

**REPUBLICA DE CHILE
MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS
DIRECCION GENERAL DE AGUAS**

**UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS ECOLOGICAS**

***ANALISIS DEL EFECTO DEL MATERIAL
PARTICULADO EN AGUAS DE RIEGO. I - IX
REGION. ANTECEDENTES PRELIMINARES***

INFORME FINAL

**DEPARTAMENTO DE CONSERVACION
Y PROTECCION DE RECURSOS HIDRICOS**

S.L.T. N° 35

SANTIAGO

MARZO 1996



MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS

**MINISTRO DE OBRAS PUBLICAS
SR. RICARDO LAGOS E.**

**DIRECTOR GENERAL DE AGUAS:
ING. HUMBERTO PEÑA T.**

**JEFE DEPTO DE CONSERVACION Y
PROTECCION DE RECURSOS HIDRICOS:
ING. ANGEL SILVA P.**

**INSPECTOR FISCAL:
QUIM. ROSA SANDOVAL L.**

**PROFESIONALES:
ING. CARLOS SALAZAR M.
ING. ALBERTO MERINO G.**

UNIVERSIDAD DE CHILE

**FACULTAD DE CIENCIAS
DEPTO DE CIENCIAS ECOLOGICAS
JEFE PROYECTO:
M.Sc. IRMA VILA P.**

**PROFESIONALES:
M.Sc. MANUEL CONTRERAS L.
DR. JAIME PIZARRO K.
DR. MIGUEL BRONFMAN A.
DR. CAMEN LUZ DE LA MAZA A.**

**TECNICOS:
VILMA BARRERA S.
HERNAN THIELEMANN V.**

INDICE

	PAGINA
1. INTRODUCCION	1
2. OBJETIVOS	3
3. ALCANCES	4
4. METODOLOGIA GENERAL UTILIZADA	5
4.1 Estaciones de monitoreo	5
4.2 Variables analizadas	5
4.2.1 Parámetros físico-químicos	5
4.2.2 Metales Pesados	8
4.3 Métodos	8
4.3.1 Variables físicas	8
4.3.2 Variables químicas	9
4.4 Metales Pesados	9
4.4.1 Obtención de la fracción disuelta	9
4.4.2 Obtención de la fracción particulada	10
4.4.3 Digestión del material sedimentado	10
4.4.4 Análisis de las muestras	10
5. RESULTADOS	12
5.1 Descripción área estudio	12
5.1.1 Región del Norte Arido	12
5.1.1.1 Río Lluta	12
5.1.1.2 Río San José	13
5.1.1.5 Hoya del río Loa	15
5.1.2 Zona Semiárida	17
5.1.2.1 Hoya del río Copiapó	17
5.1.2.2 Hoya del río Elquí	19
5.1.2.3 Hoya del río Limarí	21
5.1.2.4 Hoya del río Aconcagua	23
5.1.3 Ríos de Régimen Mixto	25
5.1.3.1 Hoya del río Maipo	25
5.1.3.2 Hoya del río Rapel	27
5.1.3.3 Hoya del río Mataquito	29
5.1.3.4 Hoya del río Itata	31
5.1.4 Ríos de la Zona Húmeda	33
5.1.4.1 Hoya del río Imperial	33
5.2 Características de los suelos	35
5.2.1 Características físico-químicas	35
5.2.2 Microelementos en el suelo	42
5.2.2.1 Micronutrientes catiónicos	42
5.2.2.2 Micronutrientes aniónicos	45

5.3	Material particulado	46
5.3.1	Antecedentes generales	48
5.3.2	Transporte de material disuelto y particulado	48
5.3.3	Origen y composición química	49
5.3.4	Influencia estacional	49
5.3.5	Factores que afectan la composición	50
5.3.6	Partículas coloidales	53
5.3.7	Aglomeración de Partículas	54
5.3.8	Mecanismos de transporte	54
5.3.8.1	Oxidos	55
5.3.8.2	Carbonatos y sulfatos	55
5.3.8.3	Materia orgánica	56
5.3.9	Interfase sedimento-agua	56
5.4.	Análisis del rol y alcance de la Norma de Calidad de Agua para Riego	58
5.4.1	Rol histórico de la norma chilena	58
5.4.2	Requisitos del agua para riego	59
5.4.3	Marco de acción y el contexto legal de la protección ambiental en Chile	60
5.4.4	Relación de la norma NCh 1333 con la ley sobre Bases Generales del Medio Ambiente	61
5.4.5	Anexo II	62
5.5	Características físico-químicas de los ríos	64
5.5.1	Parámetros físicos	64
5.5.1.1	Temperatura	64
5.5.1.2	pH	64
5.5.1.3	Conductividad	64
5.5.1.4	Sólidos totales suspendidos	67
5.5.2	Parámetros químicos	67
5.5.2.1	Oxígeno disuelto	67
5.5.2.2	Alcalinidad	67
5.5.2.3	Nitrógeno total Kjeldahl	67
5.5.2.4	Fósforo total Kjeldahl	67
5.5.2.5	Macroelementos Cl ⁻ , CO ₃ ⁼ , HCO ⁻ , Na ⁺	71
5.5.2.6	Análisis Estadístico	71
5.6	Metales Pesados	75
5.7	Toxicidad	86
5.7.1	Arsénico	86
5.7.2	Cobre	86
5.7.3	Manganeso	87
5.7.4	Cadmio	88
5.7.5	Aluminio	89
6.0	DISCUSION Y CONCLUSIONES	91
7.0	REFERENCIAS	99

1. INTRODUCCION

Antecedentes Generales

La calidad del agua natural con fines de riego es un tema de actualidad internacional ya que fundamentalmente ella depende de los componentes químicos disueltos y la influencia que sobre éstos tiene la degradación del material particulado. Las aguas para riego contienen sales minerales en cantidades pequeñas pero significativas, las cuales muchas veces se incrementan por efecto del clima y las actividades humanas. Los componentes químicos se originan por efecto de disolución, intemperización de las rocas y del suelo incluyendo la disolución de calizas, yeso y otros minerales. En el caso específico del uso de las aguas naturales en riego, las sales se incorporan con el agua y permanecen en el suelo mientras el agua se evapora ó es usada por la planta (Ayers and Westcot 1985). El proceso de mineralización de los sistemas acuáticos es dinámico y en él participan varios factores, los cuales en términos generales se describen a continuación.

Hidrología. Los ríos son sistemas lineales que evacúan hacia los océanos el agua caída sobre las masas continentales.

El ritrón se define como la zona que se extiende desde el origen del río hasta el punto en que las temperaturas medias mensuales ascienden a 20°C, las concentraciones de oxígeno son siempre elevadas, la corriente es rápida y turbulenta y el lecho se compone de rocas, piedras o grava, con espacios ocasionales de arena o limo.

El potamón es la zona en la cual las temperaturas medias mensuales ascienden a más de 20°C. Puede haber deficiencias estacionales y diarias de oxígeno disuelto, la corriente es lenta y el lecho del río se compone sobre todo de arena o cieno.

La temperatura y el oxígeno disuelto del agua influyen directamente en la calidad de agua, así como la intervención humana en los cauces fluviales especialmente por canalización y construcción de embalses, generando corrientes reguladas modificando la temperatura y el oxígeno. Los factores más importantes en determinar la calidad del agua, se describen brevemente a continuación

Litología. Un factor determinante en la calidad química del agua en nuestro país, es la litología definida como la calidad de las rocas y otros componentes del suelo. En efecto, muchos de los ríos del norte, especialmente al escurrir sus aguas superficiales, lixivian sales que incrementan su contenido en las aguas, en un proceso creciente. Problemas de esta naturaleza existen en los ríos Lluta, Camarones, Camiña y Loa; más al sur, los ríos Copiapó y Huasco, en pequeña medida. Por lo tanto es

necesario considerar que en Chile, los rangos naturales de metales disueltos en algunos ríos permitirían incluirlos como ríos contaminados en la escala de valores de otras regiones del mundo.

Infiltración de suelos

La entrada de agua en los suelos tiene rangos de velocidad de infiltración entre 3 mm/h hasta 12 mm/h (Ayers y Westcot, 1985). La infiltración es dependiente de la calidad del agua de riego, la textura del suelo, su grado de compactación y las características químicas donde se destaca las propiedades de intercambio de iones del suelo. En función de estas propiedades y como una forma de evaluar la infiltración, la calidad de las sales en el agua, es determinante en la velocidad de infiltración; bajas concentraciones salinas y una proporción mayor que 3:1 entre sodio y calcio, generalmente producen perturbaciones en la velocidad de infiltración.

Contaminación. Los riesgos de contaminación de las aguas con una serie de productos químicos agrícolas, domésticos e industriales se han visto incrementados en los últimos años por el aumento de la actividad minera y agrícola. A esto se añaden los efectos de la intervención en las cuencas tales como la deforestación y la roturación de tierras marginales de las laderas, las cuales aumentan la erosión y el material particulado presente en los ríos, lo que lleva a una rápida modificación en los tramos bajos.

Material Particulado. La orografía, la topografía y la vegetación influyen principalmente junto con las tasas de evapo-transpiración en la calidad natural de las aguas, incrementando la carga de material sedimentario transportado por los ríos y por ende en las aguas utilizadas en el riego. Se ha enfatizado el estudio de los sólidos suspendidos en los ríos ("material particulado"), sin embargo, también ha adquirido interés el rol de este material en sistemas contaminados.

Salinidad

La salinidad es definida con la cantidad total de sales en el agua. Se producen problemas de salinidad, cuando las sales se acumulan en la zona de la raíz en concentraciones tales que disminuyan la cosecha.

Finalmente, la conveniencia del agua para riego está dada por la cantidad y el tipo de sales presentes en ella. Los problemas más usualmente encontrados en relación con la calidad del agua para riego derivan principalmente de la salinidad,

tasas de infiltración del agua y presencia de iones tóxicos asociados generalmente al material particulado. Este último aspecto se discute en detalle a continuación en relación con los resultados encontrados en este estudio.

2. OBJETIVOS

El propósito del presente estudio es la elaboración de un documento técnico, sobre la base del conocimiento científico-técnico actual, que permita a la autoridad competente tomar decisiones apropiadas respecto al rol de la Norma Chilena como instrumento de regulación. Entre los objetivos específicos se señala:

- Conocer el estado actual del conocimiento en relación a la incidencia del material particulado en la calidad del agua para riego.
- Efectuar sobre la base de una revisión exhaustiva un análisis de los aspectos teóricos relativos a los procesos y mecanismos de producción, transporte, depositación y toxicidad de los contaminantes en la fase particulada.
- Proponer recomendaciones preliminares sobre concentraciones máximas de elementos referidas a contenido soluble y contenido total. Para esto debe tenerse en cuenta el contexto de definición de la Norma Chilena.

3. ALCANCES

Los alcances del estudio están enmarcados dentro de las siguientes acciones:

3.1 El ámbito espacial abarca toda el área geográfica donde se desarrolla agricultura (I a IX región), considerando cuencas representativas de la situación existente a lo largo del país.

3.2 Análisis del rol y alcances de la norma de calidad de aguas para riego, considerando el rol histórico de la norma chilena y su relación con el contexto legal de protección ambiental en Chile.

3.3 Análisis del estado actual del conocimiento relativos al rol del material particulado en aguas de riego, con énfasis en aspectos teóricos del intercambio de elementos químicos entre la fase en solución y disuelta, y su efecto sobre cultivos y animales y de éstos sobre la salud pública.

3.4 Sobre la base de la información existente y el desarrollo de mediciones en terreno, se realizará una caracterización de la línea base de los elementos contaminantes en los ríos, en relación a sus características físico-químicas y sus diferentes usos.

4. METODOLOGIA GENERAL UTILIZADA

4.1. Estaciones de monitoreo

Las estaciones de monitoreo se ubicaron en diferentes cuencas hidrográficas (Tabla 1) , siendo éstas seleccionadas como representativas del ámbito espacial involucrado en este estudio. El sitio de emplazamiento de las estaciones se ubicó utilizando como punto de referencia las estaciones limnigráficas de la Dirección General de Aguas (D.G.A, MOP).

Se diseñó un programa de monitoreo, considerando como criterio principal la dinámica temporal de la concentración de sólidos totales suspendidos de cada río (Tabla 2). La Universidad de Chile tuvo la responsabilidad de las campañas realizadas en los meses de septiembre y enero, siendo la Dirección General de Aguas la encargada de ejecutar la campaña de noviembre. Durante la campaña del mes de noviembre se muestrearon solo las estaciones de las regiones I a la VI.

4.2 Variables analizadas

En cada una de las estaciones se analizaron los parámetros que se señalan a continuación:

4.2.1 Parámetros físicos y químicos

- pH
- Temperatura
- Oxígeno disuelto
- Conductividad
- Alcalinidad
- Dureza
- Nitrógeno total
- Fósforo total
- Sólidos totales suspendidos
- Carbonatos
- Bicarbonatos
- Cloruros
- Sulfatos
- Calcio
- Magnesio
- Potasio
- Sodio

Tabla 1. Estaciones de monitoreo.		
Región	Cuencas	Estaciones
I	Lluta	Lluta en Alcerreca Lluta en Chapizca Lluta en desembocadura
	San José	San José antes bocatoma Azapa
II	Loa	Loa en Conchi Loa en Ayquina Loa en Escorial
III	Copiapó	Copiapó en puente Bodega Copiapó en puente Mal Paso Pulido en puente Peña Blanca Copiapó en Lautaro
IV	Elqui	Cochihuaz Claro en Rivadavia Turbio en Varillar Elqui en Almendral
	Limarí	Palomo en vertedero Grande en Puntilla San Juan Limarí en Panamericana
V	Aconcagua	Juncal en Juncal Aconcagua en Chacabuquito Aconcagua en Panamericana Aconcagua en Puente Colmo
RM	Maipo	Maipo en las Melosas Colorado en desembocadura Maipo en El Manzano Maipo en Los Morros Maipo en Chiñihue Mapocho en Rinconada de Maipú

Tabla 1. Estaciones de monitoreo (continuación).		
VI	Rapel	Cachapoal antes Pungal Coya en Coya Cachapoal bocatomas canales Cachapoal en puente Codao Tinguiririca en puente Negro
VII	Mataquito	Claro en Los Queñes Teno después Juntas Lontué después Juntas Teno en captación
VIII	Itata	Ñuble en San Fabián Ñuble en Cucha Cox Itata en Cholguán Itata en balsa Nueva Aldea
IX	Imperial	Cautín en Rari-Ruca Imperial en Almagro

Tabla 2. PROGRAMA DE MONITOREO.		
Unidad	Mes	Cuencas
U.de Chile D.G.A	Septiembre 1993	I - IX
D.G.A	Noviembre 1993	I - VI
U. de Chile D.G.A.	Enero 1994	I - IX

4.2.2 Metales pesados

Se seleccionaron los metales pesados presentes en la Norma Chilena para agua Riego (1333), según los siguientes criterios:

a) Concentraciones máximas de los elementos presentes en la fracción disuelta registradas en estudios previos, en relación a la Norma de Riego.

b) Representatividad de los elementos en la fracción particulada.

c) Nivel de toxicidad de los metales pesados.

Considerando que los antecedentes disponibles en la literatura no fueron suficientes para seleccionar algunos de los elementos presentes en la Norma de Riego, se planteó la ejecución del estudio en 2 etapas:

Etapa I. Se seleccionaron estaciones representativas de cada cuenca hidrográfica, que en su mayoría correspondían a las de menor altitud (estaciones de impacto). En cada una de las estaciones se realizó un análisis extensivo a todos los metales pesados considerados en la Norma de Riego.

Etapa II. Con los resultados obtenidos en la etapa I y considerando los criterios planteados anteriormente, se seleccionaron algunos elementos, los que se analizaron en forma intensiva en todas las estaciones de monitoreo.

4.3 Métodos

4.3.1 Variables físicas

Temperatura (°C): La temperatura se midió "in situ" mediante termómetros de mercurio de 0.1 de precisión.

Sólidos totales suspendidos (mg/l): Los sólidos totales suspendidos se midieron por método gravimétrico estándar (Standard Methods, 1992).

Conductividad específica (a 25°C, $\mu\text{S}/\text{cm}$): La conductividad del agua se midió mediante un conductímetro Schott Geräte (modelo CG 818) de 0.1 de precisión.

4.3.2 Variables químicas

pH : La concentración del ión hidrógeno se midió mediante un potenciómetro Schott Gerate (modelo CG 838) de 0.01 unidades de precisión.

Oxígeno disuelto (mg/L): La concentración del oxígeno disuelto en el agua se midió en terreno mediante un oxímetro WTW (modelo Oxi96) de 0.01 mg/L de precisión.

Alcalinidad (mM/L): En las muestras de agua se midió la alcalinidad total y la alcalinidad por fenolftaleína de acuerdo a Golterman et. al. (1978), inmediatamente después de tomadas.

Dureza (mg/L): Titulación complexométrica con EDTA.

Fósforo total ($\mu\text{g/L}$): El fósforo total se midió en muestras de agua sin filtrar. Los análisis se realizaron según Mühlhauser et. al. (1987).

Nitrógeno total ($\mu\text{g/L}$): El nitrógeno total se midió en muestras de agua sin filtrar. Los análisis se realizaron según Mühlhauser et. al. (1987).

Sulfato (mg/L): El sulfato presente en las muestras se midió por el método turbidimétrico descrito en Standard Methods (1992).

4.4. Metales pesados en la fracción disuelta y particulada

La diferenciación entre materia particulada y disuelta se entiende a partir de una definición operacional, que considera como criterio la separación por filtración a través de una membrana de porosidad de 0.45 μm . Esta definición se sustenta en la ausencia de discontinuidad física entre la fase sólida y disuelta, pues entre ambas se sitúan las partículas de tamaño coloidal.

4.4.1 Obtención de la fracción disuelta

Una vez obtenida la muestra de agua integrada (500 ml + réplica) se realizó la filtración en el campo y se recogió la solución filtrada en un frasco de plástico de alta densidad, previamente acidificado con 2.5 ml HCl (pH final: 2). La muestra fue conservada a 4° C hasta su análisis. La filtración, se efectuó con una membrana de 0.45 μm .

4.4.2 Obtención de la fracción particulada

La fracción particulada se obtuvo por filtración (membrana de 0,45 μm de acetato de celulosa (Millipore) y/o nitrato de celulosa (Sartorius)) de un volumen entre 300-800 ml aproximadamente. Previo a su uso, los filtros fueron lavados con HCl 2M y enseguida con un volumen de agua desmineralizada para la eliminación de trazas de ácido y posteriormente secados, pesados y almacenados en envases plásticos (tratados previamente con HCl al 20%).

4.4.3 Digestión del material sedimentado

Se utilizó una mezcla $\text{HNO}_3\text{-HClO}_4$ según procedimiento sugerido por APHA, 1992.

4.4.4 Análisis de las muestras

La Tabla 3 indica las técnicas utilizadas en cada uno de las especies químicas.

**TABLA 3. TECNICAS DE ANALISIS PARA LOS ELEMENTOS
PRESENTES EN LA NORMA NCh 1333.**

ELEMENTO	TECNICA ANALITICA	LIMITES DETECCION (mg/l)
Al	AAS N-AC	0.01
As	AAS N-H (HIDRUROS)	0.001
Ba	AAS N-AC	0.001
Be	AAS N-AC	0.01
B	AAS N-AC	0.01
Cd	AAS A-AC	0.001
Co	AAS A-AC	0.01
Cu	AAS A-AC	0.001
Cr	AAS A-AC	0.01
Fe	AAS A-AC	0.001
Li	AAS A-AC	0.001
Mn	AAS A-AC	0.001
Hg	AAS (VAPOR FRIO)	0.01
Mo	AAS N-AC	0.001
Ni	AAS A-AC	0.01
Ag	AAS A-AC	0.01
Pb	AAS A-AC	0.01
Se	AAS N-AC (HIDRUROS)	0.001
V	AAS N-AC	0.001
Zn	AAS A-AC	0.01

AAS : Espectrofotometría de Absorción Atómica

N-AC : Nitrógeno-acetileno

N-H : Nitrógeno-hidrógeno

A-AC : Aire-acetileno

5. RESULTADOS

5.1 Aspectos hidrológicos y calidad química de los sistemas fluviales

5.1.1. Región del Norte Arido

Desde el punto de vista hidrográfico, las regiones de Tarapacá y norte de Antofagasta, se caracterizan por presentar ríos de régimen esporádico.

El clima es de extrema aridez por precipitaciones exiguas. Los rasgos hidrológicos correspondientes derivan de las características del relieve. Mientras que en el primer sector no existen relieves que encierren las aguas que caen en la región andina y éstas escurren hacia el oeste (la pampa) por cauces perpendiculares a la montaña, en el segundo sector, primero el cordón de Chuquicamata (Cordillera del Medio), que capta las aguas cordilleranas para el Loa, y segundo, la Cordillera de Domeyko, que las retiene a sus pies orientales, en forma de bolsones o salares, hacen que las aguas de la Cordillera de Los Andes no tengan salida hacia el oeste y quedan confinadas a la región andina y subandina. (Fuenzalida, 1965).

Las aguas superficiales están limitadas para el riego en esta zona debido fundamentalmente a su escasez, su calidad química y la calidad de los suelos en cuanto pedregosidad, pendiente y salinidad. Además de ser escasas, las aguas del norte grande son fuertemente salinas (especialmente sulfatadas y cloruradas), moderadamente sódicas y con contenidos elevados de arsénico y boro en algunas cuencas, características que las limita para el riego. En el norte grande, el mecanismo más importante de salinización de las aguas superficiales es la disolución de sales desde la llanura central intermedia. En general se concluye que la presencia de electrólitos son el resultado de la aridez y del volcanismo cuaternario aún activo en el área (Anuario Odepa. Ministerio de Agricultura 1995).

5.1.1.1 Río Lluta

En el departamento de Arica existen dos quebradas por las cuales corre agua durante la mayor parte del tiempo: la de Lluta y la de San José.

El río Lluta representa el cauce más constante. Nace de la vertiente oriental del volcán Tacora y durante 70 kms corre en dirección norte a sur.

En total el río tiene 150 kms de largo y la superficie de su hoya puede estimarse en 2500 km². La alimentación es nival, lluvias estivales y vertientes. Se han producido en el valle períodos de aguda crisis derivados de la contaminación por explotaciones mineras en la alta cuenca, tales como las de las azufreras del Tacora y las de manganeso en Larancagua.

Características químicas

La calidad química de las aguas ha presentado permanentemente concentraciones significativas de ciertos elementos, por el efecto de algunos afluentes y las explotaciones mineras. Por otra parte se constató pH ácidos de estas aguas, en las estaciones de altura (Alcerreca y Chapizca). La conductividad es alta en todo el río, lo que estaría indicando importantes concentraciones de iones en solución. En la fracción disuelta el Mn, tiene una concentración mayor a 0.200 mg/l, el máximo valor exigido por la Norma de riego.

El Al y el As presentan valores altos de concentración en el material particulado (7,46 a 45,39 mg/l).

5.1.1.2 Río San José

Un cauce homólogo al anterior es la quebrada de Azapa o San José. Esta, aunque no tiene curso permanente, y en la parte vecina al mar se reduce a afloramientos de aguas subterráneas, repite, en cierto modo, el caso anterior. Su nacimiento está situado en lugares donde las precipitaciones de verano son modestas, en la Cordillera Central, cerca del cerro Orcotunco, y corre hacia el norte por 40 kms con el nombre de quebrada de Ticnámbar.

Características químicas

Las aguas muestran un pH ligeramente alcalino, una conductividad inferior a 1.000 umhos y una baja relación de absorción de Na (índice SAR). Los valores de la concentración de arsénico disuelto, son los únicos que sobrepasan la Norma de Riego (0,3 mg/l).

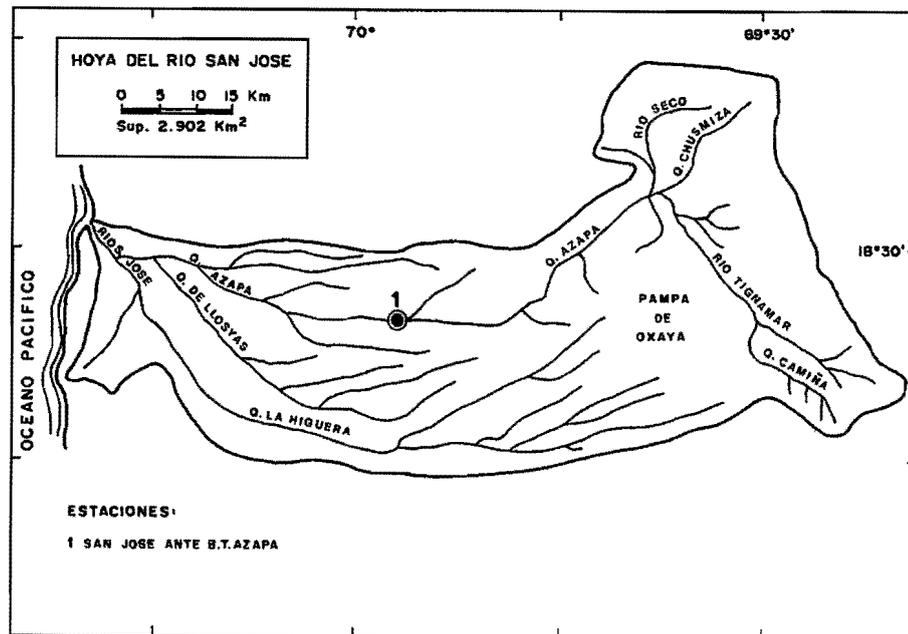
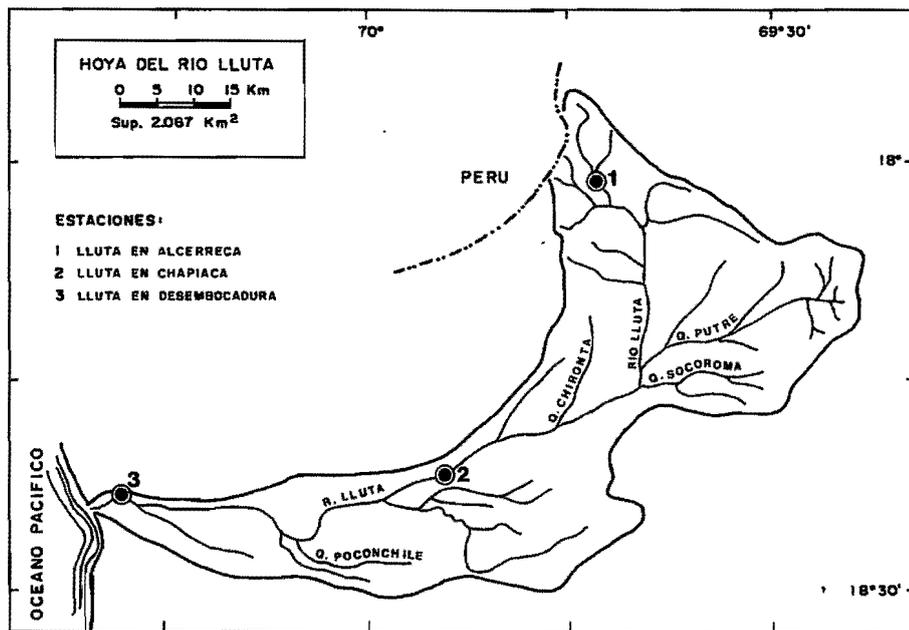


Figura 1. Cuenca hidrográfica del río Lluta y río San José ubicación de las estaciones de monitoreo.

5.1.1.3 Hoya del río Loa

El más importante de los ríos del norte es el Loa, que representa un caso hidrológico excepcional en el desierto.

La superficie de su hoya hidrográfica corresponde a 33.910 km². Nace de las vecindades del cerro Pabellón del Inca (21° Lat.Sur), y drena eventualmente los Campos de Carcas, hacia el sur, colectando todos los vertederos del oeste y del este del ámbito cordillerano. Conserva esta dirección por 165 kms. Como afluente recibe al río Salado, que nace en los cerros de Tatio, con aguas fuertemente salinas. Es en este punto, donde el río tiene mayor caudal. Corre paralelo al Loa, unos 10 a 15 kms al norte, el río San Salvador, el cual lleva también aguas salobres que corresponden a aportes propios y a derrames del mismo Loa.

Características químicas

El pH de este río oscila entre valores normales (6,5 a 8), pero la conductividad de sus aguas es muy alta en todo su trayecto (2777 a 6480 $\mu\text{mS/cm}$, 25°C). En la fracción disuelta el contenido de boro, ha sido descrito como muy irregular, variando entre 2 a 30 mg/l. Algo similar ocurre con el arsénico, el cual ascendió hasta 1,35 mg/l, durante el período de análisis.

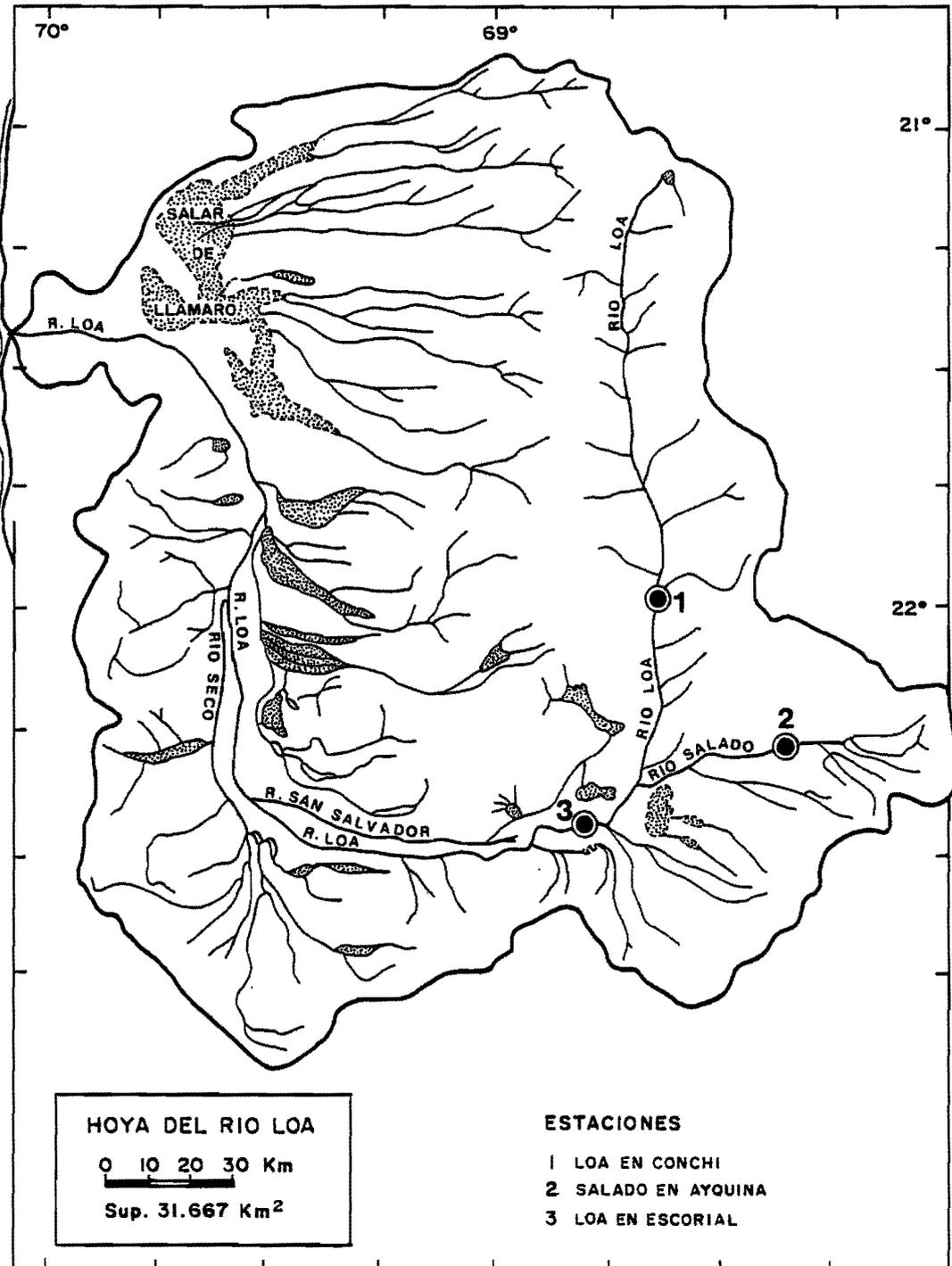


Figura 2. Cuenca hidrográfica del río Loa y ubicación de las estaciones de monitoreo.

