

**SOCIEDAD CHILENA DE INGENIERIA HIDRAULICA
XI CONGRESO CHILENO**

**CARACTERIZACION DE LA CONTAMINACION DEL ACUIFERO DEL GRAN
SANTIAGO. APLICACIONES DE TECNICAS ISOTOPICAS Y CONVENCIONALES**

ANGEL SILVA POYANCO (1)

ALBERTO MERINO GONZALEZ (2)

RESUMEN

En la ciudad de Santiago, se concentra alrededor de 5 millones de habitantes y el 50% de la actividad industrial del país, los cauces naturales presentan un alto grado de contaminación debido al vertido directo de las aguas residuales sin tratamiento previo. Se desconoce el volumen del vertido de aguas residuales a la napa subterránea.

Los rubros industriales más significativos, desde el punto de vista de la contaminación hídrica son: alimentación y agroindustrial, metalurgia-metalmecánica, química, cuero y textil. En general la mayoría de las industrias entregan sus residuos al sistema de alcantarillado, mezclándose con los residuos domésticos.

En el presente estudio se realizaron 4 campañas de muestreos (estacionales), durante un año, considerando aguas superficiales y subterráneas; abarcando el acuífero de Santiago en toda su extensión.

El objetivo del estudio es identificar, en términos generales, el origen, extensión y posible propagación de los elementos contaminantes que se incorporan al acuífero. Se intenta efectuar una sectorización de áreas contaminadas según sus características, magnitud y extensión; se intenta proyectar la propagación espacial de ciertas áreas afectadas, apoyados en técnicas isotópicas y convencionales.

(1) Ingeniero Civil. Depto. Conservación y Protección Recursos Hídricos. Dirección General de Aguas. M.O.P.

(2) Ingeniero Civil Químico. Depto. Conservación y Protección Recursos Hídricos. Dirección General de Aguas. M.O.P.

I. INTRODUCCION

Dentro de la hoya del río Maipo se han establecido diversos centros urbanos, entre los que se encuentra la ciudad de Santiago, capital del país que agrupa más del 40% de la población total. La cuenca presenta dos cauces principales, el río Maipo y el río Mapocho y afluentes secundarios.

Las aguas del sistema tienen una utilización amplia y diversificada, entre las que se cuentan: fuente de agua potable, riego, recreación, estética, uso industrial y otros.

En la cuenca existe un importante complejo industrial, que en su mayor parte se abastece de agua subterránea; la agricultura utiliza también estos recursos para suplir los déficit de riego. Además, una parte del suministro de agua potable de toda el área proviene de los recursos subterráneos.

Como consecuencia de lo anterior, se han perforado en el sector aproximadamente 1800 pozos de extracción de agua subterránea, los que representan aproximadamente un 35% del total existente en el país.

II. OBJETO DEL ESTUDIO

La Dirección General de Aguas hace varios años ha emprendido diversos trabajos y estudios con el propósito de obtener antecedentes sobre el escurrimiento, almacenamiento, características químicas y usos de las aguas subterráneas en diferentes cuencas del país.

En la actualidad está formulando a nivel nacional una RED BASICA DE CALIDAD DE AGUAS SUBTERRANEAS, con el objeto de caracterizar su calidad y aptitudes para los diferentes usos.

Los principales objetivos del presente estudio son los siguientes:

- Identificar y conocer los procesos que inciden en la contaminación de las aguas subterráneas mediante el uso de técnicas convencionales y especializadas: hidrogeoquímica e hidrología isotópica.
- Efectuar un diagnóstico de la actual contaminación, conocer los tipos de contaminantes existentes y potenciales.
- Priorizar los problemas más relevantes de contaminación del acuífero de Santiago, caracterizando y sectorizando el área, definiendo zonas críticas en cuanto a la magnitud de contaminación y sus causas.

