REPUBLICA DE CHILE
MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS
DIRECCION GENERAL DE AGUAS

CALIDAD DE LAS AGUAS

REALIZADO POR :
Ing. Humberto Peña Torrealba
Ing. Carlos Salazar Méndez

COLABORADORA :
Ing. Tatiana Cuevas Valencia

Departamento de Estudios y Planificación

S.D.T. Nº2

- 1993-

CALIDAD DE LAS AGUAS

1. INTRODUCCION

2. ANTECEDENTES EXISTENTES

3. CARACTERIZACION DE LA CALIDAD DE LAS AGUAS. LINEA BASE

   3.1 Aguas superficiales

   3.2 Aguas subterráneas

4. CONTAMINACION HIDRICA DE LAS AGUAS CONTINENTALES

   4.1 Aspectos generales

   4.2 Aguas superficiales

   4.3 Aguas subterráneas y contaminación difusa

5. CONCLUSIONES

TATIANA CUEVAS VALENCIA
Ingeniero Civil
Jefe Unidad Técnica Medio Ambiente

CALIDAD DE LAS AGUAS

Humberto Peña T. (1)
Carlos Salazar M. (2)

1. INTRODUCCION

El papel del agua en relación al desarrollo de los seres vivos, así como su comportamiento en los procesos físicos y químicos depende de los compuestos que transporta, de modo que su calidad no siempre es adecuada para un uso determinado. Por esta razón la evaluación de los recursos hídricos exige determinar tanto sus aspectos cuantitativos como cualitativos.

En Chile esta doble condicionante en relación a los recursos hídricos ha estado presente desde principios de siglo, en especial en la zona norte del país, donde la aguda escasez del recurso coincide con la existencia de aguas de alto contenido salino. Del mismo modo, la condición minera del país llevó a preocuparse desde muy temprano del control de la disposición de efluentes líquidos de origen minero e industrial, dictándose para esos efectos en 1916 la Ley 3.133, cuerpo legal pionero en esas materias y que aún se encuentra vigente.

El presente capítulo tiene como objetivo complementar la evaluación cuantitativa de los recursos hídricos, desarrollada en un capitulo anterior, con un análisis de la calidad de las aguas en sus condiciones naturales y modificadas por la acción antropogénica.

---

(1) Jefe Depto. Estudios y Planificación. Dirección General de Aguas

(2) Jefe Subdepto. Planificación Recursos Hídricos. Dirección General de Aguas

Con estos propósitos se ha recurrido a los registros estadísticos de la Dirección General de Aguas (DGA) y a los resultados de numerosos estudios efectuados por distintas instituciones e investigadores.

2. ANTECEDENTES EXISTENTES

La información sobre calidad de aguas en el país se ha generado históricamente con distintos objetivos y mediante la acción de diversas instituciones y empresas. Para su análisis conviene distinguir entre mediciones sistemáticas y datos esporádicos, asociados a estudios y proyectos específicos. Lamentablemente gran cantidad de información obtenida para fines específicos se encuentra dispersa y resulta en general de muy difícil acceso e interpretación. En ese caso se encuentra buena parte de los boletines de calidad de aguas obtenidos para servicios de agua potable, los informes originados en labores de fiscalización que efectúan organismos tales como el Servicio de Salud del Ambiente y el Servicio Agrícola Ganadero y los informes realizados con motivo del alumbramiento de aguas subterráneas.

Los únicos registros de calidad de agua obtenidos de manera sistemática y de un alcance nacional son los pertenecientes a la Dirección General de Aguas. En la actualidad dicha institución opera, en conjunto con la red hidrométrica nacional, una red de monitoreo de calidad de aguas superficiales constituída por 287 estaciones distribuidas por todo el país. En el Cuadro N°2.1 se presenta la distribución regional de la red de medición.

CUADRO Nº 2.1

RED NACIONAL DE CONTROL DE LA CALIDAD DE AGUAS

REGION	SUPERFICIE KM2	Nº CUENCAS CONTROLADAS	Nº ESTACIONES
I	52.903	12	24
II	128.977	2	16
III	64.753	3	3
IV	39.940	5	41
V	17.452	4	22
R.M.	16.254	1	21
VI	17.840	2	15
VII	30.852	2	19
VIII	44.047	6	35
IX	22.137	2	18
X	107.500	5	27
XI	117.868	2	19
XII	138.395	5	16
TOTAL :		51	287

FUENTE: Dirección General de Aguas, M.O.P.

La red actualmente en operación fue diseñada en 1984, después de un análisis crítico de los controles existentes a esa fecha, los cuales se habían iniciado a mediados de la década de los 60. Cabe señalar que esta red está orientada básicamente a la caracterización general de las aguas y no al monitoreo de situaciones de contaminación específicas.

Adicionalmente la Dirección General de Aguas ha desarrollado un programa de estudio de lagos a partir de 1982 el que se ha materializado con la puesta en operación de una Red Nacional Mínima de Control de Lagos, compuesta por 10 lagos. El objetivo de la red es obtener información sistemática sobre aspectos físicos, químicos y biológicos que permitan evaluar el cambio global que puede experimentar el recurso hídrico almacenado en dichos cuerpos de agua. Los lagos y embalses que integran dicha red son los siguientes: Embalses Paloma y el Yeso. Lagunas Aculeo y Grande de San Pedro; lagos Rapel, Lanalhue, Villarrica, Riñihue, Ranco y Llanquihue.

Con respecto al agua subterránea, a la fecha no se ha implementado una red regular de medición, debiéndose recurrir en ese caso a numeros estudios de caracterización de los acuíferos desarrollados a nivel de cuencas o de carácter local. Estos informes son de mucha utilidad considerando la escasa variación temporal de las aguas subterráneas cuando no existen procesos de contaminación o una explotación intensiva.

3. CARACTERIZACION DE LA CALIDAD DE LAS AGUAS. LINEA BASE.

El agua normalmente transporta substancias en solución, que presentan su propio ciclo en la naturaleza. Ellas son incorporadas mediante procesos tales como la disolución de los minerales contenidos en las rocas, el intercambio iónico, procesos de concentración por evaporación y otros. Por esta razón el contenido de sólidos en solución del agua de escorrentía depende de factores geológicos, biológicos, hidrológicos y climatológicos; los cuales se combinan en forma compleja.

A continuación se analizan los antecedentes de "línea base", sin influencia de la acción antropogénica, de las aguas superficiales y subterráneas del país.

3.1 Aguas superficiales

La constitución química de las aguas naturales presenta una gran variabilidad a lo largo del territorio nacional observándose en general una alta concentración de sales en las zonas áridas del país, decreciendo fuertemente hacia las regiones más humedas.

En el Cuadro 3.1 se ha resumido información acerca de la conductividad eléctrica, ph y concentración de los macroelementos en algunas estaciones representativas de 21 cuencas importantes del país, según los valores medios obtenidos del Banco de Datos hidrológicos de la Dirección General de Aguas. Además, los antecedentes de conductividad eléctrica han permitido construir el diagrama de la figura Nº 1.

De acuerdo a esta información las aguas del Norte Grande en general se pueden caracterizar por sus altos contenidos de sales, lo que se refleja en valores de conductividad eléctrica que usualmente están entre 500 umhos cm^{-1} y 2.000 umhos cm^{-1}, y en ocasiones superan estas cifras.

Las cuencas con mayor contenido de sólidos disueltos en esta zona son las de los ríos Lluta, Camarones y Loa, con conductividades eléctricas superiores a 2.000 umhos cm^{-1}. Las cuencas de los ríos San José, Qda. de Tarapacá y otras altiplánicas en general registran concentraciones inferiores a ese valor.

Un caso excepcional lo constituye el río Lluta, en el cual se presentan afluentes asociados a la actividad volcánica (como el río Azufre), con aguas extraordinariamente ácidas (pH<3), y elevadas concentraciones de sales, en especial de compuestos de boro. Una situación también excepcional la constituyen las nacientes del río Salado Chico, cuenca del río Loa, que recibe sus aportes de los geyseres del Tatio, con conductividades superiores a 10.000 umhos cm^{-1}.

En el Norte Grande frecuentemente los ríos muestran un notable deterioro de la calidad de sus aguas a lo largo de su recorrido, fenómeno que tiene causas naturales y antropogénicas. Entre las causas naturales se tiene la disolución de sales contenidas en formaciones geológicas que son interceptadas por el cauce, el aporte de aguas de inferior calidad y la existencia en los cursos medios e inferiores de áreas con niveles freáticos próximos a la superficie, lo que produce una concentración de las sales

por evaporación desde el suelo húmedo. También desempeñan un papel significativo en el fenómeno las labores agrícolas, debido a la evaporación que ellas implican y a los procesos de lixiviación de las sales contenidas en el suelo. En la figura N° 2 se presenta a modo de ejemplo la salinización del río Camiña como resultado de los fenómenos ya señalados.

Un caso especialmente interesante de salinización a lo largo de su recorrido se observa en el río Loa, donde se observa disolución de sales, aportes de vertientes alta salinidad, influencia del uso agrícola y además el efecto de la extracción para fines domésticos de recursos de buena calidad existentes en los ríos afluentes (figura N° 3).

En el Norte Chico el contenido de sólidos disueltos de las aguas presenta en general valores menos elevados que en la I y II Región con conductividades eléctricas típicas menores de 2.000 umhos cm^{-1}, aunque con frecuencia en los cursos inferiores también se tienen restricciones para el uso del agua por exceso de salinidad (Copiapó, Huasco, Elqui, Limarí). Hacia el sector sur de esta zona la calidad del agua mejora y las conductividades eléctricas no alcanzan a 1.000 umhos cm^{-1}.

Cabe destacar que esta zona, al igual que en los ríos del Norte Grande, se observa un aumento significativo del contenido de sales en los cursos medios e inferiores de los valles, situación que se ilustra en la figura N° 4, donde se entrega un perfil hidroquímico del río Copiapó.

En la zona Central la calidad del agua mejora notablemente, registrándose entre los ríos Rapel y Mataquito conductividades eléctricas bajo 500 umhos cm^{-1}. Desde la VIII Región hacia el sur, las abundantes precipitaciones permiten que las aguas mantengan contenidos de sólidos disueltos extraordinariamente bajos, midiéndose normalmente conductividades eléctricas inferiores a 200 umhos cm^{-1}.

La cuenca del río Maipo muestra una situación anómala respecto a las vecinas, posiblemente debida a las características geológicas de la alta Cordillera de Santiago, con presencia de formaciones de carácter marino y de rocas ígneas producto de volcanismo reciente. En este río se observan a la salida de la Cordillera de los Andes altas concentraciones de sulfatos, calcio y manganeso, y conductividades eléctricas que varían normalmente entre 700 y 2.000 umhos cm^{-1}. Contrariamente a la tendencia general, en su condición natural el río Maipo tiene un mejoramiento de la calidad del agua en lo que respecta al contenido de sales hacia aguas abajo.

