

Estudio químico de las aguas continentales de península Fildes, isla Rey Jorge, Antártica.

MARGARITA PRÉNDEZ¹, VÉRÓNICA MUÑOZ¹, VÍCTOR VILLANUEVA²,
JUAN CARLOS MONTERO³ y JORGE GODOY³.

RESUMEN

Si bien la Antártica se considera clásicamente como el lugar más limpio del planeta, el aumento de la actividad humana en ella ha ido modificando lentamente esta apreciación. En este trabajo se estudió la calidad de las aguas de nueve lagunas de la isla Rey Jorge, que son fuente actual y potencial de agua potable para las bases instaladas en la isla. Para la cuantificación de las diferentes especies químicas se utilizaron modernas técnicas analíticas, tales como electroforesis capilar, en el caso de los aniones y espectrometría de masa con plasma inductivamente acoplado (ICP/MS), en el caso de los elementos traza. Se encontró que en algunos casos no se cumple con los requisitos químicos exigidos para el consumo humano, de acuerdo a la norma chilena N. Ch. 409/1 y las recomendaciones de la OMS. Se analizaron los orígenes de la eventual contaminación, entregándose algunos consejos específicos de manejo y uso de las aguas.

Palabras clave: Aguas superficiales, elementos traza, aniones y cationes, isla Rey Jorge, Antártica.

Chemical studies on fresh waters of Fildes Peninsula, King George Island, Antarctica.

MARGARITA PRÉNDEZ¹, VÉRÓNICA MUÑOZ¹, VÍCTOR VILLANUEVA²,
JUAN CARLOS MONTERO³ and JORGE GODOY³.

ABSTRACT

Antarctica is one of the cleanest areas in the world. However the increasing human activities derived from the installation of different bases have been modifying this perception. In this work, the chemical quality of the water of nine ponds, used or potentially able to be used as drinking water in King George Island, was studied. Modern analytical techniques as capillary electrophoresis for anions and mass spectrometry with inductively coupled plasma (ICP/MS) for trace elements were used. Results shown that some trace elements are above the Chilean and the OMS regulations. Origins of these eventual contaminations are discussed. Recommendations for the use of water are also given.

Key words: Surface waters, anions and cations, trace elements, King George Island, Antarctica.

¹ Universidad de Chile, Casilla 233, Santiago, Chile.

² Departamento Técnico Logístico, Instituto Antártico Chileno, Luis Thayer Ojeda 814, Correo 9, Santiago, Chile.

³ Instituto Geográfico Militar, Clasificador 4, Correo 21, Santiago, Chile.

INTRODUCCIÓN

La contaminación del ambiente es uno de los grandes problemas que enfrenta la humanidad desde hace varias décadas, intensificándose en estas últimas. En principio, la contaminación afecta básicamente a las aglomeraciones urbanas; no obstante, las últimas investigaciones demuestran que se han extendido también a ambientes remotos.

No obstante, la Antártica aún constituye un lugar en el cual es posible encontrar un ambiente no intervenido o escasamente intervenido que, por ende, puede ayudar a la elaboración de un modelo para la forma de evolución de la contaminación de un ambiente urbano.

La isla Rey Jorge, Shetland del Sur, Antártica, es un lugar remoto en el cual la intervención humana ha ido en aumento debido al crecimiento urbano derivado de la instalación de nuevas bases de distintos países y a la ampliación de las ya existentes. Esto ha traído como consecuencia una demanda creciente de espacio disponible para la construcción, del recurso agua y de emplazamientos para la eliminación de desechos.

En península Fildes, isla Rey Jorge, es posible encontrar un cierto número de pequeñas lagunas de agua continental que están parcial o totalmente deshieladas durante el verano antártico. Muchas de ellas corresponden a depresiones del relieve de diversos tamaños y formas en áreas aisladas en donde se acumula nieve durante el invierno. Las aguas de algunas de ellas se utilizan para el consumo humano de las numerosas bases ya instaladas en la isla. Otras aún no han sido intervenidas y pueden servir de blanco de comparación para el análisis de la intervención humana. El propósito de este trabajo es estudiar la composición química de algunas de estas lagunas, incluidas aquellas ya empleadas por las bases chilena (Eduardo Frei Montalva), rusa (Bellingshausen) y china (Gran Muralla).

METODOLOGÍA

En envases especialmente tratados para este propósito se colectó un total de 25 muestras de agua superficial para otros tantos puntos de colección, pertenecientes a nueve lagunas de agua continental, ubicadas según se muestra en las Figuras 1 a 7 y denominadas lagunas: LA, LB, LE, LF, LH, LI, LK, LO, LR.