5.1.2 Zona Semiárida

Esta zona comprende la Región de Atacama, la Región de Coquimbo y parte de la Región de Valparaíso, con una extensión de 115.952 km². El límite norte de esta área es coincidente con la provincia de Chañaral y la cuenca del río Salado; por el sur deslinda con el cordón de Chacabuco. Tanto la cuenca del río Salado por el norte como la cuenca del río Aconcagua en el sur pueden ser consideradas como de transición.

La gran altura que alcanza el macizo andino determina dos peculiaridades hidrográficas interesantes. Una es el cambio en el régimen de los ríos de pluvial a régimen mixto, porque con el aumento de las precipitaciones hacia el sur, en las mayores alturas se han generado glaciares de cumbres que permiten almacenar precipitaciones sólidas que se derriten en el verano. Los ríos del norte semiárido, son de escurrimientos permanentes aunque de una gran variabilidad anual y cíclica.

Las variaciones de caudal en estos ríos están ligadas a las precipitaciones y éstas a su vez dependen de la ubicación de un área anticiclónica importante que más o menos se sitúa hacia el norte.

La calidad del agua para riego es buena en esta zona, por la menor carga de electrólitos, sin embargo la disminución del caudal debido al uso intensivo de las aguas incrementa la cantidad de iones disueltos debido al proceso de evaporación disminuyendo así la calidad del agua en algunos períodos del año.

5.1.2.1 Hoya del río Copiapó

Al analizar el régimen de los ríos que forman el Copiapó, con una hoya de 7490 km² se observa una notable independencia entre ellos, acusando cada uno características propias.

Características químicas

El río Copiapó muestra concentraciones significativas de aluminio y manganeso en el material particulado de 6,77 mg/L y 0,26 mg/L, respectivamente. De acuerdo con antecedentes disponibles para los suelos del valle del Copiapó, la degradación de estos suelos por acumulación de elementos tóxicos puede asociarse a procesos de salinización secundaria. La distribución en profundidad del boro y del sodio sería semejante a la de sales solubles debido al efecto de evapotranspiración (Anuario Odepa. Ministerio de Agricultura 1995).

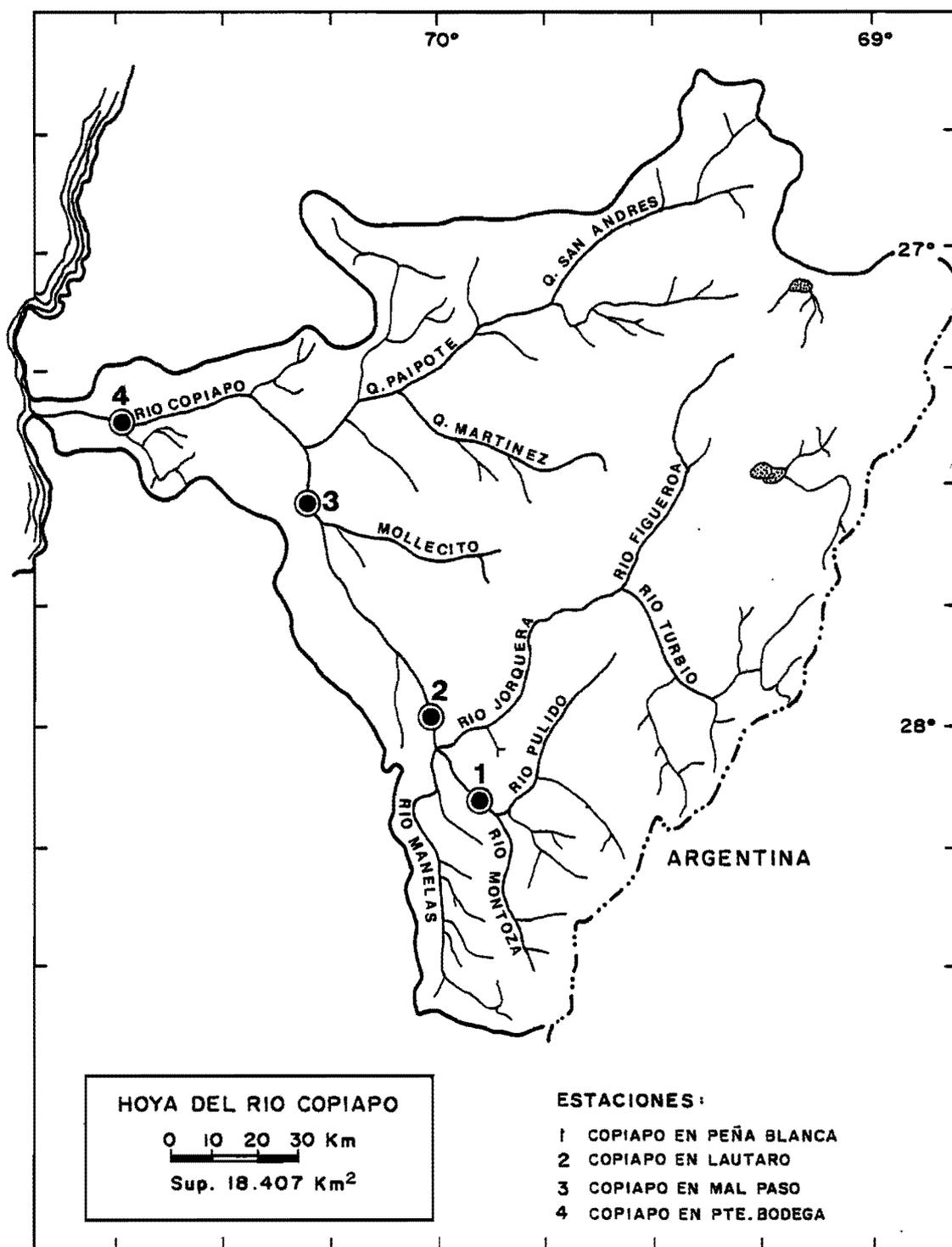


Figura 3. Cuenca hidrográfica del río Copiapó y ubicación de las estaciones de monitoreo.

5.1.2.2 Hoya del río Elqui

El río Elqui constituye una hoya hidrográfica que abarca 9600 km² de superficie. En casi toda su extensión corre por valles bien conformados. Las lluvias más abundantes hacen que las divisorias de aguas sean bien definidas.

El río se encuentra constituido por dos tributarios principales del ámbito cordillerano: El Claro y el Turbio. La extensión del río es de 240 km. El río Turbio tiene un típico régimen nivoso, drena la parte septentrional de la porción cordillerana que desagua al mar por el río Elqui, y tiene una hoya de 3.895 km². Es considerado como el principal constituyente. El río Claro entra en confluencia con el Turbio unos dos kilómetros aguas abajo de Rivadavia, y tanto en caudal como en extensión de su hoya, es notablemente inferior al anterior. En efecto, drena una superficie de 1,515 km².

Características químicas

El río Turbio en la estación Varillar presenta cantidades de Cu en el material particulado superiores a lo estipulado en la Norma de riego (hasta 0,928 mg/L). Algo similar ocurre con el Al, cuyos valores oscilan alrededor de 5 mg/L. El Mn en cambio, alcanza valores sobre la Norma de riego en el material disuelto (0,334 mg/L).

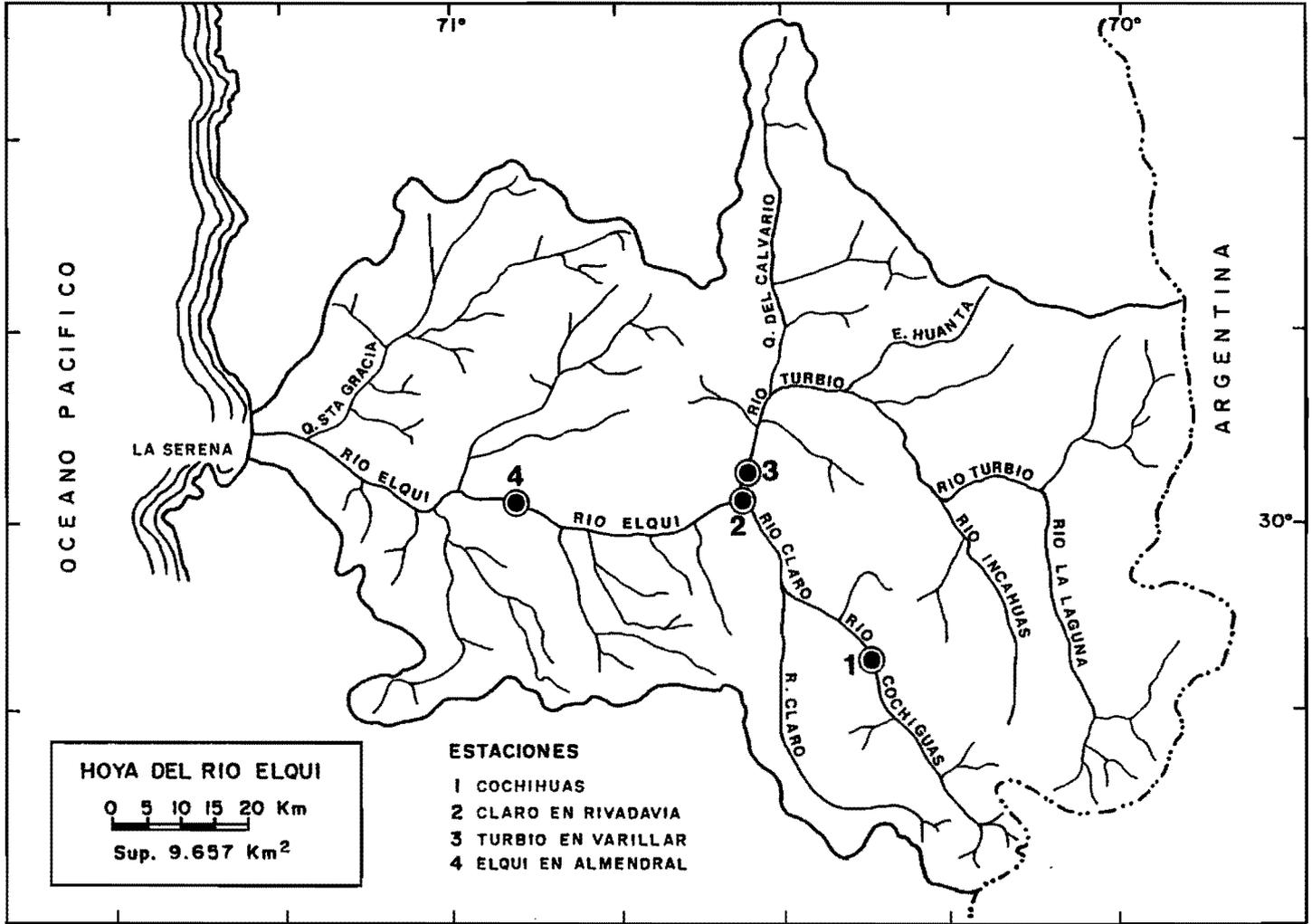


Figura 4. Cuenca hidrográfica del río Elqui y ubicación de las estaciones de monitoreo.

5.1.2.3 Hoya del río Limarí

Nace en la Cordillera de los Andes en sitios con nevazones abundantes. Su afluente principal es el río Hurtado que es un cauce colector en la parte superior de la hoya. El otro afluente de importancia es el río Grande.

Características químicas

La composición química de este río indica que de los elementos detectados, la concentración está bajo la Norma para aguas de Riego en la fracción disuelta y particulada. Se destaca que en dos campañas, no se detectó Cd ni Pb en ambas fracciones. Con respecto a los parámetros físico-químicos, la conductividad de la estación Panamericana fluctuó entre 1334 y 1549 $\mu\text{mS/cm}$. Los otros parámetros se consideran normales sin presentar grandes fluctuaciones.

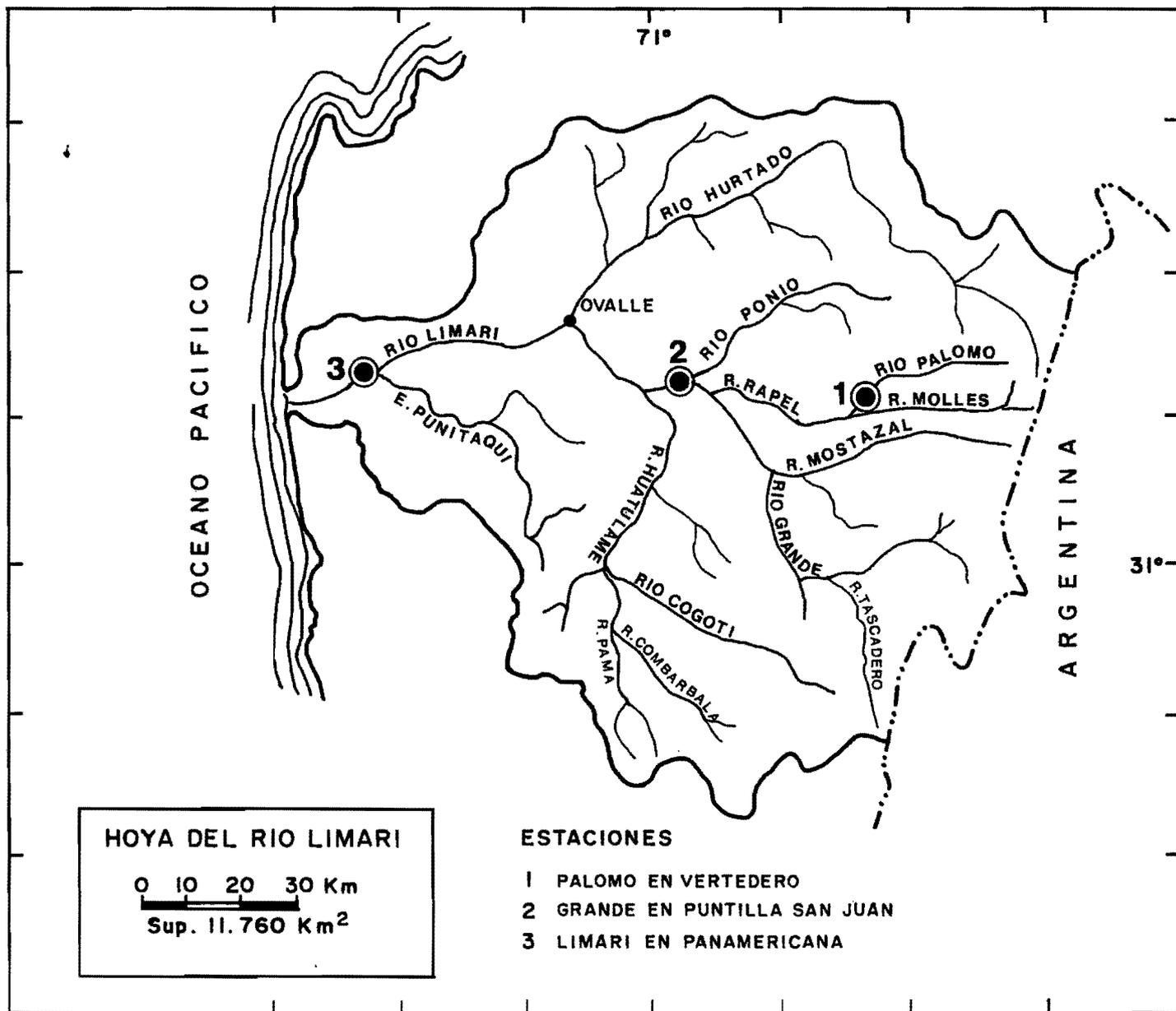


Figura 5. Cuenca hidrográfica del río Limarí y ubicación de las estaciones de monitoreo.

5.1.2.4 Hoya del río Aconcagua

El río Aconcagua nace en el cordón divisorio (Nevado de los Leones), en un sector de hielos y nieves eternas abundantes. Su hoya hidrográfica es de 7.163 km². Puede estimarse que cuando recibe por el sur las aguas del río Blanco se constituye verdaderamente. Este río se presenta con grandes fluctuaciones estacionales, que corresponden al activo derretimiento de las nieves en su hoya.

El régimen del río Aconcagua es mixto; presenta crecidas importantes con las lluvias en invierno, y en primavera y principios de verano, con el deshielo. Los ríos tributarios de alta cordillera, Juncal, Blanco y Putaendo, obedecen a un régimen preponderantemente nival; en cambio, los de la cuenca baja son típicamente pluviales.

Características químicas

El agua de la cuenca del río Aconcagua ha sido muestreada y analizada sistemáticamente, desde el año 1968, dada la importancia de este río en actividades de riego.

Estas aguas presentan un pH \geq 8. La fracción disuelta tiene concentraciones elevadas de Cu con valores que fluctúan entre 0,53 y 2,45 mg/L; La fracción particulada presenta valores altos de Mn, entre 0,415 y 1,093 mg/L y Al entre 47,72 y 144,80 mg/L en Juncal.

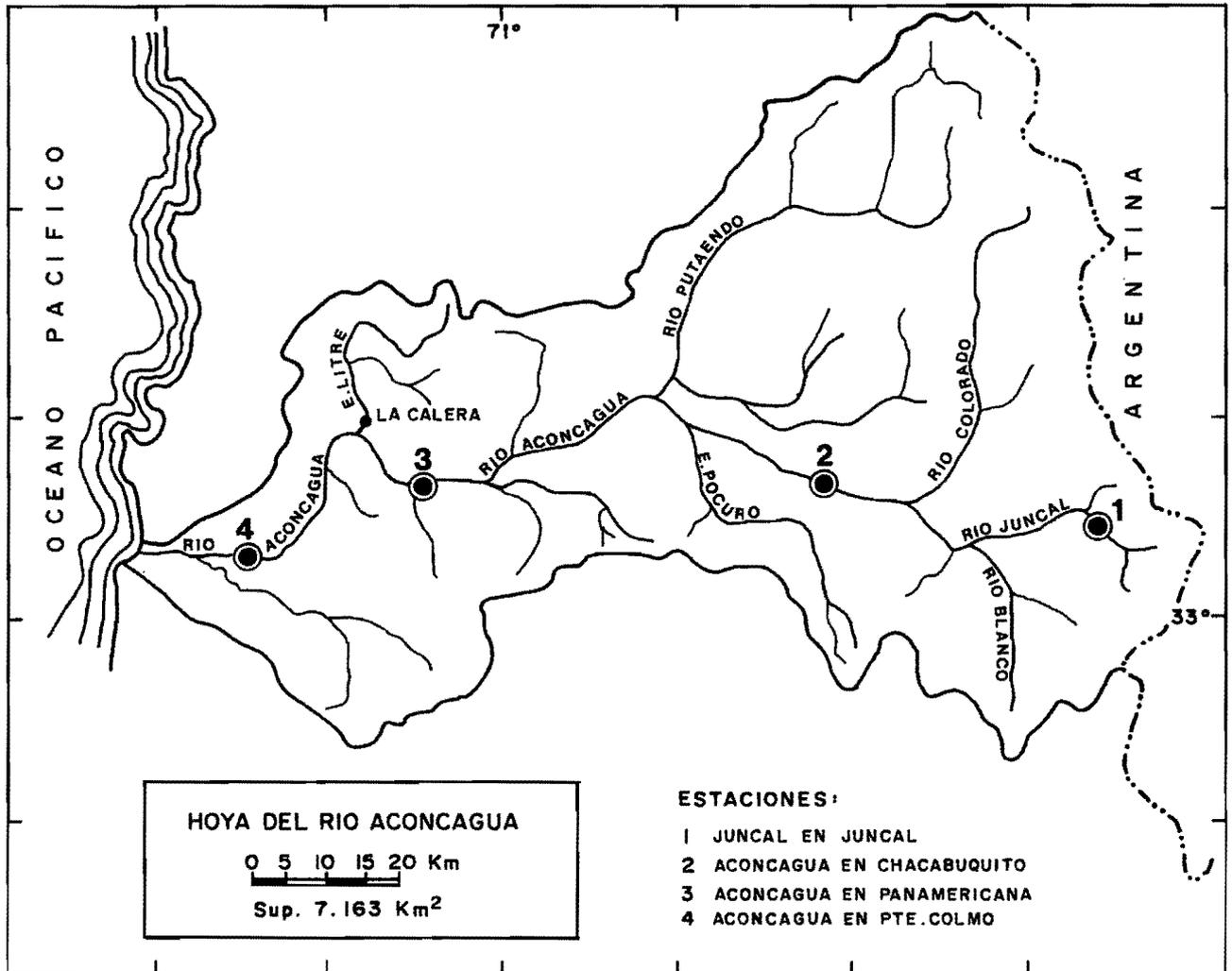


Figura 6. Cuenca hidrográfrica del río Aconcagua y ubicación de las estaciones de monitoreo.

5.1.3 Ríos de Régimen Mixto. Región Subhúmeda

Los grandes ríos de origen andino, como el Maipo, Rapel, Mataquito, Maule, Itata y Biobío, se caracterizan por su escurrimiento torrencial y régimen mixto, con crecidas pluviales en invierno y nivales en primavera y comienzos del verano y estiaje pronunciado en otoño.

5.1.3.1 Hoya del río Maipo

La hoya del río Maipo abarca el espacio cordillerano entre los 33° y los 34° de lat.S, y debe contarse como una de las más importantes del país, en lo que se refiere a su extensión: 15.380 km² de superficie. Drena las aguas que se obtienen por derretimiento de las nieves de uno de los sectores más altos de la cordillera. Las alturas excepcionales que presenta la Cordillera de los Andes en esta parte del país, ocasionan una glaciación importante y una nivación estacional considerable que contribuyen a fijar las características hidrológicas del río.

Puede decirse que se constituye definitivamente con la unión de los ríos Maipo, Volcán y Yeso, en las inmediaciones de San Gabriel (1.240 m.s.n.m.).

Características químicas

La cuenca del río Maipo, con su alta concentración de habitantes y de industrias, y su extensa área regada, ha motivado la preocupación por controlar la calidad de sus aguas, ya que en algunos de sus tributarios del sector cordillerano se encuentran explotaciones mineras de cierta importancia como es el caso del cobre. A éste respecto, en las aguas del río Mapocho (tributario del río Maipo) durante la III campaña, en la fracción particulada la concentración de Cu fue de 0,27 mg/L. Además, en esta misma fracción, la concentración de Mn (0,091 a 3,48 mg/L) y Al (0,52 a 594,40 mg/L) sobrepasó la norma en todas las estaciones.

Entre los tributarios de esta cuenca el que presenta más alta conductividad es el río Volcán, al mismo tiempo con el más alto índice SAR; los otros ríos, el Mapocho y el propio Maipo, presentan condiciones ligeramente más favorables.

Este río presenta una elevada turbiedad, como resultado de los sólidos en suspensión que alcanzan hasta 4,13 mg/L. El rango de pH es 7 a 8, característica que podría favorecer la presencia de metales en la fase de material particulado.

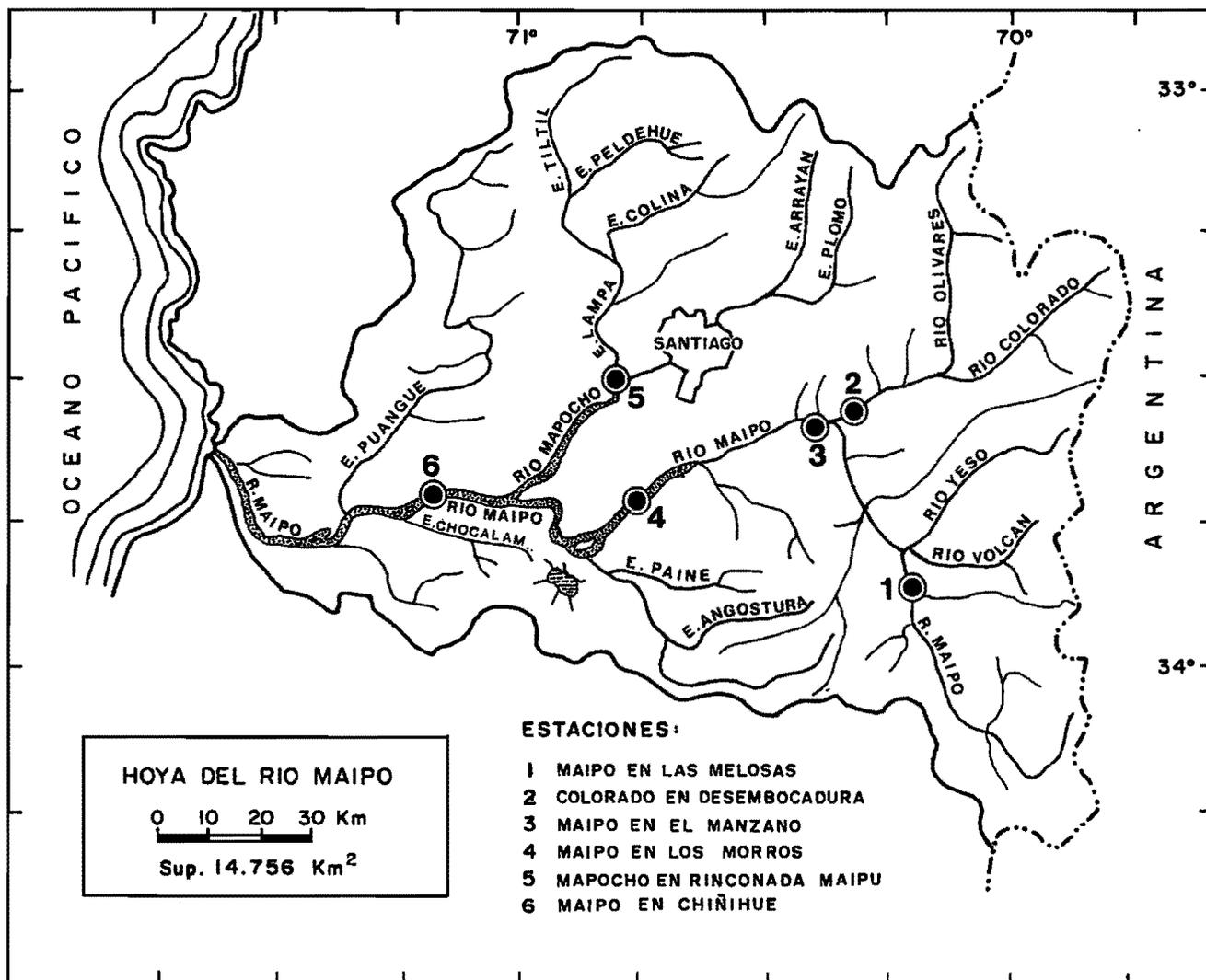


Fig. 7. Cuenca hidrográfica del río Maipo y ubicación de las estaciones de monitoreo.

5.1.3.2 Hoya del río Rapel

El río Rapel desemboca en el mar a los 33°56' de lat.S y se ha formado por la unión de los ríos Cachapoal y Tinguiririca. Estos ríos entran en confluencia en el interior de la Cordillera de la Costa, cerca de la localidad de Las Cabras, después de haber tenido nacimiento en regiones muy distantes en la Cordillera de los Andes.

El Cachapoal nace del cerro de los Piuquenes a 4.460 m de altura en un conjunto de ventisqueros, cuyos deshielos lo alimentan. El brazo que lleva el nombre de Cachapoal es, ciertamente, el de mayor caudal; recibe por el sur las aguas de los ríos de Las Leñas y Cortaderal, de los cuales este último presenta un valle muy bien desarrollado y de notable extensión longitudinal. Aguas abajo recibe el Cipreses, orientado también con dirección SN, el cual toma su origen en el Cerro del Plomo (4.820 m de altura), elevación notable por los ventisqueros que se desprenden desde sus faldas; los ríos Pangal y Coya le aportan las aguas de la parte septentrional de la hoya cordillerana.

Características químicas

Los metales que sobrepasan la norma en éste río son Cu (0,02 a 10,25 mg/L) y Mn (0,02 a 1,32 mg/L) en la fracción disuelta y particulada. Al (1,10 a 117,50 mg/L) y As (0,01 a 1,15 mg/L), presentan valores altos en la fracción particulada. Estos metales estarían estrechamente relacionados con la minería de cobre que se desarrolla en la región cordillerana.

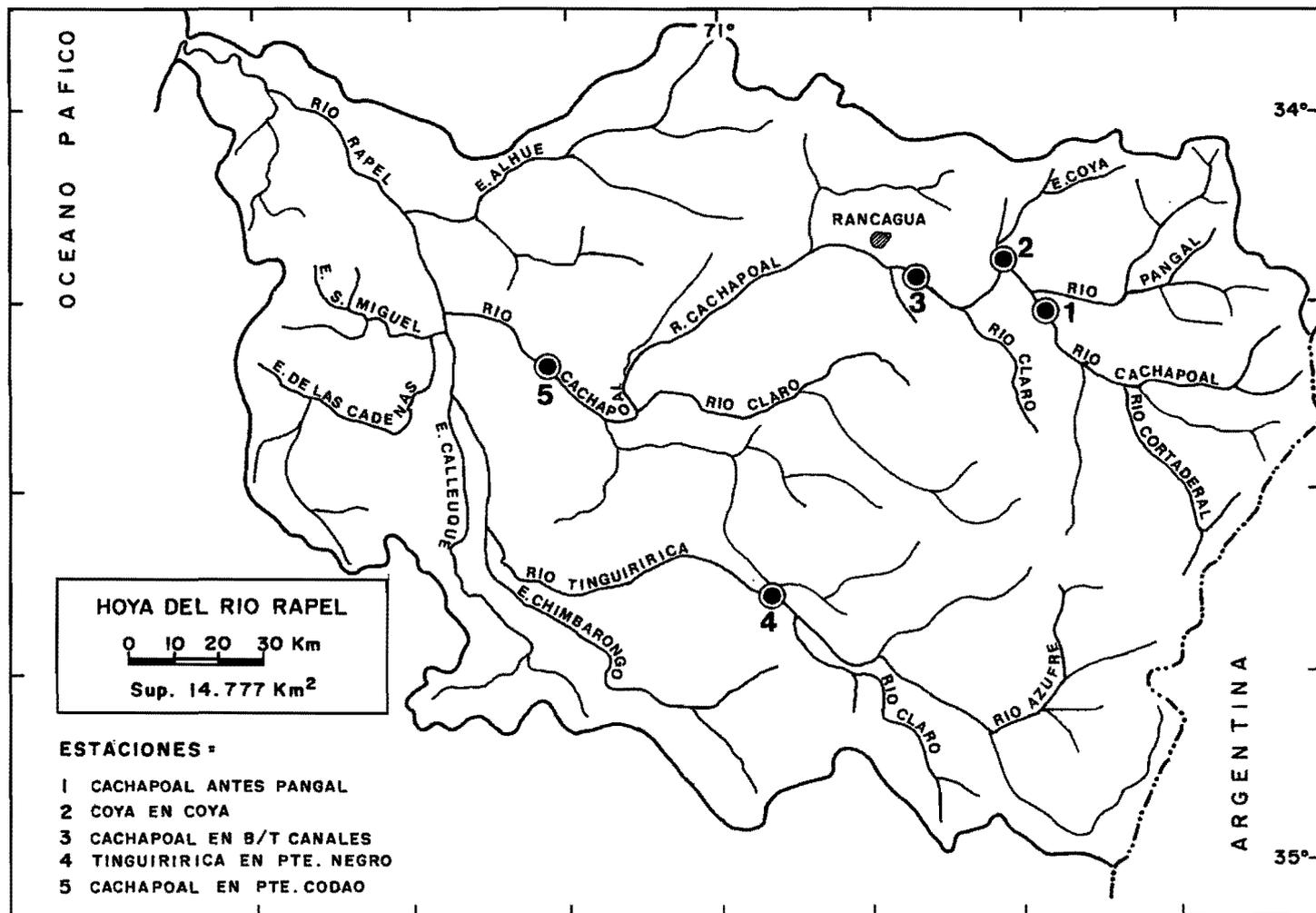


Figura 8. Cuenca hidrográfrica del río Rapel y ubicación de las estaciones de monitoreo.