Las características de los procesos hidrológicos, que combinan de una manera compleja distintas formas de escorrentía, cada una asociada a distintos recorridos del agua, explica la existencia de variaciones temporales en su constitución química. Estas fluctuaciones pueden ser de corto plazo, relacionadas fundamentalmente con eventos de crecida, o variaciones de carácter estacional.

En Chile, las fluctuaciones de corto plazo más notables se observan con motivo de las violentas crecidas de verano de la región altiplánica. En esas ocasiones, el aumento inicial del caudal frecuentemente produce una importante disolución de sales acumuladas en el lecho de

inundación durante los períodos de recesión. Posteriormente, el aporte de escorrentía directa superficial, la cual presenta un menor contenido de sales que los caudales originados en las aguas subterráneas, produce una disminución de los sólidos disueltos. Con el propósito de ilustrar este fenómeno, en la figura Nº 5 se presentan los resultados de mediciones de conductividad eléctrica y de contenido isotópico durante una crecida en la Quebrada de Tarapacá (Peña et al, 1987). En ella se puede comprobar que durante la crecida hay aportes de agua de distinto origen, representados por un diferente contenido isotópico.

Las variaciones estacionales de la calidad del agua normalmente se caracterizan por un incremento de sales en solución durante los períodos de caudales bajos, cuando la escorrentía está sostenida básicamente por el vaciamiento de las aguas subterráneas, y una disminución durante el período de crecidas, ya sean estas pluviales o nivales. Estas variaciones son menos significativas en la medida que las características químicas de los diferentes tipos de escorrentía (superficial y subterránea) se asemejan entre sí. En la figura Nº 6 se presentan las fluctuaciones de conductividad eléctrica del río Maipo, en la cual se aprecia como los aportes recibidos por ese río durante el período de deshielo contribuyen a disminuir su contenido de sólidos disueltos.

Para determinar la aptitud de un agua para cierto uso, con frecuencia es necesario centrar la atención en algunos componentes, que se encuentran en cantidades muy reducidas, llamados usualmente microelementos. En el país los microelementos que han sido motivo de mayor atención son el arsenico, el boro y algunos metales pesados tales como el cobre, el molibdeno, el manganeso y el fierro.

El arsénico (As) se presenta con frecuencia en el Norte Grande del país, asociado al volcanismo cuaternario de la zona altiplánica. Ejemplos notables de esta situación lo constituyen algunos afluentes a las Quebradas de Camarones, Camiña, de Tarapacá y Aroma; y a los ríos Isluga y Loa. En estos lugares frecuentemente las aguas tienen un contenido de As superior a 0.5 mgr/l, valor substancialmente superior al aceptado en la norma chilena de agua potable. Cabe recordar que el alto contenido de arsénico existente (0.7 mgr/l) en algunos de los afluentes al Loa ha obligado a construir plantas de alto costo para abatir ese elemento antes de utilizar el agua con fines domésticos. En el Norte Chico, aunque se han detectado aguas con arsénico, en general se detecta en concentraciones aceptables.

El contenido de boro también constituye una importante restricción para mucha de las aguas del Norte Grande. En especial las concentraciones son poco favorables en la región altiplánica, donde frecuentemente las aguas superan niveles de boro tan altos como 5.0 mgr/l. Algunos cauces que destacan por su elevado contenido de boro son el río Loa, la Quebrada de Camarones, Tarapacá y Aroma, y los ríos Isluga y Collacagua. En general la incorporación de este elemento al ciclo hidrológico en la zona tiene su origen en la actividad volcánica y en depósitos evaporíticos. Cabe recordar que existen cultivos especialmente sensibles a

este elemento (cítricos) los cuales son afectados por concentraciones de 0.3 mgr/l. Para el uso doméstico el límite aceptable es de 5 mgr/l.

El contenido de boro de las aguas en el Norte Chico es normalmente inferior a los 2 mgr/l, valor que aún cuando resulta inferior a los obtenidos para el norte, es suficientemente elevado para introducir algunas limitaciones al uso. De Santiago al sur la concentración de boro tiende a desaparecer.

En el país también se ha prestado atención al contenido de metales pesados en las aguas superficiales, en especial de Cu y de Fe. En relación a estos elementos cabe advertir que en general son fijados en una alta proporción por los sedimentos que arrastran las aguas. De este modo, los análisis desarrollados filtrando las muestras de sedimentos resultan muy distintos a los obtenidos extrayendo los minerales transportados en el material particulado. La conveniencia de adoptar una u otra forma de determinación ha sido motivo de polémica entre los especialistas y no existe en la actualidad un procedimiento único.

En todo caso, los análisis no filtrados y con extracción muestran presencia de cobre en la mayoría de los ríos de la Zona Central en los cuales existen faenas de explotación de dicho metal, no estando en general claro si ello se debe a una situación natural o al efecto de las explotaciones mineras. Los principales ríos en los cuales se detecta la presencia de cobre son: el Elqui, Aconcagua, Maipo y Rapel.

El hierro presenta una de distribución espacial relativamente similar al cobre con la diferencia de que en la zona sur hay áreas, como la IX Región, donde también se detecta en concentraciones significativas.

3.2 Aguas subterráneas

El conocimiento de la calidad de las aguas subterráneas del país se ha generado principalmente a través de estudios de carácter local y ha estado restringido a ciertos parámetros; no existiendo en operación un programa de control sistemático.

La calidad del agua subterránea queda determinada por las características de su recarga y por procesos químicos que se desarrollan en el acuífero (disolución, precipitación, oxidación-reducción, etc.).

En términos generales se puede señalar que la importante interacción que se presenta en el país entre las aguas superficiales y subterráneas, tiene como consecuencia que la calidad del agua subterránea sigue de cerca las tendencias de las aguas superficiales que la recargan, aún cuando normalmente con niveles de sólidos disueltos superiores (figura N°4). Además, el efecto de regulación que presentan los acuíferos impide la fluctuación estacional y de corto plazo de la calidad del agua.

En la figura N° 7 se presenta la variación del contenido total de sólidos disueltos a lo largo del país, según los antecedentes de los pozos reepresentativos seleccionados en el Mapa Hidrogeológico de Chile (D.G.A., 1991)

En forma similar a lo que se observa en las aguas superficiales, el contenido de sales es fuertemente creciente hacia el norte y mantiene valores muy bajos al sur de Santiago. La existencia de niveles más elevados en la XII Región se debe a la explotación en esa zona de acuíferos surgentes asociados a areniscas terciarias que se ubican a gran profundidad.

Como se aprecia en la figura N°7 las aguas subterráneas del Norte Grande presentan una importante heterogeneidad espacial. Ello es un reflejo de las características geológicas de la zona, de la importancia de los procesos evaporativos y de la escasa o nula recarga de muchos acuíferos lo que permite una interacción agua-roca muy prolongada.

En relación a la presencia de boro y arsénico, las aguas subterráneas muestran una distribuciónb similar a la de las aguas superficiales.

Desde la perspectiva del uso de las aguas subterráneas como fuente de abastecimiento para fines domésticos, frecuentemente ha sido motivo de preocupación entre las regiones IV y X del país, el contenido natural de fierro y manganeso. La figura N° 8 preparada según antecedentes de las captaciones del ex Servicio Nacional de Obras Sanitarias (Sancha, 1986), entrega las concentraciones de Fe y Mn clasificados en 3 categorías. Cabe señalar que la norma Chilena acepta niveles máximos de 0,30 mgr/l de Fe y 0,10 mgr/l de Mn, aunque el Ministerio de Salud puede aceptar contenidos mayores.

También se han investigado las zonas del país que presentan algún tipo de restricción por la acción del agua sobre los materiales usados en su conducción, con ese

propósito se ha analizado el índice de agresividad, detectándose la presencia de aguas agresivas en las regiones VIII, IX y X (Sancha, 1986), como se aprecia en la figura Nº 9. La Región Metropolitana, no incluída en la figura, presenta por el contrario problemas derivados de la elevada dureza de las aguas de algunos sectores.

4. CONTAMINACION HIDRICA DE LAS AGUAS CONTINENTALES

4.1 Aspectos generales

En el análisis del problema de la contaminación hídrica conviene distinguir entre la fuente contaminante, el cuerpo receptor y el impacto sobre los usos del agua. Las fuentes contaminantes se dividen en localizadas (aguas servidas de origen doméstico, residuos industriales y mineros) y difusas, (fertilizantes, pesticidas). El cuerpo receptor puede ser un cauce superficial, un lago (embalse) o un acuífero, y constituye el vínculo físico entre la fuente contaminante y el impacto. Conviene destacar que este medio receptor puede actuar en múltiples formas sobre la carga contaminante, entre ellas se puede señalar que produce un retardo en el impacto, diluye la concentración y transforma el contaminante a través de procesos físicos, químicos y biológicos.

En el caso de Chile, se debe mencionar además el importante papel que cumple el océano como receptor de contaminantes, ya que recibe, sin intervención de los sistemas fluviales, aproximadamente un 25% de los residuos domésticos, prácticamente el 100% de los residuos industriales líquidos (RIL) de la industria pesquera y otras descargas industriales de ciudades del norte del país, de Valparaíso y Viña del Mar, y de la zona de Concepción.

4.2 Aguas superficiales

Los sistemas hidrográficos chilenos se caracterizan por el reducido tamaño de las cuencas y el corto recorrido y fuerte pendiente de los ríos. Estas características contribuyen a que los problemas de contaminación tengan un ámbito espacial mas reducido y favorecen los procesos de autopurificación de los cauces. Además, la escasa disponibilidad de recursos hídricos de una amplia zona del país (al norte de Santiago) y la magnitud de las extracciones, determina que la capacidad de dilución de contaminantes sea extraordinariamente baja y que se tenga una situación de alta vulnerabilidad frente a los procesos de contaminación (Peña, 1990).

Para propósitos del análisis conviene distinguir entre las fuentes contaminantes localizadas de carácter doméstico, minero e industrial, y la contaminación difusa, asociada a la actividad agrícola.

a) Contaminación por aguas servidas

El problema de las aguas servidas de origen doméstico se caracteriza en la situación chilena por el elevado porcentaje de población que dispone de servicio de agua potable y alcantarillado, por una parte, y la falta generalizada de plantas de tratamiento por otra. En efecto, se estima que un 95% de la población que no reside en el litoral dispone de servicio de alcantarillado y solamente un 3% dispone de planta de tratamiento.