III. AREA DEL ESTUDIO

La hoya hidrográfica del río Maipo, se encuentra ubicada en la zona central de Chile, se extiende por una distancia de 180 km., desde el límite con la República Argentina por el oriente, hasta el Océano Pacífico por el occidente. Cubre una superficie de aproximadamente 15.000 km² y comprende las siguientes hoyas parciales: Maipo Superior 4.944 km², Mapocho 1.005 km², Colina 271 km², Lampa 1.215 km², Angostura 625 km², Maipo Inferior 3.378 km² y Cuenca de Santiago 3.605 km².

Dentro de ésta, la Cuenca de Santiago ubicada en la parte central de la misma, está limitada aproximadamente por las latitudes 33°10' S y 33°55' S y longitudes 70°30' W y 71°00'.

Las aguas captadas por las hoyas parciales Maipo Superior, Mapocho, Colina, Lampa y Angostura, concurren a la Cuenca de Santiago, que está localizada entre la vertiente occidental de la Cordillera de los Andes y la vertiente oriental de la Cordillera de la Costa; tiene en promedio unos 43 km. de ancho y se extiende desde el cordón del Manzano por el norte, hasta el de Paine por el sur, en una longitud de 83 km.

Los límites definidos para este estudio son los siguientes:

Oriente: Cuencas de los ríos Maipo, Mapocho y estero El Arrayón, aguas abajo de las estaciones fluviométricas Maipo en El Manzano, Mapocho en Los Almendros y Arrayón en La Montosa.

Norte: Cuencas de los esteros Colina y Lampa, Aguas abajo de las estaciones fluviométricas Polpaico en Chicauma y Colina en Compuerta Vargas.

Sur: Cuenca del estero Clarillo y estero Angostura en Angostura.

Poniente: Sección de salida del sistema constituida por Maipo en Chifigua.

IV. GEOLOGIA Y MORFOLOGIA

La hoya del Maipo incluye las tres unidades fisiográficas que caracterizan la zona central del país: Cordillera de los Andes, Depresión intermedia y Cordillera de la Costa.

Por encontrarse la Cuenca de Santiago en la zona de la Depresión Intermedia, se describen a continuación las características geológicas y morfológicas generales de esta área.

La Depresión intermedia se encuentra limitada al norte por el cordón de Chacabuco, al sur por el de Paine, al este por la Cordillera de los Andes y al oeste por la Cordillera de la Costa.

Esta depresión en la cuenca de Santiago se divide en dos compartimientos. Un compartimiento mayor que constituye la Cuenca de Santiago y uno pequeño que se encuentra en el extremo norte, limitado hacia el sur por el Cordón del Manzano. Este último se extiende hasta el Cordón de Paine.

El compartimiento del extremo norte es drenado por la red fluvial del Estero Lampa, que se extiende principalmente sobre rocas volcánicas que son prácticamente impermeables. Por esta razón las precipitaciones escurren superficialmente hasta el estero, infiltrándose una parte en el relleno de su lecho.

El lecho del estero Lampa a su entrada a la cuenca, está constituido por un espesor de unos 60 m. de arena.

El compartimiento del extremo sur, o cuenca Santiago probablemente se originó a consecuencia de fenómenos tectónicos, combinados con procesos de erosión. El relleno de la cuenca de Santiago, tiene una superficie de 2.360 km², y los cerros islas ocupan una extensión adicional de 110 km².

La mayor parte de los sedimentos que rellenan la Cuenca de Santiago, provienen de la hoya del río Maipo Superior, constituyendo el abanico de ese río el elemento morfológico dominante, cubriendo más del 50% de la superficie actual del relleno.

El estero Colina principal tributario por el norte, ha acumulado sus materiales gruesos en un pequeño abanico aluvial que se desarrolla desde la entrada del estero a la cuenca.

Para ampliar el conocimiento del espesor del relleno se ha recurrido a estudios geofísicos, empleándose métodos gravimétricos, de sísmica de refracción y resistividad eléctrica.