5.1.3.3 Hoya del río Mataquito

La cuenca del Mataquito posee una extensión de 6.190 km² y constituye la más pequeña de las cuencas andinas de esta zona.

El río Mataquito desemboca en el mar a los 35° de lat.S. Se ha formado con la confluencia de los ríos Teno y Lontué, que traen las aguas cordilleranas y del Valle Longitudinal entre los 35° 50' y 34° 30' de lat.S.

El régimen del río es bastante uniforme entre febrero y octubre y sus crecidas se presentan a fines de primavera y en verano, acusando una distribución de gastos medios mensuales parecida a la de los ríos Teno y Lontué.

Características químicas

Las concentraciones de los metales pesados analizados (As, Al, Cu, Cd, Pb, Cr y Mn) no señalan valores que sobrepasen la norma.

5.1.3.4 Hoya del río Itata

A los 36° 23' de lat. S. el río Itata desemboca al mar. La hoya hidrográfica cubre sólo 11.200 km², y la forman los ríos Ñuble e Itata. Estos dos cursos de agua se unen antes de penetrar en la Cordillera de la Costa; de ellos, el primero es el más importante. En efecto, mientras el río Ñuble nace en pleno cordón divisorio (36° 57' de lat.), el Itata se forma en la parte externa de la Cordillera de los Andes.

En el interior de la Cordillera de los Andes, el río Ñuble con una hoya de 5097 km², corre con una dirección general NW, por medio de un valle bien conformado, el cual deja campos cultivables en ambas riberas. Al salir del ámbito andino, por medio de una amplia curvatura, cambia su curso hacia el SW, al mismo tiempo que cruza el Valle Longitudinal. Por su margen izquierdo recibe numerosos afluentes de entre los cuales los más importantes son el Cato y el Chillán. En Confluencia junta sus aguas con las del río Itata.

Puede estimarse el desarrollo longitudinal del Itata en unos 230 km. El régimen del Itata es mixto; los tributarios de cordillera, sobre todo el río Ñuble, tienen marcado carácter nival; en tanto que el Itata propiamente tal y sobre todo su curso inferior muestran indudable régimen pluvial.

Características químicas

Las concentraciones de los elementos analizados en la fracción disuelta y particulada (Al, As, Cu, Cd, Pb, Cr y Mn) presentan valores bajo la norma de riego ó no fueron detectados con la metodología utilizada.

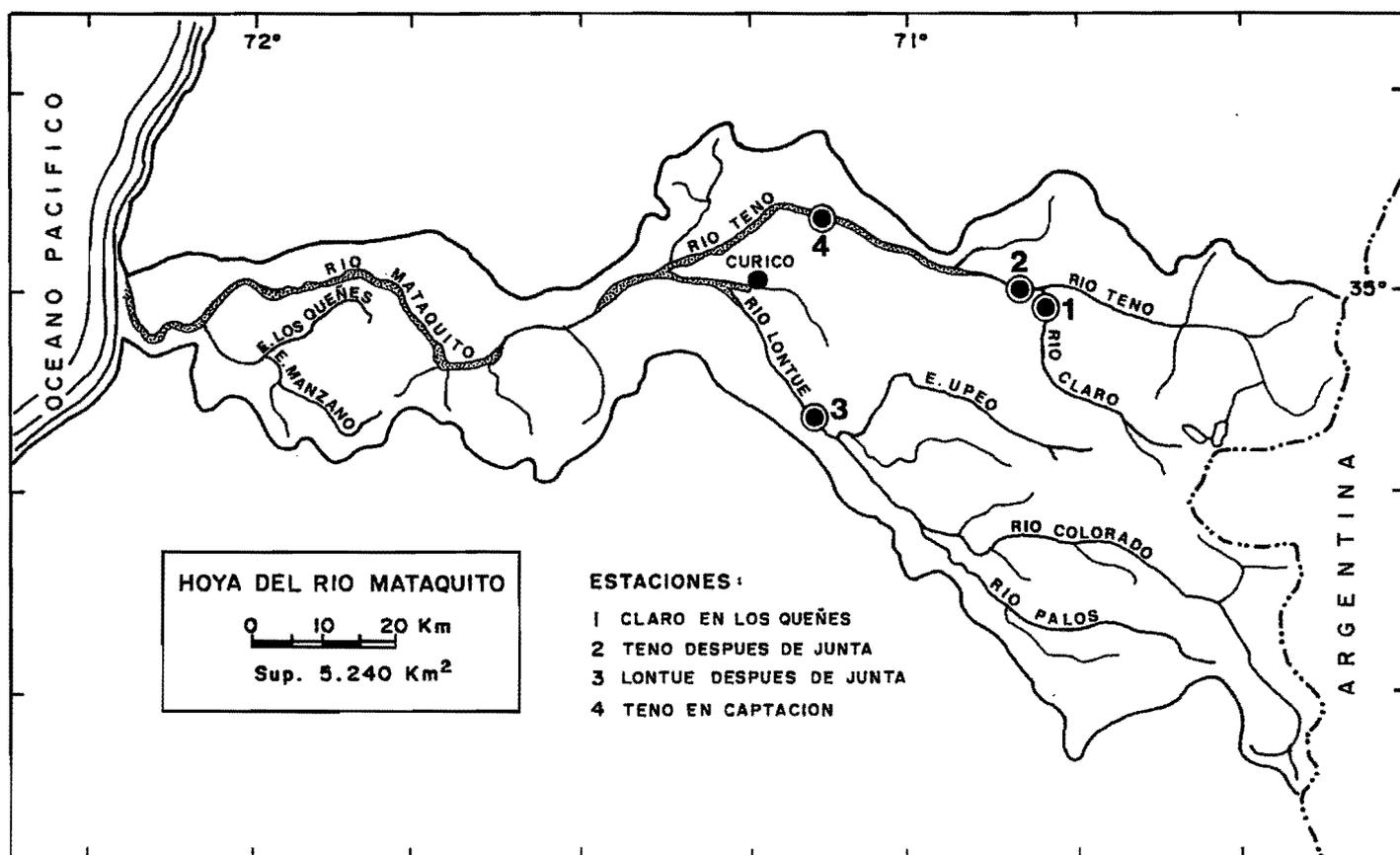


Figura 9. Cuenca hidrográfica del río Mataquito y ubicación de las estaciones de monitoreo.

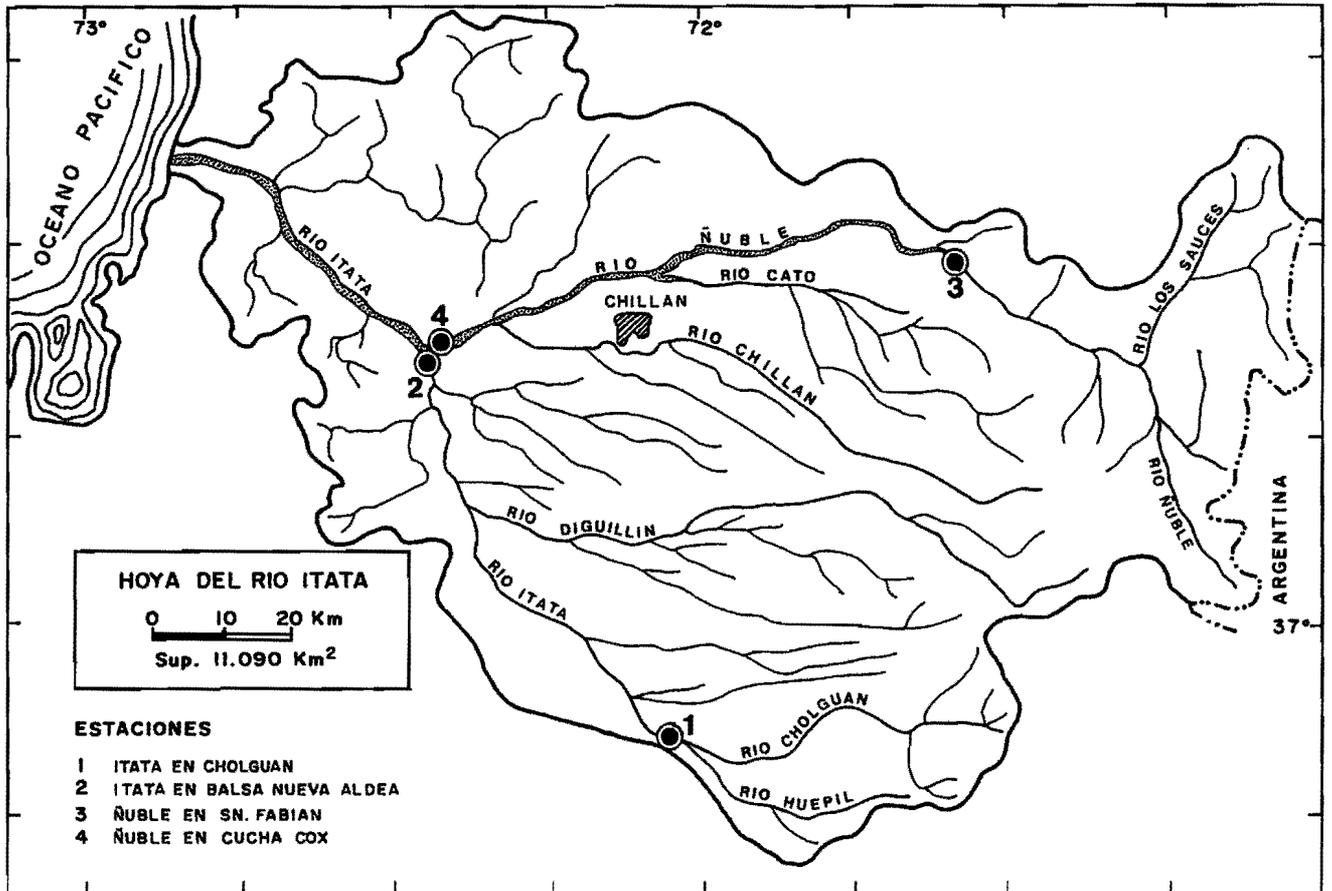


Figura 10. Cuenca hidrográfica del río Itata y ubicación de las estaciones de monitoreo.

5.1.4. Ríos de la Zona Húmeda

5.1.4.1 Hoya del río Imperial .

Con una hoya de 10.054 Km², se forma por la unión de los ríos Cautín y el Cholchol.

Todos los ríos se originan en las serranías ubicadas al W de Lonquimay, que se anteponen a la divisoria continental. En ellas encontraremos, sin embargo, algunas alturas superiores a los 2.500 m, como algunos picos de la Sierra Nevada, el volcán Tolhuaca y el Llaima, que sobrepasa los 3.000 m. A consecuencia de las modestas alturas, la glaciación de las serranías de Lonquimay es escasa. En oposición a esto, hay una fuerte nivación, que se derrite en primavera y en los primeros meses del estío, determinando una creciente característica. Hay un claro estiaje en los ríos correspondiente a los meses más avanzados del verano y parte del otoño. El régimen del Imperial es fundamentalmente pluvial con crecidas de invierno.

Características químicas

Los análisis químicos en éste río revelan que los elementos estudiados (Al, As, Cu, Cd, Pb, Cr y Mn) presentan valores bajo las concentraciones indicadas en la norma.

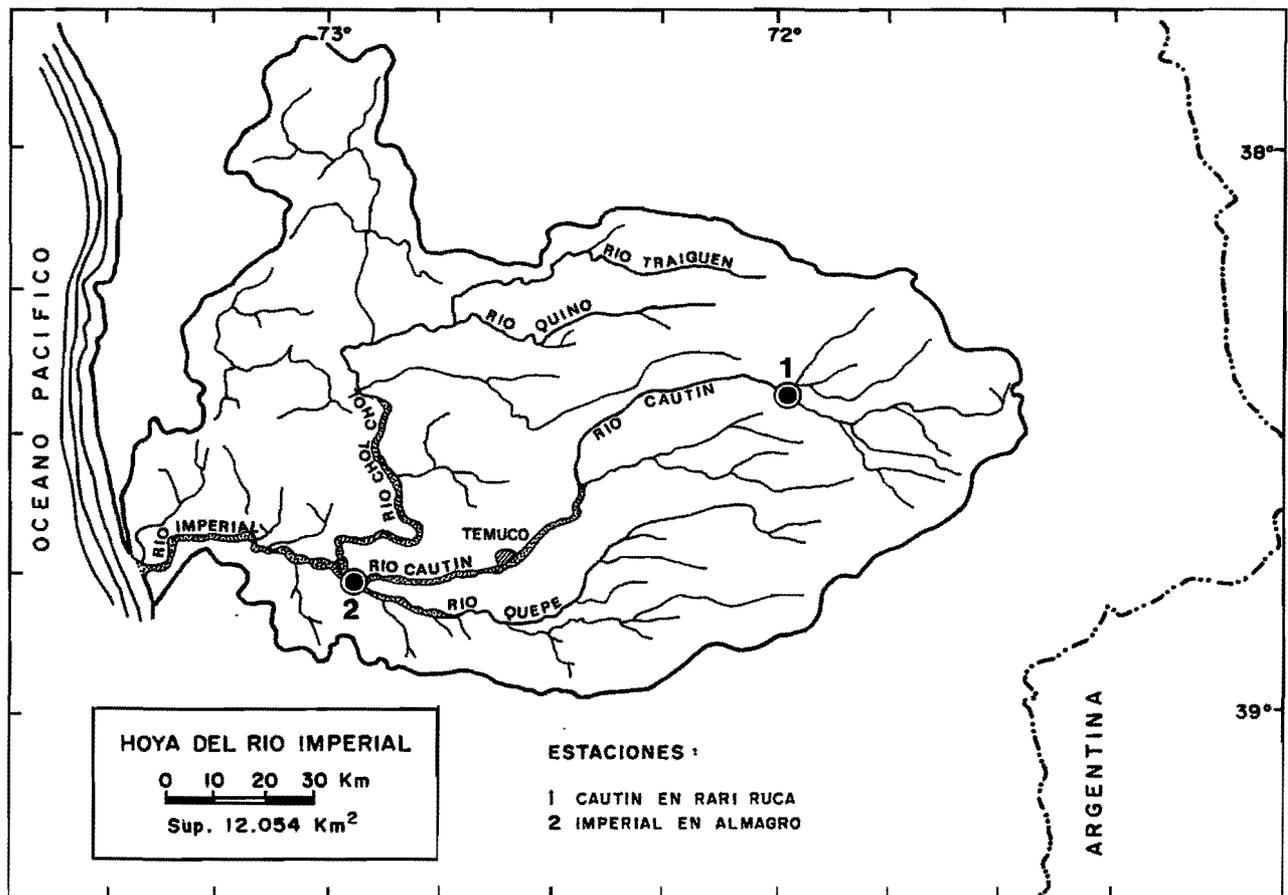


Figura 11. Cuenca hidrográfrica del río Imperial y ubicación de las estaciones de monitoreo.

5.2 Suelos

5.2.1 Características físicas y químicas de los suelos

Chile es un país montañoso y presenta una tendencia general a la inestabilidad de los suelos, hecho que se traduce en poco desarrollo de los perfiles, por lo que la mayor parte de los suelos chilenos son jóvenes, en el sentido de su evolución. Esta característica de los sistemas pedológicos se debe necesariamente asociar a la juventud geológica y geomorfológica del territorio, lo cual implica un constante proceso de acondicionamiento. Así, por ejemplo, la frecuente actividad volcánica a que está sujeta la cordillera de los Andes provoca la incorporación de nuevos materiales (cenizas, escorias, lavas) a los perfiles en evolución, lo cual se describe como un proceso de rejuvenecimiento. Lo mismo ocurre a nivel de las características fluviales, en las cuales se registra una gran actividad erosiva de los suelos de laderas y una importante incorporación de sustancias a los suelos de los valles medios, donde las condiciones del escurrimiento favorecen la sedimentación.

La primera región natural, el desierto, se caracteriza por la escasez de precipitaciones, asociada a elevadas temperaturas medias anuales, por lo cual se puede esperar un mínimo desarrollo de los suelos. Según Fuenzalida (1965) estas características se extenderían desde el extremo norte hasta casi los 37° de latitud Sur.

A medida que se avanza hacia el sur de esta latitud, los suelos comienzan a manifestar una mayor evolución en los horizontes, producto, principalmente, de un aumento en las precipitaciones.

Vallenar y La Serena tienen un marcado horizonte de suelos pardos, de textura gruesa; a 50 cm de profundidad éstos cambian a rojizos acompañado de un horizonte calcáreo endurecido. Generalmente presentan carbonatos que tienden a acumularse en los horizontes límites de la penetración de la humedad los que sin embargo, comienzan a manifestar un tránsito hacia los suelos con acumulación subsuperficial de arcillas y suelos en los cuales se produce descomposición de materia orgánica que da origen a humus rico en calcio característico de zonas subhúmedas o semiáridas en la medida en que encuentran condiciones de mayor humedad.

Las condiciones de relleno de estas cuencas presentan suelos delgados, poco evolucionados y muy permeables, en la parte superior del sustrato, hasta llegar a zonas, profundas, de materiales más finos y con problemas de drenaje, en las posiciones más bajas de la secuencia.

Al sur de Talca, los suelos son extremadamente jóvenes, y cada vez más ácidos y con mayor contenido de materia orgánica.

La cordillera de la Costa presenta acumulaciones de materiales volcánicos, características muy similares a la de los alfisoles del norte de esta zona mediterránea.

Los suelos que se han desarrollado a partir de depósitos aluviales recientes tienen una ocurrencia importante en el territorio sudamericano de Chile, toda vez que éste es cortado transversalmente por numerosos cursos de agua, de variada magnitud, que al cruzar la depresión central se ven afectados por condiciones topográficas que inducen a la depositación de los sedimentos transportados.

De acuerdo con los índices de fragilidad determinados por Instituto de Recursos Naturales de Corfo (Iren), los problemas más importantes por degradación de la erosión se encuentran en la zona altiplánica, cordones y sierras andinas del norte chico, la Cordillera de la costa especialmente entre Valparaíso y Concepción, y áreas de la precordillera andina de la zona centro-sur.

Los suelos bajo riego degradados por salinización y/o componentes fitotóxicos se encuentran en los valles y oasis de las regiones de Tarapacá, Antofagasta y Atacama. La contaminación de los suelos más importante en Chile es por cobre; Esta ocurre especialmente entre la II y VI región.

De acuerdo con González (1991), un problema importante de contaminación de los suelos es la gran minería del cobre. Especialmente la región ubicada entre los paralelos 23° y 35° S, se ve afectada por la acumulación de cobre en los suelos.

El trabajo experimental realizado con cultivos de alfalfa por Gonzalez (1991), demuestran que los suelos del norte y zona central de tipo aluvial, andosol y metamórficos tienden a inactivar el cobre. En cambio los suelos del sur del país de tipo ultisol, granítico y de cenizas volcánicas presentan baja capacidad tampón a la contaminación por metales. Al cobre natural de los sedimentos parentales, se suma la acumulación que lentamente produce el agua de riego. Existen registros de anomalías en el desarrollo de algunos cultivos en el valle del Río Cachapoal, incluidos cultivos industriales de remolacha azucarera, tabaco y maravilla. Los suelos cúpricos del Río Mapocho, a pesar de presentar valores altos de este metal, no evidencian problemas de toxicidad en vegetales por la alta afinidad de estos suelos con cobre; algo similar ocurre con plomo y zinc en este mismo lugar.

Río Lluta

Según Meléndez (1970), la característica más notoria de este valle es la gran extensión de suelos aluviales que presentan nivel freático libre o fluctuante, muy superficial. Primitivamente estaban cubiertos por una densa vegetación, que permitió una acumulación de materia orgánica, responsable de los colores más oscuros de la superficie.

La sección superior del valle presenta suelos de textura gruesa, de buena permeabilidad y con algunos problemas de salinidad. En la parte media, se encuentran suelos de textura moderadamente gruesa a moderadamente fina, que manifiestan problemas de permeabilidad, y causan la salinidad alta. La parte baja del valle alcanza una alta salinidad, asociada a texturas moderadamente finas.

Valdés (1970) anota como una importante característica de los suelos del Lluta, el alto contenido de boro. De la Riva y Sotomayor (1979) señalan que la textura denota la marcada estratificación de los materiales, los cuales presentan contenidos bajos de arcilla, limo y arena. Su tamaño moderadamente grueso determina baja cantidad de humedad, a lo cual contribuye el mínimo contenido de materia orgánica.

Río San José

Los suelos que drena este curso fluvial son de alta salinidad y contenido de boro y arsénico.

Río Loa

La cuenca superior del Loa queda limitada al sur por las serranías de Limón Verde y al oriente por los cerros de Tuina y Aiguina. Entre estas cadenas se extienden amplias altiplanicies y ensenadas llanas de ligera inclinación al oeste, rellenas con cenizas, cineritas e ignimbritas de carácter riolítico, (material volcánico grueso, generalmente de tipo ácido que conforma el altiplano del norte del país) que el río Loa y sus afluentes han disectado en profundos cañones. Al oeste de Calama, el río se abre camino a través de calizas. *

La deficiente calidad de los suelos y del agua permite que en Calama sólo se cultive la alfalfa y el maíz con bajos rendimientos, en tanto que en las zonas de mayor altitud, con disponibilidad de agua, hay producción de hortalizas.

A semejanza de la región anterior, los suelos de esta zona son altamente salinos y con componentes fitotóxicos tales como boro y arsénico.

La Región de Atacama

Los suelos de los sectores al norponiente del valle de los ríos Copiapó y Huasco presentan niveles de salinidad altos asociados a napas freáticas superficiales, lo cual limita un mayor desarrollo agrícola. Estas características se ven atenuadas en el sector suroriente.

Esta zona semiárida es drenada por ocho sistemas hidrográficos mayores que llegan con las aguas al mar y proveen los recursos hidrológicos para el ejercicio de una agricultura basada en el riego artificial.

Río Copiapó

El valle del río Copiapó presenta dos fases distintas de evolución. El curso medio y superior tiene formas juveniles, con sedimentos predominantemente gruesos, mientras el curso inferior muestra una etapa más avanzada de desarrollo y en él los suelos tienen elementos más finos (Melendez, 1970).

Los suelos desarrollados en este valle corresponden a entisoles, predominando en ellos las texturas franco arenosas. Valdés (1970) reporta información acerca de sus características químicas, señalando valores de pH entre 7.8 y 8.2.

Río Elqui

Las lluvias durante el siglo pasado en el valle del Elqui y posibles cambios climáticos acentuados por la tala del matorral con fines de minería, forraje y leña, han destruido los suelos ribereños y han descendido por las quebradas laterales corrientes de barro con arrastre de materiales finos y también de grandes bolones, los que han incrementado los grandes conos de deyección de esas quebradas.

En el valle de Elqui, como en el Huasco y el Limarí, los sedimentos que componen las terrazas cuaternarias del curso medio-inferior no presentan condiciones favorables para la explotación de agua subterránea, debido al alto contenido de finos (especialmente arcilla) derivados de la descomposición "in situ" de los clastos del fluvial antiguo, y debido también en parte a la fuerte cementación por depositación de cal o de sílice entre los intersticios de los estratos más profundos.

Los materiales de relleno aluvial se presentan en lentes y canales de arcilla y limo; Las arenas y gravas limpias o bolones se encuentran muy mezclados.

Río Limarí

La longitud del Limarí, desde Peñones al mar, es de 64 km, de los cuales los primeros 43 transcurren en una caja amplia de 2 ó más kilómetros de ancho donde desarrolla numerosos meandros, flanqueado por extensas terrazas fluviales. En los últimos 20 km, el río discurre por un desfiladero epigenético profundo labrado en el batolito granodiorítico de la costa. Las terrazas

señaladas se encuentran en su mayor parte bajo riego artificial y se practican en ellas cultivos extensivos, especialmente empastadas y gramíneas. En el fondo de la caja, en cambio, entre Ovalle y la Carretera Panamericana, se encuentran los mejores suelos de migajón, aprovechados en cultivos más intensivos como hortalizas, frutales y chacras.

Río Aconcagua

La salinidad en algunos sectores del valle que drena este río de la V región es relativamente moderada. Es de importancia en esta región, los valores altos de cobre en Puchuncaví asociadas a las actividades mineras. La alta cupricidad en Catemu, se asocian a las emisiones de la fundición, la cual se asocia también a plomo y cadmio. Los suelos de las zonas alejadas de las áreas industriales, son hipometálicas.

El curso superior del río Aconcagua, considerado hasta la ciudad de Los Andes, escurre en estrechos cajones cordilleranos de abruptas laderas, muchas veces cubiertas de escombros, labrados en algunos casos en la roca fundamental. Desde Los Andes el valle se ensancha notablemente, un espeso relleno aluvial de 50 a 100 o más metros del cual emergen algunos cerros-islas que pertenecen a cordones sumergidos transversales de 25 km, el valle se estrecha nuevamente y corta el batolito granodior hasta constituir, principalmente entre Ocoa y Quillota, una llanura aluvial cubierta de una rica capa de suelo agrícola de migajón que, unida al clima excepcional, permite el florecimiento de una agricultura intensiva de alto valor comercial.

Cuencas andinas

La depresión intermedia, correspondería a una fosa tectónica, la que posteriormente ha sido rellena por varias decenas de metros de sedimentos, principalmente de origen continental, y en pocos sectores bajo condiciones marinas. Las unidades continentales corresponden principalmente a depósitos fluviales, fluvioglaciales y glaciales. Estos rellenos tienen relación de vital importancia con la existencia de embalses subterráneos, como ocurre en la cuenca de Santiago.

Las aguas de estos ríos no presentan concentraciones importantes de sales, salvo aquellas que tienen relación con explotaciones mineras, como sucede con el río Cachapoal. Sin embargo entre las formas de degradación de los suelos chilenos, se reconoce que los procesos erosivos constituyen un problema importante en las actividades agropecuarias de estos sistemas. Otro factor negativo para el riego es el mal drenaje. Los suelos con drenaje restringido representan un problema importante entre las regiones VI y X.

Región Metropolitana Río Maipo

Un problema importante de la hoya del río Maipo es el de la excesiva turbiedad de las aguas debido a sólidos en suspensión durante el período de crecidas y al gran arrastre de fondo. La depresión intermedia de la cuenca del Maipo presenta una llanura aluvial central que va desde el cordón del Manzano por el norte a la Angostura de Paine por el sur. Se caracteriza por un subsuelo ocupado por un relleno de materiales preferentemente fluviales y fluvioglaciales de diferentes granulometrías.

Río Rapel

La geomorfología de esta cuenca es similar a la del río Maipo. La subcuenca del río Tinguiririca presenta suelos que son oligometálicos y la del río Cachapoal, con dos subcuencas, una oligometálica la de Pangal y la subcuenca del río Coya y sus afluentes con suelos altamente cúpricos. Ya que estos son suelos con menor capacidad tampón debido a una menor alcalinidad (Sudzuki 1964; González 1991); se registran anormalidades en el desarrollo de cultivos en el valle del río Cachapoal e incluso de cultivos industriales como es el caso del tabaco, maravilla y remolacha. De acuerdo con los antecedentes disponibles ha sido postulado que el riego sostenido con estas aguas, debido a la calidad del suelo, aumentaría la salinidad, lo que además afectaría cultivos más sensibles como frejoles, naranjas y duraznos.

Dicha contaminación tiene dos orígenes. Una proviene de la lixiviación natural en el mineral El Teniente por las aguas del río El Teniente, a través del subafluente, el río Coya. Por otra parte, el centro minero, que está situado a 2.400 m de altitud al NE de la ciudad de Rancagua, produce relaves que se depositan en embalses, los cuales por excesivas lluvias o aguas de deshielo, han descargado al Cachapoal. El estudio de suelos en la comuna El Olivar (Iriondo, M. 1981), muestra que ésta es una de las más afectadas por el alto contenido de cobre. Es preocupación actual además, las descargas del embalse Carén por los elevados índices de sulfatos y molibdeno disuelto que podrían utilizarse en riego, por el alto potencial tóxico del molibdeno (INIA 1986).

Río Mataquito

La cuenca del Mataquito posee una extensión de 6.190 km² y constituye la más pequeña de las cuencas andinas de esta zona. Esta se caracteriza por la gran cantidad de materiales aluviales aportados por los grandes ríos, sobre los cuales se ha creado una capa de suelo agrícola que proporciona los más extensos campos de cultivo del país. Hay, sin embargo, algunas discontinuidades en este cuadro. Por ejemplo, en las

proximidades del río Teno los llamados Cerrillos de Teno corresponden a una formación relativamente reciente, de hace unos 7.000 años, de grandes lahares o corrientes de barro, que han provocado un notable cambio de la llanura aluvial. Entre Itahue y el Maule, se depositó sobre la llanura aluvial una gran camada de cineritas derivadas de la actividad de los volcanes cordilleranos al interior de Talca. Algunos suelos maulinos son por ello pobres desde el punto de vista agrícola. Fenómeno similar se observa en los alrededores de Parral.

Río Itata

En el curso inferior, después de trasponer la cordillera de la Costa, los bancos de arena obligan a la corriente a extenderse considerablemente en vegas y su profundidad disminuye. El ancho en la boca del Itata varía de 100 a 200 m, en verano, y llega a 300 m en invierno.

Río Imperial

El río se forma próximo a Nueva Imperial, de la unión de los ríos Cautín y Cholchol. Entre Nueva Imperial y Carahue, el río Imperial serpentea entre colinas de escasa elevación y llanuras pantanosas; corre entre lomajes boscosos y escarpados por el norte, los que constituyen las estribaciones más australes de la cordillera de Nahuelbuta, y llanuras bajas por el sur.

En lo relacionado con la calidad del suelo de estas cuencas andinas, las conclusiones de los trabajos de Gonzalez (1991), señalan que es posible que haya suelos con contenido cúprico tóxico para los vegetales en Aconcagua, Mapocho, Cachapoal y Puchuncaví. De acuerdo con Gonzalez y Bergqvist (1985), los efectos tóxicos se iniciarían desde 50 mg/kg de cobre EDTA, dependiendo de la especie vegetal y del suelo.

En ambientes terrestres, los suelos son parte substancial en la neutralización de contaminantes, por su capacidad para absorberlos o retenerlos con más energía que la succión de las raíces, con lo que se hacen no disponibles para las plantas y, por ende, para los seres vivos que se nutren de éstas. La expresión del potencial de daño, reflejado inversamente por los niveles críticos, será función inversa de esta capacidad de amortiguación o tampón.

La acumulación de metales pesados y metaloides en los horizontes superiores del suelo, puede incidir negativamente en la productividad agrícola y su toxicidad estaría relacionada con el efecto inactivador del suelo dependiendo del pH y del contenido de arcillas y de materia orgánica. En la mayoría de los casos de contaminación de suelos, las sustancias químicas tóxicas provienen de actividades mineras e industriales.

El Ministerio de Agricultura (1995), señala que las principales contaminaciones del suelo en las regiones del país son las siguientes:

1. Fundición de cobre con emisiones fumígenas de SO₂ y particulados de Cu, Mo, Cd, Pb, As, en Calama, el sector medio del valle de Copiapó, Puchuncaví, Quinteros, valle de Catemu y precordillera andina en Machalí y Codegua.

2. Tostación de concentrados con emisión de SO₂ y As: Rungue.

3. Tranque de relaves con aguas efluentes que contienen Mo y sulfatos: Valle Alhué.

5.2.2 Elementos traza y efectos de toxicidad en el suelo.

Los elementos traza ocurren en cantidades muy bajas en agua de riego y en el suelo. Generalmente no son tóxicos y algunos incluso son considerados como micronutrientes (Fe, Mn, Mo, Cu y Zn), sin embargo cantidades sobre algunos mg/L producen bioacumulación y efectos negativos en los vegetales. Los requerimientos de los cultivos son muy bajos como se ilustra en la Tabla 4.

5.2.2.1 Cationes

Los aspectos comunes de estos elementos en los suelos son, entre otros, que las plantas los absorben como iones con carga positiva y se insolubilizan al aumentar el pH del suelo siendo de esta manera retenidos.

