

PROSPECCION DE ELEMENTOS TRAZAS EN RECURSOS AGRICOLAS DE CHILE. II. AGUAS SUPERFICIALES DE LOS VALLES MAIPO Y MAPOCHO, REGION METROPOLITANA¹

Trace element survey in agricultural resources of Chile. II. Surface waters of Maipo and Mapocho valleys, Metropolitan Region

Sergio González M.²

S U M M A R Y

A survey of Maipo and Mapocho basins (Metropolitan Region) to determine the aptitude of the waters for irrigation, was carried out from 1985 to 1988; emphasis upon active pollution processes was given. Surface waters from both basins are qualitatively different; whereas the Maipo waters present high E.C. values and very few trace elements, the Mapocho waters show low E.C. values and large amounts of dissolved Cu.

E.C. values of Maipo waters are due to sulfate contents, which normally exceed the maximum tolerance defined by the Chilean guideline for irrigation waters. Cu contents in Mapocho waters are due to San Francisco river and are almost always exceeding the tolerance defined by the guideline. The richness in dissolved Cu and sulfate of San Francisco waters are mainly induced by discharges of liquid residues from a Cu mine.

Untreated waste waters from Santiago are significantly increasing the E.C. values of Mapocho waters, which is due to high contents of dissolved organic compounds, detergent residues and others. Although the waste waters include the industrial liquid effluents, the measured trace element contents were rather low. The Maipo river is scarcely polluted with untreated waste waters or mining sediments; the major pollution problem is referred to intermitent discharges of highly resistant fibrous residues from a paper mill factory.

INTRODUCCION

Entre 1981 y 1990, el Fondo de Investigaciones Agropecuarias (FIA) auspició, en el Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), dos proyectos de investigación con el objetivo básico de contar con una estimación general de las áreas agrícolas contaminadas en el país y de los contaminantes concurrentes.

El primero se remitió al valle Aconcagua, V Región, en tanto que el segundo cubrió gran parte de la superficie agrícola nacional no incluida en el anterior. Una parte de la información ha sido ya publicada (INIA, 1986, 1990; González, 1983, 1984, 1986a, 1986b, 1989, 1990; González y Bergqvist, 1985, 1986; González, Bergqvist e Ite, 1985; Parada, González y Bergqvist, 1987).

Por concentrar cerca del 40% de la población nacional y una parte significativa de las actividades productivas, se estima que la Región Metropolitana debería mostrar mayores índices de contaminación que en el resto del país. Generalmente, la contaminación metropolitana se asocia al "smog" de Santiago y al riego con aguas servidas no tratadas; como la horticultura es un rubro de gran importancia en la Región, el Ministerio de Salud (1983) intentó romper el ciclo de dispersión de los agentes patógenos, prohibiendo el cultivo de algunas especies hortícolas de consumo en verde.

¹Recepción de originales: 21 de noviembre de 1989.

Unidad experimental del Proyecto "Fuentes de contaminación en sectores agrícolas, Regiones IV a XI (1987-1990)", ejecutado por el Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA) con el auspicio del Fondo de Investigaciones Agropecuarias (FIA) (Registro 1/86). El autor agradece a Regina Ite D. (Químico Laboratorista) y a Ximena Gálvez L. (Técnico Industrial) del Laboratorio Central de Contaminantes y Alimentos de la Estación Experimental La Platina (INIA), por su colaboración en el trabajo analítico.

²Estación Experimental La Platina (INIA), Casilla 439, Correo 3, Santiago, Chile.

Desde el punto de vista ambiental, el carácter biodegradable de esta carga contaminante y el potencial de reversión total de los efectos actuales vía control de la fuente originaria, hace que a esta contaminación se le asigne un bajo impacto ambiental.

Un mayor riesgo ambiental tienen las contaminaciones con sustancias no o lentamente degradables. Su solución no queda supeditada al término de la fuente contaminante, pudiendo involucrar una reducida o muy lenta reversión de los efectos ambientales negativos inducidos. Por este motivo, el estudio de los elementos trazas, incluyendo metales pesados de alta toxicidad, como Hg y Cd, tiene una gran trascendencia para el país, puesto que, por su gran riqueza minera y la gran actividad extractiva y refinadora asociada, existe un alto potencial de ser ubicuos contaminantes ambientales.