Algunas conclusiones de estos estudios son las siguientes:

- El espesor medio del relleno en la parte central de la cuenca, fluctuaría entre 400 y 480 m.
- La existencia de un relieve antiguo entre el Cerro Renca y el cerro de San Ignacio y otro desde el cordón del San Cristóbal hacia el suroeste.
- El basamento desciende regularmente hacia el naciente; a 2 km. al este de Pudahuel, el espesor del relleno sería de 400m.
- En la localidad de El Paico la roca fundamental tiene la forma de una U muy extendida y el espesor máximo de relleno es de 300 m. y está formado exclusivamente por materiales gruesos.
- En un sector de las Condes (sector alto), en dirección normal al río Mapocho se señala que el basamento tiene forma de una U muy extendida, sin embargo, aguas abajo el basamento desciende regularmente hacia el poniente. El espesor del relleno alcanza alrededor de 300 m.

V. AGUAS SUBTERRANEAS

La Cuenca de Santiago es el área del país donde existe la mayor densidad de pozos perforados.

La mayoría de los pozos tienen profundidades variables entre 30 y 110 m., siendo el promedio de aproximadamente 75 m.

La superficie freática experimenta fluctuaciones estacionales o anuales, como resultado de las variaciones de la recarga y descarga del agua subterránea.

Desde el año 1957 se ha mantenido en esta cuenca, un programa de mediciones de la profundidad de la superficie freática desde el nivel del terreno, este programa ha estado a cargo de la Dirección General de Aguas desde el año 1976. Como resultado de estas medidas se ha podido comprobar que hasta el año 1986, su configuración tuvo poca variación; después de esta fecha a causa del período de sequía que afectó la región se observó un marcado descenso en los niveles de aguas subterráneas.

La forma de la superficie freática, es en líneas generales similar a la configuración topográfica de la superficie del terreno. Sin embargo ambas superficies tienden a acercarse hacia el oeste y suroeste, por lo que el agua subterránea llega a aflorar en algunos lugares de la parte occidental de la cuenca.

A modo de ejemplo en el extremo nororiental, Colina, la superficie freática se encuentra a 80 m. de profundidad mientras que cerca de la Carretera 5 Norte con el estero Colina, se ubica a poco más de 1 m.. En el extremo norponiente, cerca del pueblo de Lampa, está a 2m. de profundidad y en el área de Pudahuel a unos 4 m.. En el sector de Las Condes se sitúa entre 20 y 40 m. de profundidad y en el área suroeste, Talagante, el agua subterránea alimenta el cauce superficial del río Mapocho.

Aguas abajo de Puente Alto, la superficie freática está 125 m. de profundidad sin embargo hacia el suroeste en la zona de confluencia entre el río Maipo y el estero Angostura está próxima a la superficie.

Por último en el centro de la ciudad de Santiago, la superficie freática se encuentra entre 30 y 40 m. de profundidad.

VI. EXTRACCION DE AGUAS SUBTERRANEAS

En la cuenca de Santiago, el 80% del total de pozos se encuentra en funcionamiento, orientándose su uso en mayor grado al riego de sectores agrícolas de la zona. En efecto, cerca del 44% de los pozos en explotación se destinan sus recursos al riego, mientras que un 21% se usa en agua potable y un 19% a la industria.

La definición de volúmenes extraídos en la actualidad en los distintos sectores, resulta difícil, dado que existe un número de pozos importantes de los cuales no se tiene la información necesaria.

Los porcentajes reales de uso varían estacionalmente entre el invierno y el verano, siendo este último el con mayor consumo. La actividad en que se manifiesta más ebiortamente esta situación es la agricultura, en que las diferencias entre la cantidad de agua usada en invierno es notoriamente inferior a la usada en verano, debido a la fuerte estacionalidad que presenta esta actividad.

Se puede decir que los sectores con mayor explotación son los que corresponden a sectores en que la actividad agrícola es importante. Por el contrario los sectores con el menor volumen de explotación corresponden al urbano y residencial.

VII. USOS DE SUELOS

De la superficie total de la Región Metropolitana 15.549 km² (INE, 1984), dentro de la cual se inserta la presente zona de estudio, aproximadamente el 85% corresponde a suelos con escasas aptitudes agrícolas y están constituidos principalmente por cerros y montañas con excepción de las áreas de empastadas naturales de temporada. Aproximadamente el 15% restante se divide en 1908 km² de suelo agrícola y 504 km² de suelo urbano (IGM, 1986). Ver Figura 1.