Se efectuaron determinaciones de pH, conductividad eléctrica (CE), de algunos elementos y de aniones.

Se cuantificaron los siguientes elementos: Al, K, Cr, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Cd, Sn, Sb, Ba, As, Se, Te y Bi mediante un espectrómetro de masa con plasma inductivamente acoplado (ICP/MS), Na por fotometría de llama y Ca y Mg mediante espectrofotometría de absorción atómica. Los siguientes aniones: Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- y HCO_3^- se cuantificaron mediante electroforesis capilar (EC).

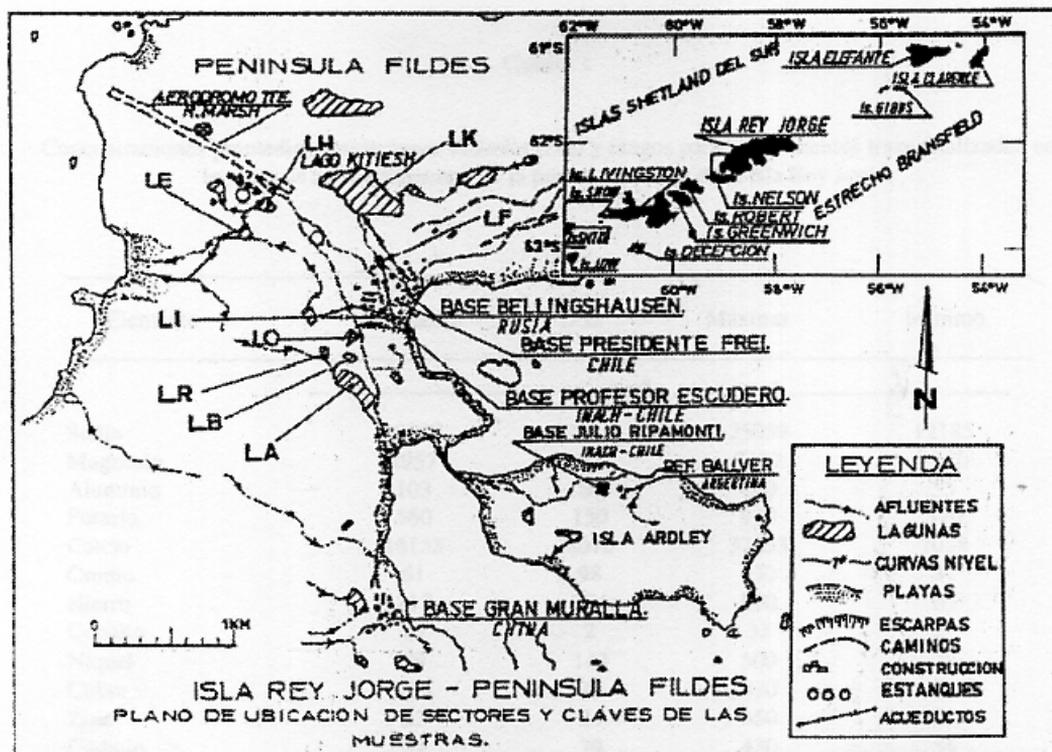


Fig. 1. Plano de ubicación de la zona completa bajo estudio en la península Fildes, isla Rey Jorge, Shetland del Sur, Antártica.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las aguas estudiadas son ligeramente básicas. Los valores de los pH determinados varían entre 7.26 y 7.87, los cuales están incluidos en el rango de pH 6,0 a 8,5, considerado aceptable de acuerdo a la norma chilena. A su vez, la conductividad eléctrica presenta valores en el rango de 0,14-0,34 mmhos/cm.

El Cuadro 1 da una visión global del contenido de elementos químicos para las aguas superficiales de la isla Rey Jorge en las áreas cercanas a las bases chilena, rusa y china. En ella se entregan los valores promedio de las concentraciones elementales con su correspondiente desviación estándar, valores máximos y mínimos para las 25 muestras analizadas, todo expresado en $\mu\text{g/L}$.

Se observan cuatro niveles para las concentraciones de los elementos estudiados. En el primer nivel se encuentran Na, Mg y Ca en concentraciones de varios miles de $\mu\text{g/L}$; el segundo nivel incluye elementos como Al, K, Fe, Cu, Ni, Sb y Ba cuyas concentraciones están en el orden de las centenas de $\mu\text{g/L}$; en el tercer nivel están los elementos que tienen sus concentraciones en el orden de las decenas de $\mu\text{g/L}$, como: Cr, Co, Zn, Cd y Sn. Finalmente, en el cuarto nivel se ubican los elementos As, Se, Te y Bi, cuyas concentraciones están en torno a los $\mu\text{g/L}$ o menores.