Se sabe de la existencia de suelos cúpricos en un sector de Pudahuel-Lo Aguirre (MINAGRI y JICA, 1986), los que se habrían contaminado por el riego prolongado con aguas servidas con altos niveles metálicos (Gaslaschi, Vergara y Schalscha, 1983). Otros antecedentes indican que las aguas servidas contienen grandes cantidades de N y P, lo que se suma a aportes de Cu y As del río San Francisco (Rosa Sandoval L., Dirección General de Aguas, comunicación personal); algunos estudios prospectivos han detectado una serie de anomalías en los recursos existentes en los alrededores de una zona industrial en Nos (Parada, 1981; Rodríguez, 1981).

Los objetivos del presente estudio fueron:

- determinar los contenidos de sales y sus variaciones longitudinales, en los principales ríos de los sistemas hídricos Maipo y Mapocho;
- determinar los contenidos de Cd, Cu, Mn, Mo, Pb y Zn, y sus variaciones longitudinales;
- identificar el origen más probable de los procesos contaminantes que los afectan.

MATERIALES Y METODOS

Se recolectó muestras de aguas desde ríos y esteros que conforman la red hidrológica de los ríos Maipo y Mapocho, desde los sitios identificados en la Figura 1 y en siete fechas: 24.10.86, 02.12.86, 30.01.87, 12.03.87, 07.08.87, 14.01.88 y 08.02.88. Las muestras correspondieron

a la zona superficial del punto del medio del cauce y se recolectaron en botellas plásticas de boca ancha y tapa rosca. En cada oportunidad, se llenó dos botellas de un litro cada una, destinando una para la caracterización salina y la otra, para la metálica, previa acidificación a pH 2, inmediatamente extraída dicha muestra.

Las muestras fueron analizadas según lo dispuesto por APHA, AWWA y WPCF (1980). Para la caracterización salina, se determinó pH, C.E., aniones y cationes solubles y sólidos (totales, disueltos, suspendidos); para la metálica, se midió los contenidos totales y disueltos de Cd, Cu, Mn, Mo, Pb, y Zn. En algunas muestras provenientes de algunos puntos del río Maipo, se cuantificó además Hg disuelto.

El contenido de los elementos se determinó en los extractos, obtenidos por espectrofotometría de absorción atómica, con atomización de llama. Se usó un equipo Pye-Unicam 2900 para Cd, Hg, Mn y Mo y otro Perkin-Elmer 403, para Cu, Zn y Pb. Para Hg, se usó la técnica del vapor frío.

RESULTADOS Y DISCUSION

Caracterización salina

La caracterización salina de las hoyas hidrográficas de los ríos Maipo y Mapocho, en valores promedios por sitio, es presentada en el Cuadro 1. En cuanto al pH, ambos ríos no presentaron diferencias notorias, con la salvedad del río San Francisco y estero Yerha Loca, que mostraron valores relativamente ácidos.

La conductividad eléctrica (C.E.) manifestó tendencias contrarias en ambas redes hídricas. En la cuenca del Maipo, los aguas inician su escurrimiento con altos valores, disminuyendo claramente hacia los tramos inferiores; en la del Mapocho, los cursos nacen con aguas con bajos valores, incrementándose notablemente al escurrir por el valle.

En el Maipo, los valores iniciales de C.E. se deben a sales de azufre, incorporadas a estas aguas al atravesar yacimientos yesíferos; ello se denota por la abundancia de Ca^{2+} y SO_4^{2-} ; por ello, el contenido del anión excede, natural y permanentemente, el límite máximo permisible (LMP) de 250 mg/lit para aguas de riego, establecido por la Norma Oficial Chilena (NCH) 1.333 (INN, 1978).