El análisis de capacidad de uso agropecuario para el año 1980-1981 (SEREMI Agricultura, 1984) detectó 1592 km² de suelo con riego permanente (12.3% del total del país). Esta superficie tiene una alta importancia regional por la versatilidad que presenta para responder a la demanda de abastecimiento agrícola generadas en la mayor concentración urbana del país.

De acuerdo a estas consideraciones el suelo con riego artificial asegura amplias posibilidades productivas en la región. Sin embargo, los suelos de mayor aptitud agrícola de la Región Metropolitana coinciden en presentar, al mismo tiempo, la mejor aptitud para la expansión urbana de la ciudad (IGM, 1986). Los sistemas de riego son deficientes, encontrándose técnicas como el riego por tendido o por surco en su mayoría. Cabe señalar, que existen otras técnicas de menor empleo pero de mejor rendimiento, como son; el riego por aspersión, goteo, etc.

En la Tabla N° 1 se muestra la distribución del suelo agrícola bajo riego en la Región Metropolitana, destacándose la participación de Maipo y Melipilla (28.6% y 25.3% respectivamente) sobre la superficie total. Asimismo, es posible diferenciar un segundo grupo conformado por Talagante, Santiago y Chacabuco, que en conjunto representan un 41% del total. Por último, se observa que la menor importancia recae sobre el sector Cordillera, con sólo el 7.4% de la superficie total bajo riego, durante el año agrícola 1980-1981.

T A B L A N° 1

PORCENTAJE DE SUPERFICIE AGRICOLA BAJO RIEGO, SEGUN PROVINCIAS,
REGION METROPOLITANA (año agrícola 1980-1981)

PROVINCIA	SUELO AGRICOLA (ha)	BAJO RIEGO (%)
SANTIAGO	21.538	13,6
CORDILLERA	11.824	7,4
CHACABUCO	17.926	11,3
MAIPO	41.919	26,3
MELIPILLA	40.281	25,3
TALAGANTE	25.764	16,1
TOTAL REGIONAL	159.172	100,0

VIII. CARACTERIZACION AMBIENTAL

1. GENERALIDADES

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 deba 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. 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.

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

Con respecto al monitoreo de aguas subterráneas, a la fecha no se ha implementado una red regular de medición, debiéndose recurrir en este caso a numerosos estudios de caracterización del acuífero desarrollados a nivel de cuenca o de carácter local.

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).

2. REGION METROPOLITANA

La Región Metropolitana constituye sin lugar a dudas la zona más afectada, al concentrar más del 60% de la industria nacional. Es así como en estudios efectuados en esta área se consideraron las descargas de más de 300 industrias (SERPLAC, 1989). Otros estudios han estimado que del orden del 75% de las industrias 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 riego (32%) y los ríos Mapocho (14%) y Maipo (33%), con un total de 3.08 m³/s (Alzémra, 1981).

Desde el punto de vista de la calidad de las aguas superficiales, el principal problema de contaminación de la cuenca es producido por las descargas de aguas servidas sin tratamiento a diferentes cauces, naturales y artificiales, afectando posteriormente sus usos en riego, domésticos, recreacional u otros. A esta causa se atribuye las altas tasas de morbilidad por enfermedades gastrointestinales de origen hídrico que se presentan en Santiago, en relación al resto del país.

La mayor parte de las aguas servidas de Santiago, aproximadamente un 60%, se descargan al Zanjón de la Aguada (10 m³/s), siendo desviadas hacia los terrenos agrícolas a través de diversos canales. Actualmente la EMOS construye un colector interceptor para las aguas servidas que descargan al Zanjón, el que en una primera etapa concentrará éstas en un punto ubicado inmediatamente aguas arriba de la captación del canal Ortuzano, principal fuente de agua de riego de la zona de Maipú. En una segunda etapa la descarga del colector interceptor sería ubicada aguas abajo de la bocatoma del canal Ortuzano, controlando de esta manera la práctica del riego con aguas servidas.