Hierro La disponibilidad de hierro en los suelos está controlada por varios factores como: la hidrólisis, pH, quelación y reacciones de oxido-reducción.

El Fe (III) en la solución suelo puede hidrolizar a las formas $[\text{Fe}_2(\text{OH})_2]^{+4}$, Fe^{+3} , FeOH^{+2} , $\text{Fe}(\text{OH})_2^{+}$, $\text{Fe}(\text{OH})_3$ y $\text{Fe}(\text{OH})_4^{-}$. Las primeras cuatro formas se presentan en condiciones ácidas, mientras que las dos últimas son dominantes a $\text{pH} > 7$.

TABLA 4. CONTENIDO PROMEDIO DE MICRONUTRIENTES EN EL TEJIDO VEGETAL Y EXTRACCION POR EL CULTIVO DE MAIZ PARA UN RENDIMIENTO DE 100 qq ha⁻¹.

Nutriente	Contenido (mg kg ⁻¹)	Extracción (g ha ⁻¹)
Cloro	50 - 200	variable
Hierro	30 - 150	100
Manganeso	15 - 100	80
Zinc	10 - 50	150
Boro	5 - 50	60
Cobre	5 - 15	50
Molibdeno	1 - 5	30

La disponibilidad de Fe es muy dependiente del pH y se ha comprobado que sólo a pH = 3 las concentraciones de Fe solubles son adecuadas. En suelos neutros o alcalinos el movimiento de Fe a la raíz sólo se efectúa por difusión y por intercepción radicular.

Valores menores que 5 mg/L de este elemento en el agua es descrito como no tóxico para los vegetales en suelos aireados, aún cuando contribuye a la acidificación del suelo y se acumula en los tejidos vegetales.

Manganeso: Se encuentra en la mayor parte de las rocas, en los minerales secundarios y como óxidos e hidróxidos. El manganeso se encuentra en solución principalmente como Mn⁺² y su concentración disminuye 100 veces por cada unidad de incremento del pH. El Mn en solución es principalmente controlado por el pH y el potencial redox. En suelos extremadamente ácidos, la solubilidad del Mn puede ser alta y causar problemas de toxicidad en las plantas.

En Chile es muy escasa la información con respecto a la dinámica del manganeso en los distintos suelos. Philipp y colaboradores (1985) evaluaron los problemas de éste al estudiar la adaptación de genotipos de alfalfa en suelos Andepts con valores de pH inferiores a 5,4 y analizaron Mn de intercambio y soluble en los suelos más ácidos. Las plantas absorben más Mn pero no se alcanzaron niveles de toxicidad.

Zinc. El Zinc en los suelos se puede encontrar en las siguientes formas: soluble en solución; Zn de intercambio; complejo orgánicamente y en los minerales primarios y secundarios. En muchos suelos, el Zn se encuentra en minerales ferromagnésicos tales como: augita, hornblenda y biotita.

La materia orgánica tiene la propiedad de interactuar con el Zn y se han caracterizado tres tipos de reacciones:

- Inmovilización del Zn por compuestos de alto peso molecular, como por ejemplo, lignina;
- Solubilización y movilización por ácidos y bases de cadenas cortas;
- Complejación por sustancias orgánicas inicialmente solubles las cuales forman luego sales insolubles.

Las reacciones primera y tercera, señaladas anteriormente implican una menor disponibilidad de Zn en los suelos y, por otra parte, la formación de quelatos solubles favorece la disponibilidad. Es tóxico para muchas plantas a variadas concentraciones, a $\text{pH} < 6$.

Se ha comprobado una interacción del Cu y Fe con el Zn de tipo antagónica, probablemente porque competirían por el mismo mecanismo de absorción en las raíces. También altos contenidos

de fósforo disponibles en los suelos inducen deficiencias de Zn en las plantas.

La presencia de $\text{SO}_4^{=}$ favorece la solubilidad y movilidad de zinc en los suelos, no obstante la movilidad del Zn en los suelos es muy baja, considerándosele más bien inmóvil en el perfil del suelo.

Cobre: Los sulfuros son los minerales de cobre predominantes en la corteza de la Tierra y también están presentes minerales secundarios relativamente insolubles que incluyen óxidos, carbonatos, silicatos, sulfatos y cloruros.

En los suelos, además de la presencia de cobre en minerales primarios y secundarios, éste puede existir en las siguientes formas:

- En la solución suelo en forma iónica o complejo;
- Intercambiable;
- Ocluido y coprecipitado en óxidos;
- Adsorbido en forma específica;
- En residuos orgánicos.

Cuando el valor de pH es inferior a 6,9, el cobre en la solución suelo se encuentra principalmente como Cu^{+2} y sobre este valor se encuentra en forma de hidróxidos $\text{Cu}(\text{OH})_2$ y CuOH^+ .

La solubilidad del Cu es muy dependiente del pH y por cada unidad que decrece el pH, aumenta 100 veces. Su solubilidad es inmóvil en el suelo y es absorbido principalmente en la medida que las raíces exploran el volumen de suelo, mecanismo que recibe el nombre de intercepción. La disponibilidad de Cu para las plantas en alguna medida está gobernada por las formas adsorbidas en la superficie de los óxidos y el ligado a la materia orgánica del suelo, lo cual se puede representar como: i) Cu intercambiable y soluble, ii) Cu adsorbido específicamente y iii) Cu ligado orgánicamente.

En experimentos de laboratorio se encuentra que el cobre es tóxico para los vegetales en concentraciones de 0,1 a 1,0 mg/L.

Sodio: Las bajas cantidades en los suelos son una evidencia que en las regiones húmedas es meteorizado y lixiviado.

Puede presentarse en cantidades altas en zonas áridas y semiáridas. Las plantas se pueden beneficiar porque éste sustituye al potasio en algunas funciones o bien tienen un requerimiento mayor de sodio debido a su metabolismo, como sucede en la betarraga, las forrajeras, la remolacha, la espinaca, la acelga suiza. En los forrajes el sodio mejora la palatabilidad.

Cobalto: Se ha demostrado que es esencial para la fijación simbiótica y también es importante en la dieta de los animales rumiantes, ya que los microorganismos del rumen lo requieren para la síntesis de la vitamina B12 y una forma de proveerlo es a través de la fertilización. Se cita al cobalto como presente en cantidades bajas en los suelos. En condiciones experimentales se ha encontrado que en concentraciones $>0,05$ mg/l de Co en el agua de riego, afecta a los cultivos de tomates.

5.2.2.2 Aniones

Boro: El origen del boro en los suelos radica en los borosilicatos (turmalina), mineral que es bastante insoluble y resistente a la intemperización. El boro en los suelos existe principalmente en cuatro formas:

- En las rocas y minerales;
- Adsorbido en la superficie de las arcillas y óxidos;
- Combinado con la materia orgánica;
- Ionizado en solución, boratos y ácido bórico en forma libre no ionizada y que predominan en la solución suelo.

El boro, a pesar de ser un elemento esencial para las plantas, en cantidades > 1 mg/L es tóxico, aunque es difícil encontrarlo en este rango en los suelos.

Molibdeno: Las cantidades en los suelos son muy pequeñas, comúnmente los contenidos son de alrededor de 1 mg kg⁻¹. Las deficiencias se presentan principalmente en condiciones de acidez y texturas arenosas. Al aumentar la acidez disminuye la disponibilidad de Mo. No se cita en la literatura como tóxico para los vegetales. Sin embargo, las plantas forrageras lo bioacumulan en suelos produciendo daño al ganado.

Cloruro.: En la mayor parte de los suelos el cloro se encuentra como sales solubles (cloruros) tales como NaCl, CaCl₂ y MgCl₂. El cloruro es absorbido fácilmente por las plantas. Los niveles en los suelos pueden llegar a ser tóxicos por aportes del agua de riego, a nivel freático alto y movimiento ascendente por capilaridad aumentando la concentración en la zona de raíces.

Selenio: Se cita como tóxico para los vegetales a muy baja concentración (0.025 mg/L).

5.3 Material Particulado

En este contexto se entiende como material particulado suspendido a las partículas que se mantienen en suspensión por la turbulencia del agua, sin contacto con el fondo del cuerpo de agua. El material particulado total suspendido en ríos, comúnmente varía de unos pocos mg/l a algunos g/l, aunque se han medido contenidos más altos en algunos ríos, los cuales se incrementan durante eventos hidrológicos particulares, tales como crecidas e inundaciones.

En ríos, el material suspendido se origina principalmente por erosión del terreno, incluyendo escombros de roca, varios minerales residuales tales como arcillas, feldespatos, cuarzo y detritus orgánico terrestre. El material particulado suspendido puede derivar también del material atmosférico (cenizas volcánicas, aerosoles marinos, productos de erosión del viento). Su tamaño de grano es muy diverso y puede variar entre fracciones de tamaño de arcilla a arena gruesa (mm) de acuerdo a la velocidad del flujo. Este material particulado puede contener elementos tóxicos de origen natural (arsénico, cadmio y mercurio), nutrientes (nitrógeno, fósforo) y carbono orgánico; la concentración de estos elementos constituye lo que se llama la línea de base natural. Esta "línea de base" varía geográfica y temporalmente de acuerdo a las características geológicas, climáticas y de vegetación. En algunas regiones, las concentraciones de línea de base de un elemento dado pueden ser lo suficientemente altas para causar efectos negativos en la biota, especialmente por efectos del riego.



El material particulado es importante en estudios de contaminación ambiental, en los aspectos siguientes:

i) transportador de contaminantes: los metales pesados y micro-contaminantes son transportados preferencialmente sobre material particulado. El porcentaje de metales pesados llevados por la materia suspendida varía de 20% a 99%, dependiendo de la cantidad y tipo de material particulado.

ii) reservorio de contaminantes: cuando el material particulado contaminado se acumula, podría constituirse en una fuente de contaminación.

iii) indicador contaminante: como los contaminantes están generalmente concentrados en el material particulado, este material puede usarse para detectar la contaminación ambiental, aún a muy bajos niveles.

Los contaminantes y nutrientes particulados pueden estar distribuidos en diferentes formas o fases en los sedimentos suspendidos. Estas formas dependen del origen de las sustancias unidas a la materia particulada y de las condiciones ambientales tales como el pH y la alcalinidad. Las formas más importantes bajo las cuales los contaminantes y nutrientes están en la materia particulada adsorbida sobre las partículas, es unida al material orgánico, carbonatos y sulfuros, incluida en la misma matriz mineral de minerales específicos, tales como apatita o fosfato de calcio, silicatos y otros minerales no alterables.

En condiciones no contaminadas, la mayoría de los compuestos minerales (trazas de metales, mineral de fósforo, arsénico) se encuentran en las dos últimas categorías y en óxidos de Fe-Mn. Cuando las concentraciones de estos elementos se incrementan, son adsorbidas principalmente en las partículas y enlazados a sustancias orgánicas. La gran mayoría de compuestos orgánicos sintéticos se encuentran en esta fracción adsorbida.

La capacidad de adsorción de la materia particulada es directamente proporcional a su tamaño de grano: las fracciones más finas (coloides y arcilla) tendrían la más alta capacidad de adsorción. Como resultado, las partículas más pequeñas exhibirán concentraciones más altas de los elementos referidos anteriormente. Esto es, particularmente cierto para metales pesados y los radionuclidos, así como también para ciertos contaminantes orgánicos tales como los plaguicidas.

La concentración de arsénico, cadmio, mercurio, nutrientes (nitrógeno, fósforo) y carbono orgánico en la materia particulada, depende también de la naturaleza mineralógica de la última: la presencia de minerales de arcilla está usualmente

ligada a concentraciones más altas de determinantes. Por otro lado algunos minerales tales como cuarzo, no acumulan contaminantes. Esto es llamado el efecto de matriz. Ya que el cuarzo se encuentra principalmente en las fracciones arena y limo, la influencia de la naturaleza mineralógica de la materia particulada está asociada con la de la composición del tamaño de grano. La materia orgánica particulada (detritus orgánico terrestre o acuático) tiene un área específica muy alta y en consecuencia una alta capacidad de adsorción: como resultado la concentración de contaminantes en la materia particulada será también proporcional a la cantidad de particulados orgánicos.

La composición química de los sistemas acuáticos naturales se distribuye tanto en la fracción disuelta como particulada, tal como se ha destacado anteriormente.

5.3.1. Transporte de material disuelto y particulado

El equilibrio entre la fase disuelta y la sólida puede ser determinante en los niveles de concentración que alcancen los metales traza en ríos. La distribución entre ambas fases está fuertemente influida por el origen de estos metales. En algunos casos, alcanzar el estado de equilibrio podría requerir de un tiempo aproximado de 100 horas, en circunstancias que el tiempo de residencia es normalmente corto.

5.3.2 Origen y composición química

El contenido de material particulado en ríos, se origina casi exclusivamente de material alóctono.

i.- Material alóctono

Diversos estudios demuestran que la variabilidad de la composición química del material particulado en suspensión de los ríos depende ampliamente de su origen geográfico. Se ha demostrado que valores de concentración promedio de elementos tales como (Si, Al, Fe, K, Ga, Hf, Sc, Ta, Ti y U) no presentan variaciones significativas y se les encuentra normalmente asociado al material particulado. Por otra parte, As, Cr, Mg y Na varían moderadamente mientras que Ca, Cs, Cu, Li, Mo, Ni, Pb, Sr y Zn, muestran mayor variabilidad. Entre estos Ca, Na, Mg, As, Sr, Li están en la fase disuelta o asociados a material particulado en suspensión altamente enriquecido en Zn, Pb, Mo, Cu. La variación en la concentración de elementos principales (Al, Fe, Mg, Ca, Na, Si, Ti) se debe principalmente a factores climáticos de la cuenca. En este sentido resulta conveniente caracterizar los ríos de acuerdo a la intensidad del proceso de intemperización.

En el caso de los ríos temperados, la composición química en Fe, Al y Ti es baja, en tanto la concentración de Ca es

elevada. En general en climas templados o fríos, el proceso de intemperización es menos intenso y la composición elemental es más próxima, en promedio, a aquella de rocas superficiales.

Por otra parte, cálculos efectuados a partir de la razón entre los elementos detectados en la fase disuelta y fase particulada, muestran que del contenido total, más del 90% de P, Ni, Si, Co, Mn, Cr, Pb, V y Cs es transportado por las partículas y sólo el porcentaje restante se asocia a la fracción disuelta. El Fe, Al y los elementos presentes en las tierras raras son casi exclusivamente transportados por partículas.

ii.- Tamaño de la partícula

La adsorción, transporte, precipitación y remobilización de metales puede estar severamente condicionada por el tamaño de las partículas. Se ha determinado que partículas más pequeñas pueden ser más concentradoras de metales debido a la favorable relación superficie/masa que permite una mayor capacidad de adsorción. Por ejemplo, resultados de análisis de concentración de metales trazas en material particulado han indicado una marcada tendencia de pequeñas partículas orgánicas y óxidos para adsorber significativas concentraciones de metales pesados.

5.3.3 Variaciones estacionales

La concentración de metales en ríos es fuertemente dependiente del volumen de aguas. Durante los períodos de crecidas, la concentración de metales disminuye debido al efecto de dilución que opera sobre el contenido global de estos sistemas.

5.3.4 Factores que afectan la composición de los sedimentos

El origen marcadamente heterogéneo de la composición química de los sedimentos se puede resumir a través de un modelo que incluye los diversos factores que potencialmente pueden estar afectando la composición elemental del material particulado como precipitado existente en los ríos.

La función que enfatiza la diversa dependencia de éstos se expresa como:

$$T = f(L, H, G, C, V, M, e)$$

T: concentración de metales traza
 L: influencia del material litofílico
 H: factor hidrológico
 G: factores geológicos
 C: influencia cultural

V: tipo de vegetación
M: efecto de regiones mineras
e: error más efectos no previstos por el modelo

5.3.5 Partículas coloidales

Aproximadamente el 80% del material que los ríos descargan en los mares está formado por material particulado y de esa proporción, sólo el 20% está constituido por material disuelto. La geoquímica de muchos de los componentes a nivel traza es regulada por las reacciones que tienen lugar en la superficie de las partículas. La comprensión del comportamiento químico y su efecto sobre los tiempos de residencia de estos elementos en los océanos está sustentada en los resultados de determinación de constantes de partición entre la fracción disuelta y la particulada de dichos elementos.

El material particulado en los sistemas acuáticos naturales, se caracteriza por una amplia distribución de tamaño (Fig. 12) y diversidad de origen tanto orgánico (macromoléculas orgánicas y compuestos húmicos, organismos y restos celulares, etc.) como inorgánico (sólidos transportados principalmente por los ríos formados mayoritariamente por aluminio-silicatos derivados de la erosión física de las rocas como de los procesos de intemperización de las rocas, minerales, partículas inorgánicas revestidas de materia orgánica). El rango de concentración de las partículas suspendidas en estas aguas fluctúa desde 0,01 mg/L (en zonas profundas de los océanos) hasta 50000 mg/L (en ríos y estuarios de gran turbidez).

En relación al tamaño, existe el acuerdo de considerar como límite entre compuestos disueltos y partículas, a todo aquello que no sea retenido por una membrana de 0,45 μm sin considerar la composición de las partículas. De acuerdo con dicha distribución existe un rango de partículas submicrómicas (partículas no retenidas en el filtro), que podría considerarse como fase sólida en suspensión en las aguas naturales y cuya composición también es de origen diverso. Estas partículas o coloides pueden tener un rol decisivo en la adsorción y transporte de metales y otros compuestos desde la columna de agua hacia los sedimentos.

Las partículas presentes en aguas naturales constituyen una proporción importante de la interfase sólido-agua. Esta interfase tiene un rol destacado en la regulación de la concentración de muchos metales traza que pueden ser reactivos y servir de eslabón en los ciclos hidrogeoquímicos. Generalmente la concentración de estos metales es mayor en la fase sólida y/o como compuestos de superficie de dicha fase, que en solución. La proporción relativamente pequeña de los coloides respecto de la masa total del material particulado y la alta capacidad de

adsorción le confiere un rol destacado en el transporte de contaminantes. Su particular característica de mantenerse en forma "disuelta" puede permitir que los contaminantes, previamente adsorbidos sean movilizados hacia sitios de riego, lagos y zonas costeras. Sin embargo, estas partículas al coagular forman agregados que precipitan y en cuyo caso los contaminantes se fijan en los sedimentos. Generalmente un coloide se mantiene en suspensión cuando la sedimentación gravitacional es menor que 10^{-2} cm s⁻¹, calculada en función de la ley de Stokes, considerando partículas esféricas con un bajo coeficiente de Reynolds.

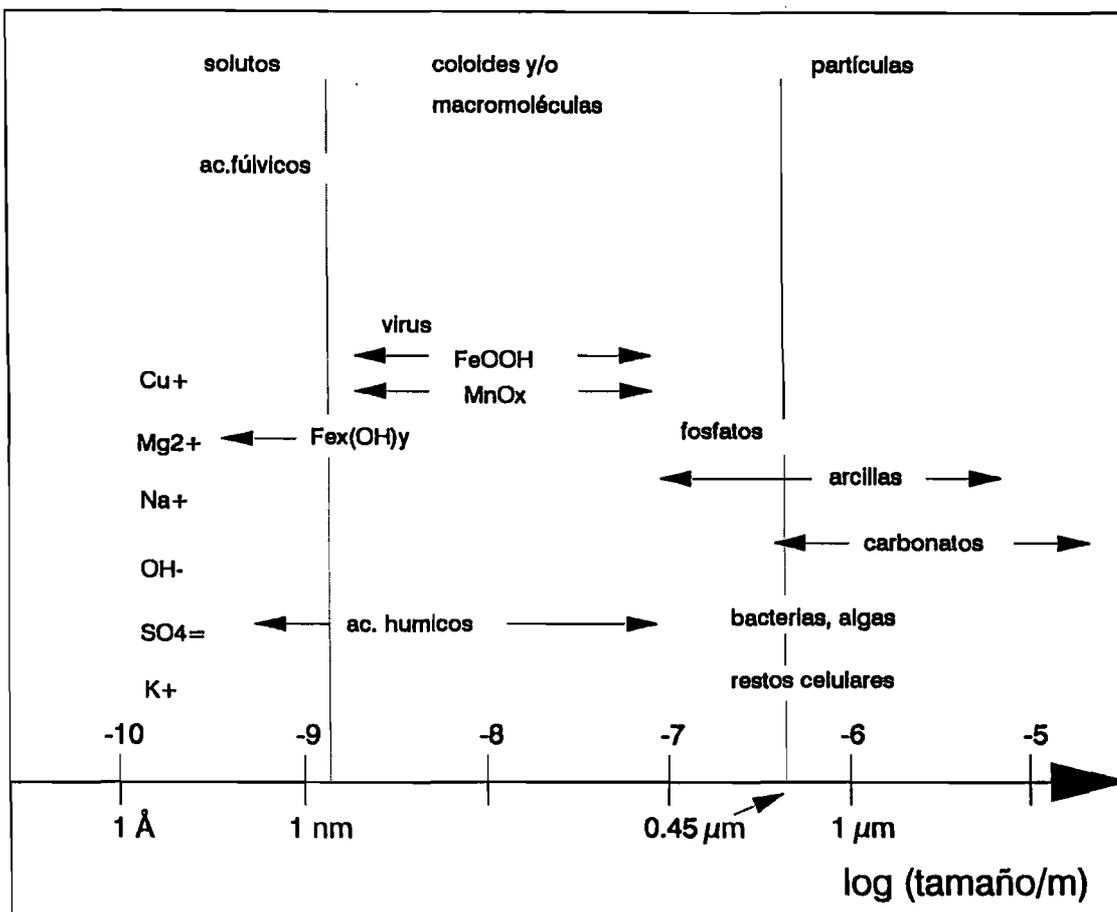


Figura 12. Tamaño de algunas de las principales partículas presentes en sistemas acuáticos.

Tradicionalmente, los coloides se han clasificado de acuerdo a su origen en: hidrofóbicos e hidrofílicos. En el primer caso se produce una afinidad no significativa entre las partículas y el agua, en cambio en el segundo ésta se presenta con gran fuerza. A modo de ejemplo, coloides típicamente hidrofóbicos son óxidos metálicos no-hidratados, a su vez coloides hidrofílicos son virus, bacterias, proteínas. La transición entre una característica y otra se presenta de manera gradual. Algunas partículas coloidales representativas de esta situación son óxidos metálicos de superficie parcialmente hidratada y compuestos amorfos de silicio.

5.3.6 Aglomeración de partículas coloidales

La estabilidad de las partículas acuáticas, es decir su resistencia a la coagulación y/o aglomeración (y en consecuencia, a la sedimentación) depende principalmente de factores que determinan la carga de superficie (regulada por un "film" de materia orgánica que cubre a gran parte de las partículas y el pH) y la fuerza iónica que modula el alcance de la repulsión electrostática. Como ejemplos de lo anterior, el transporte de coloides de fierro y aluminio en los ríos puede estar influenciado por los compuestos húmicos adsorbidos a la zona impidiendo la coagulación. Si esta carga es neutralizada en un medio de alta fuerza iónica con iones Ca^{2+} y Mg^{2+} , el proceso de coagulación y sedimentación puede verificarse eficazmente.

La aglomeración de partículas es relevante en las aguas naturales para riego, tanto superficiales como subterráneas y plantas de tratamiento de agua potable. En estas últimas se utilizan métodos de coagulación y floculación para separar partículas. Suelos, lagos y océanos, son los lugares naturales de sedimentación. La coagulación puede ser lo suficientemente rápida y extensiva para afectar significativamente los flujos de sedimentación. Una importante fracción de partículas coloidales y material en suspensión provenientes de los ríos, coagulan y sedimentan en los estuarios. Este material está principalmente caracterizado por coloides de la lixiviación de suelos como aluminio silicatos, kaolinita, gibsita y óxidos de silicio; también se encuentra los óxidos de hierro y manganeso estabilizados por adsorción a ácidos húmicos, fitoplancton, restos biológicos y coloides de origen húmico.

El material en suspensión es transportado por las aguas hacia zonas inferiores, donde tiende a sedimentar, por la disminución del caudal del agua al ingresar a los valles

aluviales produciendo embancamientos, problemas de colmatación en los sistemas de riego, pérdida de capacidad de los cauces además de daño físico a las plántulas cuando los valores son >500 mg/L.

5.3.7 Mecanismos de transporte

En partículas de tamaño coloidal, se han podido identificar mecanismos de transporte condicionados por el tipo de colisión entre las partículas. Considerando este fenómeno, se distinguen tres tipos de impacto entre partículas que generan, a su vez, tres formas de transporte:

i.- Coagulación de partículas como resultado del movimiento Browniano de éstas, es decir el impacto es consecuencia de su energía térmica. Este mecanismo de transporte se conoce como **pericinético**.

ii.- Si el tamaño de las partículas es suficientemente grande, el movimiento relativo de las partículas puede exceder al movimiento Browniano. Por su parte la agitación provocada por el movimiento de las partículas también es factor de coagulación. La velocidad del fluido puede variar temporal y espacialmente. Esto último se manifiesta en la formación de gradientes de velocidad que unido a la distinta velocidad de las partículas, también es fuente de colisiones entre éstas. La coagulación producida bajo estas condiciones da origen al transporte conocido como **coagulación ortocinética**.

iii.- Las partículas al sedimentar, lo hacen con diferente velocidad de sedimentación, y con colisiones entre ellas. A este proceso se le conoce como **aglomeración por sedimentación diferencial**.

5.3.8 Propiedades químicas de la superficie de las partículas

Genéricamente los mecanismos de adsorción presentes en la interfase sólido-líquido, se pueden clasificar en los siguientes:

a) adsorción física, debido a fuerzas no específicas de atracción (tales como las fuerzas de Van der Waals) que involucran las nubes electrónicas tanto del metal como del adsorbente.

b) adsorción electrostática (intercambio de iones) debido a la atracción por fuerzas de Coulomb entre la carga del soluto y la fase adsorbente.

c) adsorción específica, resultado de las fuerzas de atracción responsables de los enlaces químicos a sitios específicos de la superficie del adsorbente.

d) coprecipitación o formación de solución sólida,, cuyo resultado puede conducir a la remoción de la especie metálica desde la solución.

Los procesos de adsorción son influenciados por el medio reaccionante, es decir por las características físicas y químicas de la solución natural. El pH, potencial redox, temperatura, concentración de agentes complejantes, concentración de elementos traza, especiación de éstos, propiedades enlazantes, fuerza iónica, composición y propiedades de la superficie, son factores significativos en la asociación de la interfase. Sin embargo, es conocido que el factor que tiene un rol decisivo en esta interacción es el pH dado que tanto la acidez de la superficie de la partícula y la hidrólisis de los metales son dependientes de esta variable. Iones metálicos que hidrolizan a pH inferior a 8,5 pueden ser adsorbidos por el material particulado.

5.3.8.1 Oxidos

En el inventario de partículas en los sistemas acuáticos naturales, la formación de óxidos es de particular interés. La significativa concentración y su extendida presencia les confiere un rol destacado en los procesos de adsorción y transporte. En la literatura se informa el comportamiento principalmente de óxidos de fierro, manganeso, aluminio y silicio. En particular los dos primeros son fácilmente coagulables lo que dan lugar a la formación de partículas de tamaño coloidal con una superficie muy activa hacia procesos de adsorción.

La adsorción de iones metálicos a la superficie de los óxidos involucra la formación de complejos con uno o más grupos hidróxilos de superficie. Entre las reacciones de superficie, cabe destacar las siguientes:

- a) el ión metálico puede coordinarse con uno o dos átomos de oxígeno de grupos hidróxilos.
- b) un átomo de oxígeno donador puede complejarse con un complejo metal-ligando.
- c) reacciones de intercambio de ligandos entre un grupo hidróxilo de un complejo metálico con un ligando del complejo de superficie y viceversa.

Los óxidos son anfóteros, de manera que en soluciones naturales de carácter básico la superficie de los óxidos puede adquirir carga negativa y actuar como intercambiador de cationes, facilitando la adsorción de iones metálicos.

5.3.8.2 Carbonatos y Sulfuros

La química de superficie de estos compuestos es diferente al caso anterior. En los carbonatos, se estima que la adsorción de iones metálicos sucede a través de la coordinación con el

ligando carbonato y este proceso no es tan eficiente como la reacción de superficie en los óxidos. Resultados experimentales han mostrado que la adsorción de metales traza en la columna de agua no es significativa de manera que la sedimentación de estas partículas no contribuye a la disminución de la concentración de dichos metales en la solución natural. Similares resultados se han obtenido para los sulfuros, los cuales en soluciones oxigenadas no contribuyen a adsorber metales; sin embargo en sistemas acuáticos anóxicos, la presencia de sulfuro puede tener un rol determinante en el transporte de iones metálicos en solución al formar sulfuros metálicos que precipitan cuando el producto de solubilidad de éstos es sobrepasado (un ejemplo de esto se puede encontrar en sistemas anóxicos en los cuales las concentraciones de Fe^{2+} y S^{2-} son significativas).

5.3.8.3 Materia Orgánica

El carácter orgánico que presentan las partículas acuáticas también contribuye a la adsorción de iones metálicos en los sistemas naturales. En este proceso pueden participar, ya sea partículas orgánicas (tales como organismos vivos, restos de éstos, material húmico) o bien a través de una película ("film") de materia orgánica que cubre partículas inorgánicas tales como óxidos y arcillas, determinando así el tipo de interacción. Esta última se evidencia por el marcado carácter negativo de la superficie de muchas de estas partículas en sistemas acuáticos naturales que impide la interacción con otras de similar carga, en particular aquellas de origen húmico. En ausencia de esta envoltura de materia orgánica muchos óxidos, al pH de los sistemas acuáticos, tienen carga positiva.

5.3.9 Interfase Sedimento-Agua

La sedimentación del material particulado en el fondo de los sistemas acuáticos permite disponer de un lugar de fijación de diferentes especies químicas tanto metales como otros tipos de contaminantes. Pero no solo son lugares de almacenamiento de diferentes compuestos, sino también están en condiciones de influir la composición del agua. Además del flujo de material particulado, también se verifica un flujo de especies químicas desde los sedimentos hacia la solución natural.

La composición de los sedimentos es altamente heterogénea e incluye tanto minerales como materia orgánica. Los metales que ingresan a ésta fase lo hacen a través de procesos de precipitación, intercambio iónico, coprecipitación y adsorción. Ciertas formas de metales son resistentes al intercambio con el agua, manteniéndose estables por largos períodos de tiempo (entre éstos se destacan aquellos provenientes de restos rocosos y donde la matriz es de origen arcilloso).

Los sedimentos no forman una fase inerte puesto que ocurren reacciones que provocan la remobilización de especies hacia la columna de agua. Los procesos químicos están fuertemente determinados por la degradación de materia orgánica que origina una secuencia de reacciones de óxido-reducción. Esta secuencia redox se origina en la reacción de la materia orgánica (en exceso) con el oxígeno, nitratos, sulfatos y bicarbonatos (proceso que conduce a la remoción del oxígeno disuelto) dando lugar a la formación de especies reducidas (anhídrido carbónico, amoníaco, sulfuros y metano). Dichos productos provocan cambios en la química de los sedimentos que permiten la reducción de metales originalmente en forma de óxidos, que al encontrarse como especies reducidas pueden ser solubles y de esta manera originar flujos hacia la solución natural. Ejemplos típicos son las transformaciones que experimentan las especies oxidadas de hierro y manganeso, que en ambientes sedimentarios adecuadamente reductores, son reducidos y transformados en especies solubles retornando a la columna de agua. De esta manera se establece un flujo inverso al determinado por la sedimentación. En la estimación del comportamiento espacio-temporal resulta de gran interés determinar la(s) especie(s) química(s) que originan los flujos de materia y así poder establecer los adecuados balances de masa.

5.4. Análisis del rol y alcance de la Norma de Calidad de Agua NCh 1333. Of78 modificada.

5.4.1 Rol histórico de la norma chilena.

En el Seminario "Normas de diseño de Obras de Agua Potable y Alcantarillado", realizado en Abril de 1975 se solicitó la proposición de la "Norma de protección del agua de los cuerpos receptores de aguas servidas y de residuos industriales líquidos". Este Seminario fue organizado por la Sección Ingeniería Sanitaria, Departamento de Obras Civiles de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile y contó con el patrocinio y asistencia de consultores de la Oficina Sanitaria Panamericana.