Cuadro 1

Concentraciones promedio, desviaciones estándar (DE) y rangos para los elementos traza analizados en lagunas de agua continental de la península Fildes de la isla Rey Jorge.

Elemento	Promedio	D.E.	Máximo	Mínimo
	μg/L			
Sodio	19007	3585	25059	12185
Magnesio	2957	1571	7387	1640
Aluminio	103	84	490	55
Potasio	560	150	890	370
Calcio	16133	8070	37353	7038
Cromo	61	98	530	37
Hierro	217	204	870	63
Cobalto	28	2	33	27
Níquel	99	143	500	26
Cobre	133	79	470	61
Zinc	53	84	450	21
Cadmio	52	79	430	35
Estaño	55	2	57	49
Antimonio	104	149	820	69
Bario	129	177	650	54
Arsénico	3,7	4,4	17	0,2
Selenio	3,4	1,5	6,0	2,0
Teluro	0,3	0,4	1,1	0,01
Bismuto	0,5	0,7	1,9	0,08

En el Cuadro 2 se muestran los valores obtenidos por Cremisini *et al* (1991) para aguas superficiales de 28 sitios diferentes en Terra Nova Bay (Victoria Land, Ross Sea), los valores aceptados para aguas continentales y los valores para la norma vigente en Chile.

Comparando los Cuadros 1 y 2 se observa que las concentraciones determinadas en Rey Jorge son menores a las concentraciones informadas para Terra Nova, en el caso del Na y están en el rango de concentraciones en el caso del K; son mayores en los casos de Fe, Co, Ni y Zn; y, son mucho mayores en los casos de Cu y Cd. Por otra parte, las concentraciones en Rey Jorge son claramente superiores a las correspondientes a las aguas continentales estando estos promedios por debajo de la norma chilena vigente, excepto en el caso de Cd en el cual se supera la norma chilena y también la recomendación de la OMS.

Cuadro 2

Rangos de concentración elemental en aguas superficiales para 28 sitios en Terra Nova Bay, para aguas continentales y para la norma vigente en Chile.

Elemento	Terra Nova Bay ¹	A. Continentales ¹	Norma Chilena	OMS ³
	µg/L			
Na	2.3x10 ⁶ -230	NHI ⁶	NHN ⁷	
Al		NHI	NHN	
K	900 - 78	NHI	NHN	
Cr		NHI	50 ⁴	50 ⁴
Fe	74 - 0.08	5 - 100	300 ⁵	1000
Co	10 - 0,003	0,1 - 1	NHN	
Ni	2,9 - 0,03	0,1 - 10	NHN	
Cu	1,7 - 0,013	0,1 - 1	1000 ⁵	1500
Zn	9,0 - 0,14	0,5 - 5	5000 ⁵	15000
Cd	0,04 - 5x10 ⁻⁴	0,1 - 1	10	10
Sn	NHI	NHI	NHN	
Sb	NHI	NHI	NHN	
Ba	NHI	NHI	NHN	
As	NHI	NHI	50	50
Se	NHI	NHI	10	10
Te	NHI	NHI	NHN	
Bi	NHI	NHI	NHN	

1 Cremisini *et al* 1991.

2 NCh 409/1.

3 Organización Mundial de la Salud.

4 Como Cr hexavalente.

5 El Ministerio de Salud puede aceptar un contenido mayor de estas especies.

6 NHI= No hay información.

7 NHN = No hay norma.

Por otra parte, la gran variabilidad de las concentraciones promedio para ciertos elementos, exige el análisis de los resultados por nivel de elementos y por laguna, tal como se dan en los Cuadros 3 a 6.

Se observa que el primer nivel (Na, Mg y Ca) muestra dentro de cada laguna concentraciones relativamente homogéneas, con desviaciones estándar razonables en todos los casos, exceptuando Ca en la laguna LH.

Una comparación entre las lagunas muestra las menores concentraciones para Na en la laguna LR y las mayores en la laguna LH, pero en general los valores para los 25 puntos de muestreo son similares. En cambio, Ca presenta variaciones entre las diferentes lagunas, teniendo como valores promedio extremos 8702 µg/L en la laguna LF y 28291 µg/L en la laguna LO.