Los caudales vertidos al sistema hidrográfico están constituídos por las descargas de unos 160 centros urbanos, con un caudal total de aproximadamente 15 m^3/s, lo que constituye sin lugar a dudas la principal fuente contaminante de los cauces del país. Las aguas tratadas, por su parte, corresponden a la operación de 26 plantas de tratamiento de distinto tipo. El cuadro N° 4.1 presenta estos antecedentes distribuídos en forma regional.

• Las aguas servidas domésticas constituyen elementos contaminantes por su contenido de sólidos en suspensión, materia orgánica, microorganismos y nutrientes, estos últimos principalmente compuestos de nitrógeno y fósforo.

• En el país se han efectuado estimaciones generales de la magnitud de la carga orgánica, expresada como demanda bioquímica de oxígeno en 5 días (DBO5), entregada a lo cauces. Para ello se ha extrapolado información de carga por habitante medida en el extranjero, obteniéndose un valor de aproximadamente 150.000 Ton/año, de los cuales 100.000 Ton/año corresponden a la Región Metropolitana (cuadro N° 4.1).

Cabe señalar que los valores de DBO por habitante medidos en la ciudad de Valparaíso-Viña de Mar son aproximadamente un 40% inferiores a las experiencia extranjera (Araya, 1990).

• En relación a la contaminación debido a los organismos patógenos de transmisión hídrica tales como virus, bacterias y helmintos, en el país se han hecho diversos estudios que asocian la incidencia de enfermedades tales como la fiebre tifoidea y la

Los caudales vertidos al sistema hidrográfico están constituídos por las descargas de unos 160 centros urbanos, con un caudal total de aproximadamente 15 m^3/s, lo que constituye sin lugar a dudas la principal fuente contaminante de los cauces del país. Las aguas tratadas, por su parte, corresponden a la operación de 26 plantas de tratamiento de distinto tipo. El cuadro Nº 4.1 presenta estos antecedentes distribuídos en forma regional.

Las aguas servidas domésticas constituyen elementos contaminantes por su contenido de sólidos en suspensión, materia orgánica, microorganismos y nutrientes, estos últimos principalmente compuestos de nitrógeno y fósforo.

En el país se han efectuado estimaciones generales de la magnitud de la carga orgánica, expresada como demanda bioquímica de oxígeno en 5 días (DBO5), entregada a lo cauces. Para ello se ha extrapolado información de carga por habitante medida en el extranjero, obteniéndose un valor de aproximadamente 150.000 Ton/año, de los cuales 100.000 Ton/año corresponden a la Región Metropolitana (cuadro Nº 4.1).

Cabe señalar que los valores de DBO por habitante medidos en la ciudad de Valparaíso-Viña de Mar son aproximadamente un 40% inferiores a las experiencia extranjera (Araya, 1990).

En relación a la contaminación debido a los organismos patógenos de transmisión hídrica tales como virus, bacterias y helmintos, en el país se han hecho diversos estudios que asocian la incidencia de enfermedades tales como la fiebre tifoidea y la

C U A D R O Nº 4.1. SITUACION DE LAS DESCARGAS DE AGUAS SERVIDAS A LOS SISTEMAS HIDROGRAFICOS.

REGION	CENTROS URBANOS C/ALCANTAR. (1)	POBLACION SERVIDA (1) (hab.)	CAUDAL (2) (l/s)	DBO5 (1) (TON/AÑO)	PLANTAS DE TRATAM. (1)	TRATADO %
I	-	-	-	-	-	-
II	1	71.954	134	1.417	0	0
III	5	140.801	196	2.773	3	71%
IV	6	79.253	120	1.562	5	37%
V	21	365.919	679	7.210	3	5%
R.M.	-	5.155.370	9.740	101.562	3	1%
VI	21	286.116	600	5.636	6	6%
VII	23	330.680	558	6.481	3	3%
VIII (*)	32	538.899	1.540	10.617	2	0%
IX	20	264.568	360	5.212	1	1%
X	16	248 993	701	4.904	0	0%
XI	2	30.824	36	607	0	0%
XII	-	-	-	-	-	
T O T A L:	147(**)	7.513.377	14.664	148.011	26	3%

(*) Incluye toda la cuenca del R. Bío-Bío

(**) No incluye R.M.

(1) Fuente: Superintendencia de Servicios Sanitarios. Dctos. al XII/1990.

(2) Fuente: Dirección General de Aguas. Inventario de Contaminación de Aguas Naturales, 1991.

hepatitis a las zonas donde se usan las aguas servidas para el riego.

Como se puede apreciar de estos antecedentes, la contaminación de los cauces naturales en el país por descargas de aguas servidas es de gran magnitud.

b) Contaminación por efluentes de la minería

El carácter minero de la actividad económica en extensas zonas del país, otorga especial importancia a este tipo de contaminación. Además, la coincidencia de esas zonas con aquellas regiones de extrema aridez, en las cuales los caudales disponibles para la dilución de los residuos líquidos son especialmente pequeños, configura una situación de alta vulnerabilidad y de importancia estratégica para el desarrollo sustentable de esas zonas.

En un catastro a nivel nacional de fuentes reales o potenciales de contaminación (DGA, 1991) se identifican 59 plantas mineras con un nivel de actividad superior a 100 Ton/día; las cuales se localizan principalmente entre las regiones I y IV (figura N°10). En la actualidad no se tienen antecedentes precisos relativos al impacto de la gran mayoría de estas plantas sobre la calidad de los recursos hídricos.

Normalmente los contaminantes asociados a la minería son metales pesados (Cu, Fe), ácidos y otros compuestos químicos utilizados en los procesos. Como se ha señalado, en la principales cuencas con actividad minera se ha detectado presencia de metales pesados en las aguas superficiales, transportados básicamente por el material particulado en suspensión. Cabe señalar que, en algunos casos, se ha puesto en discusión si los

elementos contaminantes corresponden al contenido natural de las aguas o tienen un origen antropogénico.

Desde el punto de vista de la conservación de la calidad de las aguas, el uso de tranques de relaves en conjunto con sistemas de recirculación ha permitido en el país mejorar sustancialmente la calidad de las descargas de la actividad minera. No obstante lo anterior, se ha podido comprobar en algunos casos que las aguas sobrantes de los tranques de relaves presentan niveles muy elevados de algunos compuestos tales como sulfatos y molibdeno.

c) Residuos industriales líquidos

La actividad industrial moderna se caracteriza por generar una gran cantidad de residuos líquidos de una amplia gama de sustancias según el tipo de industria y proceso de producción. Entre los elementos contaminantes producidos por la industria se destacan: la materia orgánica (DBO), pH, temperatura, calor, sólidos en suspensión, aceites, grasas, metales pesados y compuestos químicos orgánicos e inorgánicos. La variedad de los contaminantes producidos por la industria es de tal magnitud que en un cauce en USA se ha podido comprobar la presencia simultánea de aproximadamente 1.500 sustancias químicas diferentes.

Cabe destacar que es motivo de preocupación a nivel mundial la generación de sustancias orgánicas altamente tóxicas y de gran persistencia en algunos procesos industriales, razón por la cual se realiza un gran esfuerzo de investigación en estas materias.

• *Los rubros industriales más importantes, desde el punto de vista de la contaminación hídrica en Chile, son:*

- *Industria alimenticia y agroindustria*
- *Industria de la madera, papel y celulosa*
- *Industria metalurgica y metalmecánica*
- *Industria química*
- *Industria del cuero*
- *Industria textil.*

La industria pesquera que es altamente contaminante, entrega en general los vertidos directamente al mar, con lo cual no afecta la calidad de las aguas continentales.

En el país la gran mayoría de las industrias entrega sus riles directamente al sistema de alcantarillado, razón por la cual se confunden con las descargas domésticas. Consecuentemente, los planes orientados al tratamiento de las aguas servidas de origen doméstico, necesariamente deben considerar control de los vertidos industriales a los alcantarillados, especialmente en aquellas industrias cuyos efluentes por su constitución pueden afectar la eficiencia de las plantas.

La heterogenea distribución regional de la industria en Chile, produce una fuerte concentración de los problemas de contaminación por riles en 3 zonas principales: la Región Metropolitana (cuencas de los ríos Maipo y Mapocho), la VIII Región (cuenca del río Bío-Bío) y Valparaíso-Viña del Mar (cuenca de los ríos Aconcagua y Marga-Marga).

La Región Metropolitana constituye sin lugar a dudas la zona más afectada, al concentrar más del 50% de la industria nacional. Es así como en estudios efectuados recientemente en esta área se consideraron las descargas de más de 300 industrias (SERPLAC, 1989). Otros informes han estimado que del orden del 75% de los establecimientos industriales vierten directamente al alcantarillado y que el resto de las descargas se conducen hacia el Zanjón de la Aguada (19% del caudal), los canales de regadío (32%) y los ríos Mapocho (14%) y Maipo (33%) con un total de 3.08 m^3/s (Alzérreca, 1981).

La actividad industrial de esta zona es muy diversificada destacándose la presencia de industrias alimenticias, del papel, metalmecánicas, químicas y textiles. Estos establecimientos generan elementos con alto contenido de sólidos en suspension, carga orgánica (DBO), aniones (cloruros y sulfatos), metales alcalinos y alcalinoterreos (sodio, calcio y magnesio), derivados orgánicos (fenoles, hidrocarburos y detergentes) y metales pesados, (SERPLAC, 1989). En especial los metales pesados han sido motivo de preocupación por su carácter tóxico y su eventual transmisión al hombre a través de los alimentos, considerando que las aguas servidas se utilizan para el riego y la bebida de animales (Schalscha, 1991). Entre estos metales se destaca la alta concentración de Cadmio, Cromo, Cobre, Mercurio y Niquel.

El río Aconcagua presenta en una gran parte de su recorrido una situación caracterizada por la intensidad del aprovechamiento de sus recursos hídricos y la magnitud y variedad de los vertidos de aguas residuales. El catastro

afectuado por la Dirección General de Aguas (DGA, 1989) permitió identificar 49 descargas, predominando las correspondientes a la industria alimenticia (49 %) y a las aguas servidas (29%). El resto son vertidos mineros (12%) y de otras industrias (10%). Es interesante señalar que a principios de los años 70 se estimaba que la contaminación orgánica producida por la industria ya era equivalente a una población de 90.000 hatitantes (Vallejos, 1971).

El área próxima a Valparaíso-Viña del Mar entrega al estero Marga-Marga, además de descargas de carácter doméstico, residuos líquidos provenientes de industrias alimenticias, curtiembres, metalúrgicas, químicas y textiles. En 1973 se estimaban las descargas industriales en la cuenca del estero Marga-Marga en 100 l/s con una carga contaminante equivalente a una población de aproximadamente 40.000 habitantes (Cabrera, 1974).

