha hecho que en Antofagasta y Calama se haya instalado una planta de abatimiento de Arsénico a fin de dejar el agua apta para la bebida y actualmente se está instalando una planta similar en Chiu-Chiu. En general todas las fuentes de agua de la zona tiene abundancia de arsénico.

Más hacia el Norte, la Dirección General de Aguas determinó que los niveles de As en el río Loa, han aumentado entre 1969 y 1978, en cantidades significativas a lo largo de su curso, alcanzando sus mayores valores en Quillagua.

La presencia de As en las aguas superficiales y subterráneas del Norte Grande, se encuentra asociada al volcanismo cuaternario del altiplano, como lo demuestran estudios de Henríquez, 1978a, 1978b; Henríquez y Gischler, 1981) En ellos se indica, que el volcanismo intenso que se desarrolló en el borde occidental del altiplano, aún muy activo, se refleja en flujos de lava recientes, géiseres fumarolas, vertientes termales y otras manifestaciones geotérmicas, que se extienden desde el extremo sur del Perú hasta el norte de Argentina y Chile.

El envenamamiento crónico por As debido a consumo de aguas arsenicadas no es un problema nuevo en el mundo. En Chile, existió hidroarsenicismo endémico, en la ciudad de Antofagasta al beber la población agua potable con un promedio de 0,8 ppm de As, por más de 10 años (Borgoño y Greiber, 1972; Zaldívar, 1974; Puga et al., 1973). Situación que fue revertida, tal como se cito anteriormente con la planta de tratamiento construida para abatir el arsénico

Una persona que bebe un promedio de dos litros de agua al día, al año consume 730 litros de agua y, si ésta tiene un promedio de 0,8 mg/l de As, la ingestión de este elemento per capita al año es de 584 mg, cantidad superior en 16 veces del máximo anual permitido (36,5 mg a nivel internacional por la OMS; luego la población de Antofagasta ingirió durante 10 años 5.840 mg de As. Fuentes et al. (1974), detectaron arsenicismo crónico en una población de Antofagasta.

1.7.2. Contenido de As en las plantas.

El As se encuentra en el reino vegetal, variando sus concentraciones entre 0,01 y 5 ppm base peso seco. Las plantas que crecen en suelos contaminados con As, generalmente presentan mayor cantidad de este elemento que las que crecen en suelos normales. Se han informado valores de 0,5 ppm de As base peso fresco e

inferiores a 5 ppm base peso seco para plantas no contaminadas y concentraciones mucho más altas para plantas contaminadas. Sin embargo, algunas plantas no contaminadas presentan niveles tan altos como las contaminadas o que crecieron en suelos contaminados con As. Estas discrepancias pueden explicarse por la variación natural de las especies, por los niveles de As disponible y las condiciones de crecimiento (CMBEEP, 1977)

En New Jersey (U.S.A.), se determinó el contenido de As en hortalizas que se cultivaron en suelos que recibieron aplicaciones de arsenato de plomo de 280, 560 y 1.121 Kg/ha (Cuadro 3.3.2.); la absorción de As varió entre las distintas especies analizadas y su cantidad aumentó al incrementar la aplicación de As.

Cuadro N°5 Concentración de Arsénico en plantas cultivadas con arsenato de plomo.

Especie	Arsénico en hortalizas cultivadas en suelos tratados con arsenato de plomo, ppm.		
	280 kg/ha	500 kg/ha	1.221 kg/a
Lechuga	0,08	0,10	0,12
Berenjena	Trazas	Trazas	Trazas
Tomate	Trazas	Trazas	Trazas
Zanahoria	Trazas	Trazas	Trazas
Brócoli	Trazas	Trazas	Trazas
Pimiento morron, (sin semillas)	Trazas	Trazas	Trazas
Rábano (parte aérea)	0,17	0,33	0,60
Rábano (raíces)	0,02	0,17	0,22
Betarraga, parte aérea, (estado juvenil)	0,08	0,08	0,13
Betarraga, raíces (estado juvenil)	0,08	0,08	0,12
Porotos	0,00	Trazas	Trazas