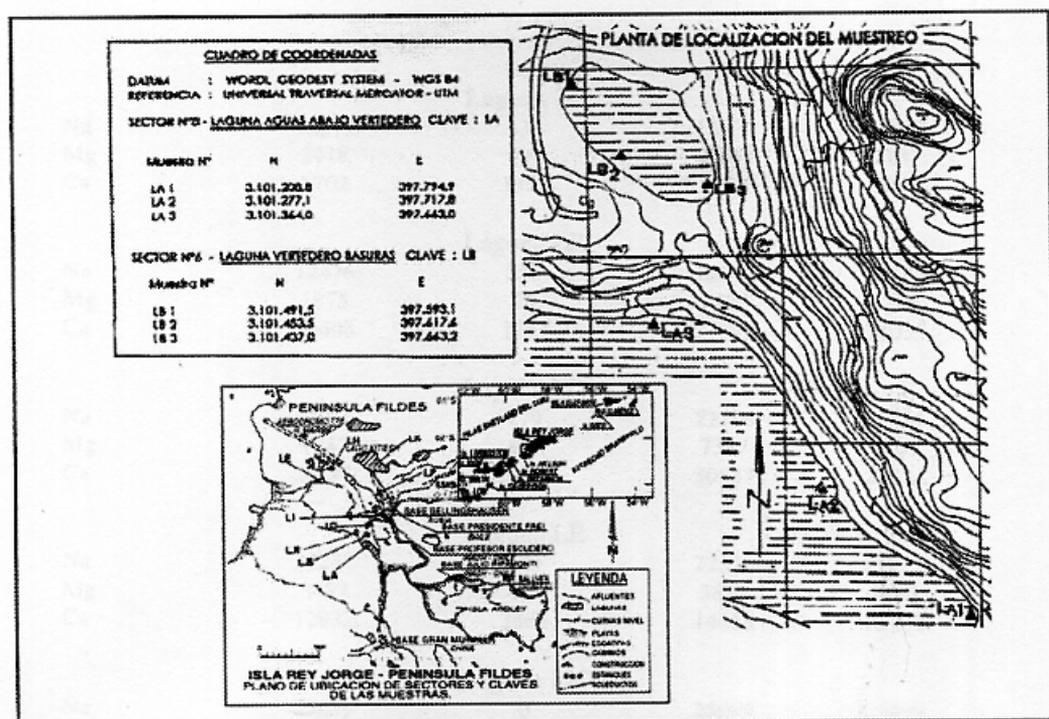


Fig. 2. Detalle de ubicación y coordenadas de los puntos de muestreo de las lagunas denominadas LA y LB ubicadas en la península Fildes, isla Rey Jorge, Shetland del Sur, Antártica.

Cuadro 3

Concentraciones promedio, expresadas en $\mu\text{g/L}$, desviaciones estándar (D.E.) y rangos para Na, Mg y Ca determinadas en las lagunas estudiadas de la península Fildes de la isla Rey Jorge.

Elemento	Promedio	D.E.	Máximo	Mínimo
$\mu\text{g/L}$				
Laguna LI				
Na	20530	715	21151	19748
Mg	1827	162	1920	1640
Ca	9571	799	10165	8662
Laguna LB				
Na	17924	2304	19311	15265
Mg	4512	1190	5334	3147
Ca	26713	9724	37353	18286
Laguna LA				
Na	20974	886	21886	20116
Mg	2191	238	2466	2053
Ca	20130	5048	24240	14496

		Laguna LF		
Na	18315	333	18530	17932
Mg	2418	400	2880	2187
Ca	8702	1453	9724	7038
		Laguna LR		
Na	12476	253	12644	12185
Mg	1875	77	1920	1786
Ca	19408	1767	21393	18005
		Laguna LO		
Na	22059	179	22185	21932
Mg	7047	481	7387	6707
Ca	28291	3630	30857	25724
		Laguna LE		
Na	22231	423	22530	21932
Mg	3487	481	3827	3147
Ca	12932	2382	14616	11248
		Laguna LH		
Na	25059	0	25059	25059
Mg	3220	292	3426	3013
Ca	15158	8422	21113	9203
		Laguna LK		
Na	16729	1322	18047	15403
Mg	2057	274	2333	1786
Ca	9303	1232	10707	8401

El Cuadro 4 que incluye en un segundo nivel de concentraciones Al, K, Fe, Cu, Ni y Ba no muestra grandes fluctuaciones de las concentraciones al interior de las distintas lagunas estudiadas, excepto en el caso de la laguna LH la cual presenta también comparativamente altas concentraciones promedio de Al, Fe, Cu, Ni y Ba. Hay que destacar que en el punto próximo a la bomba de captación de agua, la norma chilena para Fe se encuentra sobrepasada. Esta misma superación ocurre para la concentración de Fe en las lagunas LI y LF. Por otra parte, Ba presenta sus mayores concentraciones en las lagunas LI, LE y LH y el Ni en las lagunas LR, LE y LH.