Participaron en él profesionales del Sector Público y Privado que se desempeñaban en el área de la Ingeniería Sanitaria en nuestro país.

La preparación y relación de cada uno de los temas estuvo a cargo de relatores nacionales y la redacción final, a cargo de un Coordinador secretario de tema que consideró todas las proposiciones de la Asamblea.

Los anteproyectos preparados fueron enviados al Instituto Nacional de Normalización, quien los promulgó como Normas oficiales de la República, previo período de consulta, durante el cual se hizo hacer llegar nuevas observaciones.

La Sección Ingeniería Sanitaria solamente organizó este evento y reunió los anteproyectos definitivos para esta publicación.

El anteproyecto de Norma "Protección del agua de los cuerpos receptores de aguas servidas y de residuos industriales líquidos", fue elaborada por el Ingeniero Raúl Merino B.

Este anteproyecto explicitaba en forma textual:

"Esta Norma debe ser cumplida respecto a aguas de ríos, de lagos y embalses y a agua de mar, en la costa y agua subterránea. Este Norma establece una clasificación de los usos a que se destina el agua para los efectos de su aplicación y que son:

- a) Abastecimiento de agua potable, previo tratamiento.
- b) Recreo, incluyendo el baño y natación tanto en agua dulce como salada.
- c) Navegación deportiva y pesca.

- d) Vida acuática de aves y peces, considerando para estos últimos el agua dulce y el agua salada.
- e) Reproducción y cultivo de mariscos y afines.
- f) Riego, distinguiéndose los correspondientes a verduras, cítricos y otros cultivos.
- g) Abastecimiento industrial, tanto para la elaboración de alimentos como para otros usos, incluyendo la refrigeración. En ambos casos se hace distinción entre el empleo de agua dulce y agua salada.
- h) Recepción de aguas servidas y de residuos industriales líquidos por colectores o emisarios de alcantarillado".

Los requisitos de calidad del agua de los cuerpos receptores de aguas servidas y de residuos industriales, se indican en las tablas respectivas.

Para confeccionar las tablas se tuvieron presentes normas o estudios hechos en el extranjero. La información disponible indica que los valores de los diferentes elementos se basaron fundamentalmente en la información de la Environmental Protection Agency (EPA).

La primera norma fue oficializada en 1978. Diez años después, durante 1987, y a petición de la Corporación Nacional del Cobre (CODELCO), ésta fue revisada. La norma de calidad de agua chilena (NCh 1333), vigente actualmente, fue declarada Oficial de la República de Chile por Decreto N° 867 del 15 de junio de 1978 del Ministerio de Obras Públicas. Se decretó esta norma con el propósito de fijar criterios de calidad de agua para los usos mencionados, lo cual contribuiría a proteger y preservar la calidad de las aguas de contaminaciones residuales de cualquier tipo. La única modificación hecha a la anterior fue una Nota.

"Esta norma fija un criterio de calidad del agua de acuerdo a requerimientos científicos referidos a aspectos físicos, químicos y biológicos, según el uso determinado.

Estos criterios tienen por objeto proteger y preservar la calidad de las aguas, que se destinen a usos específicos, de la degradación producida por contaminación con residuos de cualquier tipo u origen".

5.4.2 Requisitos del agua para riego

De acuerdo con la norma chilena 1333 modificada, el agua utilizada en riego debe cumplir con las características que a continuación se detallan.

a) Requisitos químicos

a.1 pH

El pH es una medida de acidez o alcalinidad de una solución, numéricamente igual a 7 para soluciones neutras. El pH se incrementa a medida que aumenta la alcalinidad y decrece a medida que aumenta la acidez. Para el agua de riego, éste debe estar comprendido entre 5,5 y 9,0.

a.2 Elementos químicos

Los valores máximos permisibles de los elementos químicos exigidos para el agua de riego se muestran en la Tabla 5.

a.2.1 Conductividad específica y sólidos disueltos totales

En la Tabla 6 se da la clasificación de aguas para riego de acuerdo a sus condiciones de salinidad, en base a las características de conductividad específica y concentración de sólidos disueltos totales.

a.2.2 Herbicidas

La autoridad competente se debe pronunciar en cada caso específico.

a.2.3 Insecticidas

No se considera que tengan efectos perniciosos en aguas para riego.

a.3 Requisitos bacteriológicos

El contenido de coliformes fecales en aguas de riego destinadas al cultivo de verduras y frutas que se desarrollen a ras de suelo y que habitualmente se consumen en estado crudo, debe ser menor o igual a 1000 coliformes fecales/100 ml.

No obstante lo anterior, en mayo de 1987 se modificó la norma NCh 1333 en el sentido que el Ministerio de Obras Públicas podrá autorizar valores mayores o menores a las concentraciones de cada uno de los elementos químicos en el agua para riego (Tabla 5), mediante Resolución fundada en aquellos casos que así lo determinen.

5.4.3 Marco de acción y el contexto legal de la protección ambiental en Chile.

Históricamente las normas chilenas han basado su marco conceptual en las definiciones de la Organización Mundial de la Salud (OMS). Así, la reglamentación aprobada en Chile se basa en

las normas las cuales a su vez han utilizado las guías o recomendaciones sugeridas por la EPA.

La Comisión Nacional del Medio Ambiente de Chile (CONAMA) tramita en la actualidad Reglamentos ambientales. De acuerdo con esta reglamentación las Normas actualmente vigentes en lo relacionado con la calidad del agua y en este caso específico la Norma de Riego, deben ser obligatoriamente revisadas cada cinco años.

Es de importancia destacar que las Normas actualmente vigentes y tramitadas por el Instituto Nacional de Normalización son elaboradas por consenso de los representantes de las instituciones correspondientes.

5.4.4 Relación de la norma NCh 1333 con la ley sobre Bases Generales del Medio Ambiente

Dentro del contexto de la protección ambiental en Chile, la reciente promulgación de la Ley sobre Bases Generales del Medio Ambiente considera, entre otros, aspectos relevantes con respecto al uso del agua.

Esta ley, en su artículo 10º indica que los proyectos o actividades que, en cualquiera de sus fases, sean susceptibles de causar impacto ambiental deben someterse al sistema de evaluación de impacto. Entre estos proyectos o actividades se encuentran aquellos relacionados con (i) explotación intensiva, cultivo y plantas procesadoras de recursos hidrobiológicos y (ii) aplicación masiva de productos químicos a cursos o masas de agua.

El artículo 11º de esta Ley indica que el Estudio de Impacto Ambiental será siempre requerido si genera o presenta efectos adversos significativos sobre la cantidad y calidad del agua, incluyendo aquellos riesgos para la salud humana debido a la cantidad y calidad de efluentes, emisiones y residuos vertidos a los cuerpos de agua. Para evaluar estos riesgos y efectos adversos se considerarán las normas de calidad vigentes. Es decir mientras no se elabore un reglamento para la Ley sobre Bases Generales del Medio Ambiente, las normas actuales para los diferentes usos del agua son las vigentes.

Cabe señalar que el reglamento para establecer normas de calidad ambiental para las aguas y otros componentes ambientales considerará al menos las siguientes etapas: análisis técnico y económico, desarrollo de estudios científicos, consultas a organismos competentes, públicos y privados, análisis de las observaciones formuladas y una adecuada publicidad. Se establecerán además los plazos y formalidades que se requieran para dar cumplimiento a lo dispuesto en el artículo 32 y los criterios para revisar las normas vigentes.

De acuerdo con esta ley, todas las normas ambientales serán revisadas cada cinco años. Esto marca una diferencia con la norma actual para el agua de riego, ya que esta prácticamente no ha sufrido modificaciones desde 1978.

5.4.5 En el Anexo 2 se entrega el detalle de las normas internacionales más importantes actualmente en uso.

TABLA 5. CONCENTRACIONES MAXIMAS DE ELEMENTOS QUIMICOS EN AGUA PARA RIEGO.		
Elementos químicos		Límite máximo (mg/l)
*Aluminio	(Al)	5,000
*Arsénico	(As)	0,100
Bario	(Ba)	4,000
Berilio	(Be)	0,100
Boro	(B)	0,750
*Cadmio	(Cd)	0,010
Cianuro	(CN)	0,200
Cloruro	(Cl ⁻)	200,000
Cobalto	(Co)	0,050
*Cobre	(Cu)	0,200
*Cromo	(Cr)	0,100
Fluoruro	(F)	1,000
*Hierro	(Fe)	5,000
Litio	(Li)	2,500
Litio (cítricos)	(Li)	0,075
*Manganeso	(Mn)	0,200
Mercurio	(Hg)	0,001
Molibdeno	(Mo)	0,010
Niquel	(Ni)	0,200
Plata	(Ag)	0,200
*Plomo	(Pb)	5,000
Selenio	(Se)	0,020
Sodio porcentual	(Na)	35,000
Sulfato	(SO ₄ ⁼)	250,000
Vanadio	(V)	0,100
Zinc	(Zn)	2,000

* Metales pesados y Arsénico presentes en la mayoría de los ríos de Chile. Sobre éstos se centró el análisis del estudio.

TABLA 6. CLASIFICACION DE AGUAS PARA RIEGO SEGUN SU SALINIDAD.

Clasificación	Conductividad Específica, c, $\mu\text{mhos/cm}$ a 25°C	Sólidos disueltos Totales, s, mg/L a 105°C
Agua con la cual generalmente no se observarán efectos perjudiciales.	$c < 750$	$s < 500$
Agua que puede tener efectos perjudiciales en cultivos sensibles.	$750 < c < 1500$	$500 < s < 1000$
Agua que puede tener efectos adversos en muchos cultivos y necesita de métodos de manejo cuidadosos.	$1500 < c < 3000$	$1000 < s < 2000$
Agua que puede ser usada para plantas tolerantes en suelos permeables con métodos de manejo cuidadosos.	$3000 < c < 7500$	$2000 < s < 5000$

5.5 Características físico-químicas de los ríos

Los resultados promedios de las mediciones físico-químicas determinadas en las diferentes estaciones de monitoreo, se presentan en la Tabla 7. Los resultados demuestran que los valores encontrados se ubican, en general, entre los márgenes normales para aguas de riego las condiciones hidrológicas en que se tomaron las muestras.

5.5.1 Parámetros físicos

5.5.1.1 Temperatura

En la Tabla 8 se señalan las temperaturas promedios medidas en las diferentes campañas de monitoreo. Un máximo de 29.3°C se registró en enero en la estación 37 (estación Teno en Captación) y un mínimo de 6°C durante el mes de septiembre (estación Claro-Queñes). En los registros térmicos obtenidos en los diferentes muestreos, se observan gradientes altitudinales de temperatura con un incremento significativo de las mismas a medida que disminuye la altitud, de igual forma, es evidente el proceso normal de calentamiento de las aguas a medida que avanza el período de estiaje.

5.5.1.2 pH

Los resultados de las mediciones de pH se muestran en la Tabla 8. El pH de los ríos es básico en la mayoría de las mediciones realizadas y oscila muy poco alrededor de un pH = 8. Sólo en las estaciones ubicadas en el río LLuta se encontraron condiciones de pH francamente ácido y valores fluctuantes entre 3.5 y 5 unidades de pH, situación generada por las condiciones geoquímicas naturales.

5.5.1.3 Conductividad

En la Tabla 8 se muestran los resultados promedios de las mediciones de conductividad específicas (calculados a 25°C) en todas las estaciones. Los valores fueron relativamente elevados en promedio > 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ con un valor mínimo en septiembre de 52 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y un valor máximo de 6480 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en noviembre. Los ríos Lluta, Loa y Maipo son los que presentan las mayores conductividades registradas durante el estudio. Aunque no es posible observar una gradiente latitudinal en la conductividad específica, los ríos Mataquito, Itata e Imperial presentaron los menores valores. La dinámica altitudinal de este parámetro fue muy dependiente de las condiciones de alteración antrópica existentes en cada lugar.

TABLA 7. VALORES PROMEDIOS DE PARAMETROS FISICO-QUIMICOS.

	I CAMPAÑA		II CAMPAÑA		III CAMPAÑA	
	M.A	D.S	M.A	D.S	M.A	D.S
Temperatura (°C)	13.08	4.56	18.23	5.01	19.20	4.67
pH	7.58	0.95	7.79	0.82	7.67	0.57
Cond. (S/cm 25°)	1031.34	1381.72	1211.73	1622.73	960.96	1339.16
O.D. (mg/l)	9.95	2.31	9.29	2.41	9.04	2.17
Dureza (mg/l)	264.66	235.54	345.45	240.76	264.30	219.52
Alc.total (mM)	1.13	1.11	1.08	0.95	1.01	0.92
Alc.fen. (mM)	0.02	0.06	0.0	0.0	0.01	0.02
CO3= (mg/l)	0.53	3.48	0.0	0.0	0.0	0.0
HCO3- (mg/l)	132.06	134.92	139.35	124.88	129.78	140.81
Cl- (mg/l)	182.18	402.96	209.78	246.68	148.32	374.01
SO4= (mg/l)	177.82	177.97	193.51	165.46	146.57	133.91
Ca++ (mg/l)	81.41	70.26	97.81	66.75	75.34	58.11
Mg++ (mg/l)	19.94	24.58	24.03	27.85	17.87	23.64
K+ (mg/l)	10.86	20.49	13.78	23.23	9.88	18.31
Na+ (mg/l)	110.61	219.09	110.28	196.90	88.94	194.60
P total (ug/l)	152.59	348.95	47.67	51.64	53.58	72.08
N total (ug/l)	470.23	628.22	276.14	144.24	247.68	83.89

M.A : Media aritmética

D.S : Desviación estandar

TABLA 8. DATOS DE VALORES FISICO-QUIMICOS.

VARIABLES									
ESTACIONES	Temperatura (°C)			pH			Conductividad (µS/cm, 25°)		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III
LLUTA ALCERRECA	12.0	19.2	14.8	3.5	4.4	5.5	2183.0	2100.0	1648.0
LLUTA CHAPIZCA	24.0	25.9	24.5	4.4	6.0	7.6	2152.0	2155.0	1739.0
LLUTA DESEMBOCADURA	25.5	27.6	26.0	7.6	8.2	7.7	3960.0	4578.0	2558.0
SN.JOSE ANTES BOC.AZAPA	21.5	18.7	24.7	8.4	8.9	8.4	845.0	808.0	784.0
LOA CONCHI	15.5	18.0	18.4	7.6	8.0	7.5	6416.0	6100.0	5917.0
LOA AYQUINA	8.5	18.9	18.3	8.0	6.8	6.5	2777.0	3300.0	3397.0
LOA ESCORIAL	14.4	18.7	17.5	7.1	7.2	7.0	5704.0	6480.0	6283.0
COPIAPO PTE.BODEGA	15.4	24.9	22.0	7.8	7.4	7.2	1400.0	1488.0	1505.0
COPIAPO MAL PASO	17.2	23.6	24.9	7.8	7.9	7.9	1058.0	1086.0	1160.0
COPIAPO LAUTARO	14.6	24.2	18.7	8.0	8.4	8.0	820.0	1285.0	683.0
COPIAPO PEÑA BLANCA	8.1	20.4	18.3	8.1	8.5	8.2	573.0	534.0	472.0
ELQUI COCHIHUAZ	10.5	14.0	15.2	7.3	8.1	7.7	185.0	161.0	211.0
ELQUI CLARO RIVADAVIA	15.3	19.5	19.9	7.9	8.3	7.9	226.0	224.0	280.0
ELQUI TURBIO VARILLAR	15.5	13.5	20.2	7.9	8.3	8.0	590.0	403.0	520.0
ELQUI ALMENDRAL	17.2	22.4	24.5	8.0	8.5	8.0	501.0	496.0	861.0
LIMARI PALOMO VERT.	7.8	14.8	15.5	7.6	7.8	7.5	175.0	198.0	500.0
LIMARI PUNTILLA SN.JUAN	15.6	20.8	23.6	7.9	8.4	8.1	291.0	300.0	424.0
LIMARI PANAMERICANA	18.7	21.4	24.6	8.2	8.2	8.0	1334.0	1406.0	1549.0
ACONCAGUA JUNCAL	8.8	9.3	9.7	8.1	7.9	7.9	563.0	382.0	599.7
ACONCAGUA CHACABUQUITO	11.4	11.5	14.9	7.8	7.9	7.8	319.0	243.0	357.0
ACONCAGUA PANAMERICANA	17.1	22.0	23.7	8.8	8.1	8.2	513.0	380.0	482.4
ACONCAGUA PTE.COLMO	14.8	22.2	24.8	8.5	8.0	8.5	630.0	426.0	508.0
MAIPO MELOSAS	9.3	9.1	8.7	8.1	7.9	7.9	1548.0	130.0	1068.0
MAIPO COLORADO DES.	9.6	11.2	11.0	8.2	7.9	7.9	1022.0	500.0	968.0
MAIPO LAS LAJAS	9.8	13.3	12.8	8.0	8.0	7.9	1187.0	620.0	888.0
MAIPO LOS MORROS	11.6	14.8	15.3	8.0	7.8	7.9	1167.0	675.0	897.0
MAIPO CHIHUE	17.4	18.7	19.5	7.7	7.7	7.8	1185.0	977.0	990.0
MAIPO NAPOCHO RINC.	12.1	19.2	17.4	7.1	7.2	7.4	1375.0	905.0	1020.0
RAPEL CACHAPOAL-PANGAL	9.2	9.7	13.0	7.9	7.8	7.9	457.0	247.0	308.6
RAPEL COYA-COYA	11.3	18.1	23.0	6.2	6.7	5.8	650.0	510.0	818.4
RAPEL CACHAPOAL BOC.	10.8	15.2	20.0	7.8	7.9	7.8	394.0	305.0	363.0
RAPEL FIGUIRIRICA-NEGRO	19.4	16.0	18.0	7.3	7.9	7.8	274.3	142.0	163.0
RAPEL CACHAPOAL-CODAO	15.1	24.7	22.7	7.5	7.9	7.8	603.2	443.0	346.0
MATAQUITO CLARO-QUEÑES	6.0	-	16.9	7.1	-	7.2	168.0	-	130.0
MATAQUITO TENO	6.6	-	17.3	7.4	-	7.3	283.0	-	136.0
MATAQUITO LONTUE	10.7	-	18.7	7.4	-	7.4	142.0	-	97.4
ITATA CHOLGUAN	9.8	-	22.2	7.5	-	7.4	52.0	-	57.0
ITATA ÑUBLE UCHA COX	11.3	-	25.5	7.8	-	7.5	61.0	-	69.0
ITATA ÑUBLE SN.FABIAN	8.6	-	16.2	7.2	-	7.3	52.0	-	55.9
IMPERIAL EN RARIRUCA	6.9	-	16.8	7.2	-	7.7	78.0	-	106.0
IMPERIAL ALMAGRO	10.8	-	19.1	7.7	-	7.3	59.0	-	78.6

5.5.1.4 Sólidos totales suspendidos

En la Tabla 9 se detallan los resultados de las determinaciones de sólidos totales suspendidos. Los sistemas con mayor aporte de sólidos suspendidos se observan en las cuencas hidrográficas de los ríos Maipo y Rapel, esto se debería al importante componente nival en las condiciones hidrológicas de estos ríos.

5.5.2 Parámetros químicos

5.5.2.1. Oxígeno disuelto

En la Tabla 10 se detallan los valores promedios de oxígeno disuelto en el agua. En la mayoría de las estaciones, este parámetro se encontró a niveles cercanos a la saturación, dadas las condiciones térmicas y de salinidad. La estación Rinconada de Maipo ubicada en la cuenca del río Maipo fue la excepción, con niveles de oxígeno cercanos a la anoxia.

5.5.2.2 Alcalinidad

En las Tablas 10 y 11 se encuentran los valores de alcalinidad total y fenolftaleínica para ambas estaciones. En términos generales no se detectó alcalinidad por fenolftaleína y los valores de alcalinidad total oscilan entre un mínimo de 0.0 mM/L y un máximo de 5.0 mM/L. El equilibrio químico está dominado principalmente por los bicarbonatos.

5.5.2.3 Nitrógeno total Kjeldahl

Los valores se muestran en la Tabla 11. El valor mínimo fue de 26.25 $\mu\text{g/L}$ y el máximo se midió en la estación de Rinconada de Maipú (4430.51 $\mu\text{g/L}$). Todos los otros valores oscilaron en promedio entre 247 y 470 $\mu\text{g/L}$. En todas las estaciones consideradas en este estudio, se observó una disminución en la concentración de Nitrógeno total durante el período estival.

5.5.2.4 Fósforo total Kjeldahl

El fósforo total se muestra en la Tabla 11. El valor mínimo fue de 3.75 $\mu\text{g/l}$ en octubre en las estaciones ubicadas en la zona sur y el máximo fue de 2157 $\mu\text{g/l}$ en este mismo mes en la estación Rinconada de Maipú. Se puede señalar una tendencia a la disminución de los valores durante el período estival.

TABLA 9. DATOS DE SOLIDOS TOTALES SUSPENDIDOS (gr/l).

	I CAMPAÑA		II CAMPAÑA		III CAMPAÑA	
	gr/l	D.S	gr/l	D.S	gr/l	D.S
LLUTA ALCERRECA	0.04472	0.03176	0.073	0.00021	0.0933	0.00542
LLUTA CHAPIZCA	0.08908	0.00209	0.149	0.0319	0.2390	0.0158
LLUTA DESEMBOCADURA	0.11658	0.0222	0.023	0.00261	0.2164	0.01478
SN.JOSE ANTES BOC.AZAPA	0.06804	0.03456	0.145	0.03606	0.0746	0.00262
LOA CONCHI	0.00181	0.00033	0.005	0.00029	0.0066	0.00339
LOA AYQUINA	0.00748	7.1E-05	0.004	0.00057	0.0024	0.00017
LOA ESCORIAL	0.00174	0.00021	0.005	0.00076	0.0026	0.00039
COPIAPO PTE.BODEGA	0.00524	0.00091	0.002	0.00021	0.0036	0.00144
COPIAPO MAL PASO	0.00345	0.00106	0.004	7.7E-05	0.0063	0.00463
COPIAPO LAUTARO	0.01626	0.00132	0.040	0.00516	0.0600	0.00253
COPIAPO PEÑA BLANCA	0.01745	0.00649	0.008	0.00021	0.2015	0.01086
ELQUI COCHIHUAZ	0.00306	0.00041	0.004	2.8E-05	0.0129	0.00223
ELQUI CLARO RIVADAVIA	0.00455	9.2E-05	0.006	0.00454	0.0037	0.00082
ELQUI TURBIO VARILLAR	0.06315	0.00063	0.114	0.00606	0.0420	0.00168
ELQUI ALMENDRAL	0.01802	0.00043	0.024	0.00116	0.0282	0.00095
LIMARI PALOMO VERT.	0.00229	0.00042	0.009	0.00064	0.0056	0.00095
LIMARI PUNTILLA SN.JUAN	0.01362	0.00171	0.010	0.00550	0.0157	0.87539
LIMARI PANAMERICANA	0.00265	9.1E-05	0.002	0.00031	0.0044	0.00149
ACONCAGUA JUNCAL	0.26495	0.11688	0.919	0.01842	0.1313	0.03786
ACONCAGUA CHACABUQUITO	0.1563	0.02715	0.808	0.0869	0.1795	0.01235
ACONCAGUA PANAMERICANA	0.01902	0.00116	0.477	0.04301	0.0935	0.05251
ACONCAGUA PTE.COLMO	0.01452	0.00098	0.257	0.0124	0.0356	0.0108
MAIPO MELOSAS	0.03146	0.00104	2.515	0.0854	0.2180	0.08445
MAIPO COLORADO DES.	0.00820	0.00470	4.313	0.0898	0.8901	0.16272
MAIPO LAS LAJAS	0.11119	0.00156	3.045	0.0296	0.6969	0.12611
MAIPO LOS MORROS	0.18494	0.00599	3.237	3.47118	1.2040	0.29759
MAIPO CHINÍHUE	0.02384	0.00379	0.688	0.00323	0.1962	0.03579
MAIPO MAPOCHO RINC.	0.2123	0.01371	0.935	0.01137	0.4154	0.05659
RAPEL CACHAPOAL-PANGAL	0.04127	0.00144	1.347	0.3655	0.9769	0.07451
RAPEL COYA-COYA	1.02469	0.24028	2.208	0.0912	0.0709	0.0158
RAPEL CACHAPOAL BOC.	0.10628	0.00888	1.235	0.5	1.2359	0.03309
RAPEL TIGUIRIRICA-NEGRO	0.08468	0.01871	1.837	0.0455	0.9320	0.04345
RAPEL CACHAPOAL-CODAO	0.08124	0.01366	0.981	0.13951	1.1832	0.00208
HATAQUITO CLARO-QUEÑES	0.00135	0.00078	-	-	0.0082	0.00078
HATAQUITO TENO	0.01186	0.00091	-	-	0.0391	0.006
HATAQUITO LONTUE	0.00637	0.00078	-	-	0.0256	0.00785
HATAQUITO TENO CAPT.	0.00810	9.8E-05	-	-	0.0194	0.0014
ITAPA CHOLGUAN	0.01205	0.00063	-	-	0.0046	0.00036
ITATA NUEVA ALDEA	0.00973	0.00056	-	-	0.5435	0.00029
ITATA ÑUBLE CUCHA COX	0.00723	9.9E-05	-	-	0.0033	0.00028
ITATA ÑUBLE SN.FABIAN	0.00213	1.8E-05	-	-	0.0029	0.00029
IMPERIAL EN RARIRUCA	0.00386	0.00111	-	-	0.0076	0.00047
IMPERIAL ALMAGRO	0.00481	0.00137	-	-	0.0089	0.00106

TABLA 10. DATOS DE VALORES FISICO-QUIMICOS.

ESTACIONES	VARIABLES								
	Oxígeno disuelto (mg/l)			Dureza (mg/l)			Alcalinidad total (mM)		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III
LLUTA ALCERRECA	9.7	9.7	10.4	330.0	430.0	280.0	0.0	0.0	0.0
LLUTA CHAPIZCA	8.2	8.0	7.3	450.0	410.0	380.0	0.0	0.1	0.5
LLUTA DESEMBOCADURA	8.0	8.3	7.6	900.0	1130.0	560.0	1.0	0.9	0.7
SN.JOSE ANTES BOC.AZAPA	8.6	10.0	7.4	300.0	240.0	220.0	2.1	2.0	1.7
LOA CONCHI	9.0	12.4	8.5	950.0	800.0	860.0	3.6	2.9	3.2
LOA AYQUINA	9.8	10.6	8.1	660.0	760.0	660.0	4.7	4.4	4.5
LOA ESCORIAL	9.3	13.1	9.6	880.0	860.0	850.0	5.0	3.8	3.3
COPIAPO PTE.BODEGA	9.7	3.0	2.7	55.5	520.0	660.0	2.3	1.3	1.9
COPIAPO MAL PASO	11.3	8.5	10.0	480.0	400.0	470.0	1.8	1.4	1.8
COPIAPO LAUTARO	9.7	7.5	8.7	340.0	460.0	280.0	1.1	1.3	1.0
COPIAPO PEÑA BLANCA	10.7	7.8	8.6	240.0	220.0	200.0	1.4	0.9	0.9
ELQUI COCHIHUAZ	10.5	9.1	9.2	80.0	90.0	70.0	0.4	0.4	0.5
ELQUI CLARO RIVADAVIA	10.0	9.0	9.6	100.0	80.0	110.0	0.7	0.7	0.9
ELQUI TURBIO VARILLAR	10.4	10.7	9.5	210.0	200.0	180.0	0.9	0.9	0.8
ELQUI ALMENDRAL	9.8	8.4	9.5	200.0	160.0	210.0	1.1	0.7	1.0
LIMARI PALOMO VERT.	11.7	9.2	8.2	80.0	100.0	170.0	0.9	0.6	1.2
LIMARI PUNTILLA SN.JUAN	10.2	9.3	10.2	130.0	130.0	180.0	1.1	1.0	1.7
LIMARI PANAMERICANA	11.8	11.1	12.1	430.0	320.0	400.0	2.2	1.2	1.8
ACONCAGUA JUNCAL	11.9	10.2	10.0	270.0	280.0	300.0	0.9	0.9	0.8
ACONCAGUA CHACABUQUITO	11.3	10.8	9.2	200.0	230.0	170.0	0.6	0.7	0.5
ACONCAGUA PANAMERICANA	9.3	9.0	9.6	250.0	260.0	200.0	1.5	0.7	1.3
ACONCAGUA PTE.COLMO	5.3	8.2	11.2	270.0	220.0	230.0	2.0	0.7	1.3
MAIPO MELOSAS	11.1	10.0	11.3	310.0	360.0	390.0	1.0	0.5	0.9
MAIPO COLORADO DES.	10.4	11.2	11.8	380.0	260.0	320.0	1.1	0.7	0.9
MAIPO LAS LAJAS	10.8	11.3	11.5	360.0	320.0	370.0	1.2	0.7	0.9
MAIPO LOS MORROS	10.6	10.7	11.8	350.0	390.0	370.0	1.2	0.9	1.0
MAIPO CHIÑIHUE	6.5	8.7	5.8	420.0	420.0	490.0	1.1	1.2	1.7
MAIPO MAPOCHO RINC.	0.4	0.2	0.3	330.0	450.0	440.0	2.0	1.5	1.7
RAPEL CACHAPOAL-PANGAL	10.7	11.4	11.2	200.0	150.0	110.0	0.7	0.5	0.4
RAPEL COYA-COYA	10.5	9.3	7.7	300.0	240.0	440.0	0.1	0.1	0.0
RAPEL CACHAPOAL BOC.	7.3	10.8	9.2	160.0	150.0	130.0	0.7	0.7	0.5
RAPEL TIGUIRIRICA-NEGRO	10.7	10.2	9.5	90.0	140.0	160.0	0.6	0.4	0.3
RAPEL CACHAPOAL-CODAO	5.7	8.8	8.8	300.0	220.0	130.0	0.1	0.7	0.5
MATAQUITO CLARO-QUEÑES	11.9	-	9.8	45.0	-	40.0	0.3	-	0.2
MATAQUITO TENO	11.7	-	9.6	80.0	-	40.0	0.4	-	0.2
MATAQUITO LONTUE	11.7	-	9.2	30.0	-	30.0	0.4	-	0.2
MATAQUITO TENO CAPT.	11.0	-	7.6	80.0	-	80.0	0.4	-	0.3
ITATA CHOLGUAN	11.9	-	10.8	80.0	-	15.0	0.2	-	0.3
ITATA NUEVA ALDEA	10.8	-	8.6	10.0	-	40.0	0.4	-	0.7
ITATA ÑUBLE CUCHA COX	10.5	-	7.8	10.0	-	30.0	0.3	-	0.3
ITATA ÑUBLE SN.FABIAN	11.7	-	9.6	10.0	-	30.0	0.3	-	0.2
IMPERIAL RARIRUCA	13.6	-	10.9	20.0	-	40.0	0.4	-	0.2
IMPERIAL ALMAGRO	12.5	-	9.6	10.0	-	30.0	0.4	-	0.4

TABLA 11. DATOS DE VALORES FISICO-QUIMICOS.