La actividad industrial es muy diversificada destacándose la presencia de industrias alimenticias, papel, metalmeccánicas, químicas y textiles. Estas industrias generan elementos con altos contenidos en sólidos en suspensión, carga orgánica, aniones (cloruros y sulfatos) metales alcalinos y alcalinotérreos (sodio, calcio y magnesio), derivados orgánicos (fenoles, hidrocarburos y detergentes) y metales pesados, (SERPLAC, 1989).

IX. CALIDAD DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS Y SUPERFICIALES

1. PUNTOS DE MUESTREOS

Se muestreó un total de 59 pozos, de los cuales 28 de ellos contaban con equipo de bombeo y 28 puntos de aguas superficiales distribuidos en los ríos Maipo y Mapocho, esteros Colina, Chacabuco, Angostura y Lampa.

2. PROGRAMA Y FRECUENCIA

Se realizaron 4 campañas de muestreo en un año (Julio-82, Octubre-82, Enero-83 y Abril-83).

3. PARAMETROS

Los elementos determinados fueron los siguientes: carbonatos, bicarbonatos, cloruros, sulfatos, calcio, magnesio, potasio, sodio, cobre, fierro, nítratos, nítritos, oxígeno disuelto, pH, temperatura, conductividad, deuterio y oxígeno-18.

Los análisis de los parámetros físico-químicos los realizó la Dirección General de Aguas en el Laboratorio Ambiental y los isotópicos (D y O¹⁸) se efectuaron en la Comisión Chilena de Energía Nuclear.

X. CARACTERIZACION ISOTOPICA

1. GENERALIDADES

Como es sabido, el hidrógeno natural está formado por la mezcla de sus isótopos ¹H y ²H o Deuterio (D), y el oxígeno por ¹⁶O, ¹⁷O y ¹⁸O. El ¹H y ¹⁶O son los componentes mayoritarios, de forma que la especie molecular más abundante del agua, es la que corresponde a la fórmula ¹H₂¹⁶O. Pero, además de esta especie molecular, existen otras más pesadas que incorporan un átomo de D, ¹⁶O,¹⁷O u otras combinaciones de estos isótopos.

La relación isotópica del agua se modifica durante su evolución a través del ciclo hidrológico. Con el objeto de expresar de forma homogénea las variaciones de la relación isotópica se definió una muestra de agua patrón denominada "Patrón Medio de Agua de Mar" conocido por las siglas SMOW (Standard Mean Ocean Water). En general la composición isotópica del agua del mar es muy uniforme (valor δ próximo a cero).

El proceso de transporte del agua del mar hacia los continentes, lleva consigo la evaporación del agua para formar la nube y la condensación posterior del vapor. Estos fenómenos dan lugar al fraccionamiento isotópico que en general dependen de la temperatura y de la altitud.

2. ANALISIS ISOTOPICO

El estudio isotópico de las aguas subterráneas, estuvo orientado a caracterizar el sistema acuífero de Santiago. A partir de los antecedentes obtenidos se efectúan los siguientes comentarios:

Las aguas superficiales provenientes del río Mapocho y del río Maipo (entrada del sector alto de la cuenca) presentan contenidos isotópicos promedios de D = 107 y O¹⁸ = -14,5, apreciándose variaciones estacionales puntuales. Con respecto a las aguas subterráneas, se detectaron contenidos isotópicos similares a los de las aguas superficiales. En relación a los sectores extremos de la cuenca de Santiago, Colina y Angostura se aprecian contenidos similares, existiendo una diferencia con respecto a la entrada Maipo- Mapocho. (Ver Figura N° 2).

Del análisis de la recta meteórica (Ver Figura N° 3), se observan claramente 4 grupos de aguas subterráneas: el sector Maipo, Mapocho; un tercer grupo formado por las aguas de mezcla y el último por las aguas provenientes de las hoyas parciales del sector Chacabuco, Colina y Angostura.

En la Figura 4 se pueden apreciar las direcciones del flujo subterráneo que se han deducido

del presente análisis, destacándose las entradas principales al sistema.