La cuenca del río Bío-Bío presenta descargas de industrias de celulosa, papel, alimenticias, madereras, químicas, textiles, del cuero, metalmecánicas y del petróleo. Entre ellas se destacan por su magnitud los vertidos provenientes de las 5 grandes industrias de la celulosa y el papel, que se ubican en la riberas del Bío-Bío y sus afluentes, las cuales en plena producción representarán un caudal del orden de 5 m^3/s.

Los contaminantes específicos asociados a esta industria dependen del tipo de proceso utilizado (Kraft, sulfito, pulpaje mecánico), aunque en general consisten en

sólidos en suspensión y materia orgánica. También se ha informado acerca de la presencia de mercurio en las aguas del río Bío-Bío; metal utilizado en el proceso productivo (SERPLAC, 1980).

En el resto del país, los efluentes industriales descargados a los cauces no presentan un impacto comparable al observado en estas 3 áreas. En general ellos consisten en residuos provenientes de agroindustrias, industrias alimenticias (mataderos), curtiembres, aserraderos y otras.

4.3 Aguas subterráneas y contaminación difusa

El problema de la contaminación de las aguas subterráneas tiene características que lo diferencian claramente de los procesos de contaminación de las aguas superficiales. Algunas de sus peculiaridades son: la dificultad de detección, el retardo que se presenta entre la acción de la fuente contaminante y su impacto, la permanencia prolongada del efecto, la reacción retardada frente a las medidas correctivas que se pudieran adoptar, la naturaleza de los procesos físico-químicos e hidrodinámicos involucrados. Debido a estas características, el énfasis necesariamente debe estar puesto en la prevención, ya que una vez producido el deterioro resulta una situación prácticamente irreversible o extraordinariamente costosa.

El riesgo de contaminación de un acuífero depende de la existencia y características de las cargas contaminantes y de la vulnerabilidad de los acuíferos. Los acuíferos más vulnerables son aquéllos que se presentan en forma no confinada (y en consecuencia no tienen un estrato superior que los aisle), poco profundos y cuya granulometría contiene escasa cantidad de finos. En Chile la mayoría de los acuíferos explotados son libres o semi-confinados y con baja presencia de finos. Las profundidades son variables siendo importantes en los sectores del Valle Central próximos a la Cordillera de los Andes y en general pequeñas en los cursos medios e inferiores, de modo que estos acuíferos resultan frecuentemente bastante vulnerables.

Además, la interacción entre las aguas superficiales y subterráneas, en general en el país es muy activa, lo que facilita la transferencia al acuífero de las descargas contaminantes superficiales.

Los procesos que se desarrollan en el suelo y que contribu a la protección de los acuíferos son: la intercepción y eliminación de microorganismos patógenos, la biodegradación de compuestos orgánicos naturales y sintéticos y la atenuación mediante precipitación, sorción e intercambio de cationes, de metales pesados y otras sustancias químicas inorgánicas (carbonatos, sulfuros, hidroxidos).

Los compuestos que produce restricciones en forma más generalizada en los sistemas de aguas subterráneas son los nitratos, debido a la alta movilidad y estabilidad que muestran en los acuíferos. Las fuentes de nitratos normalmente son las aguas servidas domésticas y los fertilizantes. Otros constituyentes inorgánicos presentes frecuentemente en las aguas subterráneas debido a contaminación son cloruros, hierro, manganeso, sodio y sulfatos. La amplia gama de compuestos orgánicos sintéticos, que se utilizan normalmente como plagicidas muestran un comportamiento variable, aunque en general presentan una alta sorción en los suelos.

La contaminación localizada de las aguas subterráneas se produce por infiltración en pozos con residuos industriales y por percolación desde tranques de relaves, lagunas de estabilización y rellenos sanitarios. En general en el país no existe información acerca de la ocurrencia de contaminación de este tipo , aunque no se puede descartar la posibilidad de que esté presente en la actualidad, en especial en las zonas industriales.

Respecto a la contaminación de carácter difuso, de acuerdo a la experiencia de los países desarrollados, en el largo plazo ella resulta sustancialmente más difícil de controlar que la localizada. Los agentes contaminantes típicos de este tipo corresponden a lixiviación de sales del suelo y a fertilizantes y pesticidas utilizados en la actividad agrícola.

Como se indica en el capítulo 3, las mediciones efectuadas en los diferentes cauces muestran procesos de salinización en diferentes valles del norte del país asociados a la actividad agrícola. Un ejemplo notable en

este sentido se observa en el Valle de Azapa, donde la incorporación de nuevos suelos al riego desde los años 60 ha sido acompañada de un incremento sostenido de la concentración de sales en las aguas subterráneas, como se aprecia en la figura N° 11 (Peña et al, 1991).

En Chile, resulta extraordinariamente relevante la contaminación difusa provocada por el riego con aguas servidas, el cual cubre superficies agrícolas que sólo en la Región Metropolitana afectan directamente a unas 40.000 há. Además el uso de pesticidas y fertilizantes se ha incrementado sustancialmente, como resultado de los esfuerzos por aumentar la productividad agrícola, de tal modo que se han alcanzado tasas de aplicación promedio comparables a las utilizadas en países más desarrollados (Cuadro N° 4.2). Esto hace suponer que se presentarán problemas de contaminación de este origen similares a las experimentadas por ellos.

La contaminación por nitratos se presenta claramente en sectores de la Región Metropolitana asociada al manejo de las aguas servidas y de los residuos sólidos. Se han detectado problemas por contaminación de este tipo en los sectores de Maipú, Renca, La Cisterna, San Miguel, Buin y Paine. En la figura N° 12 se muestra la estadística registrada en un pozo de monitoreo en el sector de Maipú, en el cual se detecta constantemente una elevada presencia de N-NO3, sobre la norma de agua potable (10 mgr/l). De acuerdo a los registros de la Dirección General de Aguas en los valles al norte de Santiago (Azapa, Copiapó, Limarí, Aconcagua) también se detecta frecuentemente nitratos en las aguas subterráneas, aunque en general la concentración

C U A D R O Nº 4.2 USO TOTAL DE FERTILIZANTES POR HECTAREA DE TIERRA ARADA Y TIERRA EN CULTIVOS PERMANENTES.

R E G I O N	*NPK (kgs/há)*	*N:P_2O_5:K_2O*
Norteamérica	*93,2*	*1:0,42 : 0,47*
América Latina	*32,4*	*1:0,68 : 0,50*
CHILE	*114,8*	*1:0,80 : 0,20*
Europa Occidental	*224,3*	*1:0,47 : 0,50*
Europa Oriental y URSS	*122,1*	*1:0,62 : 0,63*
Asia	*82,2*	*1:0,31 : 0,11*
Africa	*18,5*	*1:0,60 : 0,25*
Oceanía	*37,7*	*1:0,50 : 0,50*
X	***85,3***	***1:0,46 : 0,50***

Fuente: Seminario Impacto de los Fertilizantes en la Producción Agrícola. Serie La Platina Nº 14, 1989.

no supera las normas. En estos casos posiblemente las fuentes del nitrato sean diversas, incluyendo la percolación de aguas servidas y usos de fertilizantes en la agricultura.

En relación a las aguas subterráneas se debe mencionar además la contaminación producida por el fenómeno de intrusión salina, cuando se sobreexplotan acuíferos costeros. En Chile este problema se ha detectado en acuíferos que sirven de fuente de abastecimiento para balnearios ubicados en el litoral del Norte Chico y Central, lo que en ocasiones ha obligado a restringir su aprovechamiento.

Hasta el presente, no se ha informado de situaciones de contaminación de aguas subterráneas por pesticidas.

5. CONCLUSIONES

Los antecedentes proporcionados permiten establecer en forma sintética las siguientes conclusiones principales:

a) Debido a las condiciones hidrológicas y geológicas de las extensas zonas áridas y semi-áridas del país, sus aguas naturales presentan un contenido de sales elevado, lo cual frecuentemente introduce severas restricciones a su aprovechamiento. Esta situación se ve agravada por la abundancia de algunos microelementos como el arsénico y el boro. En ocasiones, en estas zonas se observa a lo largo del curso de los ríos procesos de salinización de sus aguas. Considerando la extrema escasez de recursos hídricos y la intensidad de su uso, el tema de la conservación de la calidad de las aguas naturales tiene una importancia estratégica para el desarrollo sustentable de estas áreas.

b) En Chile, los cauces naturales reciben un importante caudal de aguas residuales, en general sin tratamiento. Los principales aportes provienen de las aguas servidas de carácter doméstico, con un caudal del orden de 15 m^3/s, siguiéndoles en significación los efluentes líquidos de la minería y de la industria de la celulosa y el papel.

c) Desde el punto de vista de la contaminación de las aguas continentales se presentan 3 zonas críticas: la Región Metropolitana, que recibe más del 50% de la carga contaminante, el río Aconcagua y el estero Marga-Marga en la V Región, y la cuenca del río Bío-Bío. Estas 3 zonas concentran la mayor parte por efluentes domésticos e industriales.

d) La magnitud de las fuentes contaminantes puntuales que actualmente se vierten a los cauces superficiales otorga a este problema la mayor urgencia. Sin embargo, es conveniente destacar que, de acuerdo a la experiencia de países de alto desarrollo y a la tendencia observada en el país, las situaciones más críticas en el mediano y largo plazo se presentarán en relación a las fuentes difusas, de carácter agrícola, y a la protección de los acuíferos. En este sentido, el incremento del contenido de nitratos en algunos acuíferos debe ser motivo de especial preocupación.

e) El desarrollo socio-económico del país y los problemas emergentes asociados a la contaminación de las aguas, suponen necesariamente una gestión de su calidad en el contexto del manejo de los recursos hídricos y en general de las cuencas, complementando los esfuerzos que se realizan respecto al control de los vertidos. En este sentido conviene señalar que se encuentran pendientes a nivel nacional decisiones sustantivas relativas a la gestión ambiental de este tipo de materias.

REFERENCIAS

Alzérreca, C. 1981. *Control de la Contaminación de Agua en Chile. Tesis de Grado. Depto. Ing. Civil, U. de Chile.*

Araya, J. 1990. *Experiencias Nacionales en Saneamiento de Ciudades Litorales. Seminario Protección del Medio Ambiente. AIC-Tecnibería. CEPAL, Santiago de Chile.*

Cabrera, N. 1974. *Estudio de la Contaminación industrial de la cuenca del Estero Marga-Marga. Viña del Mar. Ministerio de Salud*

D'Etigny, J. 1983. *Estudio sobre la presencia de asbesto en el agua potable. Aplicación a la Región Metropolitana. Tesis de Grado. Depto de Ingeniería Civil, U. de Chile.*

Dirección General de Aguas, 1989. *Contaminación de Aguas Naturales. Inventario de Contaminación. Etapa I. Preparado por Alamos y Peralta. Ing.*

Dirección General de Aguas, 1991. *Contaminación de Aguas Naturales. Inventario de Contaminación. R.M. a XII. Preparado por BF Ing. Consultores.*

Dirección General de Aguas, 1991. *Mapa Hidrogeológico de Chile.*

Instituto de Ingenieros, 1990. La Contaminación en Chile. Informe Gerencial.