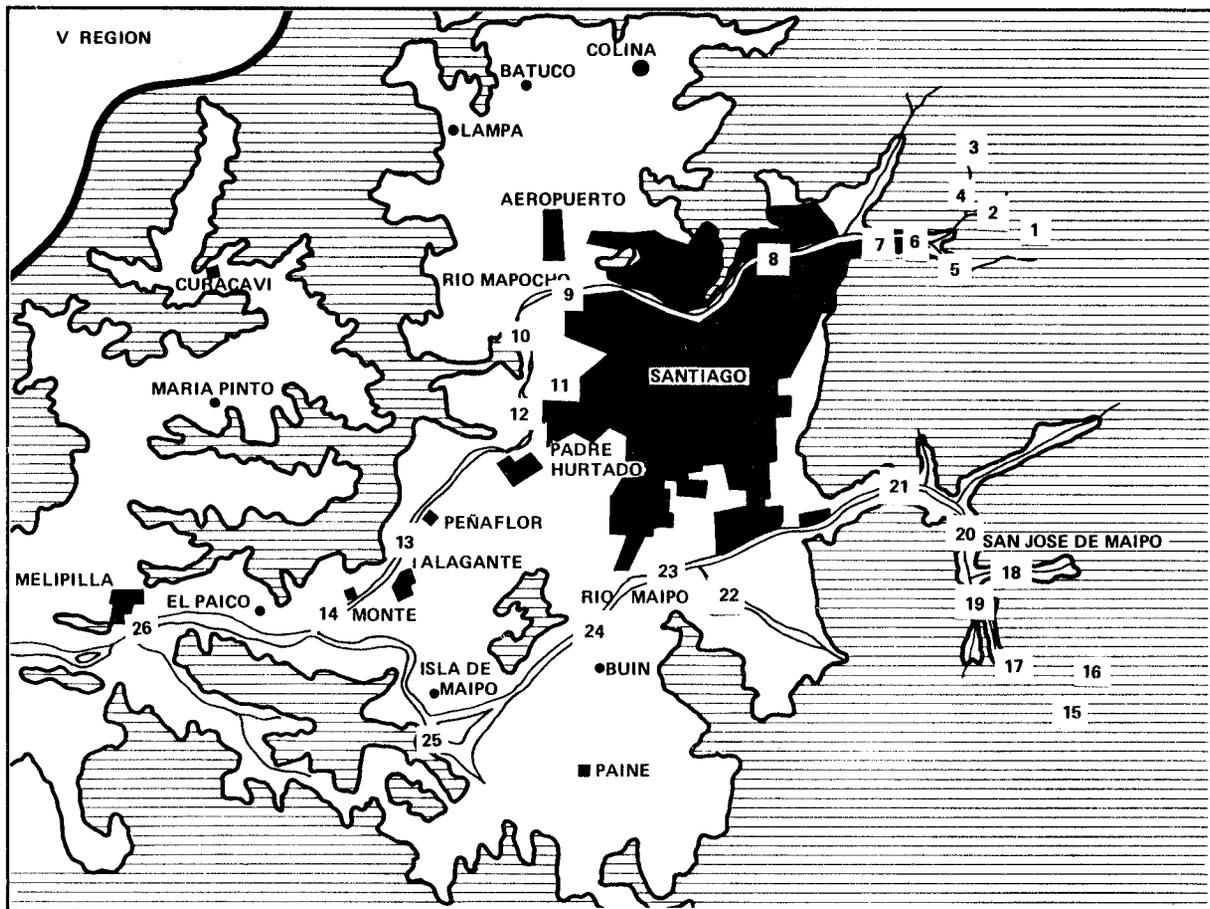


FIGURA 1. Ubicación de los sitios de extracción de muestras de agua (*) desde los principales ríos de la Región Metropolitana.

FIGURA 1. Location of sampling sites from the main rivers of the Metropolitan Region, Chile.

Las aguas de la parte alta de la cuenca del Mapocho presentaron bajos contenidos de sales disueltas, con excepción del río San Francisco, en cuanto a SO_4^{2-} ; en este caso, aunque debe haber participación de procesos naturales, se estima que la abundancia de SO_4^{2-} se debe, principalmente, a descargas desde un centro minero cuprífero aguas arriba, donde el ácido sulfúrico es empleado abundantemente.