XI. CARACTERIZACION HIDROQUIMICA

Los antecedentes de calidad química muestran, en el caso de las aguas subterráneas, temperaturas entre 14 y 20 °C para los cuatro periodos de muestreo y en el caso de aguas superficiales entre 6 y 25 °C. El rango de invierno está entre 14 y 18 °C, primavera entre 17 y 20 °C, verano entre 18 a 20 °C y otoño entre 17 y 18 °C.

En general el pH en las aguas subterráneas fluctúa entre 6.0 y 7.5 y en las aguas superficiales entre 7.0 y 8.3.

En el caso de la conductividad en las aguas subterráneas, los rangos estacionales son los siguientes: invierno, entre 500 y 1300 mmhos/cm; primavera, entre 500 y 1200 mmhos/cm; verano, entre 400 y 1200 mmhos/cm y otoño entre 450 y 1500 mmhos/cm, observándose en todos los periodos las más altas concentraciones en el sector Renca, Maipú y Peñaflo. Con respecto a las aguas superficiales se aprecian valores significativamente distintos entre el río Maipo Alto (invierno 1300 mmhos/cm, primavera 870 mmhos/cm, verano 800 mmhos/cm y otoño 1400 mmhos/cm) y el Mapocho Alto (invierno 214 mmhos/cm, primavera 140 mmhos/cm, verano 250 mmhos/cm y otoño 340 mmhos/cm). En el estero Colina fluctúa entre 150 y 1280 mmhos/cm, en el Sector Angostura fluctúa entre 220 y 380 mmhos/cm y a la salida de la cuenca (sector Chifigüe) entre 980 y 1280 mmhos/cm.

En el caso de los sulfatos, las variaciones estacionales de las aguas subterráneas fluctúan entre 50 y 300 mg/l y en el caso de aguas superficiales se aprecian concentraciones altas en el sector del río Maipo Alto, que fluctúan entre 165 y 355 mg/l, no así en el sector del Mapocho Alto que fluctúa entre 29 y 112 mg/l. Se aprecia en el sector de Angostura concentraciones entre 40 y 60 mg/l y en el sector de Colina entre 17 y 298 mg/l.

En relación a los nitratos no se observan variaciones importantes en las entradas del río Maipo y Mapocho en las aguas superficiales, sin embargo en el sector de Angostura se observan concentraciones que fluctúan entre 0.8 y 2.8 mg/l y en el sector de Chifigüe entre 1.0 y 6.5 mg/l, evidenciándose variaciones estacionales significativas. Con respecto a las aguas subterráneas se pueden apreciar concentraciones altas, entre 10.0 y 20.0 mg/l en los sectores de Renca, Maipú y Peñaflo.

En relación a los iones cloruro y magnesio se advierte un aumento gradual de la concentración, desde la zona alta hacia el valle (Renca, Maipú, Peñaflo, Chifigüe), detectándose incrementos del orden de 4 a 5 veces las concentraciones observadas en los afluentes de entrada al valle. No obstante estos valores no sobrepasan la norma de calidad de agua.

Respecto del hierro, con los antecedentes disponibles, se observa un comportamiento diferente al resto de los parámetros medidos, particularmente en el sector de Maipú, requiriéndose una mayor información para una evaluación más concluyente. Ver Figura 5.

No se detectaron carbonatos en los cuatro muestreos efectuados.

XII. CONCLUSIONES GENERALES

El análisis isotópico permite diferenciar los distintos orígenes de la recarga al acuífero; distinguiéndose claramente la zona de recarga proveniente de la cuenca alta (Maipo, Mapocho) de la zona precordillerana (Chacabuco, Colina y Angostura). Por otra parte la zona del valle muestra un alto grado de mezcla, detectándose variaciones especiales significativas.

A partir de esta evaluación se concluye que es necesario obtener información que permita caracterizar isotópicamente el sector alto del río Maipo, por cuanto el río Mapocho y los otros afluentes cuentan con información adecuada.