Klohn, W. 1972. Hidrografía de las Zonas Aridas de Chile.

Peña, H., A. Grilli, C. Salazar, D. Orphanopoulos, O. Suzuki, R. Aravena y W. Rauert, 1989. Estudio de Hidrología Isotópica en el Area del Salar de Llamara. Desierto de Atacama, Chile. Estudios de Hidrología Isotópica en América Latina. IAEA-TECDOC-502.

Peña, H., A. Pollastri, C. Salazar y R. Gutiérrez, 1991. Estudio del Origen y Proceso de Salinización de las aguas del río San José. I Región, Chile. Seminario ARCAL. OIEA, La Habana.

Peña, H. 1990. Caracterización de los Sistemas Hidrológicos en Cuencas Chilenas respecto de su Contaminación. Seminario Protección del Medio Ambiente. AIC-Tecniberia. CEPAL. Santiago de Chile.

Sancha, A. M. 1991. Contaminación Natural y Antropogénica del Agua. I. Contaminación Química. Jornadas sobre Uso y Conservación de Recursos Hídricos.

Sancha, A.M. 1986. Problemas de Contaminación de Aguas Subterráneas, originados por urbanización y actividad agrícola, industrial y minera. Seminario Andino sobre evaluación y administración de aguas subterráneas. CEPIS, Lima.

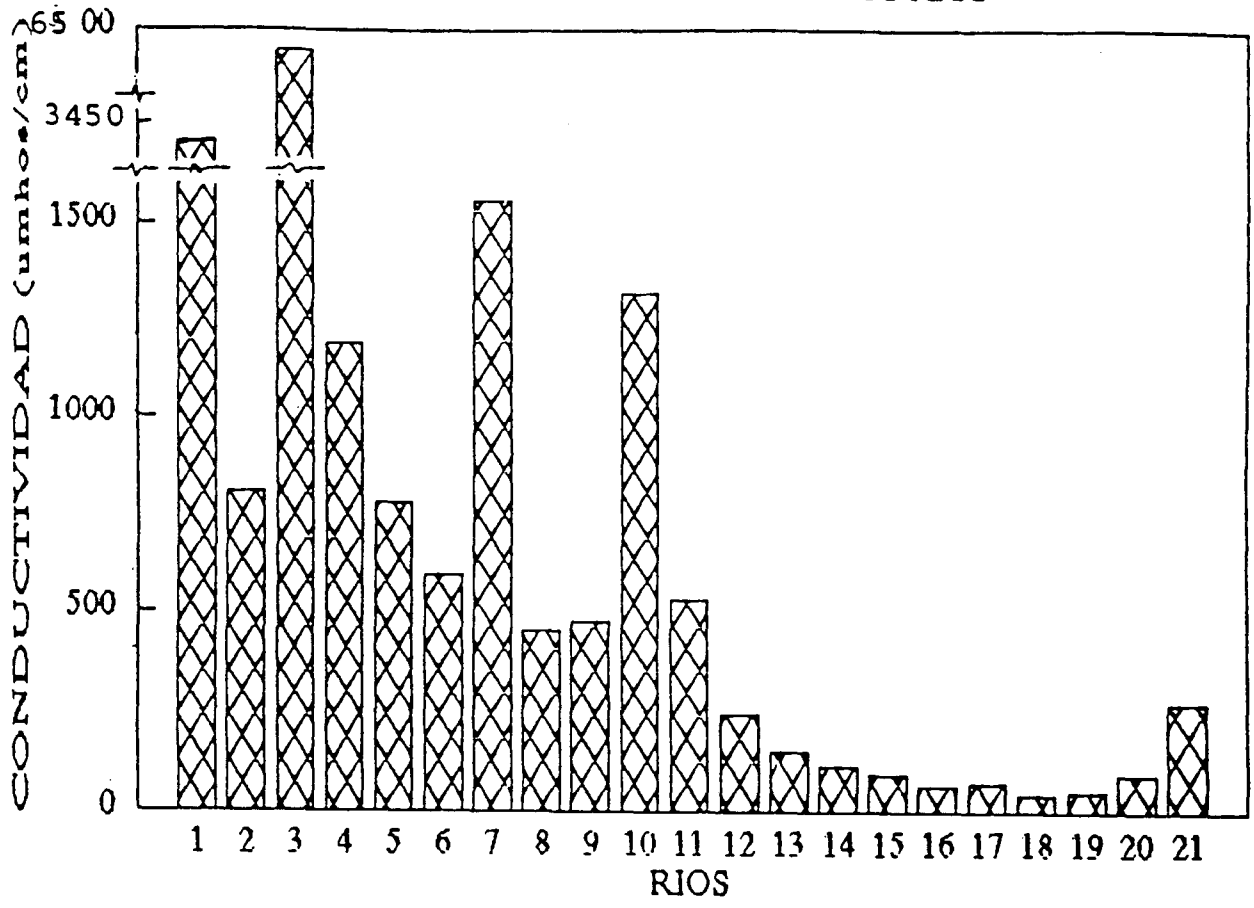
SERPLAC. Intendencia R. Metropolitana, 1989. Estudio Base de un Programa de Control de la Contaminación Hídrica. Preparado por Consorcio ARA/SEEBLA/CONSECOL.

SERPLAC VIII R/INTEC. 1980 Evaluación del Impacto Causado por actividades industriales en el medio acuático.

Vallejos, E. 1971 Estudio de la Contaminación del río Aconcagua. Depto. Recursos Hidráulicos. CORFO.

Verdugo, P. 1986. Remoción de Fierro y Manganeso por filtración directa. Aplicación a Huentelauquén IV Región. Tesis de Grado. Depto. de Ingeniería Civil. U. de Chile.

FIG. 1: CONDUCTIVIDAD ELECTRICA DE LAS AGUAS SUPERFICIALES DE DISTINTOS RIOS



SIMBOLOGIA

1 Rio Lluta
2 Rio San Jose
3 Rio Loa
4 Rio Copiapo
5 Rio Huasco
6 Rio Elqui
7 Rio Limari
8 Rio Choapa
9 Rio Aconcagua
10 Rio Maipo
11 Rio Rapel
12 Rio Mataquito
13 Rio Maule
14 Rio Itata
15 Rio Bio-Bio
16 Rio Tolten
17 Rio Imperial
18 Rio Valdivia
19 Rio Coyhaique
20 Rio Paine
21 Rio Las Minas

Fig. 2._ PERFIL LONGITUDINAL HIDROQUIMICO DEL RIO CAMIÑA RESUMIENDO ALGUNOS ESTUDIOS

(Klohn, 1972)

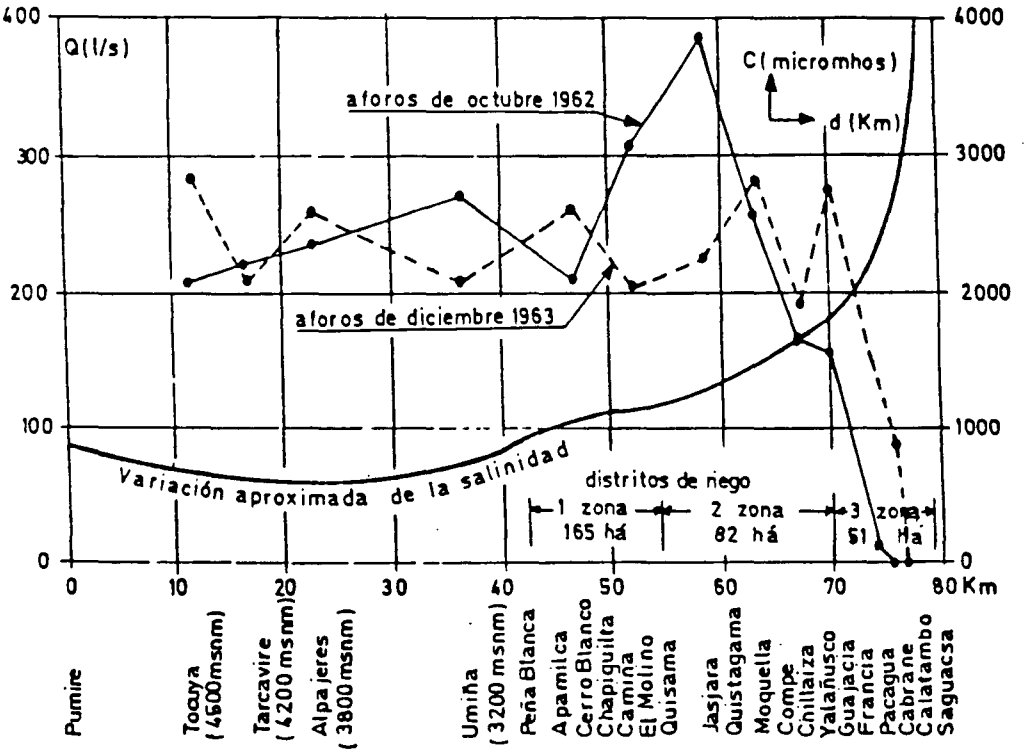
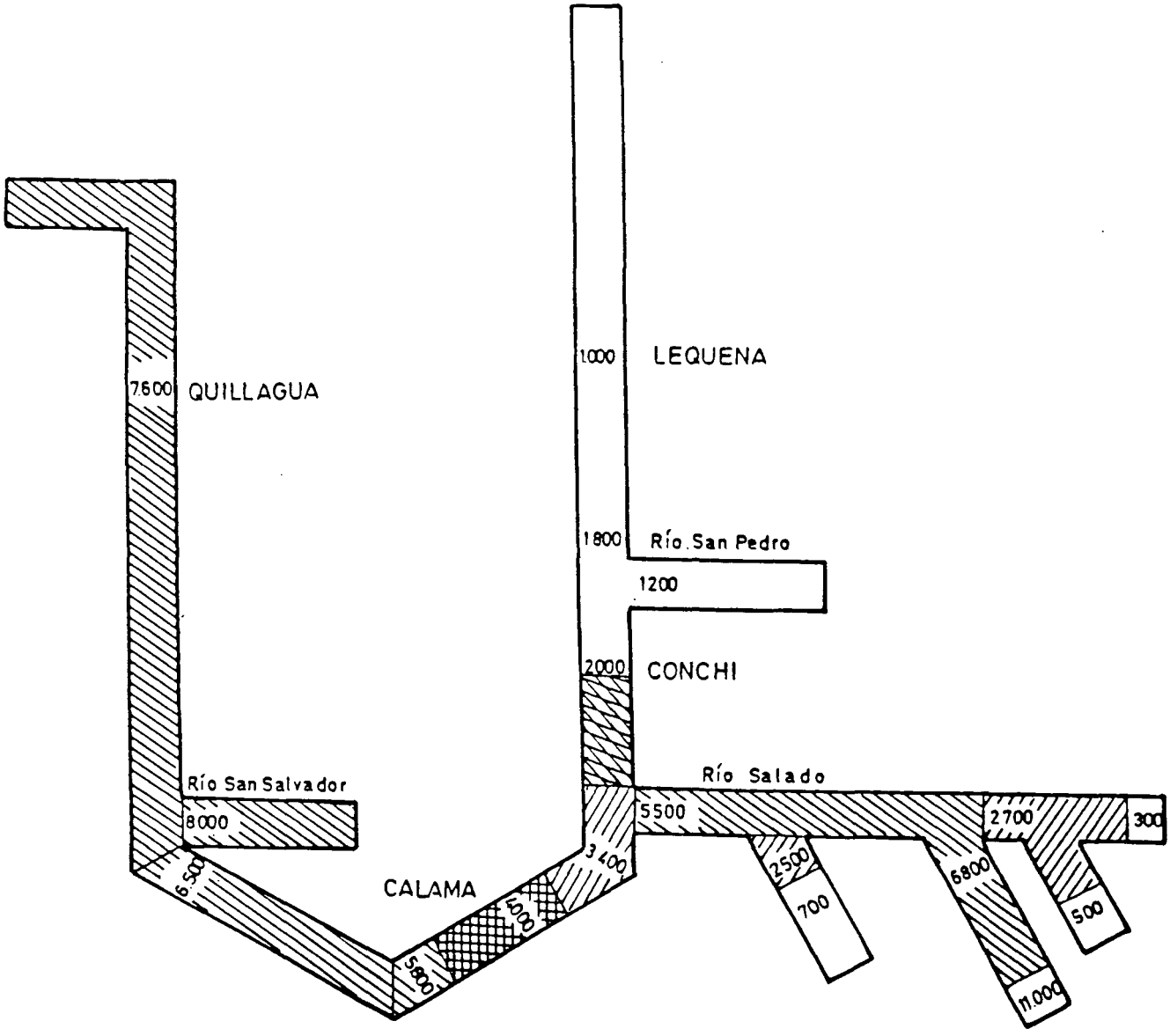