El aumento de la C.E. hacia los tramos postreros del Mapocho se debe a las aguas servidas de Santiago, las que incluyen una gran gama de distintos compuestos orgánicos activos, como residuos de detergentes, fenoles, ácidos orgánicos, etc., y residuos industriales líquidos (RIL), con alta carga química inorgánica.

El contenido total de cationes ($\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{K}^+ + \text{Na}^+$) aumenta aguas abajo por el río Mapocho, alcanzando valores máximos en el sector de El

Monte; paralelamente, aumenta la importancia relativa del Na^+ , lo que se refleja en un Na porcentual de 40 en el Zanjón de la Aguada, cifra que excede el máximo tolerable de 35% para aguas de riego (INN, 1978). El Zanjón está compuesto, casi completamente, por aguas servidas y es donde se detectó el valor máximo instantáneo, cercano a 50%; estos resultados indican un aumento en el potencial de sodificación de los suelos regados continuamente con estas aguas, pues, no obstante existir un mayor contenido de Ca^{2+} , se genera un creciente aumento en el peso relativo del Na^+ en la composición catiónica.

De acuerdo a la NCH 1.333 (INN, 1978), el riego continuado con aguas con C.E. mayores a 750 micromhos/cm, a 25°C, puede inducir efectos tóxicos crecientes por sales en los cultivos. Lo mismo que en referencia al desbalance de Na^+ , no se cuenta con evidencias de daños ni con una evaluación de sus impactos potenciales.

CUADRO 1. Caracterización salina¹ de aguas superficiales de la Región Metropolitana. Promedio de siete muestreos

TABLE 1. Saline characterization of the Metropolitan Region surface waters. Average values of seven samplings (Santiago, Chile)

Nº Sitio ²	pH	C.E.	SO ₄ ²⁺	Cl ⁻	Ca ²⁺	Na ⁺	Suma cationes	Na% ³
Cuenca del Río Mapocho								
2 Yerba Loca	5,4	311	131	10	1,4	0,10	1,69	3,1
3 San Francisco	4,5	584	272	15	1,4	0,30	2,00	8,3
5 Molina	6,5	105	24	6	0,5	0,20	0,72	16,4
7 Mapocho	6,1	232	130	9	1,0	0,20	1,34	8,2
8 Mapocho	6,9	544	171	52	2,4	1,20	4,05	17,6
10 Mapocho	7,6	1.552	446	164	2,9	1,60	4,95	19,5
11 Zanjón la Aguada	7,1	1.339	223	166	3,0	4,80	8,55	40,0
12 Mapocho	6,8	934	252	98	3,0	1,90	5,25	22,4
13 Mapocho	7,3	1.127	230	117	4,1	2,80	7,75	22,2
Cuenca del Río Maipo								
15 El Volcán	7,6	1.849	639	117	NA	NA	NA	NA
18 El Yeso	7,7	1.246	648	197	NA	NA	NA	NA
20 Maipo	7,8	1.215	274	78	3,6	1,60	5,61	16,7
21 Maipo	7,6	992	271	85	2,6	1,60	4,41	22,3
24 Maipo	7,3	917	256	125	NA	NA	NA	NA
26 Maipo	7,4	819	269	74	3,0	2,50	6,13	25,8
Tolerancias, según INN (1978):								
Valor máximo	9,0	7.500	250	200				30,0
Valor mínimo	5,0							

NA = no analizada.

¹Conductividad eléctrica, en micromhos/cm, a 25°C. Aniones, en mg/lit. Cationes, en mmol/lit.

²Nº de sitio correspondiente al Identificado en la Figura 1.

³Na % = sodio porcentual, calculado por la fórmula: $Na\% = [Na^+ / (Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^+ + K^+)] \times 100$; concentración de cationes, en mmol/lit.

Caracterización metálica

Los contenidos metálicos, en promedios por sitio, se presentan en el Cuadro 2. Se excluyó el Cd y el Mo, por cuanto sus contenidos estuvieron siempre bajo los respectivos límites de detección de las técnicas empleadas, correspondientes a 0,05 mg/lit de Cd y 0,5 mg/lit de Mo.