Los nitratos y sulfatos presentan concentraciones que exceden la norma de calidad de agua para agua potable (INN, NCh 409) y riego (INN, NCh 1333) en la zona del valle comprendida principalmente en los sectores Renca, Maipú y Peñaflores.

En los cloruros y magnesio se advierte un aumento gradual de la concentración, desde la zona alta hacia el valle, detectándose incrementos del orden de 4 a 5 veces las concentraciones observadas en los afluentes de entrada al valle. No obstante estos valores no sobrepasan la norma de calidad de agua.

Respecto a los otros elementos no se observa una variabilidad espacial significativa y sus valores no sobrepasan las normas de calidad de agua.

El estudio ha arrojado un volumen considerable de información que se encuentra en proceso; una parte de ella se muestra en este trabajo. Lo procesado a la fecha permite efectuar una caracterización general de tipo preliminar, a partir de la cual se pueden definir las áreas de estudio de mayor interés, parámetros, puntos de control y frecuencia. Dentro de la fase de caracterización definitiva se contempla la medición de metales pesados (mercurio, cromo, arsénico, níquel, zinc y otros) y compuestos orgánicos (fenoles, hidrocarburos, entre otros).

XIII. REFERENCIAS

1. INSTITUTO DE INVESTIGACIONES GEOLOGICAS (1970) Hidrogeología de la Cuenca de Santiago.
2. ANTONIO PLATA BEDMAR (1972) Isótopos en Hidrología.
3. D.G.A. (1987) Análisis Crítico de la Red de Medición de Niveles de Aguas Subterráneas, Región XIII. Realizado por Alamos y Peralta, Ingenieros Consultores Ltda.
4. D.G.A. (1991) Contaminación de Aguas Naturales. Inventario de Contaminación. Realizado por bf Ingenieros Civiles.
5. D.G.A. (1992) Bases para la Modelación de Recursos Hídricos de la Cuenca de Santiago. Realizado por bf Ingenieros Civiles.

FIGURA Nº 2

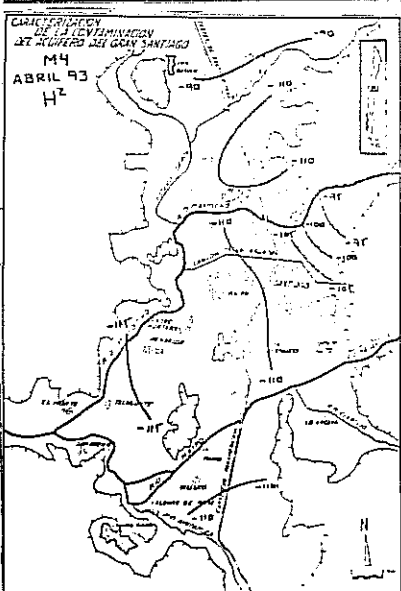
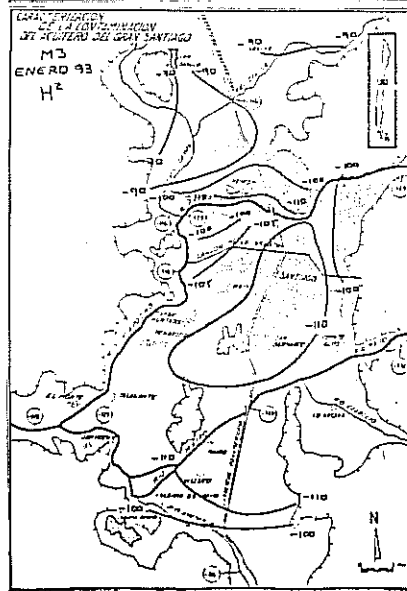
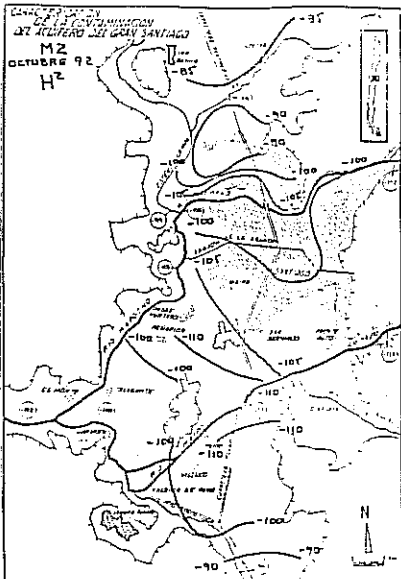
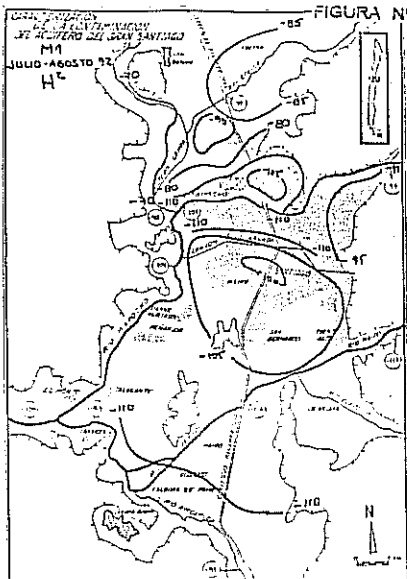
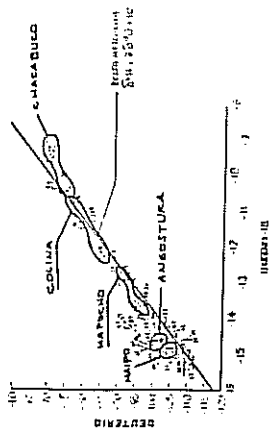