McLean et al 1944)

El Instituto de Investigaciones de la Universidad Técnica de Antofagasta, efectuó análisis de hortalizas producidas en esta ciudad, que fueron regadas con agua con un contenido de As promedio de 0,7 ppm, y las compararon con similares hortalizas cultivadas en otros lugares del país, de cuyas aguas e riego no se tienen antecedentes de presencia de As (CHACA -,los-resultados obtenidos se presentan en el cuadro 2.3.

Cuadro N°6. Hortalizas producidas en Antofagasta y otras localidades del país.

MUESTRA	Arsénico ppm
Lechuga Antofagasta	1,50
Lechuga Potona Antofagasta	1,55
Lechuga Milanesa Antofagasta	2,20
Lechuga Arica	Trazas
Tomate de la Chimba Antofagasta	0,48
Tomate Ovalle	0,00

Pastenés, 1982

1.7.3.- Toxicidad de arsenicales en plantas.

Thompson y Batjer (1950), encontraron relación entre daños por perforación y defoliación y el contenido de As, determinando que aplicaciones de sulfato de Zn o nitrógeno o combinación de ellos, reducían la defoliación. Lange (1968), encontró clorosis seguida de necrosis en hojas de frutales de carozo y frecuente defoliación al ser tratados con MSMA. Rumberg et al. (1960) informaron de pérdida de clorofila inducida por DSMA en *Digitaria* spp, tratadas a 24 o 29° C, siendo el daño mayor a temperaturas altas después de 10 días. Los arsenicales, aparentemente actúan a través o sobre un sistema enzimático, inhibiendo el crecimiento, produciendo clorosis, pardeamiento gradual, deshidratación y muerte. (CMBEEP, 1977

Woolson (1973), demostró que la sensibilidad al As entre distintas plantas, disminuyó en el siguiente orden: poroto verde, poroto lima, espinaca, col, tomate y rábano. Con 100 ppm de As los cultivos sobrevivieron y con 500 ppm de As las plantas no crecieron. Una clasificación de hortalizas y pequeños frutales, según su tolerancia al As soluble en agua, ha sido elaborada por diversos investigadores (Liebig, 1966; Woolson, 1973; Jacobs et al., 1970; Walsh et al., 1977 y es la siguiente:

Muy tolerantes:

Esparrago, papa, tomate, zanahoria, tabaco, zarzamora, vid, frambuesa roja, arroz, pasto Sudán y repollo.

Moderadamente tolerantes:

Fresa, maíz dulce en suelos medios y pesados, Betarraga y calabaza.

Baja o ninguna tolerancia:

Cebolla pepino, alfalfa, legumbres, maíz dulce y fresa en suelos arenosos.

Como las semillas de algodón, pueden ser posible fuente de consumo humano, por la harina y aceite que de ellas se obtiene, e indirectamente a través de la leche, carne de vacuno y huevos de gallina, alimentadas por estas semillas, The National Agricultural Chemicals Association, U.S.A. estableció 0,5 ppm de As como límite de tolerancia para estas semillas (Schauer, 1970). Duggan (1978), establece 3,5 ppm de arsenato de Ca (As combinado como As_2O_3) como límite de tolerancia para la comercialización de diversos productos vegetales, entre ellos zanahoria.

1.7.4.- Efectos Económicos del Arsénico.

La bibliografía no especifica claramente si a las concentraciones que es posible encontrar en Chile hay efectos reales de la reducción de los rendimientos. La situación es menos clara aún debido a que en las cuencas donde se presenta el arsénico en concentraciones elevadas concurren otros efectos de iones o salinidad. Es así como en la cuenca del loa, donde hay una fuerte incidencia de arsénico, además concurren una alta salinidad y altos contenidos de boro.