FIG. 3.- CUENCA DEL RIO LOA

MAPA DE SALINIDAD (Peña, 1970)



C_3S_1; C_2S_2 C_3S_2 C_4S_2 C_4S_3 C_5S_4

NOTA Los números corresponden a conductividad (micromhos x cm^{-1})

S : Razon de absorción de Sodio (SAR) (1: baja; 2: media; 3: alta; 4: muy alta.)

C : Conductividad electrica. (2: media; 3: alta; 4: muy alta; 5: altísima.

Fig. 4.- VARIACION DE LA SALINIDAD DEL AGUA EN EL VALLE DE COPIAPO ENTRE SAN ANTONIO Y ANGOSTURA
(adaptado según CASTILLO y ALAMOS) (Klohn, 1972)

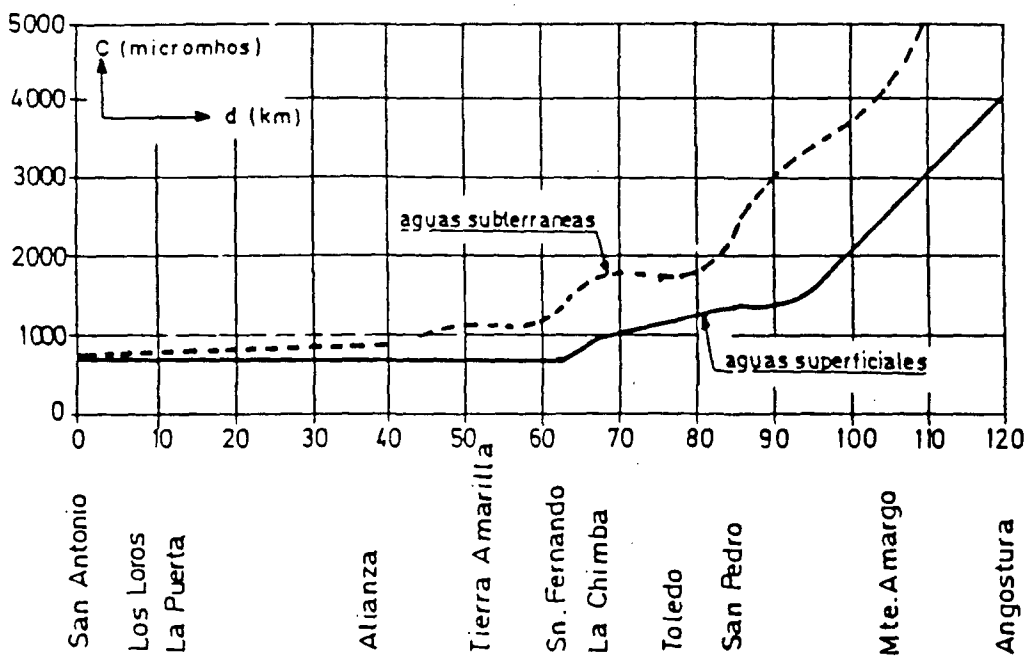


Fig.5.- RIO TARAPACA. VARIACION DE SALES DISUELTAS EN CRECIDAS DEL 29-31/1/1986 Y CONTENIDO ISOTOPICO.

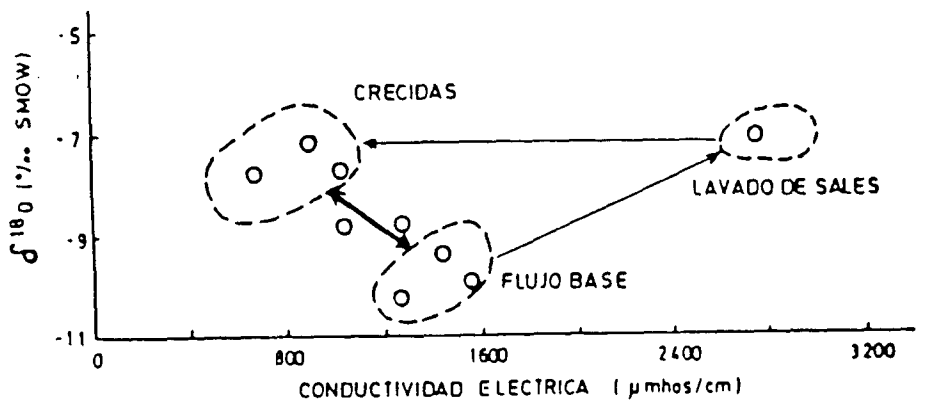


FIG. 6: VARIACION ESTACIONAL DE LA CONDUCTIVIDAD ELECTRICA
RIO MAIPO (1984–1988)