FIGURA Nº 3

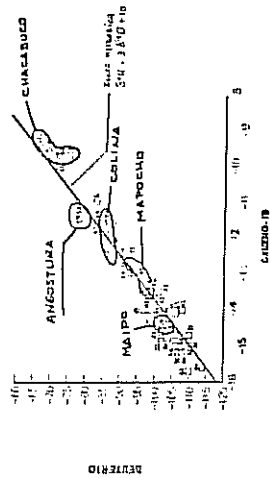
AGUAS SUBTERRANEAS R.M.

INVIERNO/92



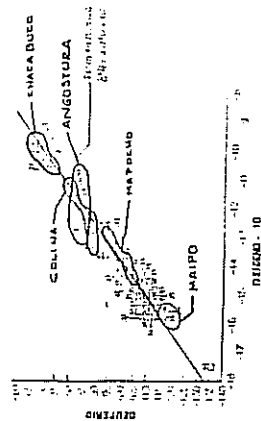
AGUAS SUBTERRANEAS R.M.

PRIMAVERA/92



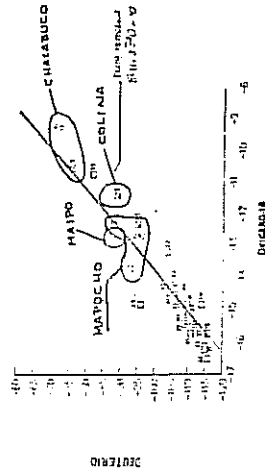
AGUAS SUBTERRANEAS R.M.

VERANO/91



AGUAS SUBTERRANEAS R.M.

OTOÑO/91



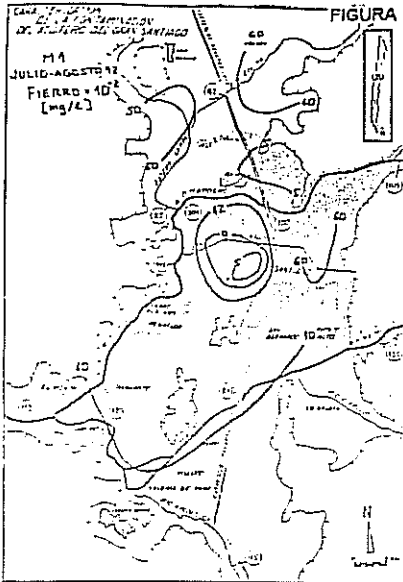


FIGURA N°