Además de los efectos adversos que pudieran haber sobre las plantas, está el problema de la concentración en éstas del arsénico y sus efectos en salud publica. Esto debe considerarse para medir los efectos económicos tanto por la incidencia del arsenismo en la salud de la población como por los costos que debe incurrirse para abatir este elemento en el agua. Por otra parte, si el contenido alto de As se da en cultivos de exportación ello puede traer problemas con las regulaciones de otros países.

1.8. Sulfatos

El problema del contenido de sulfatos en el agua de riego, en Chile, se circunscribe a la hoya del río Maipo y a algunos pozos en la zona norte.

El problema del Maipo esta dado por la configuración geológica de la cuenca. Hay que recordar que uno de los ríos que conforma al Maipo se denomina Yeso, justamente por la riqueza de este mineral.

La EPA no establece ninguna recomendación para la concentración de este ión en las aguas de riego.

En el valle del Maipo, Chile, se han encontrado concentraciones de alrededor de 300 mg/l en aguas de riego sin que se hayan notado efectos nocivos. Otra razón para su inclusión es que en el sector rural es común el consumo de agua de los canales

1.8.1 Sulfatos en el suelo.

Los sulfatos en el suelos los cuales provienen del material parenteral y en la mayoría de los casos es el caso de los suelos de riego cuando el agua porta cantidades considerables de este ion.

En suelos en condiciones reductoras, es decir con falta de oxígeno como son suelos de mal drenaje, el azufre en condiciones extremas puede presentarse como ácido sulfhídrico, lo cual le da el clásico olor a huevos podridos

1.8.2 Azufre en las plantas

El azufre en las plantas y animales es constituyente de dos aminoácidos esenciales, la cisteína y la metionina, de la coenzima A y de las vitaminas tiamina y biotina.

El azufre es absorbido en la forma de ion sulfato, que es el que se encuentra en las aguas y en los suelos normales. Para su absorción no tiene competencia con otros iones. La selectividad de la absorción de azufre depende de la concentración que este se encuentre en la solución del suelo. Otra forma de absorción es como anhídrido sulfuroso.

El ion sulfato una vez en la planta es reducido, siendo de inmediato incorporado a compuestos orgánicos de los cuales el más estable y más simple es la cisteína.

1.8.3.- Excesos de sulfatos

Para un cierto número de cultivos se ha encontrado una sensibilidad específica de las plantas a altas concentraciones de sulfatos. La evidencia disponible parece indicar que esta susceptibilidad está asociada a limitaciones en la absorción de calcio por las plantas, favoreciéndose la absorción de sodio y potasio. Por la falta de calcio hay problemas en las paredes celulares y se reduce el crecimiento. Expresado en otros términos hay un desbalance catiónico en las plantas.

El otro efecto de los sulfatos, se asocia con los efectos de la salinidad, es decir, aumentando la concentración osmótica y dificultando la absorción de agua.

2.- Efectos esperables del deterioro, de acuerdo al tipo de contaminantes, en los diferentes productos agrícolas

2.1.- Efectos en los rendimientos y calidad de los productos

De acuerdo a lo discutido en la sección anterior, el principal efecto de la contaminación con diferentes elementos el principal efecto del deterioro de la

calidad de las aguas, ya sea por los altos niveles de salinidad o el exceso de algunos iones en particular, es la caída en los rendimientos y en la calidad de los productos.

Esto se debe muchas veces a que se dificulta la absorción de agua por la planta en general, pero también hay elementos que tienen efectos particulares en el metabolismo y el desarrollo de diferentes partes de los vegetales como son el sistema radicular y las paredes celulares o la generación de determinados compuestos que son básicos para su desarrollo.

Los efectos del deterioro en la calidad de las aguas van desde impedir totalmente el crecimiento de las plantas sensibles, como es el caso del impacto del Boro en muchas especies en el valle del Río Lluta, hasta diferentes grados de impacto en los rendimientos y en la calidad de los productos, como es el caso de la salinidad en diferentes valles.