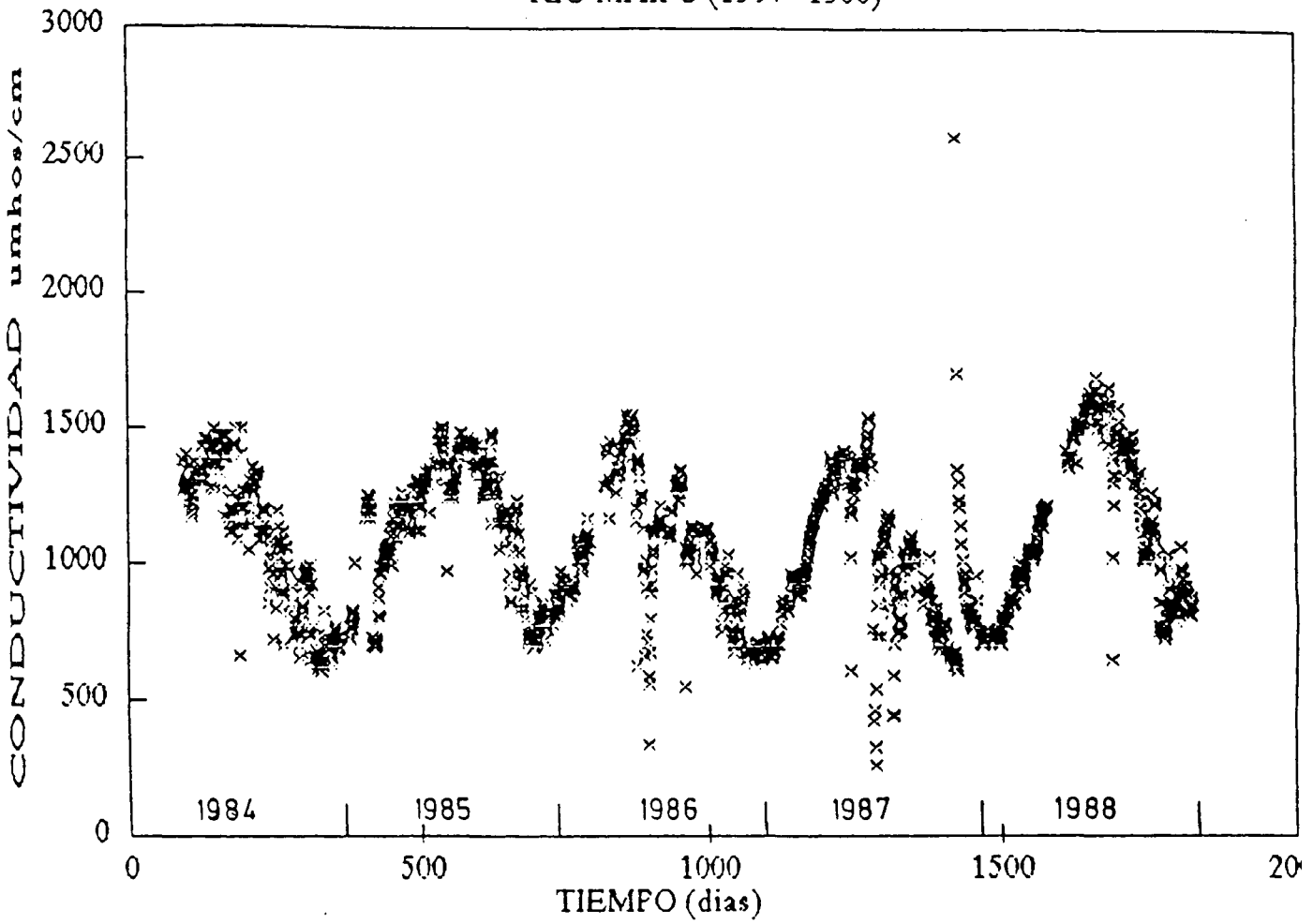


Fig. 7._

AGUAS SUBTERRANEAS
TOTAL SOLIDOS DISUELTOS vs LATITUD
Ia XII REGION

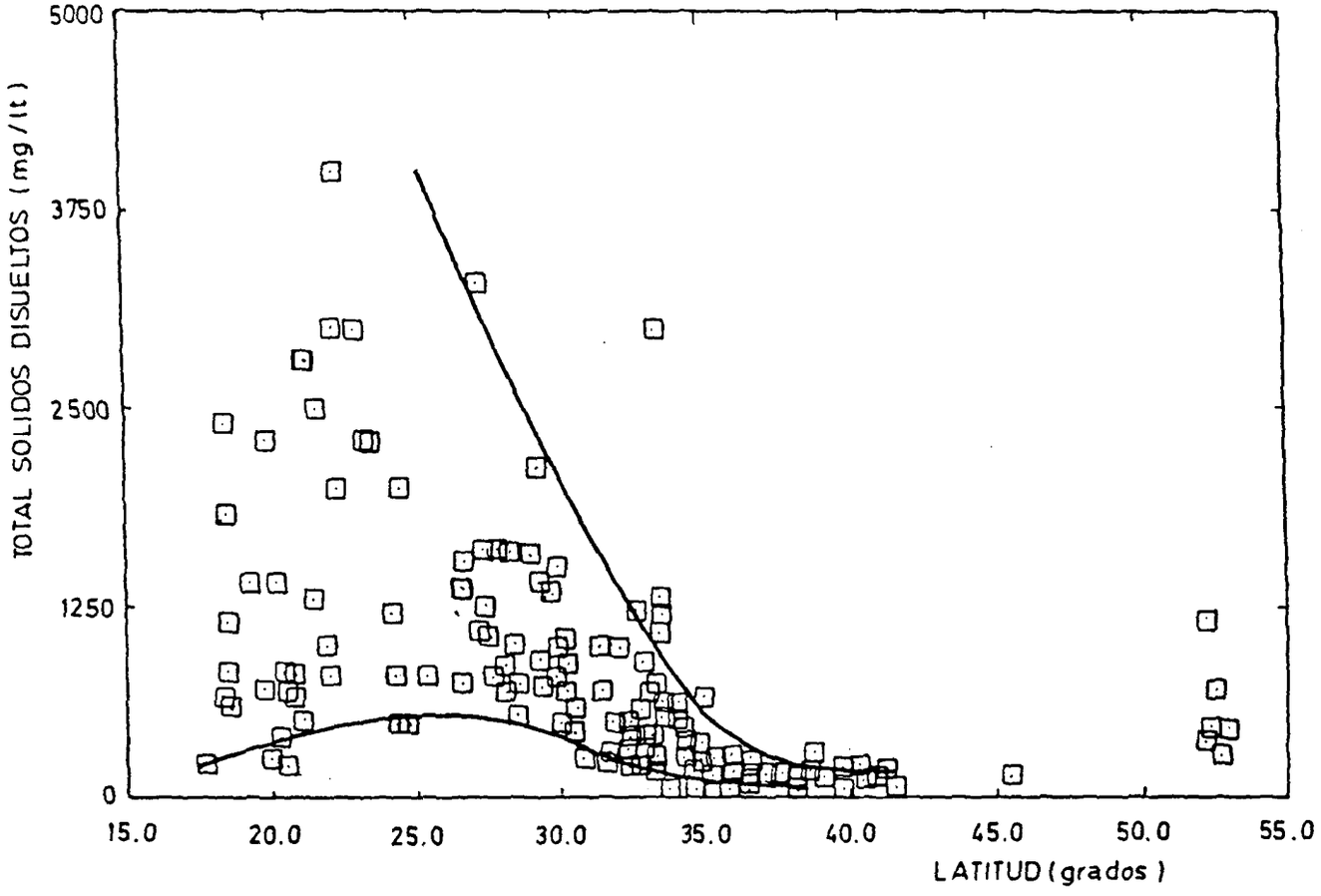


Fig.8.-CONTENIDO DE Fe Y Mn EN AGUAS SUBTERRANEAS

(Verdugo,1985)

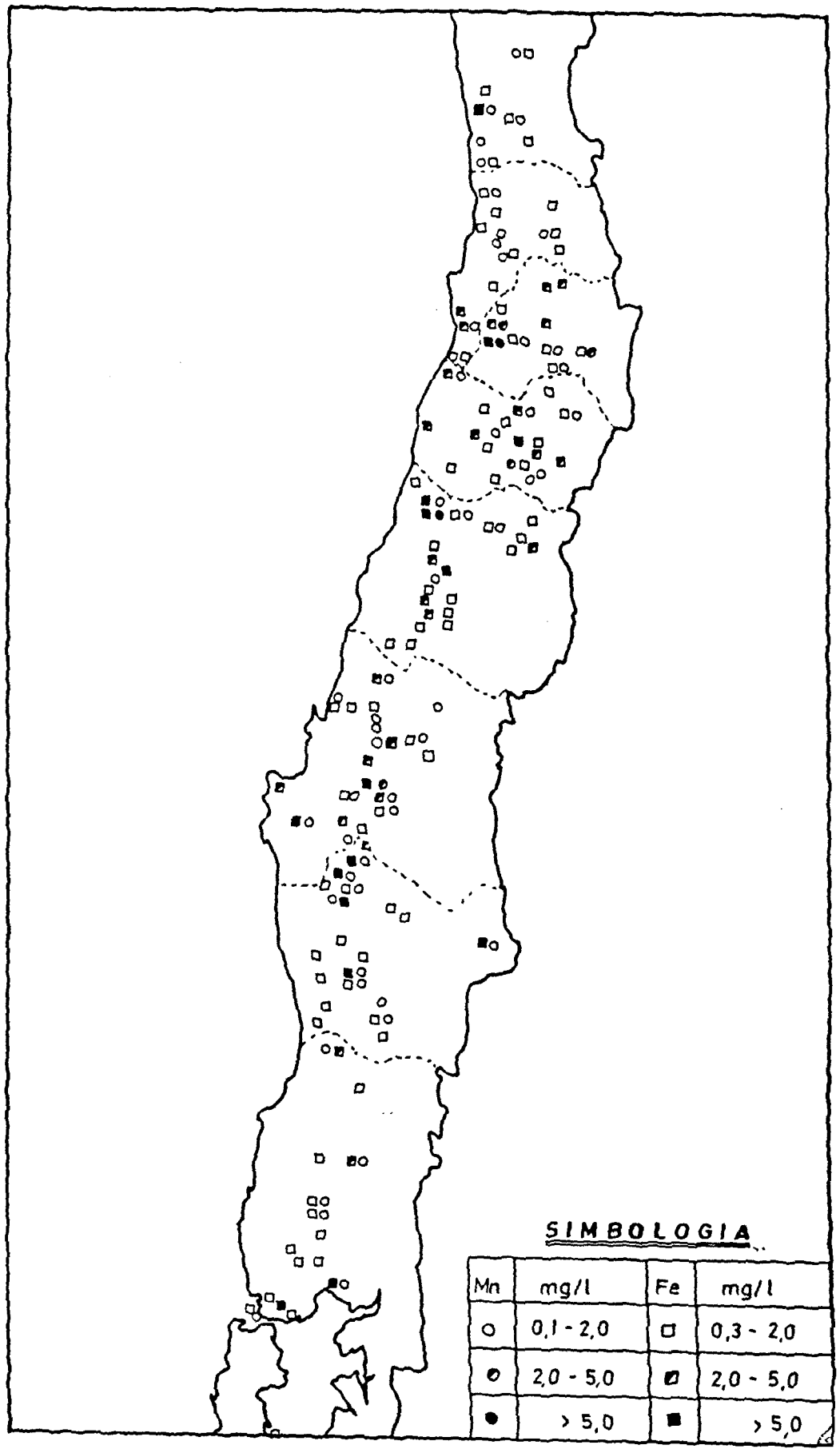


Fig. 9.- DISTRIBUCION DEL INDICE DE AGRESIVIDAD (D'etigny, 1983)

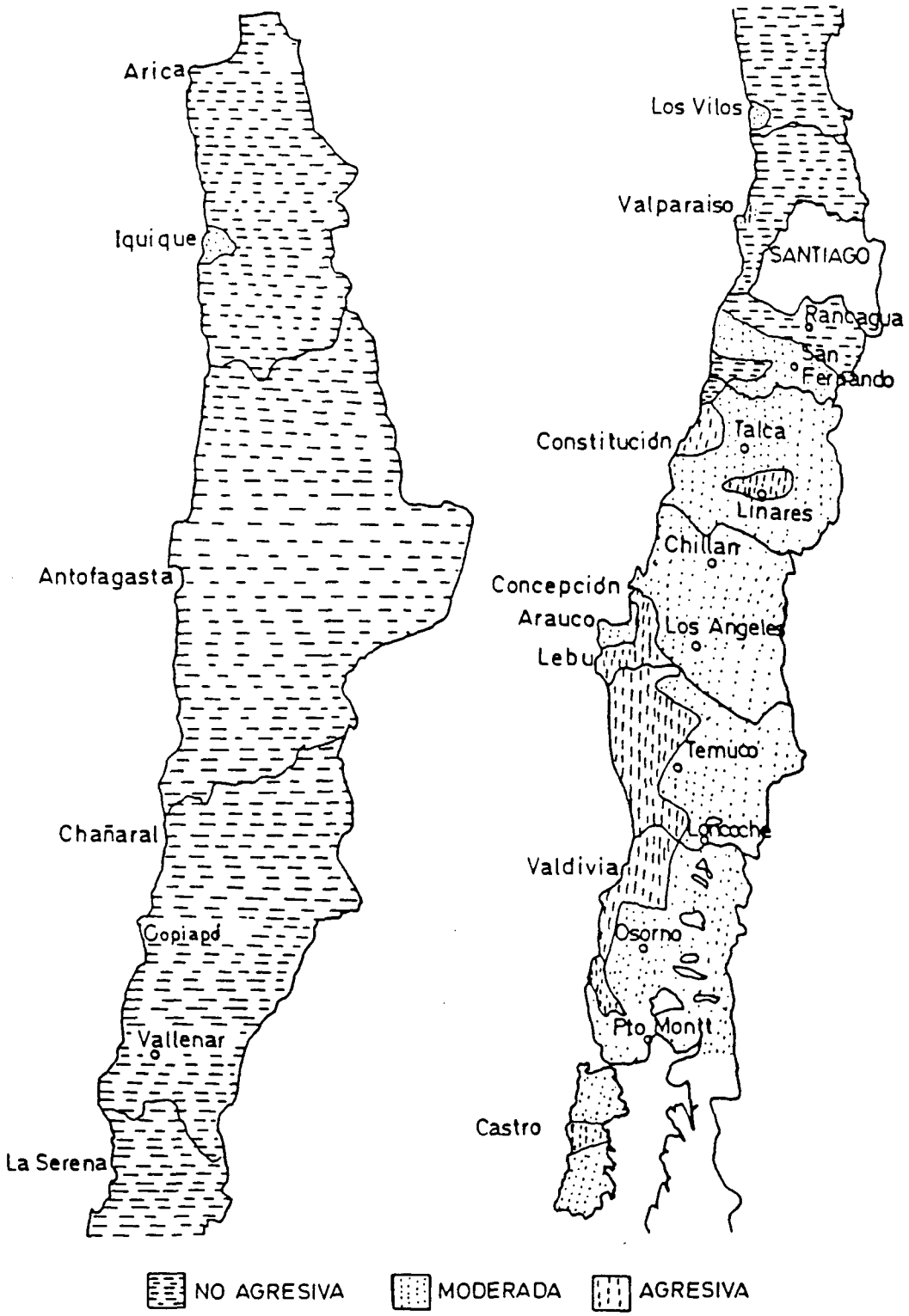


Fig.10.- PLANTAS MINERAS UBICADAS EN LA RED HIDROGRAFICA
(> 100 Ton/dia)