En general, el sistema del Maipo presentó un marcado carácter oligometálico. Es evidente que el río El Volcán tiene una carga natural de Pb y Zn por encima de la de los restantes cursos de su cuenca, pero, dado su bajo caudal relativo, no logra imprimir esta condición en los ríos y esteros que reciben sus aguas. Como se ve, los contenidos metálicos del sistema Maipo estuvieron permanentemente bajo los respectivos LMP (INN, 1978), no existiendo riesgo de fitotoxicidad metálica al usar estas aguas para riego, incluso en el largo plazo.

En el sistema del Mapocho, coexisten dos situaciones distintas. Mientras el río Molina, uno de sus tributarios importantes, proporciona aguas relativamente oligometálicas, con Cu total promedio de 0,44 mg/lit y bajos contenidos de Zn, Mn y Pb, el otro tributario importante, el San Francisco, contiene mayores contenidos de Zn, Mn y, muy especialmente, de Cu, que se presenta disuelto en un alto porcentaje. Este río manifiesta un carácter fuertemente cúprico, con valores promedios de 20 y 17,5 mg/lit, como total y disuelto, respectivamente; el máximo contenido total instantáneo alcanzó los 37,5 mg/lit.

No obstante que el Cu total en el río Molina excede su LMP de 0,2 mg/lit de Cu (INN, 1978), en la práctica puede decirse que la carga inicial de Cu del río Mapocho (sitios 7 y 8, Cuadro 2) es debida mayoritariamente al río San Francisco. Afortunadamente para el riego, esta carga tiende a reducirse significativamente en su trayecto por el

CUADRO 2. Contenido (mg/lt) de elementos trazas¹ en aguas superficiales de la Región Metropolitana. Promedio de siete muestreos

TABLE 2. Trace element contents (mg/lt) in surface waters in the Metropolitan Region. Average values of siete samplings (Santiago, Chile)

Nº Sitio ²	Zn		Cu		Mn		Pb	
	tot.*	dis.*	tot.	dis.	tot.	dis.	tot.	dis.
Cuenca del Río Mapocho								
2 Yerba Loca	0,24	0,28	2,51	1,98	0,50	0,50	0,03	< 0,02
3 San Francisco	0,79	0,67	19,97	7,50	1,75	1,75	0,03	0,02
5 Molina	0,07	0,03	0,44	0,03	0,01	0,01	0,01	< 0,02
7 Mapocho	0,35	0,27	5,75	0,86	0,66	0,38	0,03	0,02
8 Mapocho	0,40	0,03	1,63	0,02	0,50	0,24	0,08	< 0,02
10 Mapocho	0,17	0,08	0,92	0,03	0,45	0,07	0,06	< 0,02
11 Zanjón la Aguada	0,51	0,04	0,36	0,01	0,29	0,04	0,09	0,03
12 Mapocho	0,17	0,04	0,49	0,02	NA	NA	0,06	0,03
13 Mapocho	0,09	0,03	0,28	0,03	0,25	0,01	0,05	0,04
Cuenca del Río Maipo								
15 El Volcán	0,50	NA	0,01	NA	NA	NA	0,15	NA
18 El Yeso	0,05	NA	0,01	< 0,01	NA	< 0,01	0,06	NA
20 Maipo	0,10	0,02	0,03	0,01	0,11	0,01	0,05	0,02
21 Maipo	0,14	0,02	0,04	0,02	0,19	0,01	0,07	0,02
24 Maipo	0,29	0,02	0,08	0,01	1,13	0,01	0,10	0,04
26 Maipo	0,05	0,02	0,02	0,01	0,13	0,03	0,03	0,03
Límites máximos permisibles:								
Según INN (1978)	2,0		0,2		0,2		5,0	
Según INN (1984)	5,00		1,00		0,10		0,05	

NA = no analizada.

¹Contenidos de Cd y Mo, no detectados (< 0,05 y < 1,0 mg/lt, respectivamente).

²Nº de sitio correspondiente al identificado en la Figura 1.