El otro factor, que debe tenerse muy en cuenta, es que la sensibilidad de las plantas frente a la salinidad o la presencia excesiva de algunos iones depende también de las especies y en algunos casos de las variedades. Esto, por una parte, deja algunas alternativas a los productores. Por otra, agrega a la actividad agrícola una restricción adicional junto con el clima y la calidad de los suelos. O sea, las alternativas de una producción rentable pueden llegar a ser muy escasas por la calidad del agua, como es el caso del Río Lluta que se hace más evidente al compararlo con el Valle de Azapa.

La información sobre los efectos de la calidad del agua no es muy abundante como se pudo comprobar en la discusión anterior. Sin embargo, hay procesos como es el nivel total de salinidad y el exceso de cloro en que hay antecedentes bastante detallados sobre el impacto en diferentes especies de diferentes grados de deterioro. En el caso de otros iones, como es el Boro, el Sodio, el Arsénico y el Cobre la información se limita a la clasificación de las especies de acuerdo a sus grados de tolerancia o el establecimiento de un límite expresado en concentración máxima por unidad de volumen o en porcentajes del agua de riego o el suelo.

En lo que se refiere al impacto sobre la calidad de los productos agrícolas que deriva de altos niveles de salinidad o la presencia excesiva de algunos iones la información es más limitada aún. La razón es que lo que se controla experimentalmente es sólo el volumen total de producción por unidad de suelo pero no la calidad de los productos. Sin embargo todos los especialistas consultados en que la caída en el volumen va normalmente asociada a disminuciones en el tamaño de los frutos y su aspecto. Esto tiene importantes consecuencias en el precio final de los productos, especialmente en los mercados internacionales.

Finalmente, es necesario subrayar que en el caso de la contaminación por aguas servidas y de los nitratos, los efectos de la mayor contaminación sobre la

productividad y los costos de la agricultura son positivos. El problema de estos tipos de contaminación es que pueden afectar la aceptación de los productos en los mercados domésticos y especialmente en los internacionales. Este tema se discutirá más adelante al ver los efectos económicos.

3.- Principales efectos económicos de los problemas relacionados con la calidad del agua.

El impacto económico de los problemas relacionados con la calidad del agua tiene relación, principalmente, con cuatro tipos de factores. El primero, se relaciona con la reducción del ingreso en la actividad agrícola ya sea por un menor volumen de producción debido a menores rendimientos o por bajas en los precios unitarios derivadas de una menor calidad. El segundo factor, se relaciona con mayores costos de producción tanto en la producción misma como en el manejo de los productos y otros que derivan del manejo de las aguas de mala calidad. El tercero tiene que ver con el acceso a los mercados de los productos que pueden haber sido contaminados por las aguas y los costos de manejo y certificación de productos contaminados.

3.1.- Cambios en el valor total de la producción

El impacto más evidente de la mala calidad de las aguas de riego en el valor total de la producción es la disminución de los rendimientos por hectárea y, por ende, de la producción total. Este impacto va desde una reducción proporcional manejable hasta la imposibilidad absoluta de desarrollar algunos cultivos. Esto puede llevar a que, como en el caso del Río Lluta, sean muy pocos los cultivos viables y sólo dos o tres los realmente rentables. Más corriente es el caso de reducciones de 20 o 30 % en los rendimientos, como la uva en Copiapó, que determinan que aunque siga siendo rentable el cultivo la pérdida de utilidades sea muy significativa.

El otro impacto en el valor de la producción deriva de una menor calidad de los productos que induce una baja en los precios obtenidos por estos. El caso mas general corresponde a las reducciones de tamaño o calibre que se generan conjuntamente con la reducción en los rendimientos. Ello está poco cuantificado a nivel de experiencias controladas, pero diversas experiencias en lugares con altos niveles de salinidad y cortes de agua en el período de fructificación indican que las pérdidas oscilan entre un 20% y un 60% de la cosecha.