ESTACIONES	VARIABLES								
	Alcalinidad fen. (mM)			P total (µg/l)			N total (µg/l)		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III
LLUTA ALCERRECA	0.0	0.0	0.0	190.0	171.2	141.2	552.5	350.8	376.2
LLUTA CHAPIZCA	0.0	0.0	0.0	276.2	175.0	221.2	589.8	272.8	355.9
LLUTA DESEMBOCADURA	0.0	0.0	0.0	167.5	42.5	376.2	345.7	228.8	427.1
SN.JOSE ANTES BOC.AZAPA	0.2	0.0	0.0	180.0	177.5	172.5	577.9	940.6	479.6
LOA EN CONCHI	0.0	0.0	0.0	133.7	18.7	71.2	672.8	259.3	230.5
LOA EN AYQUINA	0.0	0.0	0.0	32.5	32.5	35.0	372.8	189.8	254.2
LOA ESCORIAL	0.0	0.0	0.0	136.2	108.7	60.0	523.7	208.7	227.1
COPIAPO PTE.BODEGA	0.0	0.0	0.0	25.0	13.7	31.2	296.6	255.9	277.9
COPIAPO MAL PASO	0.0	0.0	0.0	21.2	11.2	8.7	474.5	279.6	274.5
COPIAPO LAUTARO	0.2	0.0	0.0	22.5	23.7	53.7	315.2	249.1	281.3
COPIAPO PEÑA BLANCA	0.0	0.0	0.0	7.5	12.5	121.2	315.2	340.6	293.2
ELQUI COCHIHUAZ	0.0	0.0	0.0	18.7	5.0	8.7	327.1	155.9	281.3
ELQUI CLARO RIVADAVIA	0.0	0.0	0.0	18.7	6.2	7.5	484.7	232.2	250.8
ELQUI TURBIO VARILLAR	0.0	0.0	0.0	32.5	57.5	36.2	311.8	262.7	222.0
ELQUI ALMENDRAL	0.0	0.0	0.0	26.2	13.7	26.2	401.6	257.6	388.1
LIMARI PALOMO VERT.	0.0	0.0	0.0	13.7	15.0	7.5	303.3	225.4	305.3
LIMARI PUNTILLA SN.JUAN	0.0	0.0	0.0	7.5	17.5	11.2	367.7	184.7	249.1
LIMARI PANAMERICANA	0.0	0.0	0.0	13.7	10.0	11.2	388.1	205.0	279.6
ACONCAGUA JUNCAL	0.0	0.0	0.0	120.0	103.5	93.7	293.2	315.1	338.9
ACONCAGUA CHACABUQUITO	0.0	0.0	0.0	35.0	88.1	162.5	347.4	298.5	227.1
ACONCAGUA PANAMERICANA	0.2	0.0	0.0	137.5	125.4	148.7	298.3	250.1	250.8
ACONCAGUA PTE.COLMO	0.2	0.0	0.0	23.9	27.4	31.2	418.6	377.4	291.5
MAIPO MELOSAS	0.0	0.0	0.0	30.0	7.5	17.5	201.6	128.8	211.8
MAIPO COLORADO DES.	0.0	0.0	0.0	77.5	6.2	20.0	294.9	138.9	205.0
MAIPO LAS LAJAS	0.0	0.0	0.0	107.5	7.5	17.5	215.2	159.3	211.8
MAIPO LOS MORROS	0.0	0.0	0.0	281.2	7.5	18.7	367.7	111.8	183.0
MAIPO CHIHUE	0.0	0.0	0.1	602.5	14.5	26.2	384.7	188.5	26.2
MAIPO MAPOCHO RINC.	0.0	0.0	0.0	2157.5	35.9	40.0	4430.5	320.5	347.4
RAPEL CACHAPOAL-PANGAL	0.0	0.0	0.0	55.0	38.5	22.5	233.8	230.6	203.3
RAPEL COYA-COYA	0.0	0.0	0.0	601.2	38.4	25.0	598.3	425.3	269.4
RAPEL CACHAPOAL BOC.	0.0	0.0	0.0	62.5	44.8	32.5	342.3	325.6	232.1
RAPEL TIGUIRIRICA-NEGRO	0.0	0.0	0.0	110.0	70.4	30.0	316.9	277.6	211.8
RAPEL CACHAPOAL-CODAO	0.0	0.0	0.0	601.2	44.5	42.5	598.3	463.9	288.1
MATAQUITO CLARO-QUEÑES	0.0	-	0.0	6.2	-	7.5	350.8	-	216.9
MATAQUITO TENO	0.0	-	0.0	3.7	-	31.2	337.2	-	159.3
MATAQUITO LONTUE	0.0	-	0.0	20.0	-	23.7	266.1	-	183.0
MATAQUITO TENO CAPT.	0.1	-	0.0	3.7	-	25.0	310.1	-	164.4
ITATA CHOLGUAN	0.0	-	0.0	31.2	-	8.7	355.9	-	155.9
ITATA NUEVA ALDEA	0.0	-	0.0	52.5	-	16.2	257.6	-	194.9
ITATA ÑUBLE CUCHA COX	0.0	-	0.0	40.0	-	16.2	367.2	-	174.5
ITATA ÑUBLE SN.FABIAN	0.1	-	0.0	15.0	-	8.7	298.3	-	138.9
IMPERIAL RARIRUCA	0.0	-	0.0	27.5	-	15.0	352.4	-	142.3
IMPERIAL ALMAGRO	0.0	-	0.0	35.0	-	21.2	359.3	-	166.1

5.5.2.5 Macroelementos Cl^- , $\text{CO}_3^{=}$, HCO^- , Na^+ , K^+ , Ca^+ , Mg^+

En las Tablas 12-14 se encuentran los resultados de las mediciones realizadas en todas las estaciones. El grupo de los cationes estuvo dominado por sodio y calcio durante todo el período de muestreo, en cambio, en los aniones se observaron concentraciones similares de cloruros, sulfatos y carbonatos.

5.5.2.6 Análisis Estadístico

Considerando todos los parámetros físico-químicos obtenidos durante las tres campañas realizadas en este estudio, se realizó una ordenación de las estaciones en función de la variabilidad encontrada en cada lugar. El análisis consistió en utilizar el método de análisis de componentes principales (ACP, CANOCO 1988). Contrario a lo esperado, en los resultados no se encontró ningún patrón espacial, éstos más bien destacan la existencia de ríos con características muy particulares como son los ríos Lluta, Loa y Mapocho. El resto de las estaciones se mantienen agrupadas con una variación temporal mínima. Sólo se analizaron aquellos componentes principales que fueron estadísticamente significativos ($p < 0.05$).

TABLA 12. DATOS DE VALORES QUIMICOS.

ESTACIONES	VARIABLES								
	CO3= (mg/l)			HCO3- (mg/l)			Cl- (mg/l)		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III
LLUTA ALCERRECA	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.8	424.3	405.9	249.9
LLUTA CHAPIZCA	0.0	0.0	0.0	0.0	12.2	36.0	447.3	397.0	300.6
LLUTA DESEMBOLCADURA	0.0	0.0	0.0	137.2	113.5	67.7	878.8	888.7	465.1
SN.JOSE ANTES BOC.AZAPA	22.8	0.0	0.0	247.1	238.6	207.5	57.0	67.7	65.2
LOA CONCHI	0.0	0.0	0.0	424.0	291.7	452.2	1951.1	1602.7	1612.3
LOA AYQUINA	0.0	0.0	0.0	603.4	507.7	690.1	629.9	669.6	667.9
LOA ESCORIAL	0.0	0.0	0.0	574.2	584.6	581.5	1620.4	1736.3	1804.8
COPIAPO PTE.BODEGA	0.0	0.0	0.0	258.1	217.3	222.1	73.7	73.4	79.0
COPIAPO MAL PASO	0.0	0.0	0.0	210.5	186.7	209.9	52.4	57.4	47.5
COPIAPO LAUTARO	0.0	0.0	0.0	148.2	141.6	118.4	40.7	70.9	23.0
COPIAPO PEÑA BLANCA	0.0	0.0	0.0	153.8	148.8	117.2	16.0	19.3	9.9
ELQUI COCHIHUAZ	0.0	0.0	0.0	36.6	41.5	58.0	5.6	5.3	2.5
ELQUI CLARO RIVADAVIA	0.0	0.0	0.0	79.3	97.6	106.8	7.0	6.4	3.5
ELQUI TURBIO VARILLAR	0.0	0.0	0.0	98.8	93.4	100.1	26.0	19.1	19.1
ELQUI ALMENDRAL	0.0	0.0	0.0	126.9	131.8	137.9	19.1	20.6	17.0
LIMARI PALONO VERT.	0.0	0.0	0.0	122.0	58.6	227.0	3.8	7.4	2.1
LIMARI PUNTILLA SN.JUAN	0.0	0.0	0.0	153.8	158.0	212.3	11.6	9.9	9.2
LIMARI PANAMERICANA	0.0	0.0	0.0	241.6	216.0	217.2	267.0	267.3	281.1
ACONCAGUA JUNCAL	0.0	0.0	0.0	99.5	72.6	70.2	16.7	9.2	9.2
ACONCAGUA CHACABUQUITO	0.0	0.0	0.0	70.0	66.5	64.7	16.7	8.3	8.5
ACONCAGUA PANAMERICANA	0.0	0.0	0.0	206.5	131.8	151.9	21.3	13.0	12.8
ACONCAGUA PTE.COLMO	0.0	0.0	0.0	225.8	142.7	156.2	25.9	15.9	14.2
MAIPO MELOSAS	0.0	0.0	0.0	116.5	69.5	80.5	266.2	85.3	127.6
MAIPO COLORADO DES.	0.0	0.0	0.0	88.5	85.4	94.0	82.9	30.4	31.5
MAIPO LAS LAJAS	0.0	0.0	0.0	94.5	80.5	92.7	158.8	57.1	75.1
MAIPO LOS MORROS	0.0	0.0	0.0	89.7	91.5	111.1	153.1	56.4	72.0
MAIPO CHIÑIHUE	0.0	0.0	0.0	217.2	190.3	190.3	137.2	114.3	114.3
MAIPO NAPOCHO RINC.	0.0	0.0	0.0	204.1	108.6	108.6	155.6	110.6	110.6
RAPEL CACHAPOAL-PANGAL	0.0	0.0	0.0	75.0	65.3	62.8	54.9	27.1	19.2
RAPEL COYA-COYA	0.0	0.0	0.0	6.1	7.9	6.1	14.5	10.1	9.8
RAPEL CACHAPOAL BOC.	0.0	0.0	0.0	64.7	71.4	71.4	37.2	27.5	16.6
RAPEL TIGUIRIRICA-NEGRO	0.0	0.0	0.0	30.5	60.4	50.0	13.8	5.7	8.0
RAPEL CACHAPOAL-CODAO	0.0	0.0	0.0	121.4	114.7	96.4	36.5	26.8	21.7
MATAQUITO CLARO-QUEÑES	0.0	-	0.0	35.4	-	18.3	9.9	-	6.7
MATAQUITO TENO	0.0	-	0.0	41.5	-	34.2	29.0	-	18.4
MATAQUITO LONTUE	0.0	-	0.0	36.6	-	29.3	15.2	-	6.4
MATAQUITO TENO CAPT.	0.0	-	0.0	48.8	-	38.4	32.6	-	17.0
ITATA CHOLGUAN	0.0	-	0.0	28.6	-	30.5	3.5	-	2.8
ITATA NUEVA ALDEA	0.0	-	0.0	32.9	-	74.4	4.6	-	5.0
ITATA ÑUBLE CUCHA COY	0.0	-	0.0	30.5	-	44.5	4.6	-	2.5
ITATA ÑUBLE SN.FABIAN	0.0	-	0.0	27.4	-	28.1	3.5	-	2.1
IMPERIAL EN RARIRUCA	0.0	-	0.0	40.2	-	61.6	3.9	-	2.8
IMPERIAL ALMAGRO	0.0	-	0.0	31.1	-	42.7	3.9	-	3.2

TABLA 13. DATOS DE VALORES FISICO-QUIMICOS.

ESTACIONES	VARIABLES								
	SO ₄ = (mg/l)			Ca ⁺⁺ (mg/l)			Mg ⁺⁺ (mg/l)		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III
LLUTA ALCERRECA	499.5	237.3	330.4	80.4	86.9	72.4	37.2	41.4	31.5
LLUTA CHAPIZCA	526.4	393.8	375.0	114.0	112.0	92.4	38.0	39.0	31.9
LLUTA DESEMBOCADURA	864.5	864.5	495.7	271.0	309.0	148.1	83.0	92.0	48.3
SN.JOSE ANTES BOC.AZAPA	145.0	115.7	130.0	63.5	42.9	58.0	26.3	24.7	19.7
LOA CONCHI	268.9	194.5	210.0	216.0	208.0	195.5	100.0	98.0	101.0
LOA AYQUINA	230.5	195.0	210.0	141.0	199.0	188.5	86.0	92.0	93.0
LOA ESCORIAL	130.0	108.1	100.0	325.0	265.0	258.0	73.0	77.0	79.0
COPIAPO PTE.BODEGA	495.0	480.3	506.7	160.0	120.0	147.6	46.0	46.6	46.2
COPIAPO MAL PASO	393.8	317.0	361.2	128.2	84.4	125.6	32.4	31.1	32.4
COPIAPO LAUTARO	283.0	419.8	204.1	96.8	123.0	81.8	20.8	30.2	15.8
COPIAPO PEÑA BLANCA	171.0	139.7	126.3	82.6	64.5	65.2	16.7	15.4	11.4
ELQUI COCHIHUAZ	56.1	50.0	52.8	11.8	24.2	30.8	1.8	4.0	4.1
ELQUI CLARO RIVADAVIA	43.2	45.1	48.5	30.7	36.5	38.1	4.5	5.4	5.5
ELQUI TURBIO VARILLAR	207.4	149.8	140.2	70.2	52.1	56.1	14.6	12.4	11.9
ELQUI ALMENDRAL	145.5	130.2	134.0	64.5	66.3	66.4	12.0	12.4	12.4
LIMARI PALOMO VERT.	41.3	61.0	57.6	39.0	33.5	77.2	5.0	4.5	7.2
LIMARI PUNTILLA SN.JUAN	33.1	31.2	37.5	44.4	45.7	58.2	6.7	6.6	8.8
LIMARI PANAMERICANA	152.3	170.0	157.1	106.0	107.8	95.0	43.2	41.7	41.0
ACONCAGUA JUNCAL	195.0	190.2	108.5	96.8	93.3	55.5	8.6	7.1	5.6
ACONCAGUA CHACABUQUITO	94.1	74.9	110.0	47.8	42.4	54.0	5.5	5.2	5.6
ACONCAGUA PANAMERICANA	117.2	74.9	102.8	80.8	57.4	70.4	15.3	8.6	10.5
ACONCAGUA PTE.COLMO	119.1	82.6	97.5	84.9	60.8	62.2	19.4	10.5	13.5
MAIPO MELOSAS	245.0	271.4	282.4	120.8	137.2	126.0	10.8	6.6	9.5
MAIPO COLORADO DES.	336.2	184.9	234.4	136.8	94.0	106.8	16.8	9.8	12.1
MAIPO LAS LAJAS	315.0	228.1	262.2	125.4	115.4	120.8	13.2	7.4	10.4
MAIPO LOS MORROS	295.8	252.2	262.2	117.6	131.2	129.4	12.4	7.8	10.4
MAIPO CHIHUE	209.4	220.9	220.9	138.5	139.6	139.6	19.6	17.2	17.2
MAIPO MAPOCHO RINC.	249.7	182.5	182.5	111.0	106.4	106.4	16.4	11.8	11.8
RAPEL CACHAPOAL-PANGAL	94.1	69.6	71.1	56.0	47.1	47.1	4.8	3.7	3.4
RAPEL COYA-COYA	261.3	264.2	355.4	88.5	88.8	123.2	13.5	9.8	15.7
RAPEL CACHAPOAL BOC.	82.6	71.1	86.4	47.7	47.3	51.2	5.0	4.1	5.1
RAPEL FIGUIRIRICA-NEGRO	55.7	30.7	33.1	13.0	26.1	24.8	2.3	2.2	2.1
RAPEL CACHAPOAL-CODAO	92.7	84.5	73.0	64.1	60.0	55.1	9.1	6.8	5.5
NATAQUITO CLARO-QUEÑES	40.0	-	30.7	12.6	-	8.1	6.7	-	4.8
NATAQUITO TENO	65.0	-	42.7	29.2	-	23.0	4.3	-	2.9
NATAQUITO LONTUE	18.0	-	14.9	12.5	-	9.8	2.0	-	1.3
NATAQUITO TENO CAPT.	74.0	-	53.8	38.3	-	27.5	3.7	-	2.5
ITATA CHOLGUAN	ND	-	0.0	4.4	-	5.2	1.7	-	1.7
ITATA NUEVA ALDEA	ND	-	0.0	4.7	-	9.1	2.4	-	5.9
ITATA ÑUBLE CUCHA COY	1.0	-	1.0	5.9	-	7.7	1.5	-	2.3
ITATA ÑUBLE SN.FABIAN	ND	-	0.0	6.0	-	5.2	1.0	-	1.2
IMPERIAL EN RARIRUCA	1.0	-	0.0	7.2	-	10.1	2.5	-	3.7
IMPERIAL ALMAGRO	ND	-	0.0	5.2	-	6.7	1.9	-	2.5

TABLA 14. DATOS DE VALORES FISICO-QUIMICOS

VARIABLES						
ESTACIONES	K+ (mg/l)			Na+ (mg/l)		
	I	II	III	I	II	III
LLUTA ALCERRECA	43.2	42.0	36.0	252.1	193.2	187.0
LLUTA CHAPIZCA	41.2	40.0	34.0	253.9	202.4	190.9
LLUTA DESEMBOCADURA	62.0	66.0	41.0	496.8	450.8	285.2
SN.JOSE ANTES BOC.AZAPA	9.8	9.8	9.0	79.1	92.9	74.7
LOA CONCHI	83.0	78.0	70.5	1048.8	726.8	851.0
LOA AYQUINA	36.0	37.0	36.2	359.0	298.8	370.3
LOA ESCORIAL	81.0	88.5	85.5	901.6	818.8	924.6
COPIAPO PTE.BODEGA	5.9	5.8	7.7	112.2	117.3	114.1
COPIAPO MAL PASO	4.5	4.5	4.6	73.6	78.2	73.1
COPIAPO LAUTARO	4.0	6.1	3.7	57.1	105.8	34.0
COPIAPO PEÑA BLANCA	2.3	2.4	2.2	23.9	22.1	129.9
ELQUI COCHIHUAZ	1.2	1.1	1.2	6.9	6.5	5.5
ELQUI CLARO RIVADAVIA	1.5	1.7	1.7	7.8	9.2	9.7
ELQUI TURBIO VARILLAR	4.2	3.2	3.3	34.0	28.5	27.4
ELQUI ALMENDRAL	3.7	3.2	3.5	27.6	30.6	27.6
LIMARI PALOMO VERT.	1.1	1.1	1.3	5.1	7.4	8.5
LIMARI PUNTILLA SN.JUAN	1.5	1.7	2.1	12.0	12.9	16.6
LIMARI PANAMERICANA	5.4	5.2	5.7	137.1	144.4	142.6
ACONCAGUA JUNCAL	2.0	1.9	5.7	10.1	5.5	7.8
ACONCAGUA CHACABUQUITO	3.3	2.1	2.2	11.5	5.5	7.8
ACONCAGUA PANAMERICANA	2.7	2.4	2.5	19.3	9.0	13.3
ACONCAGUA PTE.COLMO	4.6	3.0	3.3	23.9	11.0	18.4
MAIPO MELOSAS	5.2	3.0	3.5	162.8	38.6	82.8
MAIPO COLORADO DES.	3.0	3.4	3.3	57.1	15.6	23.5
MAIPO LAS LAJAS	2.2	3.4	3.5	105.8	28.5	50.1
MAIPO LOS MORROS	3.7	3.8	3.9	98.4	28.5	49.2
MAIPO CHINIHUE	6.6	5.8	5.8	80.0	49.2	49.2
MAIPO MAPOCHO RINC.	8.4	7.6	7.6	124.2	53.4	53.2
RAPEL CACHAPOAL-PANGAL	4.6	3.1	2.4	27.6	11.6	8.0
RAPEL COYA-COYA	4.2	4.5	6.8	15.6	10.1	12.2
RAPEL CACHAPOAL BOC.	3.5	8.2	2.7	18.4	9.7	8.0
RAPEL TIGUIRIRICA-NEGRO	1.7	1.7	1.7	8.7	4.6	4.1
RAPEL CACHAPOAL-CODAO	3.7	3.5	3.1	19.3	11.7	9.2
MATAQUITO CLARO-QUEÑES	2.5	-	2.4	9.7	-	7.1
MATAQUITO TENO	3.1	-	2.5	18.4	-	12.2
MATAQUITO LONTUE	1.9	-	1.4	12.0	-	7.8
MATAQUITO TENO CAPT.	3.1	-	2.6	20.2	-	13.1
ITATA CHOLGUAN	0.6	-	0.9	3.5	-	3.7
ITATA NUEVA ALDEA	1.1	-	2.5	5.1	-	8.3
ITATA ÑUBLE CUCHA COX	1.0	-	1.4	4.1	-	5.1
ITATA ÑUBLE SN.FABIAN	0.6	-	0.8	3.2	-	3.7
IMPERIAL EN RARIRUCA	1.1	-	1.6	4.6	-	5.7
IMPERIAL ALMAGRO	1.0	-	1.5	4.1	-	5.1

5.6 Metales Pesados

Se realizaron 3 campañas de muestreo en diferentes épocas del año considerando probables diferencias estacionales en la concentración de los elementos. Durante la primera campaña (Octubre-93) se estimó necesario hacer un análisis de la concentración de 20 metales para disponer de una primera información que permitiera tener una estimación de aquellos elementos cuyas concentraciones fuesen significativas en relación a los rangos establecidos en la Norma Chilena de aguas de Riego (1333).

Los resultados de este análisis inicial se muestran en las Tablas 15-18. La concentración de los elementos en la fracción particulada fue calculada de la siguiente manera (APHA, 1992):

$$C = D \times V1/V2$$

C: concentración del elemento (mg/L)

D: concentración del elemento en la solución digerida (mg/L)

V1: volumen final de la solución digerida (mL)

V2: volumen de la muestra (mL)

Estos resultados muestran que el Hg, Ag y Ni no fueron detectados en la fase disuelta; por otra parte, en la fracción asociada a partículas el Ba, Be, B, Hg y Ag tampoco fueron detectados. El Co y Zn en la fase disuelta presentan concentraciones cercanas al límite de detección ó bajo él en algunas estaciones. El Co en la fase particulada fluctúa entre 0.25 mg/L hasta niveles de concentración bajo el límite del método. El V y Se en fase disuelta y particulada presentan también concentraciones cercanas o bajo el límite de detección. El Ni presenta valores muy bajos en el material particulado. El Cd, no presenta valores detectables con la excepción de 0,01 mg/L en el río Lluta. Situación similar sucede con el Cr en la fase particulada. Además, el As, Al, Cu y Mn muestran concentraciones que en algunas estaciones sobrepasan la Norma tanto en el material disuelto como en el particulado.

Los resultados del estudio más intensivo de estos metales se detallan en las Tablas 19 a 25 y además se discute el detalle.

Al. Con límite máximo de 5 mg/L para agua de riego.

En la fracción particulada, el Al sobrepasa la Norma de riego en todos los ríos estudiados. Los ríos Aconcagua, Maipo y

(*)

Rapel son los que presentan aguas con valores muy altos en algunos periodos del año ($> 100\text{mg/L}$). En el material disuelto, el Al sólo sobrepasa la Norma en el río Lluta y éste hecho podría deberse al pH ácido de este sistema.

As. Límite máximo permitido: 0.100 mg/L .

Los valores de concentración de As en la fracción disuelta, sólo sobrepasan la norma de riego en el río San José y en el río Loa. En el caso del material particulado, a los ríos mencionados, se agregan los ríos Lluta, Maipo y Rapel durante algunos periodos del año. }

Cu. Límite máximo permitido: 0.200 mg/L .

Los valores de este elemento en la fase disuelta sobrepasan la Norma de riego solamente en el río Rapel, estación Coya-Coya. En el caso del material particulado, esto ocurre en los ríos Aconcagua, Maipo y Rapel.

Cd. Límite máximo permitido: 0.010 mg/L

Este elemento presentó sólo en una campaña concentraciones cercanas ó sobre la norma en los ríos Lluta y Loa, aunque sólo en la fracción disuelta. }

Es importante destacar que no fue detectado en el material particulado.

Pb. Límite máximo de detección 5 mg/L .

Este elemento presentó valores muy bajos o no detectables en ambas fracciones.

Cr. Límite máximo permitido 0.100 mg/L .

Este elemento presentó valores muy bajos o no detectables en ambas fracciones.

Mn. Límite máximo permitido 0.200 mg/L .

El Mn presentó valores sobre la norma tanto en el material disuelto como en el particulado en los ríos Lluta, Aconcagua, Rapel y Maipo. En las estaciones de altura es notoriamente alta la concentración de Mn en este último río.

TABLA 15. VALORES DE CONCENTRACION DE METALES PESADOS

	Al		As		Ba		Be		B	
	D	P	D	P	D	P	D	P	D	P
LLUTA DESENBOCADURA	0.028	4.16	0.02	0.13	ND	ND	ND	ND	26.2	ND
SN.JOSE ANTES BOC.AZAPA	0.038	1.798	0.063	0.006	ND	ND	ND	ND	1.2	ND
LOA ESCORIAL	0.02	0.023	0.66	0.001	ND	ND	ND	ND	12.4	ND
COPIAPO PTE.BODEGA	0.024	0.18	0.004	0.002	ND	ND	ND	ND	1.3	ND
ELQUI ALMENDRAL	0.04	6,58	0.004	0.039	ND	ND	ND	ND	0.4	ND
LIMARI PANAMERICANA	0.021	0.065	0.001	ND	ND	ND	ND	ND	0.2	ND
ACONCAGUA PTE.COLMO	0.018	0.522	0.002	ND	ND	ND	ND	ND	0.1	ND
MAIPO CHIÑIHUE	0.047	0.484	0.004	0.001	ND	ND	ND	ND	0.2	ND
RAPEL CACHAPOAL-CODAO	0.038	2.99	0.012	0.004	ND	ND	ND	ND	ND	ND
RAPEL TINGUIRIRICA-NEGRO	0.053	3.67	0.006	0.004	ND	ND	ND	ND	0.1	ND
MATAQUITO TENO CAPT.	0.035	0.43	0.001	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
ITATA ÑUBLE CUCHA COX	0.08	1.01	0.001	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
ITATA EN NUEVA ALDEA	0.186	0.82	0.001	ND	ND	ND	ND	ND	0.1	ND
IMPERIAL ALMAGRO	0.069	0.28	0.001	ND	ND	ND	ND	ND	0.1	ND

D: fracción disuelta (mg/l)

P: fracción particulada (mg/l)

TABLA 16. VALORES DE CONCENTRACION DE METALES PESADOS

	Cd		Co		Cu		Cr		Fe	
	D	P	D	P	D	P	D	P	D	P
LLUTA DESENBOCADURA	0.013	8.37	0.029	0.022	0.03	0.012	0.03	BLD	0.03	13.63
SN.JOSE ANTES BOC.AZAPA	0.003	5.29	0.01	0.018	0.017	0.008	0.02	BLD	0.012	2.94
LOA ESCORIAL	0.026	ND	0.03	0.001	0.031	0.002	0.035	0.001	0.044	0.024
COPIAPO PTE.BODEGA	0.007	0.073	0.011	0.001	0.022	0.014	0.03	0.001	0.02	0.277
ELQUI ALMENDRAL	0.004	0.277	0.01	0.002	0.028	0.158	0.024	0.001	0.012	1.6
LIMARI PANAMERICANA	0.007	ND	ND	ND	0.016	0.003	0.022	0.001	0.017	0.103
ACONCAGUA PTE.COLMO	0.005	ND	0.01	0.002	0.022	0.007	0.021	0.003	0.012	0.775
MAIPO CHIÑIHUE	0.004	0.646	ND	0.003	0.017	0.013	0.017	0.006	0.036	1.412
RAPEL CACHAPOAL-CODAO	0.004	ND	0.01	0.008	0.033	0.108	0.02	0.005	0.03	8.06
RAPEL TINGUIRIRICA-NEGRO	0.002	1.78	ND	0.005	0.028	0.014	0.016	0.007	0.019	6.76
MATAQUITO TENO CAPT.	0.002	ND	ND	0.01	0.016	0.003	0.019	0.004	0.012	0.532
ITATA ÑUBLE CUCHA COX	ND	0.265	ND	ND	0.017	0.008	0.019	0.019	0.067	8.99
ITATA EN NUEVA ALDEA	0.002	ND	ND	ND	0.016	0.004	0.019	0.004	0.167	2.29
IMPERIAL ALMAGRO	0.003	0.108	ND	0.003	0.016	0.004	0.019	0.003	0.114	0.767

D : fracción disuelta (mg/l)

P : fracción particulada (mg/l)

BLD: bajo límite de detección

ND : no detectado

TABLA 17. VALORES DE CONCENTRACION DE METALES PESADOS

	Li		Mn		Hg		Mo		Ni	
	D	P	D	P	D	P	D	P	D	P
	LLUTA DESEMBOCADURA	1.614	0.004	0.383	0.8	ND	ND	0.009	0.008	ND
SN.JOSE ANTES BOC.AZAPA	0.156	0.002	0.008	0.206	ND	ND	0.009	0.008	ND	0.002
LOA ESCORIAL	3.716	0.001	0.034	0.004	ND	ND	0.014	0.002	ND	0.001
COPIAPO PTE.BODEGA	0.266	ND	0.006	0.004	ND	ND	0.006	0.032	ND	0.001
ELQUI ALMENDRAL	0.089	0.001	0.04	0.06	ND	ND	0.005	0.004	ND	0.001
LIMARI PANAMERICANA	0.01	ND	0.016	0.008	ND	ND	0.007	0.003	ND	0.001
ACONCAGUA PTE.COLMO	0.004	ND	0.048	0.037	ND	ND	0.005	0.004	ND	0.001
MAIPO CHIÑIHUE	0.025	ND	0.193	0.041	ND	ND	0.006	0.006	ND	0.001
RAPEL CACHAPOAL-CODAO	0.035	0.002	0.029	0.146	ND	ND	0.009	0.006	ND	0.001
RAPEL TINGUIRIRICA-NEGRO	0.017	0.002	0.04	0.133	ND	ND	0.005	0.004	ND	0.001
HATAQUITO TENO CAPT.	0.014	ND	0.011	0.012	ND	ND	0.004	0.001	ND	0.001
ITATA ÑUBLE CUCHA COX	0.002	0.002	0.013	0.161	ND	ND	0.003	0.019	ND	0.01
ITATA EN NUEVA ALDEA	0.005	ND	0.012	0.047	ND	ND	0.003	0.003	ND	0.001
IMPERIAL ALMAGRO	0.005	ND	0.012	0.015	ND	ND	0.002	0.003	ND	0.001

D: fracción disuelta (mg/l)

P: fracción particulada (mg/l)

TABLA 18. VALORES DE CONCENTRACION DE METALES PESADOS

	Ag		Pb		Se		V		Zn	
	D	P	D	P	D	P	D	P	D	P
	LLUTA DESEMBOCADURA	ND	ND	ND	0.008	0.005	ND	0.002	ND	0.01
SN.JOSE ANTES BOC.AZAPA	ND	ND	ND	0.004	0.005	ND	0.002	ND	ND	0.103
LOA ESCORIAL	ND	ND	ND	0.001	0.005	ND	0.002	ND	ND	0.007
COPIAPO PTE.BODEGA	ND	ND	ND	0.004	0.005	ND	0.002	ND	ND	0.019
ELQUI ALMENDRAL	ND	ND	ND	0.003	0.005	ND	0.002	ND	0.01	0.086
LIMARI PANAMERICANA	ND	ND	ND	0.001	0.005	ND	0.002	ND	ND	0.028
ACONCAGUA PTE.COLMO	ND	ND	ND	0.002	0.005	ND	0.002	ND	0.01	0.018
MAIPO CHIÑIHUE	ND	ND	ND	0.006	0.005	ND	0.002	ND	0.02	0.095
RAPEL CACHAPOAL-CODAO	ND	ND	ND	0.048	0.005	ND	0.002	ND	0.02	0.041
RAPEL TINGUIRIRICA-NEGRO	ND	ND	ND	0.004	0.005	ND	0.002	ND	0.01	0.069
HATAQUITO TENO CAPT.	ND	ND	ND	0.001	0.005	ND	0.002	ND	ND	0.021
ITATA ÑUBLE CUCHA COX	ND	ND	ND	0.014	0.005	ND	0.002	ND	0.01	0.124
ITATA EN NUEVA ALDEA	ND	ND	ND	0.002	0.005	ND	0.002	ND	0.01	0.016
IMPERIAL ALMAGRO	ND	ND	ND	0.002	0.005	ND	0.002	ND	0.004	0.014