*tot.: contenido total; dis.: fracción disuelta.

valle, minimizándose su impacto ambiental negativo. Es indudable que, en una menor dimensión, el estero Yerba Loca presenta tendencias comparables a la del río San Francisco, pero, por razones de caudal relativo, su impacto en el río Mapocho es ínfimo.

En su trayecto desde su nacimiento hasta su descarga en el río Maipo, el río Mapocho no sólo experimenta una disminución drástica de la carga total de Cu, gracias a diluciones por aportes sucesivos de aguas con menores contenidos cúpricos, sino que también un decrecimiento de la relación entre fracción disuelta y contenido total de Cu; la progresiva insolubilidad del Cu reflejaría cambios significativos en temperatura, nivel de oxígeno disuelto, pH y acidez disuelta de las aguas.

El río San Francisco también está excedido en el contenido total de Mn, con respecto a su LMP específico de 0,2 mg/lt (INN, 1978). Manteniendo la

dinámica definida para el Cu, este elemento se presenta exclusivamente disuelto; unido al bajo pH de estas aguas, estos hechos refrendan el que este río está siendo afectado por mineralizaciones, pudiendo tratarse éstas de procesos naturales o inducidos por actividades humanas.

Es altamente coincidente que, aguas arriba de los sitios de muestreo, funciona el mayor centro de extracción de Cu que existe en la Región Metropolitana, actividad donde se emplea grandes volúmenes de ácido sulfúrico; por ello, se estima que el origen dominante de la carga química, incluyendo Cu y SO₄²⁻ como más representativos, del río San Francisco, está en descargas líquidas desde este centro minero, sin descartar una participación secundaria de procesos naturales.

Llama la atención que las aguas servidas de Santiago (sitio 11, Cuadro 2) presenten bajos contenidos relativos de elementos trazas, no

obstante, incluyen los residuos industriales líquidos (RILES) producidos dentro de la ciudad; estos resultados son coincidentes con la información generada por el Laboratorio de Hidrología de la Dirección General de Aguas (Rosa Sandoval L., comunicación personal), pero contrapuesto con Gaslaschi, Vergara y Schalscha (1985).

Observaciones de campo, efectuadas durante el desarrollo de este estudio, permitieron verificar una intermitente, pero abundante, presencia de residuos orgánicos fibrosos, no biodegradables, en el río Maipo, aguas abajo de la ciudad de Puente Alto, los que probablemente son liberados como residuos por una industria procesadora de sustancias celulósicas existente en el lugar. Se comprobó cómo una extensa área, dentro de la cuál se sitúa la Subestación Experimental Los Tilos de INIA, sufre de una recepción intermitente de aguas de riego contaminadas con estos residuos; al depositarse sobre los suelos, esta masa fibrosa se aglomera formando una capa que termina impidiendo la infiltración del agua y reduciendo drásticamente la eficiencia del riego.

No obstante, el presente estudio deja constancia que uno de los mayores problemas ambientales, si no el mayor, de los cursos superficiales de aguas en esta Región, así como en la IV (González, 1990), es el arrastre hídrico de sedimentos generados por erosión de tierras altas desprotegidas de una adecuada cobertura vegetal; estos sedimentos terminan siendo incorporados, en gran proporción, a los suelos, afectando, sin lugar a dudas, sus productividades. Este proceso erosivo se acentúa con el derretimiento de las nieves y en los tramos inferiores, se ve aumentado por la remoción de sólidos desde los suelos agrícolas, debido a una inadecuada aplicación de las técnicas de riego.

CONCLUSIONES

- El río Maipo contiene una gran carga salina natural, especialmente de sulfato de calcio, que representa los aportes recibidos en las nacientes cordilleranas de sus tributarios.
- Es frecuente que el contenido total de sales y de sulfatos en la red hídrica del río Maipo excedan los respectivos LMP, establecidos en la Norma Oficial Chilena para aguas de riego.
- El acuífero del río Maipo es oligometálico, generando aguas con escasos contenidos de

elementos trazas; sólo se exceptúa, en parte, la subcuenca del río El Volcán, que da mayores niveles de Mn, Pb y Zn.