3.2.- Aumentos de costos de producción y manejo

El segundo factor, que afecta el resultado económico de la actividad agrícola son los aumentos en los costos de la actividad agrícola. Ello se debe, primero, a un aumento en los costos de operación de la producción debidos principalmente a los

cuidados que hay que tener en los sistemas de riego y en las medidas correctivas de los excesos de algún ion cuando ello es posible, así como también por el menor vigor de las plantas afectadas que obliga a mayores gastos sanitarios y una reposición más acelerada de las plantaciones.

Segundo, los costos aumentan porque el manejar una cosecha con mayores problemas de calidad siempre resulta más costoso, tanto por los problemas de selección como por la mayor disposición de desechos y los problemas sanitarios de una cosecha de menor calidad.

Tercero, cuando hay problemas de salinización la forma de corregirlos es lavando la tierra lo cual tiene un costo significativo como veremos en la segunda etapa de esta Orden de Trabajo. Asimismo el agua con mayores problemas de salinidad hace necesario limpiar periódicamente los sistemas de riego lo cual también es costoso.

3.3.- Problemas de acceso a mercados

Para un país con vocación exportadora, como es Chile, el que puede resultar siendo el impacto económico más importante del deterioro en la calidad del agua, es el efecto en el acceso de los mercados internacionales y en particular los más grandes como son los Estados Unidos y la Unión Europea. Estos mercados, en los próximos años, a partir del 2003, aumentarán significativamente sus exigencias de tipo ambiental y entre ellas destaca lo que algunos llaman las Buenas Prácticas Agrícolas, pero también tiene otras denominaciones, las cuales se refieren a normas de producción a nivel predial que deberán certificarse para tener acceso a dichos mercados.

Dentro de estas normas tiene particular importancia la calidad de las aguas de riego y las que se utilizan en el procesamiento. Aunque, como se dijo antes, la contaminación con aguas servidas y algunos iones como los nitratos favorece la producción de frutas y hortalizas, el quedar segregado o con problemas de acceso a mercados como el norteamericano y el europeo, puede ser de un costo altísimo no sólo para los productores individuales sino para el país en general.

No debe perderse de vista que este tipo de contaminación está muy presente en casi toda la Región Metropolitana, que es la primera productora de exportaciones hortofrutícolas. Asimismo esta contaminación se produce en muchas áreas de las Regiones V, VI y VII, que son las que siguen en importancia a la Metropolitana como exportadoras. Por otra parte, la prohibición de producir hortalizas con aguas superficiales en diferentes comunas de la RM, como consecuencia de la epidemia de cólera, es un ejemplo cercano de lo que pueden ser los efectos de la falta de acceso a mercados domésticos.

Finalmente, aunque de menor importancia, también hay costos asociados a la producción con aguas servidas que derivan del aumento de los costos de manejo

y certificación de estos productos, especialmente en países en que hay la alternativa de aguas limpias y no tan limpias.

En la Segunda Etapa de este trabajo se cuantificaran, en la medida de lo posible, los impactos económicos del deterioro en la calidad de las aguas.

4.- Conclusiones

4.1.- Los problemas más recurrentes del deterioro de calidad de aguas en Chile son los relativos contaminación con aguas servidas y altos niveles de salinidad total de las aguas. Los problemas de contaminación con iones tóxicos, salvo el Arsénico en general se presentan asociados a niveles altos de salinidad.

4.2.- Los problemas de contaminación con aguas servidas no afectan e incluso favorecen muchas veces la productividad agrícola, pero si se pueden hacer muy graves en la medida que se aumenten las exigencias de aguas de riego limpias en los mercados internacionales.

4.3.- Una parte importante de la contaminación con sales y iones específicos tiene su origen en la contaminación natural por la fuente de donde provienen las aguas y su naturaleza geológica.