D: fracción disuelta (mg/l)

P: fracción particulada (mg/l)

TABLA 19. DATOS DE CONCENTRACION DE METALES PESADOS (mg/l)

COBRE						
ESTACIONES	DISUELTO			PARTICULADO		
	I	II	III	I	II	III
LLUTA ALCERRECA	0.017	0.013	0.007	0.004	0.008	0.004
LLUTA CHAPIZCA	0.012	0.004	0.006	0.007	0.176	0.017
LLUTA DESEMBOCADURA	0.03	0.05	0.006	0.012	0.010	0.011
SN.JOSE ANTES BOC.AZAPA	0.017	0.01	0.01	0.008	0.007	0.008
LOA CONCHI	0.009	0.009	0.009	0.003	0.002	0.002
LOA AYQUINA	0.01	0.015	0.009	0.001	0.002	0.001
LOA ESCORIAL	0.031	0.014	0.009	0.002	0.059	0.002
COPIAPO PTE.BODEGA	0.022	0.014	0.015	0.014	0.005	0.012
COPIAPO MAL PASO	0.009	0.01	0.01	ND	0.004	0.006
COPIAPO LAUTARO	0.01	0.011	0.01	0.004	0.021	0.009
COPIAPO PEÑA BLANCA	0.009	0.01	0.009	0.014	0.005	0.041
ELQUI COCHIHUAZ	0.004	0.006	0.004	0.002	0.005	0.007
ELQUI CLARO RIVADAVIA	0.003	0.04	0.004	ND	0.002	0.002
ELQUI TURBIO VARILLAR	0.017	0.022	0.033	0.059	0.928	0.197
ELQUI ALMENDRAL	0.028	0.017	0.02	0.158	0.161	0.121
LIMARI PALOMO VERT.	0.003	0.003	0.006	ND	0.002	0.002
LIMARI PUNTILLA SN.JUAN	0.005	0.005	0.007	0.004	0.003	0.011
LIMARI PANAMERICANA	0.016	0.008	0.01	0.003	0.002	0.003
ACONCAGUA JUNCAL	0.012	0.006	0.017	0.039	0.127	0.013
ACONCAGUA CHACABUQUITO	0.055	0.047	0.075	1.304	2.468	0.885
ACONCAGUA PANAMERICANA	0.011	0.019	0.019	0.011	1.043	0.12
ACONCAGUA PTE.COLMO	0.022	0.028	0.025	0.007	0.529	0.016
MAIPO NELOSAS	0.01	0.009	0.013	0.005	0.587	0.021
MAIPO COLORADO DES.	0.009	0.005	0.009	0.008	0.186	0.056
MAIPO LOS MORROS	0.009	0.007	0.007	0.019	0.215	0.057
MAIPO LAS LAJAS	0.008	0.016	0.008	0.009	0.144	0.053
MAIPO CHINIHUE	0.017	0.01	0.024	0.013	0.042	0.142
MAIPO MAPOCHO RINC.	0.02	0.02	0.01	0.114	0.031	0.268
RAPEL CACHAPOAL-PANGAL	0.005	0.004	0.009	0.006	0.009	0.290
RAPEL COYA-COYA	1.155	0.128	10.25	8.812	8.079	3.633
RAPEL CACHAPOAL BOC.	0.029	0.012	0.024	0.466	0.005	0.016
RAPEL TINGUIRIRICA-NEGRO	0.028	0.01	0.016	0.014	0.064	0.005
RAPEL CACHAPOAL-CODAO	0.033	0.012	0.016	0.108	0.326	0.123
MATAQUITO CLARO-QUEÑES	0.006	-	0.011	0.001	-	0.011
MATAQUITO TENO	0.016	-	0.006	0.003	-	0.012
MATAQUITO LONTUE	0.003	-	0.003	0.001	-	0.003
MATAQUITO TENO CAPT.	0.016	-	0.005	0.003	-	0.004
ITATA CHOLGUAN	0.005	-	0.004	0.001	-	0.002
ITATA NUEVA ALDEA	0.016	-	0.005	0.004	-	0.002
ITATA ÑUBLE CUCHA COX	0.017	-	0.004	0.008	-	0.002
ITATA ÑUBLE SN.FABIAN	0.002	-	0.007	ND	-	0.004
IMPERIAL EN RARIRUCA	0.002	-	0.007	ND	-	0.005
IMPERIAL ALMAGRO	0.016	-	0.008	0.004	-	0.015

TABLA 20. DATOS DE CONCENTRACION DE METALES PESADOS (mg/l)

ESTACIONES	CADMIO					
	DISUELTO			PARTICULADO		
	I	II	III	I	II	III
LLUTA ALCERRECA	0.01	0.001	0.005	ND	ND	ND
LLUTA CHAPIZCA	0.007	0.005	0.001	ND	ND	ND
LLUTA DESEMBOCADURA	0.013	0.001	0.001	-	ND	ND
SN.JOSE ANTES BOC.AZAPA	0.003	0.001	0.002	-	ND	ND
LOA CONCHI	ND	0.004	0.003	ND	ND	ND
LOA AYQUINA	0.002	ND	0.002	ND	ND	ND
LOA ESCORIAL	0.026	0.002	0.003	ND	ND	ND
COPIAPO PTE.BODEGA	0.007	ND	ND	-	ND	ND
COPIAPO MAL PASO	ND	ND	ND	ND	ND	ND
COPIAPO LAUTARO	ND	ND	ND	ND	ND	ND
COPIAPO PEÑA BLANCA	0.001	0.001	0.001	ND	ND	ND
ELQUI COCHIHUAZ	ND	ND	ND	ND	ND	ND
ELQUI CLARO RIVADAVIA	ND	ND	ND	ND	ND	ND
ELQUI TURBIO VARILLAR	ND	ND	ND	ND	0.005	ND
ELQUI ALMENDRAL	0.004	ND	ND	-	ND	ND
LIMARI PALOMO VERT.	ND	ND	ND	ND	ND	ND
LIMARI PUNTILLA SN.JUAN	ND	ND	ND	ND	ND	0.002
LIMARI PANAMERICANA	0.007	ND	ND	ND	ND	ND
ACONCAGUA JUNCAL	ND	ND	ND	ND	ND	ND
ACONCAGUA CHACABUQUITO	ND	ND	ND	ND	ND	ND
ACONCAGUA PANAMERICANA	ND	ND	ND	ND	ND	ND
ACONCAGUA PTE.COLMO	0.005	ND	ND	ND	ND	ND
MAIPO MELOSAS	ND	ND	ND	ND	ND	ND
MAIPO COLORADO DES.	ND	ND	ND	ND	ND	ND
MAIPO LAS LAJAS	ND	ND	ND	ND	ND	ND
MAIPO LOS MORROS	ND	ND	ND	ND	ND	ND
MAIPO CHIÑIHUE	0.004	ND	ND	-	ND	ND
MAIPO MAPOCHO RINC.	ND	ND	ND	ND	ND	ND
RAPEL CACHAPOAL-PANGAL	ND	ND	ND	ND	ND	ND
RAPEL COYA-COYA	0.005	0.004	0.009	ND	ND	ND
RAPEL CACHAPOAL BOC.	ND	ND	ND	ND	ND	ND
RAPEL TIGUIRIRICA-NEGRO	0.002	ND	ND	-	ND	ND
RAPEL CACHAPOAL-CODAO	0.004	ND	ND	ND	ND	ND
MATAQUITO CLARO-QUEÑES	ND	-	ND	ND	-	ND
MATAQUITO TENO	ND	-	ND	ND	-	ND
MATAQUITO LONTUE	ND	-	ND	ND	-	ND
MATAQUITO TENO CAPT.	0.002	-	ND	ND	-	ND
ITATA CHOLGUAN	ND	-	ND	ND	-	ND
ITATA NUEVA ALDEA	0.002	-	ND	ND	-	ND
ITATA ÑUBLE CUCHA COX	ND	-	ND	-	-	ND
ITATA ÑUBLE SN.FABIAN	ND	-	ND	ND	-	ND
IMPERIAL EN RARIRUCA	ND	-	ND	ND	-	ND
IMPERIAL ALMAGRO	0.003	-	ND	-	-	ND

TABLA 21. DATOS DE CONCENTRACION DE METALES PESADOS (mg/l)

ESTACIONES	PLOMO					
	DISUELTO			PARTICULADO		
	I	II	III	I	II	III
LLUTA ALCERRECA	0.16	0.09	0.01	0.009	0.025	0.017
LLUTA CHAPIZCA	0.08	0.03	ND	0.031	0.015	0.016
LLUTA DESEMBOCADURA	ND	ND	0.02	0.008	0.003	0.008
SN.JOSE ANTES BOC.AZAPA	ND	ND	ND	0.004	0.005	0.006
LOA CONCHI	ND	ND	0.01	ND	0.001	0.002
LOA AYQUINA	ND	ND	ND	ND	0.001	0.001
LOA ESCORIAL	ND	ND	ND	0.001	0.011	0.001
COPIAPO PTE.BODEGA	ND	ND	ND	0.004	ND	0.003
COPIAPO MAL PASO	ND	ND	ND	ND	0.007	0.002
COPIAPO LAUTARO	ND	ND	ND	ND	0.008	0.002
COPIAPO PEÑA BLANCA	ND	ND	ND	ND	ND	0.014
ELQUI COCHIHUAZ	ND	ND	ND	ND	0.001	0.002
ELQUI CLARO RIVADAVIA	ND	ND	ND	ND	ND	ND
ELQUI TURBIO VARILLAR	ND	ND	ND	0.006	0.013	0.002
ELQUI ALMENDRAL	ND	ND	ND	0.003	ND	0.001
LIMARI PALOMO VERT.	ND	ND	ND	ND	0.015	0.001
LIMARI PUNTILLA SN.JUAN	ND	ND	ND	0.001	0.002	0.001
LIMARI PANAMERICANA	ND	ND	ND	0.001	ND	0.002
ACONCAGUA JUNCAL	ND	ND	ND	0.006	0.019	0.003
ACONCAGUA CHACABUQUITO	ND	ND	ND	0.011	0.01	0.007
ACONCAGUA PANAMERICANA	ND	ND	ND	0.003	0.017	0.002
ACONCAGUA PTE.COLMO	ND	ND	ND	0.002	0.008	0.002
MAIPO MELOSAS	ND	ND	ND	0.001	0.027	0.007
MAIPO COLORADO DES.	ND	ND	ND	0.003	0.004	0.012
MAIPO LAS LAJAS	ND	ND	ND	0.011	0.037	0.01
MAIPO LOS MORROS	ND	ND	ND	0.014	0.062	0.005
MAIPO CHIÑIHUE	ND	ND	ND	0.006	0.007	0.022
MAIPO MAPOCHO RINC.	ND	ND	ND	0.021	0.03	0.015
RAPEL CACHAPOAL-PANGAL	ND	ND	ND	0.004	0.002	0.02
RAPEL COYA-COYA	ND	ND	ND	0.08	0.115	0.03
RAPEL CACHAPOAL BOC.	ND	ND	ND	0.013	0.004	0.002
RAPEL TIGUIRIRICA-NEGRO	ND	ND	ND	0.004	0.009	0.002
RAPEL CACHAPOAL-CODAO	ND	ND	ND	0.049	0.011	0.007
HATAQUITO CLARO-QUEÑES	ND	-	ND	ND	-	0.002
HATAQUITO TENO	ND	-	ND	0.001	-	0.002
HATAQUITO LONTUE	ND	-	ND	ND	-	0.001
HATAQUITO TENO CAPT.	ND	-	ND	ND	-	0.001
ITATA CHOLGUAN	ND	-	ND	ND	-	ND
ITATA NUEVA ALDEA	ND	-	ND	0.002	-	0.001
ITATA ÑUBLE CUCHA COX	ND	-	ND	0.014	-	0.003
ITATA ÑUBLE SN.FABIAN	ND	-	ND	ND	-	0.002
IMPERIAL EN RARIRUCA	ND	-	ND	ND	-	0.002
IMPERIAL ALMAGRO	ND	-	ND	0.002	-	ND

TABLA 22. DATOS DE CONCENTRACION DE METALES PESADOS (ng/l)

ESTACIONES	CROMO					
	DISUELTO			PARTICULADO		
	I	II	III	I	II	III
LLUTA ALCERRECA	0.008	0.006	0.003	0.002	0.003	0.001
LLUTA CHAPIZCA	0.006	0.006	0.006	0.003	0.003	0.002
LLUTA DESEMBOCADURA	0.03	0.012	0.009	ND	0.001	0.001
SN.JOSE ANTES BOC.AZAPA	0.02	0.01	0.002	ND	0.002	0.003
LOA CONCHI	0.005	0.007	0.007	0.001	0.001	0.002
LOA AYQUINA	0.008	0.01	0.008	ND	ND	ND
LOA ESCORIAL	0.035	0.01	0.01	0.001	0.003	0.001
COPIAPO PTR.BODEGA	0.03	0.006	0.006	0.001	ND	0.002
COPIAPO MAL PASO	0.006	0.006	0.004	ND	0.001	0.002
COPIAPO LAUTARO	0.004	0.006	0.004	ND	0.004	0.002
COPIAPO PEÑA BLANCA	0.005	0.006	0.004	ND	0.001	0.002
ELQUI COCHINUAZ	0.003	0.003	0.002	ND	0.004	0.001
ELQUI CLARO RIVADAVIA	0.002	0.002	0.002	ND	ND	0.001
ELQUI TURBIO VARILLAR	0.002	0.002	0.003	0.001	0.001	0.001
ELQUI ALMENDRAL	0.024	0.005	0.006	0.001	0.001	0.001
LIMARI PALOMO VERT.	0.006	0.006	0.005	ND	ND	0.001
LIMARI PUNTILLA SN.JUAN	0.003	0.006	0.002	ND	0.001	0.001
LIMARI PANAMERICANA	0.022	0.006	0.004	0.001	ND	0.001
ACONCAGUA JUNCAL	0.004	0.004	0.005	0.002	0.006	0.003
ACONCAGUA CHACABUQUITO	0.004	0.002	0.002	0.002	0.002	0.003
ACONCAGUA PANAMERICANA	0.002	0.003	0.003	ND	0.003	0.003
ACONCAGUA PTE.COLMO	0.021	0.002	0.001	0.003	0.002	0.001
MAIPO MELOSAS	0.003	0.001	0.002	ND	0.015	0.005
MAIPO COLORADO DES.	0.002	0.003	0.003	0.001	0.015	0.008
MAIPO LAS LAJAS	0.005	0.005	0.005	0.001	0.025	0.006
MAIPO LOS HORROS	0.005	0.005	0.005	0.001	0.002	0.01
MAIPO CHINIHUE	0.017	0.004	0.004	0.006	0.007	0.004
MAIPO MAPOCHO RINC.	0.011	0.01	0.004	0.047	0.043	0.018
RAPEL CACHAPOAL-PANGAL	0.003	0.003	0.003	ND	0.003	0.004
RAPEL COYA-COYA	0.003	0.005	0.003	0.022	0.042	0.012
RAPEL CACHAPOAL BOC.	0.001	0.002	0.001	0.002	0.001	0.001
RAPEL TIGUIRIRICA-NEGRO	0.016	0.001	0.002	0.007	0.005	0.002
RAPEL CACHAPOAL-CODAO	0.02	0.001	0.001	0.005	0.007	0.003
MATAQUITO CLARO-QUEÑES	0.001	-	0.001	ND	-	ND
MATAQUITO TENO	0.002	-	0.002	ND	-	0.004
MATAQUITO LONTUE	0.001	-	0.001	ND	-	0.001
MATAQUITO TENO CAPT.	0.019	-	0.001	0.004	-	0.001
ITATA CHOLGUAN	ND	-	ND	ND	-	0.002
ITATA NUEVA ALDEA	0.019	-	ND	0.003	-	0.001
ITATA ÑUBLE CUCHA COX	0.019	-	ND	0.019	-	0.002
ITATA ÑUBLE SN.FABIAN	ND	-	ND	ND	-	0.002
IMPERIAL EN RARIRUCA	0.001	-	0.001	ND	-	0.001
IMPERIAL ALMAGRO	0.019	-	0.001	0.003	-	0.001

TABLA 22. DATOS DE CONCENTRACION DE METALES PESADOS (mg/l)

CROMO						
ESTACIONES	DISUELTO			PARTICULADO		
	I	II	III	I	II	III
LLUTA ALCERRECA	0.008	0.006	0.003	0.002	0.003	0.001
LLUTA CHAPIZCA	0.006	0.006	0.006	0.003	0.003	0.002
LLUTA DESEMBOCADURA	0.03	0.012	0.009	ND	0.001	0.001
SN.JOSE ANTES BOC.AZAPA	0.02	0.01	0.002	ND	0.002	0.003
LOA CONCHI	0.005	0.007	0.007	0.001	0.001	0.002
LOA AYQUINA	0.008	0.01	0.008	ND	ND	ND
LOA ESCORIAL	0.035	0.01	0.01	0.001	0.003	0.001
COPIAPO PTE.BODEGA	0.03	0.006	0.006	0.001	ND	0.002
COPIAPO MAL PASO	0.006	0.006	0.004	ND	0.001	0.002
COPIAPO LAUTARO	0.004	0.006	0.004	ND	0.004	0.002
COPIAPO PEÑA BLANCA	0.005	0.006	0.004	ND	0.001	0.002
ELQUI COCHIHUAZ	0.003	0.003	0.002	ND	0.004	0.001
ELQUI CLARO RIVADAVIA	0.002	0.002	0.002	ND	ND	0.001
ELQUI TURBIO VARILLAR	0.002	0.002	0.003	0.001	0.001	0.001
ELQUI ALMENDRAL	0.024	0.005	0.006	0.001	0.001	0.001
LINARI PALOMO VERT.	0.006	0.006	0.005	ND	ND	0.001
LINARI PUNTILLA SN.JUAN	0.003	0.006	0.002	ND	0.001	0.001
LINARI PANAMERICANA	0.022	0.006	0.004	0.001	ND	0.001
ACONCAGUA JUNCAL	0.004	0.004	0.005	0.002	0.006	0.003
ACONCAGUA CHACABUQUITO	0.004	0.002	0.002	0.002	0.002	0.003
ACONCAGUA PANAMERICANA	0.002	0.003	0.003	ND	0.003	0.003
ACONCAGUA PTE.COLMO	0.021	0.002	0.001	0.003	0.002	0.001
MAIPO MELOSAS	0.003	0.001	0.002	ND	0.015	0.005
MAIPO COLORADO DES.	0.002	0.003	0.003	0.001	0.015	0.008
MAIPO LAS LAJAS	0.005	0.005	0.005	0.001	0.025	0.006
MAIPO LOS MORROS	0.005	0.005	0.005	0.001	0.002	0.01
MAIPO CHIÑIHUE	0.017	0.004	0.004	0.006	0.007	0.004
MAIPO MAPOCHO RINC.	0.011	0.01	0.004	0.047	0.043	0.018
RAPEL CACHAPOAL-PANGAL	0.003	0.003	0.003	ND	0.003	0.004
RAPEL COYA-COYA	0.003	0.005	0.003	0.022	0.042	0.012
RAPEL CACHAPOAL BOC.	0.001	0.002	0.001	0.002	0.001	0.001
RAPEL TIGUIRIRICA-NEGRO	0.016	0.001	0.002	0.007	0.005	0.002
RAPEL CACHAPOAL-CODAO	0.02	0.001	0.001	0.005	0.007	0.003
MATAQUITO CLARO-QUEÑES	0.001	-	0.001	ND	-	ND
MATAQUITO TENO	0.002	-	0.002	ND	-	0.004
MATAQUITO LONTUE	0.001	-	0.001	ND	-	0.001
MATAQUITO TENO CAPT.	0.019	-	0.001	0.004	-	0.001
ITATA CHOLGUAN	ND	-	ND	ND	-	0.002
ITATA NUEVA ALDEA	0.019	-	ND	0.003	-	0.001
ITATA ÑUBLE CUCHA COX	0.019	-	ND	0.019	-	0.002
ITATA ÑUBLE SN.FABIAN	ND	-	ND	ND	-	0.002
IMPERIAL EN RARIRUCA	0.001	-	0.001	ND	-	0.001
IMPERIAL ALMAGRO	0.019	-	0.001	0.003	-	0.001

TABLA 24. DATOS DE CONCENTRACION DE METALES PESADOS (mg/l)

ESTACIONES	ALUMINIO					
	DISUELTO			PARTICULADO		
	I	II	III	I	II	III
LLUTA ALCERRECA	19.94	7.86	0.4	7.46	20.27	45.39
LLUTA CHAPIZCA	7.33	0.08	0.06	31.13	72.57	55.00
LLUTA DESENBODADURA	0.028	0.06	0.05	4.16	3.51	58.80
SN.JOSE ANTES BOC.AZAPA	0.038	0.06	0.05	1.79	10.00	14.82
LOA CONCHI	0.03	0.05	0.06	0.36	0.36	0.39
LOA AYQUINA	0.07	0.09	0.06	0.62	0.22	0.22
LOA ESCORIAL	0.02	0.05	0.07	0.02	210.6	0.86
COPIAPO PTE.BODEGA	0.024	0.05	0.03	0.18	1.07	1.93
COPIAPO MAL PASO	0.01	0.05	0.03	0.94	31.64	1.51
COPIAPO LAUTARO	0.11	0.09	0.09	5.04	76.45	24.91
COPIAPO PEÑA BLANCA	0.09	0.06	0.16	7.90	4.28	50.37
ELQUI COCHIHUAZ	0.04	0.07	0.08	1.28	2.46	3.44
ELQUI CLARO RIVADAVIA	0.06	0.03	0.03	1.45	1.50	0.71
ELQUI TURBIO VARILLAR	0.12	0.1	0.11	41.50	50.43	11.36
ELQUI ALMENDRAL	0.04	0.1	0.15	6.58	8.90	10.60
LIMARI PALOMO VERT.	0.08	0.08	0.09	0.53	7.08	0.65
LIMARI PUNTILLA SN.JUAN	0.09	0.1	0.1	6.54	1.31	4.67
LIMARI PANAMERICANA	0.02	0.12	0.11	0.06	0.74	0.43
ACONCAGUA JUNCAL	0.13	0.15	0.3	47.72	144.80	9.37
ACONCAGUA CHACABUQUITO	0.08	0.15	0.24	53.90	47.68	23.33
ACONCAGUA PANAMERICANA	0.03	0.09	0.24	5.34	118.00	9.00
ACONCAGUA PTE.COLMO	0.018	0.1	0.09	0.52	68.50	2.74
MAIPO MELOSAS	0.1	0.14	0.52	7.31	247.90	42.13
MAIPO COLORADO DES.	0.09	0.09	0.14	13.95	450.20	76.70
MAIPO LAS LAJAS	0.1	1.5	0.16	39.09	144.30	50.85
MAIPO LOS MORROS	0.16	0.09	0.1	57.50	594.40	48.81
MAIPO CHIÑIHUE	0.047	0.09	0.07	0.48	31.66	130.60
MAIPO MAPOCHO RINC.	0.05	0.26	0.09	3.63	179.00	40.30
RAPEL CACHAPOAL-PANGAL	0.02	0.18	0.07	17.66	10.75	79.90
RAPEL COYA-COYA	0.02	0.02	0.55	51.90	117.50	60.63
RAPEL CACHAPOAL BOC.	0.07	0.22	0.15	22.72	1.10	2.89
RAPEL TIGUIRIRICA-NEGRO	0.053	0.2	0.27	3.67	238.70	0.59
RAPEL CACHAPOAL-CODAO	0.038	0.25	0.14	2.99	198.70	69.00
MATAQUITO CLARO-QUEÑES	0.08	-	0.08	1.73	-	3.31
MATAQUITO TENO	0.07	-	0.06	7.28	-	14.71
MATAQUITO LONTUE	ND	-	0.02	2.97	-	5.24
MATAQUITO TENO CAPT.	0.035	-	0.04	0.43	-	7.76
ITAPA CHOLGUAN	0.08	-	0.04	8.41	-	4.90
ITATA NUEVA ALDEA	0.186	-	0.06	0.82	-	2.41
ITATA ÑUBLE CUCHA COX	0.08	-	ND	1.01	-	1.79
ITATA ÑUBLE SN.FABIAN	ND	-	ND	3.27	-	1.63
IMPERIAL EN RARIRUCA	0.04	-	0.04	2.35	-	1.44
IMPERIAL ALMAGRO	0.069	-	0.03	0.28	-	43.84

TABLA 25. DATOS DE CONCENTRACION DE METALES PESADOS (mg/l)						
	ARSENICO					
	DISUELTO			PARTICULADO		
ESTACIONES	I	II	III	I	II	III
LLUTA ALCERRECA	0.008	0.012	0.004	0.296	0.95	1.30
LLUTA CHAPIZCA	0.004	0.008	0.085	3.36	0.072	0.80
LLUTA DESEMBOCADURA	0.02	0.046	0.075	0.131	0.18	0.60
SN.JOSE ANTES BOC.AZAPA	0.063	0.3	0.148	0.005	0.051	0.036
LOA CONCHI	0.28	0.31	0.34	0.017	0.017	0.016
LOA AYQUINA	0.4	0.48	0.51	0.022	0.008	0.004
LOA ESCORIAL	0.66	1.17	1.35	0.001	0.15	0.014
COPIAPO PTE.BODEGA	0.004	0.007	0.009	0.001	0.004	0.005
COPIAPO MAL PASO	0.005	0.009	0.006	0.003	1.05	0.006
COPIAPO LAUTARO	0.03	0.08	0.015	0.011	0.065	0.026
COPIAPO PEÑA BLANCA	0.003	0.004	0.002	0.034	0.016	0.070
ELQUI COCHINUAZ	0.003	0.004	0.004	0.032	0.056	0.041
ELQUI CLARO RIVADAVIA	0.002	0.002	0.002	0.004	0.009	0.004
ELQUI TURBIO VARILLAR	0.011	0.008	0.007	0.650	0.58	0.040
ELQUI ALMENDRAL	0.004	0.01	0.01	0.03	0.32	0.18
LIMARI PALOMO VERT.	0.001	0.005	0.001	0.001	0.02	0.002
LIMARI PUNTILLA SN.JUAN	0.005	0.005	0.004	0.008	0.002	0.003
LIMARI PANAMERICANA	0.001	0.001	0.002	ND	0.001	0.001
ACONCAGUA JUNCAL	0.003	0.001	0.002	0.041	0.10	0.009
ACONCAGUA CHACABUQUITO	0.001	0.001	0.001	0.120	0.09	0.022
ACONCAGUA PANAMERICANA	0.003	0.002	0.002	0.004	0.09	0.012
ACONCAGUA PTE.COLMO	0.002	0.003	0.003	ND	0.048	0.002
MAIPO MELOSAS	0.005	0.002	0.003	0.034	0.20	0.045
MAIPO COLORADO DES.	0.005	0.005	0.006	0.015	0.50	0.08
MAIPO LAS LAJAS	0.005	0.004	0.004	0.048	0.25	0.039
MAIPO LOS MORROS	0.005	0.002	0.004	0.070	0.36	0.038
MAIPO CHIÑIHUE	0.004	0.005	0.007	0.001	0.033	0.009
MAIPO MAPOCHO RINC.	0.004	0.004	0.01	0.004	0.10	0.039
RAPEL CACHAPOAL-PANGAL	0.025	0.009	0.006	0.047	0.078	0.09
RAPEL COYA-COYA	0.002	0.002	0.002	0.028	1.15	0.020
RAPEL CACHAPOAL BOC.	0.015	0.007	0.005	0.076	0.005	0.002
RAPEL TIGUIRIRICA-NEGRO	0.006	0.005	0.004	0.003	0.105	0.015
RAPEL CACHAPOAL-CODAO	0.012	0.007	0.006	0.003	0.180	0.054
MATAQUITO CLARO-QUEÑES	0.001	-	0.001	0.001	-	0.003
MATAQUITO TENO	0.001	-	0.001	0.004	-	0.003
MATAQUITO LONTUE	0.027	-	0.018	0.008	-	0.012
MATAQUITO TENO CAPT.	0.001	-	0.001	ND	-	0.003
ITATA CHOLGUAN	ND	-	ND	ND	-	0.002
ITATA NUEVA ALDEA	0.001	-	0.001	ND	-	0.002
ITATA ÑUBLE CUCHA COX	0.001	-	0.001	ND	-	0.001
ITATA ÑUBLE SN.FABIAN	0.001	-	0.002	0.002	-	0.002
IMPERIAL EN RARIRUCA	0.001	-	0.002	0.001	-	0.001
IMPERIAL ALMAGRO	0.001	-	0.001	ND	-	0.020

5.7 Toxicidad

Diversos iones presentes en el agua de riego (derivados de Cl, B, Na, metales traza, etc) pueden producir daño a los vegetales como resultado de la concentración sobre niveles tolerables. El grado del daño depende del tiempo, concentración, sensibilidad de la planta y calidad del agua (pH, temperatura, oxígeno disuelto).

En particular, los metales traza son tóxicos para las plantas en concentraciones muy bajas. Las aguas naturales contienen niveles de concentración aun menores de estos metales de manera que ellos generalmente no representan un daño a los vegetales. En la Tabla 26 se detallan las concentraciones máximas sugeridas como niveles aceptables en aguas de riego en términos internacionales (Ayers y Westcot, 1985).

5.7.1 Arsénico

La química del arsénico en el agua es compleja y la forma de especiación presente en solución es dependiente de condiciones ambientales tales como potencial redox, pH, contenido orgánico, sólidos suspendidos, y sedimentos. En las plantas este efecto se hace notar en un rango de concentración entre 0,05 mg/L-12 mg/L.

Las toxicidades relativas de las distintas formas del arsénico aparentemente varían de una especie a otra. Los datos disponibles indican que las plantas de agua dulce difieren grandemente en su sensibilidad al arsénico (III) y al arsénico (V). En test comparables, el alga, Selenastrum capricornutum, es 45 veces más sensible al arsénico (V) que al arsénico (III), aunque otros datos presentan información conflictiva sobre la sensibilidad de esta alga al arsénico (V). Muchos valores crónicos del arsénico (III) en plantas estuvieron en el mismo rango de los valores crónicos que en animales de agua dulce.

Es conocida la alta concentración de As en aguas del Norte de Chile, principalmente en la cuenca de los ríos Lluta y Loa. Los suelos de esta región se caracterizan por contener naturalmente elevadas concentraciones de As y las plantas allí existentes toleran estos niveles de As. Su utilización como agua de regadío se ve limitada, y de utilizarse, debería controlarse los niveles de As en los vegetales involucrados.

5.7.2 Cobre

Pruebas de toxicidad de cobre en plantas de agua dulce muestran sensibilidades similares a las observadas en los animales. Efectos de complejación de los medios de prueba y la carencia de buenos datos analíticos hace la interpretación y aplicación de estos resultados difícil. El cobre no parece bioconcentrarse mucho en las porciones comestibles de las plantas.

Respecto del contenido de Cu en forrajes, base alimenticia de los rumiantes, se ha observado que el Cu disponible en vegetales es mayor en estados más maduros del forraje que en estados más vegetativos, lo que puede hacer aumentar o disminuir el efecto de la toxicidad eventual de molibdeno. El efecto de la falta de Cu es muy característico en animales domésticos por cuanto su sintomatología está asociada a defectos conspicuos en la piel y pelos o lana (Lee, 1956).

Se ha constatado que en suelos con alto contenido de materia orgánica, el Cu puede encontrarse en concentraciones relativamente altas como resultado de la estabilización, por complejamiento, con los grupos funcionales que presentan las estructuras orgánicas. Esto da como resultado una baja disponibilidad para las plantas.

En las 3 campañas de muestreo, se determinaron concentraciones de cobre en la fracción disuelta que sobrepasan la norma como es el caso de la estación Coya-Coya en la cuenca del Rapel.

Por otra parte, es necesario tener en cuenta que su posible uso como aguas de riego puede llevar a fitotoxicidad (Sudsuki 1964) la que es muy variable dependiendo de las especies involucradas.