- El mayor proceso contaminante del río Maipo se genera por las descargas de residuos orgánicos fibrosos provenientes, muy probablemente, de una industria papelería situada en Puente Alto.
- El río Mapocho tiene una baja carga salina natural, la que se va incrementando en su trayecto por el valle, gracias a aportes de aguas servidas no tratadas.
- El impacto cualitativo de las aguas servidas no tratadas sobre el río Mapocho, es extremo, toda vez que su caudal excede largamente en determinadas épocas del año al propio del río.
- No sólo la conductividad eléctrica en el Mapocho llega a superar los 1.500 micromhos/cm, sino que también se produce un aumento en el peso relativo del Na⁺, llegando a exceder la tolerancia de 35% definida por la norma para aguas de riego; ello involucra un riesgo creciente de degradación de suelos.
- En las aguas servidas de la ciudad de Santiago, se verificó una concentración de elementos trazas relativamente baja, menor a la esperada.
- El río Mapocho está constituido por dos subcuencas distintas, desde la perspectiva de los elementos trazas: el río Molina, con contenidos no detectados de Cd y Mo, escasos de Zn, Mn y Pb y moderado de Cu, y el río San Francisco, fuertemente cúprica, asociado a contenidos importantes de Mn y Zn, escaso de Pb y no detectados de Cd y Mo.
- Aunque habría una participación parcial de procesos naturales de mineralización de elementos trazas, se estima que la cupricidad y acidez del río San Francisco es producto preferente de un centro de extracción de Cu, existente aguas arriba de los sitios muestrales.
- Debería dimensionarse los efectos negativos que sobre la producción agrícola pudieran estarse induciendo por el riego permanente con aguas con alta conductividad eléctrica, alto sodio relativo, abundantes sulfatos y Cu.

RESUMEN

Entre los años 1985 y 1988, se efectuó una prospección de la calidad de las aguas superficiales de las hoyas hidrográficas de los ríos Maipo y Mapocho, en la Región Metropolitana, dando atención preferente a los procesos contaminantes activos en esta parte del país. Ambos sistemas hídricos generan aguas cualitativamente distintas; mientras las aguas del Maipo se caracterizan por un carácter oligometálico y alta C.E., debido a una presencia excesiva de sulfatos, con respecto al valor máximo de la norma chilena para aguas de riego, el Mapocho posee aguas con bajos contenidos salinos, pero fuertemente cúpricas, excediendo la norma para aguas de riego, gracias a aportes del río San Francisco.

Puesto que la carga cúprica del río San Francisco se presenta disuelta y coincide con una abundancia

de sulfatos, se estima que obedecen a un proceso de contaminación desde un centro de extracción de cobre, existente en la naciente de este río.

Al ser descargadas sin previo tratamiento, las aguas servidas de Santiago incrementan notoriamente la C.E. de las aguas del Mapocho, debido a su abundancia en compuestos orgánicos solubles, residuos de detergentes y otros; llama la atención el reducido contenido metálico de estas aguas. El río Maipo se encuentra escasamente contaminado con aguas servidas o con residuos mineros; el mayor impacto de contaminación está asociado a descargas directas intermitentes de residuos fibrosos desde una industria productora de papeles.