4.4.- Las zonas donde hay problemas más evidentes de deterioro en la calidad de las aguas de riego son las Regiones I,II,III, V y VI y la Región Metropolitana. El tipo de deterioro más común es la contaminación con aguas servidas

4.5.- Los efectos en la productividad agrícola de diferentes contaminantes depende no tan sólo de la cantidad de estos que está presente en el agua, sino también de las especies y variedades de cultivos que cultivan con las aguas con taminadas.

4.6.- Los efectos en la productividad agrícola sólo en algunos casos, como es el caso del nivel de salinidad y el Cloro, han sido medidos con cierta exactitud indicando el % en que Afectan los rendimientos.

4.7.- La variable menos medida es como afectan los contaminantes a la calidad de los productos.

4.7.- En muchos casos de contaminación los efectos de unos agentes se mezclan con el impacto de otros, especialmente la salinidad total.

Bibliografía

- 1.- DIRECCION DE RIEGO MOP-INGENDESA **Análisis de Descontaminación y Embalse en Río Lluta 1993**
- 2.- Dirección General de Aguas, AYALA Y CABRERA Y ASOCIADOS LTDA. **Análisis Redes de Vigilancia Calidad Aguas terrestres Estadística Hidroquímica Nacional 1994.**
- 3.- DOMÍNGUEZ V. ALFONSO. **Tratado de Fertilización, Ediciones Mundi Prensa 1997**
- 4.- DOORENBOS J; PRUITT. W: **Las Necesidades de agua de los Cultivos Estudio FAO Riego y Drenaje N°24 1990**
- 5.- FAO **La Calidad del Agua para la Agricultura Estudio FAO Riego y Drenaje N°29 REV 1, 1987**
- 6.- FAO **Informes sobre Temas Hídricos Prevención de la Contaminación del Agua por la Agricultura y a Actividades Afines .1993**
- 7.- FAO/UNESCO **Irrigation and Drainage of Arid lands, in relation to Salinity and Alkalinity 1967**
- 8.- INIA, INACAP, U DE CHILE VI **Simposio sobre contaminación Ambiental Impacto ambiental de metales pesados en Chile. 1994**
- 9.- LOUE. ANDRE . **Los Microelementos en la Agricultura . Ediciones Mundi Prensa. 1989.**
- 10.- MAAS V: **Crp Salt Tolerance**
- 11.- ORGANIZACION MUNDIAL DE LA SALUD . **Guías para la Calidad del Agua Potable 1995**
- 12.- PELCZAR M, CHAN. **EC Elementos de Microbiología mm McGraw Hill 1984**
- 13.- PORTA J: LOPEZ ACEVEDO M. ROQUERO C: **Edafología para la agricultura y el Medio Ambiente. Ediciones Mundi Prensa 1994**
- 14.- RICHARDS L:A: **Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils, Agriculture Handbook N°60. 1954**
- 15.- RODAS A; CHANDUVI F: **Problemática de la degradación de suelos por Salinización en el Valle de Copiapo. FAO 1989.**
- 16.- **Curso de riego con Aguas Salinas La Serena 1995. WHITTEN, K. Gailey, K Davis R, Química general, tercera edición Mc Graw Hill**
- 17.- UNIVERSIDAD DE CHILE. FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS. **Seminario Internacional Presencia de Arsénico en el Ambiente y Su Incidencia en la Salud. 1992**
- 18.- Castillo M. Gabriela. **Aspectos Biológicos de las Aguas Servidas: Riesgos en Salud y Efectos del Tratamiento, Jornadas sobre Uso y Conservación de Recursos Hídricos, Serena Agosto 1991.**
- 19.- Tondreau Francisca. **Contaminación de las Aguas Subterráneas por procesos Agrícolas en Chile, Panorama Económico de la Agricultura**
- 20.- Ríos B Mónica, **Análisis Económico de la Contaminación de Aguas en América Latina: El Caso de Chile**

21.- Fundación Chile. Buenas Prácticas Agrícolas, Agroeconómico N° ,

CENTRO DE INFORMACION DE RECURSOS HIDRICOS



3 5617 00012 1269