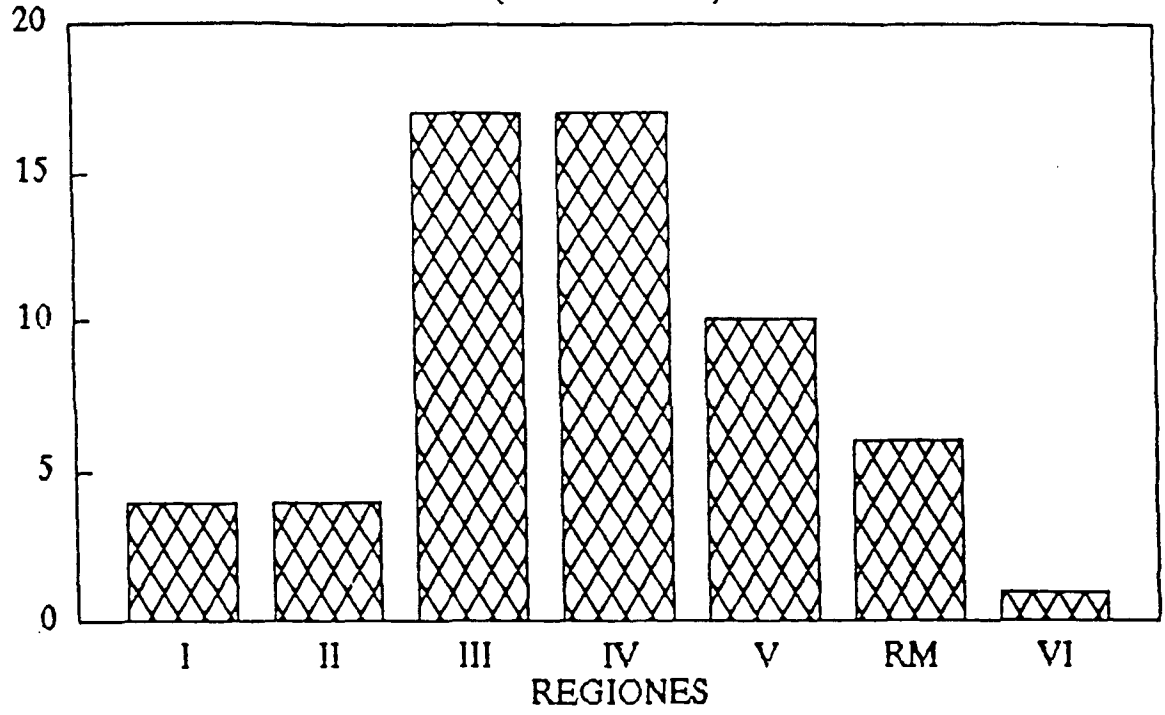


Fig.11._ CONDUCTIVIDAD v/s TIEMPO

VERTIENTES DEL VALLE DE AZAPA (Peña et al, 1991)

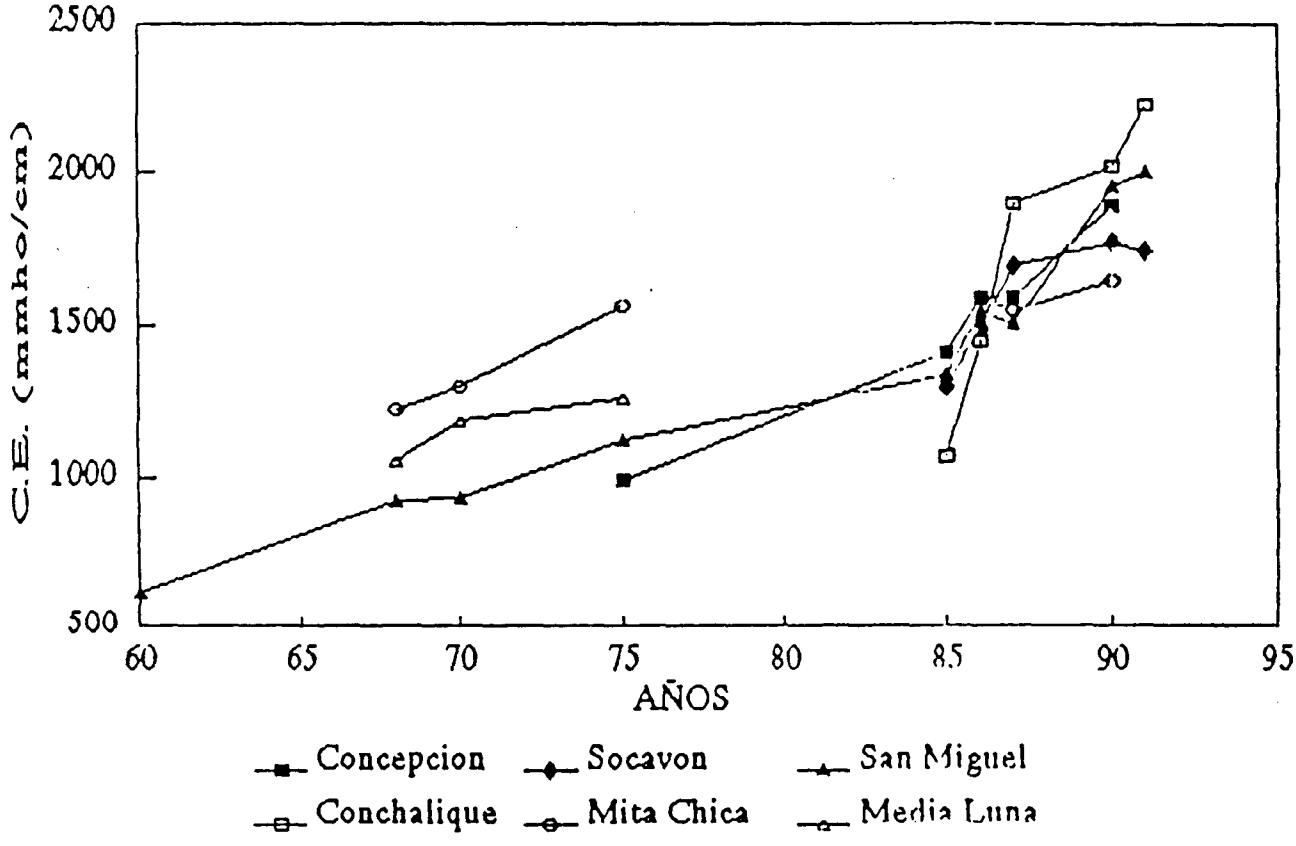
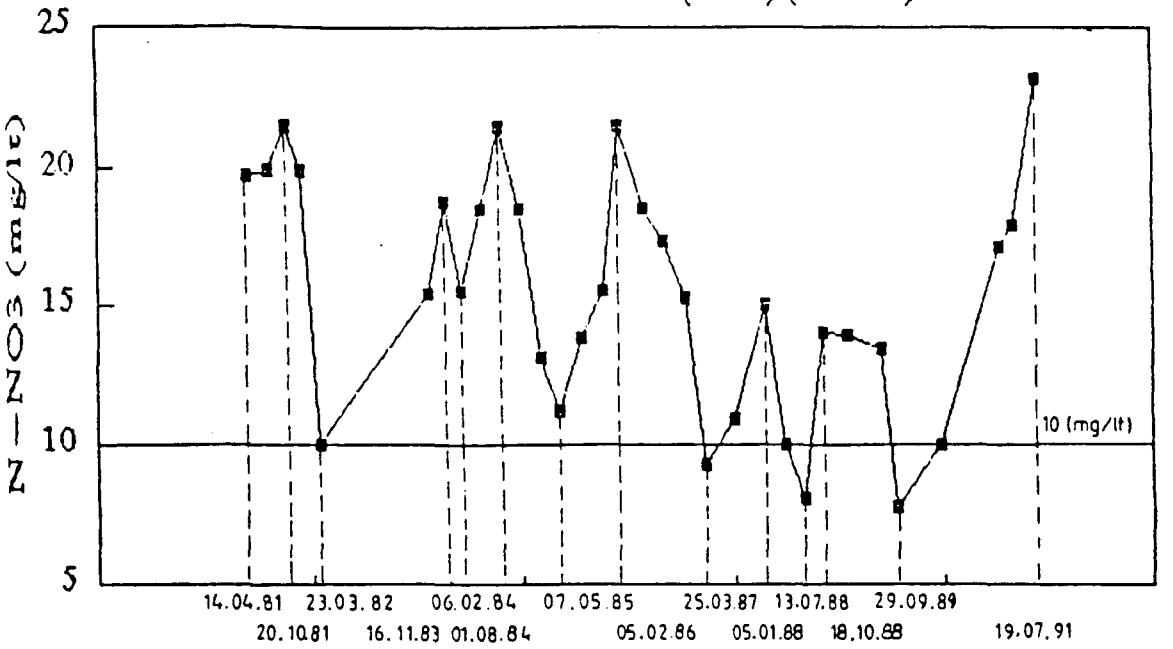


Fig. 12.-

EVOLUCION DEL CONTENIDO DE N-NO3
EN POZO N°3 MAIPU (R.M.) (D.G.A.)



TIEMPO