LITERATURA CITADA

- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA), AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (AWWA) and WATER POLLUTION CONTROL FEDERATION (WPCF), EUA. 1980. Standard methods for the examination of waters and waste waters. 15th ed., APHA. Washington D.C. 1.134 p.
- GASLASCHI, GIORGIO, VERGARA, INES y SCHALSCHA, EDUARDO. 1983. Metales pesados en el río Mapocho. INIA-Intendencia Región Metropolitana. III Simposio sobre Contaminación Ambiental (orientado al recurso agua). 1983, Santiago, 5-7 de octubre. Tomo II: 29-86.
- GONZALEZ M., SERGIO. 1990. Prospección de elementos trazas en recursos agrícolas de Chile. Aguas y suelos de los valles Elqui y Limarí, IV Región. Agricultura Técnica (Chile) 50 (1): 60-70.
- GONZALEZ M., SERGIO. 1989. Contaminación por desechos mineros en la agricultura. Investigación y Progreso Agropecuario, La Platina (Chile) 54: 50-56.
- GONZALEZ M., SERGIO. 1986a. Contenido natural de metales pesados extraíbles con EDTA 0,05M en suelos del valle Aconcagua. Agricultura Técnica (Chile) 46 (3): 323-327.
- GONZALEZ M., SERGIO. 1986b. Contaminación ambiental en el valle Aconcagua. Investigación y Progreso Agropecuario, La Platina (Chile) 38: 9-12.
- GONZALEZ M., SERGIO. 1984. Caracterización química del río Aconcagua. Agricultura Técnica (Chile) 44 (3): 229-236.
- GONZALEZ M., SERGIO. 1983. Contenido de metales pesados en el río Aconcagua. INIA-Intendencia Región Metropolitana. III Simposio sobre Contaminación Ambiental (orientado al recurso agua). 1983, Santiago, 5-7 de octubre. Tomo I: 77-82.
- GONZALEZ M., SERGIO y BERGQVIST A., ENRIQUE. 1986. Evidencias de contaminación con metales pesados en sector del secano costero de la V Región. Agricultura Técnica (Chile) 46 (3): 299-306.
- GONZALEZ M., SERGIO y BERGQVIST A., ENRIQUE. 1985. Suelos contaminados con metales pesados. Efectos sobre el desarrollo vegetal. INIA-Intendencia Región Metropolitana. III Simposio sobre Contaminación Ambiental (orientado al recurso agua). 1983, Santiago, 5-7 de octubre. Tomo I: 24-26.
- GONZALEZ M., SERGIO, BERGQVIST A., ENRIQUE e ITE D., REGINA. 1985. Evidencias de contaminación con metales pesados en Catemu, V Región. INIA-Intendencia Región Metropolitana-Secretaría Regional Ministerial de Agricultura Región Metropolitana. IV Simposio sobre Contaminación Ambiental (orientado al recurso aire). 1985, Santiago, 21-23 de agosto. Tomo I: 27-30.
- INIA-Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Chile. 1990. Proyecto "Fuentes de Contaminación en Sectores Agrícolas, Regiones IV a XI". Informe Final. INIA-FIA. Santiago, Chile. 365 p.
- INIA-Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Chile. 1986. Proyecto "Contaminación Ambiental en el valle del río Aconcagua". Informe Final. INIA-FIA, Santiago, Chile. 125 p.

- INN-Instituto Nacional de Normalización, Chile. 1984. Norma Oficial Chilena 409: Agua potable, parte requisitos. INN. Santiago, Chile.
- INN-Instituto Nacional de Normalización, Chile. 1978. Norma Oficial Chilena 1.333: requisitos de calidad de agua para diferentes usos. INN. Santiago, Chile. 362 p.
- MINISTRY OF AGRICULTURE (MINAGRI) and JAPANESE INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA). 1986. Feasibility Study on Mapocho River Basin Agricultural Development Project Draft Final Report. JICA-Ministry of Agriculture, Santiago de Chile. 3 vol.
- MINISTERIO DE SALUD PUBLICA, Chile. 1983. Resolución Nº 350: prohíbe el cultivo de las especies vegetales que señala, en predios que indica, que utilizan aguas servidas para su riego. Diario Oficial 31472 (21.01.83).
- PARADA, ROBERTO. 1981. Molibdenosis industrial en bovinos. INIA-Intendencia Región Metropolitana. II Simposio de Contaminación Ambiental (y su incidencia en el sector agropecuario). 1981, Santiago. p.: 35-37.
- PARADA, ROBERTO, GONZALEZ M., SERGIO y BERGQVIST A., ENRIQUE. 1987. Industrial pollution with copper and other heavy metals in a beef cattle ranch. Veter. and Human Toxicology (EUA) 29 (2): 122-126.
- RODRIGUEZ, OSCAR. 1981. Un caso puntual de contaminación atmosférica y su incidencia sobre el medio ambiente natural. INIA-Intendencia Región Metropolitana. II Simposio de Contaminación Ambiental (y su incidencia en el sector agropecuario). 1981, Santiago. p.: 167-172.