Por las razones antes mencionadas, a pesar de que las aguas del Coya-Coya son relativamente duras lo que en general tiende a disminuir los efectos tóxicos del cobre para la biota acuática, deben tomarse las medidas necesarias para que no sean utilizadas como potable o para riego mientras no se haga un estudio del efecto tóxico del contenido de cobre disponible para las plantas desde el sistema suelo/agua.

5.7.3 Manganeso

El manganeso no existe en forma natural como un metal, pero es encontrado en varias sales y minerales, frecuentemente asociado con compuestos de hierro. Las principales sustancias

contenedoras de manganeso son el dióxido de manganeso (MnO_2), pirolusita, carbonato de manganeso (rodocrosita) y silicato de manganeso.

El manganeso es un micronutriente vital tanto para plantas como para animales. Cuando el manganeso no está presente en la cantidad adecuada, las plantas pueden exhibir clorosis (hojas amarillentas) o mal desarrollo de las hojas.

En relación al contenido de Mn encontrado en vegetales, se ha observado que en praderas mixtas el contenido normal oscila alrededor de los 100 ppm de Mn, en tanto en granos de cereales el contenido de Mn fluctúa entre 15 y 40 ppm (Hidiroglou, 1979).

Los niveles de Mn disueltos superaron ampliamente la norma en la cuenca del Lluta. En el río Rapel, estación Coya-Coya se observaron también valores sobre la norma de Mn.

En cuanto al uso de estas aguas, con respecto a la toxicidad del Mn, las diferentes especies vegetales y cultivos difieren grandemente en su tolerancia al Mn, y sería necesario analizar cada caso en particular. Como ejemplo se han encontrado signos de toxicidad para niveles en el rango de 200-2600 ppm. Algunas plantas de interés agrícola tienen una alta tolerancia al Mn, en parte dada por su capacidad de oxidar el Mn divalente (biodisponible) a tetravalente (no biodisponible). Por otra parte, un exceso de Mn puede inducir deficiencia en la absorción de Hierro (y deficiencia de este metal) en algunos cultivos. De la misma manera el Fe interfiere con la absorción de Mn, y se ha descrito que la adición de Fe-quelado disminuye la toxicidad del Mn en cultivos de lechugas y puede también corregir los efectos tóxicos del Mn en eucaliptos.

5.7.4 Cadmio

Los efectos del cadmio en plantas acuáticas son evidentes entre valores de concentración de 2,0 y 7.400 $\mu g/L$. Estos valores están en el mismo rango de toxicidad aguda para especies de peces e invertebrados acuáticos.

Las cantidades de Cd disuelto están en general bastante por debajo de la norma y sólo se observaron valores sobre 0.01 mg/L en la primera campaña en algunos puntos de la cuenca de Lluta (desembocadura) y del Loa (Escorial). En la segunda y tercera campaña los valores están bajo la norma. (*)

En general se estima que la contaminación antropogénica de aguas por Cd proviene de actividades mineras de yacimientos no ferrosos. La acidificación de suelos y lagos también puede llevar

a una mayor movilización de Cd. En términos globales la caída de Cd atmosférico es la mayor fuente de contaminación de aguas.

Tanto las plantas terrestres como animales acumulan Cd. Sin embargo, la velocidad de acumulación en plantas sólo es apreciable cuando el Cd esta en solución. Su disponibilidad en suelos es baja, ya que en su mayoría es Cd unido. El Cd tiene efectos adversos en plantas de cultivo hidropónico en el rango de 0.1 A 1.0 mg/L, mientras que plantas crecidas en terreno muestran una disminución del crecimiento en suelos con valores >100 mg/kg.

5.7.5 Aluminio

Las concentraciones de Al disueltas son en general bajas en las fuentes de aguas determinadas, con excepción de la cuenca de Lluta (Alcerreca y Chapizca) en la I región. El alto contenido de Al disuelto en esas aguas se deben al bajo pH (3.51 y 4.45 respectivamente, en la I campaña). Ese hecho se ve confirmado por el notable descenso en los niveles de Al disuelto en las aguas de Chapizca observados en la segunda campaña el que se correlaciona con un aumento del pH de 4.45 (primera campaña) a 6.06. Las concentraciones de Al en la fracción particulada son altamente variables y es poco probable que tengan importancia toxicológica si el pH del agua se mantiene por sobre 6.5-7.0. La química de las diferentes especies de Al en agua o en suelos dependen fuertemente del pH y de los sólidos y sustancias orgánicas presentes.

A pesar de que el Al es uno de los metales más abundantes de la corteza terrestre, la disponibilidad en aguas naturales es en general muy baja. Los aumentos puntuales de la concentración de Al se producen generalmente durante el derretimiento de nieves ácidas. Por otra parte, dado que la cantidad de aluminio insoluble en suelos es grande, cambios muy pequeños en las condiciones del suelo (lluvias levemente ácidas) puede llevar a incrementos relativamente grandes en aguas naturales cercanas.

TABLA 26. VALORES MAXIMOS RECOMENDADOS DE ELEMENTOS TRAZA EN AGUA DE RIEGO.

Elemento	Máxima concentración mg/L	
Al	5.0	Precipita a pH > 7.0
As	0.10	Toxicidad variable: 12 mg/l a 0.05 mg/l
Be	0.10	Toxicidad variable: 6.5 mg/l a 0.5 mg/l
Cd	0.01	Tóxico a varios cultivos. Bioacumula
Co	0.05	Neutralizado en suelos neutros a alcalinos
Cr	0.10	Falta conocimiento en toxicidad
Cu	0.20	Tóxico en vegetales: 0.1-1 mg/l
F	1.00	Inactivado en suelos neutros y alcalinos
Fe	5.00	No tóxico en suelos aireados.
Li	2.50	Acidifica el suelo Tóxico para cítricos a concentración < 0.075. Tolerable hasta 5 mg/l por otros vegetales
Mo	0.01	Tóxico en suelos ácidos
Mn	0.20	Tóxico en suelos ácidos
Ni	0.20	Tóxico entre 0.5 mg y 1.0 mg/l en suelos ácidos
Pb	5.00	Inhibe crecimiento a concentraciones altas
Se	0.02	Tóxico a concentraciones bajas (0.025 mg/l)
Sn	-	
Ti	-	Excluído por vegetales
W	-	
V	0.10	Tóxico en baja concen- ción.
Zn	2.00	Tóxico a concentracio- nes variables a pH >6.0.

6.0 DISCUSION Y CONCLUSIONES

La Norma NCh 1333, regula elementos químicos disueltos pero no hace referencia a los materiales particulados. En términos internacionales, sólo algunos países como Canadá están recién implementando la inclusión del material particulado en la reglamentación acerca del control de la calidad del agua para riego.

De acuerdo a los resultados encontrados en este estudio, en los ríos con pH en un rango 6.5-8 y con la excepción del Al y el Cu en zonas con actividades mineras no se encontro diferencias importantes en el contenido de metales entre el material disuelto y el particulado.

Relación de la norma NCh 1333 con los resultados obtenidos en el estudio: Los resultados del estudio se refieren al contenido de elementos en la fracción disuelta y fracción particulada. Como se señaló anteriormente, la Norma chilena que regula el uso de las aguas para riego no tiene indicaciones sobre material particulado transportado en cursos o masas de agua y tampoco se tiene información acerca del tipo de compuesto asociado al material particulado en los ríos estudiados. Sin embargo se tienen antecedentes de aguas naturales donde asociado a la fracción particulada podrían existir compuestos órgano-metálicos cuyo componente principal lo conforman cinco elementos (Al, As, Cd, Cu y Mn) entre los cuales Al, Cu y As se presentan con valores significativos en algunos ríos del norte y zona central del país.

Al comparar las concentraciones promedios de los metales pesados obtenidos en este estudio, con las concentraciones máximas sugeridas por la Norma chilena NCh 1333 para agua de riego, se puede observar que la concentración máxima permitida de Cromo y Plomo no se alcanza en ninguna de las estaciones monitoreadas. No sucede lo mismo con el Arsénico, cuya concentración permitida es sobrepasada en Loa en Conchi y levemente en el Cachapoal. La concentración permitida de Manganeso es sobrepasada en la estación del río Lluta en su desembocadura y en los ríos Maipo y Rapel.

Al no existir reglamentación para el caso de la fracción particulada es difícil hacer comparaciones. No obstante, si se considera la norma de concentraciones máximas de elementos químicos en agua para riego, en el caso de la concentración de Aluminio, Arsénico, Cobre, y Manganeso esta habría sido sobrepasada en mayor o menor grado en las estaciones monitoreadas.

Estimamos que los resultados de este informe corresponden a una primera aproximación en la determinación del contenido de ciertos elementos químicos asociados a la fracción disuelta y particulada en los ríos estudiados. El espectro de sistemas acuáticos y el número de muestras analizadas en el corto período de tiempo no permitió un estudio de eventuales características más relevantes del comportamiento de dicha fracción.

Resulta de interés destacar, por ejemplo, que la discriminación entre la fracción disuelta y particulada (filtración a través de una membrana de $0,45 \mu\text{m}$) es una definición operacional, que en todo caso es de gran utilidad para comprender la distribución y circulación de los elementos de menor importancia en los sistemas acuáticos. Esta consideración puede conducir a una simplificación ya que las partículas acuáticas se distribuyen de manera continua desde un tamaño nanométrico hasta partículas de hasta $100 \mu\text{m}$. Por otra parte, durante una filtración, las partículas de menor tamaño pueden ser retenidas debido a los procesos de coagulación que éstas pueden presentar.

Una caracterización de la distribución de los elementos analizados debería contemplar un estudio detallado, de la morfología y composición química del material particulado de aquellos elementos que aparecen con mayor incidencia negativa en la Norma. También resultaría de interés una caracterización de los factores físico-químicos que determinan la interacción de estos elementos en la interfase sólido-solución, tendiente a una mejor comprensión del rol de transporte que las partículas tienen en relación los elementos destacados.

En dicho estudio también se debería considerar las variaciones estacionales y de variabilidad física de los sistemas fluviales con el propósito de establecer una distribución espacio-temporal más adecuada de las especies químicas analizadas.

Un aspecto de interés e insuficientemente conocido es el proceso que sucede en la interfase sedimento/agua, debido a la ocurrencia de procesos de sedimentación como de remobilización de especies hacia la columna de agua.

Por otra parte, estos estudios deberían considerar una adecuada caracterización de las especies químicas en solución, toda vez que la presencia de ciertos agentes quelantes presentes en polímeros (cuya función sería análoga a la que cumplen los ácidos húmicos) introducidos por la actividad humana pudieran estar determinando la solubilización de metales de transición y con ello contribuir a su conocimiento.



La estimación de la posible toxicidad de los metales analizados en función de sus concentraciones en las fracciones, se ve complicada por el hecho de que deben considerarse varios factores. Entre otros, las especies iónicas presentes, las posibles interacciones sinérgicas ó antagónicas entre los metales y factores como la temperatura, pH y salinidad. Por ejemplo, para una dureza total de 50 (expresada como mg/L de CaCO_3) la concentración letal del Cu para trucha arcoiris es de aproximadamente 100 ug/L y la del Pb es de 1 mg/L. Para una dureza de 250, estos valores son de 400 ug/L y de 3 mg/ml para Cu y Pb respectivamente (Canadian Water Quality Guidelines, 1987).

Por otra parte, en las estimaciones provenientes de las fracciones particuladas y de sólidos totales, es necesario tener en cuenta que su toxicidad dependerá directamente de su biodisponibilidad, y ésta depende a su vez del tipo de sedimentos. En general, los tipos de especies del metal particulado hacen que una fracción muy pequeña del metal esté biodisponible. Sin embargo, cantidades muy pequeñas pueden ser tóxicas para organismos animales y vegetales y ser responsables de bioacumulación.

En términos generales la biodisponibilidad de las diferentes especies químicas presentes en el material particulado es afectada por:

i) Efectos del cambio en las condiciones ambientales: Frente a cambios en las condiciones ambientales, las diversas formas o fases de los elementos químicos encontrados en el material particulado, es probable que sean alterados y se liberen cantidades de estas sustancias en la solución donde pueden ser aprovechadas por la biota.

ii) Cambios del potencial redox de las aguas: Las trazas de metales y nutrientes pueden estar unidas a varias formas de materia orgánica particulada, organismos vivientes, detritus, cubiertas orgánicas sobre partículas minerales, etc. Procesos redox pueden provocar que la materia orgánica particulada en aguas naturales pueda ser degradada, conduciendo a la liberación de estos elementos en solución.

Cambios redox también pueden afectar la disponibilidad de ciertos metales. Por ejemplo, el hierro y el manganeso son altamente solubles bajo condiciones anóxicas (condiciones reductoras), de manera que una concentración significativa de ellos puede ser liberada del sedimento a la columna de agua. Sin embargo, en las mismas condiciones pero en un medio saturado estos elementos pueden formar sulfuros insolubles. El Pb es un elemento que también puede precipitar bajo dichas características.

iii) Cambios de pH: La solubilidad de los sulfuros está inversamente relacionada con el pH. Similarmente, los fosfatos particulados en la forma de Al-fosfato, Fe-fosfato y Ca-fosfatos, se hacen más solubles a pH bajo, dependiendo de su tamaño y estado de cristalización.

iv) Cambios en la salinidad del agua: Ha sido claramente establecida la adsorción de trazas de metales, hidrocarburos, organoclorados, así como también algunas formas de nutrientes (PO_4^{3-} , NH_4^+ , etc.). Conforme la salinidad se incrementa, los cationes principales tienden a liberar parte de aquellas sustancias debido a su enlace más fuerte a los lugares de adsorción. Este proceso puede ser observado en aguas de estuarios.

v) Ingestión por organismos vivientes: Los contaminantes particulados pueden hacerse solubles durante su tránsito dentro del tracto digestivo de organismos donde las condiciones ácidas son capaces de hacerlos aprovechables para estos organismos.

vi) Formas muy estables: Trazas de metales pueden estar sujetas en la matriz cristalina de minerales (ejemplo silicatos). No se espera que estos metales sean liberados en la solución por un período razonable de tiempo, bajo las condiciones normalmente encontradas en el ambiente acuático.

Las diferentes actividades humanas tienen dos efectos principales sobre la materia particulada:

a. Una modificación de las cantidades y composición de la materia particulada.

b. Una adición de sustancias sintéticas, las cuales pueden ser dañinas al hombre y a la biota. Las sustancias sintéticas pueden estar ya sea en la forma de particulados de varias actividades industriales, urbanas y agrícolas o descargadas en soluciones las cuales son fácilmente tomadas por particulados a través de varios procesos tales como la adsorción.

Teniendo en cuenta estas limitaciones, sólo fue posible hacer una estimación muy gruesa de toxicidad, la cual consideró solo los metales cuyas concentraciones sobrepasaron la norma.

En lo que a las características físico-químicas de los suelos se refiere, existe escasa información disponible en el país, a pesar de lo anterior, es posible señalar una elevada heterogeneidad espacial en las propiedades y calidad del suelo. La revisión bibliográfica de las características físico-químicas de los suelos permitió realizar un análisis de las principales tendencias espaciales que manifiestan dichas propiedades. La

correlación de estos datos permitió señalar una relación fuerte y negativa que manifiesta el pH con las precipitaciones, lo cual indica que a medida que aumenta la lluvia los suelos se van mostrando más ácidos. Esto establece un patrón general a la disminución del pH de norte a sur del país. Una tendencia opuesta a la calidad del pH manifiesta la materia orgánica, pero también en una componente norte-sur, que expresa un incremento en materia orgánica hacia el sur. Por otra parte la capacidad total de intercambio catiónico se correlaciona fuerte y directamente con el contenido de materia orgánica, confirmando lo señalado por Zambrano y Urrutia (1965).

La información disponible en el país señala (Gonzalez 1991). que una de las actividades con mayor riesgo ambiental para el recurso suelo es la minería metálica, representada en Chile especialmente por el cobre, debido a las descargas de residuos metálicos. Siendo un país de gran riqueza minera, Chile tiene que enfrentar el riesgo permanente de sufrir una profunda alteración ambiental, lo cual influye en el establecimiento de una estricta política ambiental preventiva. Por otra parte, la agricultura chilena experimenta cambios notables desde fines de los setenta, debido al uso masivo de agroquímicos. Dado el potencial tóxico de los plaguicidas es de importancia preocuparse de su residualidad en recursos ambientales, específicamente en suelos y aguas.

Los antecedentes señalan que el conflicto minería del cobre-agricultura se extiende desde la I región de Tarapacá a la VII región del Maule, especialmente donde coinciden los valles transversales (lugar de la agricultura más productiva del país), con los mayores yacimientos de cobre o las fundiciones más importantes, como el Valle de Copiapó (fundición en Paipote), Valle del Aconcagua (mina en Saladillo y fundición en Chagres), Valle del Mapocho (minas Los Bronces, Pudahuel y La Africana) y Valle Cachapoal (mina El Teniente).

Los mayores yacimientos de cobre están en la Cordillera de los Andes o en áreas precordilleranas, lo que obliga a los centros de extracción a utilizar los ríos. Con estas mismas aguas se debe abastecer a la población y regar los suelos agrícolas. Esto genera el primer conflicto minero-agrícola, ya que los centros mineros devuelven aguas con calidad disminuida, conteniendo relaves y residuos químicos de muy variada naturaleza. Aparte de ello, la expansión minera exige el uso de caudales crecientes, en desmedro también de la actividad agrícola, como ha ocurrido con las comunidades que habitaban las riberas del Río Loa.

El cobre, un elemento que conjuga abundancia, distribución y toxicidad en Chile, tiene la mayor probabilidad de estar presente en las emisiones mineras. De acuerdo a los niveles de producción

mineralógica, otros elementos con potencial de contaminación ambiental son el arsénico, fierro, molibdeno, plomo y cinc.

En relación a la nutrición vegetal, si bien la aparición de daños a largo plazo podría asociarse al contenido total de un elemento en el suelo, en el corto plazo la carga agregada tiende a mantenerse en la forma en que fue emitida (no soluble). Para que esta carga adquiriera forma soluble capaz de inducir efectos tóxicos, la masa sólida debe ser procesada por el suelo. Por ello, más que determinar los daños actuales de una contaminación específica, debe poder inferirse los daños de largo plazo, determinando el área total de dispersión probable y el tipo y tiempo de emergencia de daños futuros.

La calidad de las aguas para riego, considerada como la concentración de solutos tienen relación directa con el clima y en especial la pluviometría. En las zonas áridas y semiáridas de Chile (I a III región), las aguas naturales presentan un contenido salino alto. El contenido de electrolitos las limita para uso específico en riego. En la VI región en la subcuenca del río Cachapoal, el río Coya presenta altos contenidos de sulfatos y alta riqueza cúprica y por ende también se ve limitada esta zona en el riego.

Otro aspecto importante y significativo en la calidad del agua para riego son las características fisiográficas del país, las que determinan que los sistemas fluviales se caractericen por ser cortos y con pendiente alta. Esto influye en la alta capacidad erosiva, transporte y contenido alto de material particulado en los ríos andinos.

Finalmente, las diferencias extremas de clima en Chile, determina que la disponibilidad y calidad química de las aguas naturales para riego sean muy diferentes a lo largo del país. Por esta razón se ha cuestionado la validez de los criterios establecidos en la Norma oficial Chilena para aguas de riego que es única para todo el país. Los criterios de calidad de aguas para riego no parecen operantes para las condiciones ecológicas del norte y las zonas altoandinas del país (Alonso 1983a y b; González 1986). Los resultados obtenidos de esta investigación concordarían con estas afirmaciones. Sin embargo, estimamos que se requiere de conocimiento más acabado para sugerir cambios a la Norma y tal como ha sido discutido anteriormente, estos estudios deberían ser realizados considerando cuencas individuales o regiones con sistemas similares considerando fundamentalmente los aspectos siguientes:

- El efecto de los aspectos climáticos e hidrológicos en:
- a) La distribución espacio-temporal de las especies químicas de las fracciones disueltas y particulada.
 - b) El transporte de especies químicas.
 - c) El análisis de las especies iónicas presentes y las posibles interacciones sinérgicas ó antagónicas entre los metales y factores como la temperatura, pH y salinidad.
 - d) La morfología y composición química del material particulado de aquellos elementos que aparecen con mayor incidencia negativa en la Norma de riego.
 - e) El análisis de los procesos que se suceden en la interfase sedimento/agua, por efecto de sedimentación y remobilización de especies hacia la columna de agua.
 - f) Bioensayos de toxicidad y bioacumulación especialmente con Cu, Mn, Mo y Cd en los vegetales receptores de diferentes calidades de agua de riego.

TABLA 27. CARACTERISTICAS Y PROPIEDADES DE UN CONJUNTO DE SUELOS SELECCIONADOS A LOS LARGO DE CHILE

Series	V a r i a b l e s								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
La Vega	7,80	45,06	5,39	32,00	31,30	300	63	32°47'	70°58'
Polpaico	7,10	45,50	2,03	23,00	36,00	345	78	70°54'	70°54'
Batuco	8,30	34,12	2,44	20,00	37,00	303	87	33°15'	70°47'
Curacaví	7,80	18,80	3,10	42,80	10,31	352	57	33°25'	31°09'
Pirque	7,10	11,40	4,20	38,80	21,20	500	93	33°38'	70°35'
A. Gato	8,20	23,00	5,07	11,95	71,75	459	63	33°39'	71°00'
Melipilla	8,30	34,87	6,57	37,00	27,00	500	54	33°42'	71°13'
Talca	7,40	24,47	3,27	53,32	20,34	1000	87	35°05'	71°17'
Camarico	5,00	15,33	0,68	68,78	8,19	979	84	35°13'	71°26'
Cumpeo	5,60	10,34	1,07	68,18	9,81	979	102	35°16'	71°18'
San Rafael	5,20	12,22	1,63	61,78	14,37	1150	84	35°19'	71°30'
Curanipe	5,94	19,33	8,60	25,93	32,99	912	24	35°25'	72°25'
Pocillas	6,50	11,00	2,81	43,40	15,60	1270	57	36°10'	72°18'
Linares	5,80	15,40	3,23	41,02	20,62	1032	81	36°12'	71°53'
Quipato	6,20	12,20	2,64	37,40	17,60	1270	54	36°17'	72°12'
Millauguen	6,20	16,70	2,23	44,30	20,93	1270	87	36°23'	72°10'
Collipulli	5,00	15,40	2,32	30,28	44,00	1270	102	36°25'	71°48'
Quella	6,40	16,83	2,39	34,09	22,58	1270	60	36°25'	72°15'
San Carlos	6,10	31,99	2,82	32,09	33,53	1340	87	36°25'	71°58'
Mirador	5,80	33,05	2,55	36,44	32,28	1270	81	36°31'	72°00'
Cauquenes	6,60	12,00	3,13	36,40	37,60	1270	57	36°54'	72°22'
Arrayán	6,13	26,00	11,36	41,17	20,27	962	108	36°36'	71°41'
S. Barbara	6,13	48,16	8,61	47,78	15,48	1843	96	36°42'	71°55'
Arenales	6,80	0,42	1,56	85-100	0-10	1043	66	36°45'	72°29'
T. Temuco	6,20	38,70	9,42	20-45	27-40	1360	75	38°46'	72°35'
Hueicolla	4,70	38,10	15,20	0-20	30-40	2145	30	40°00'	73°25'
San José	5,80	72,61	18,90	45-80	20-35	1761	30	39°30'	72°50'
Liquiñe	5,30	43,87	17,80	45-80	20-35	1761	102	30°45'	72°20'
Corte Alto	5,10	77,50	23,36	8,00	32,00	1500	54	40°50'	73°15'
Frutillar	6,00	32,36	14,20	50-70	15-20	1360	72	41°01'	73°07'

Variables:

- 1.- pH
- 2.- Capacidad de intercambio catiónico
- 3.- Contenido de materia orgánica
- 4.- Contenido de arena
- 5.- Contenido de arcilla
- 6.- Precipitaciones
- 7.- Distancia al océano

- 8.- Latitud
- 9.- Longitud

7.0 REFERENCIAS

- Admiral, W., Jacobs, D.M.L.H., Breugem P., & E.D. de Ruyter van Steveninck 1992. Effects of phytoplankton on the elemental composition (C,N,P) of suspended particulate material in the lower river Rhine. *Hydrobiologia* 235/236:479-489.
- Alfaro, W., Mira, P. y Nuñez, G. 1986 Marco de acción del manejo de cuencas en la Corporación Nacional Forestal - Ministerio de Agricultura. Segundo Encuentro Científico sobre el Medio Ambiente. Versiones abreviadas Tomo I:1-21.
- Alonso, C.H. 1983 b. Proposición de nuevo criterio propuesto para calificar aptitud de uso en riego para aguas del norte de Chile. III Simposio sobre Contaminación Ambiental, orientada al recurso agua. Estación Experimental La Platina, INIA, Santiago, octubre 1983. INIA-Intendencia Región Metropolitana, Tomo I: 10-14.
- Alonso, C.H. 1983c. Aplicación de nuevo criterio propuesto para calificar aguas de riego en el norte de Chile. III Simposio sobre Contaminación Ambiental, orientado al recurso agua. Estación Experimental La Platina, INIA, Santiago, octubre 1983. INIA-Intendencia Región Metropolitana. Tomo I: 15-19.
- American Public Health Association 1989. Standard Methods for the examination of water and waste water.
- Ayers, R.S. and D.W. Westcot. 1985. Water quality for agriculture. FAO Irrigation and Drainage Paper 29. Rev.1.
- Badri, M.A. y Aston, S.R. 1981. A comparative study of sequential extraction procedures in the geochemical fractionation of heavy metals in estuarine sediments, in Proc. Int. Comp. Heavy Metals Environment, CEP Consultants, Edinburgh, U.K. 705.
- Bejarano, M. and L. Madrid. 1992. Solubilization of heavy metals from a river sediment by a residue from olive oil industry. *Environmental Technology*, Vol. 13:979-985.
- Canadian Water Quality Guidelines. 1987. Water Quality Branch, Environment Canada. Ottawa. Canada.
- Campos, H. C., 1985 Productividad íctica de ríos y lagos araucanos. En Taller Internacional sobre Ecología y Manejo de peces en Lagos y Embalses. Irma Vila y Elda Fagetti (Eds.) Copescal Documento Técnico N°4: 8-32.
- Castri, F. di, 1968 Esquisse Écologique du Chili. En: *Biologie de L'Amérique Australe*. Editions du Centre National de la Recherche Scientifique Vol. IV. Traducido al español.

- Castri, F. di y Hajek, E. R., 1976 Bioclimatología de Chile. Vicerrectoría Académica de la Universidad Católica de Chile. 128pp.
- Castro, R., R., Jorquera, L. y Moya, J., 1982 Monografía de la cuenca del río Claro. Maule UC. Revista de la Universidad Católica de Chile sede del Maule N°8: 63-68.
- Chambers, P.A., Prepas, E.E., Gibson, K. 1992. Temporal and spatial dynamics in Riverbed Chemistry: The influence of Flow and Sediment composition. Can. J. Aquat. Sci., Vol. 49:2128-2140.
- Calmano, W. y Forstner, U. 1983. Chemical extraction of heavy metals in polluted river sediments in central Europe. Science Tot. Environ. 28, 7790.
- CONAMA. 1995. González, S.P. Capítulo 11. Estado de la contaminación de los suelos en Chile. En: Perfil Ambiental de la Contaminación en Tesdale.
- Dodds, W. 1993. What controls levels of dissolved phosphate and ammonium in surface waters?. Aquatic Sciences 55/2:133-142.
- Fuenzalida, H., 1965. Hidrografía. Capítulo V, pag.153-199. En: Geografía Económica de Chile. Corporación de Fomento de la Producción. Texto refundido, 885 pp.
- Golterman H.L, R.S.Clymo & M.A.M. Ohnstad 1978. Methods for Physical & Chemical Analisis of Freshwaters (Blackwell, Oxford) 2.ed.
- González, S. 1986. Calidad de las aguas de riego en Chile. Agricultura Técnica 46(4): 467-474.
- González, S.P. 1991. Upper critical level of copper to alfalfa, in ten chilean soils. Water Air and Soil Pollution 57-58: 201-208.
- Gunilla F. and M. Jansson. 1993. Sedimentation of phosphorus in limnetic and estuarine environments in the river Ore system, northern Sweden. Hydrobiologia 253:233-248.
- Hynes, H.B.N., 1976. The Ecology of Running Waters. Liverpool University Press. Third impression, 555 pp.
- IREN, 1962. Informe hidrométrico de las hoyas de los ríos Maule, Itata, BioBio, Imperial, Toltén. Informe final del proyecto aerofotométrico OEA/Chile/BID. Informe N° 18 Tomo 2. 323 pp.
- Kheboian, C. y Bauer, C.F. 1987. Accuracy of selective extraction procedures for metal speciation in model aquatic sediments. Anal. Chem. 59, 1417.
- Klohn, W. 1972. Hidrografía de las zonas desérticas de Chile. Ed.

J. Burz. Proyecto CHI-35. Investigaciones de los Recursos Hidráulicos en el Norte Grande. PNUD.

Malmgren, L. & Lars Brydsten. 1992. Sedimentation of river transported particles in the Ore estuary, northern Sweden. *Hydrobiologia* 235/236:59-69.

Meguelliati, N., Robbe, D., Marchandise, P. y Astruc, M. 1983. A new chemical extraction procedure in the fractionation of heavy metals in sediments - interpretation, in Proc. Int. Conf. Heavy Metals Environment CEP Consultants, Edinburgh, U.K. 1090.

Ministerio de Agricultura. Marco general de la Política. Amb. en Chile. 253 pp. Santiago, Chile.

Mudroch, A. y Duncan, G.A. 1986. Distribution of metals in different size fractions of sediment from Niazara river. *J. Great. Lakes Res.* 12(2), 117.

Mühlhauser H, L Soto & P Zahradnik 1986. Improvement of the Kjeldahl Method for total Nitrogen including Acid-Hydrolyzable Phosphorus determinations in Freshwater Ecosystems. *Intern. J. Environ. Anal. Chem.* 28 (3): 1-12.

Niemeyer H. Cereceda, P., 1984. Hidrografía. Tomo VIII. pag.1-320. En: Geografía de Chile. Instituto Geográfico Militar.

Pardo, R., Barrado, E., Pérez, L. y Marisol Vega. 1990. Determination and speciation of Heavy metals in sediments of the Pisuerga River. *Wat. Res. Vol.* 24(3):373-379.

Tessier, A., Campbell, P.G.C. y Bisson, M. 1979. Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals. *Anal. Chem.* 51, 844.

Samanidou, V., Fytianos, K. 1990. Mobilization of heavy metals from river sediments of northern Greece by complexing agents.

Samanidou, V., Papadoyannis, I., Vasilikiotis, G. 1991. Vertical distribution of heavy metals in sediments from rivers in northern Greece. *J. Environ. Sci. Health*, A26(8), 1345-1361.

Samanidou, V., Papadoyanis, I., Vasilikiotis, I. 1991. Mobilization of heavy metals from river sediments of northern Greece, by humic substances. *J. Environ. Sci. Health*, A26(7), 1055-1068.

Standard Methods for the examination of water and wastewater. 1992. American Public Health Association, Washington, U.S.A.

Sudsuki, F. 1964. Relaves de Cobre y Aguas de Riego del Río Cachapoal. *Agric.Técnica (Chile)*, 23-24: 1562.

Vera, W. (E.). 1994. Suelos, una visión actualizada del recurso. Universidad de Chile. Fac. de Cs. Agr. y For. Publ. Misc. Agr. N° 38, 345pp.

Vila, I. Contreras, M. Montecino, V. 1990. Evaluación de la fauna ictica del Río Maule. Informe Técnico a Pehuenche S.A. 94 pp. 10 figs.

Welcomme, R.L., 1985 River Fisheries. FAO Fisheries Technical Paper N°262 330 pp.

Zahradnik, P., 1981 Methods for freshwater analysis. Int. Course for Limnol. UNESCO. Univ. of Viena. 43 pp.

CENTRO DE INFORMACIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS



3 5817 00002 6872