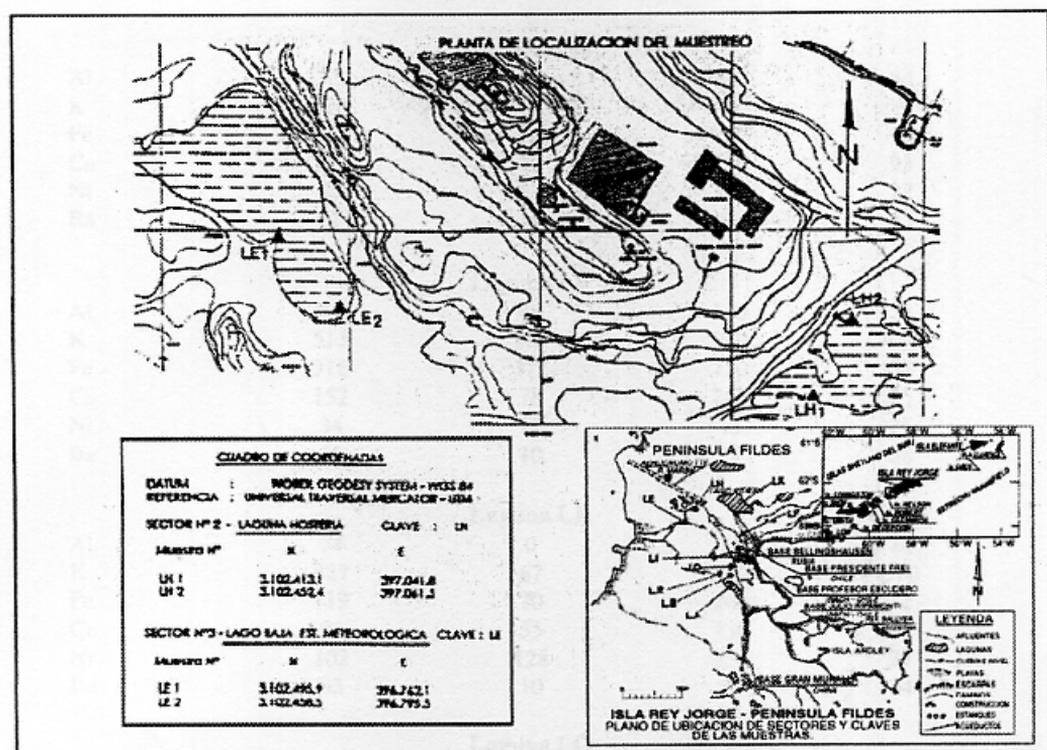


Fig. 3. Detalle de ubicación y coordenadas de los puntos de muestreo de las lagunas denominadas LE y LH ubicadas en la península Fildes, Isla Rey Jorge, Shetland del Sur, Antártica.

Cuadro 4

Concentraciones promedio, expresadas en $\mu\text{g/L}$, desviaciones estándar (D.E.) y rangos para Al, K, Fe, Cu, Ni y Ba determinadas en las lagunas estudiadas de la península Fildes de la isla Rey Jorge.

Elemento	Promedio	D.E.	Máximo	Mínimo
$\mu\text{g/L}$				
Laguna LI				
Al	115	36	140	74
K	443	29	460	410
Fe	383	422	870	120
Cu	140	53	200	100
Ni	44	17	61	28
Ba	224	283	550	55
Laguna LB				
Al	86	12	98	75
K	753	165	890	570
Fe	196	96	290	99
Cu	117	21	140	100
Ni	30	3	32	27
Ba	58	0	59	58

Laguna LA				
Al	82	16	92	63
K	590	10	600	580
Fe	143	41	180	98
Cu	111	16	120	93
Ni	59	53	120	27
Ba	61	6	66	55

Laguna LF				
Al	105	48	150	55
K	513	105	620	410
Fe	316	377	750	77
Cu	152	78	240	95
Ni	34	12	48	26
Ba	65	10	77	58

Laguna LR				
Al	74	0	75	74
K	427	67	500	370
Fe	119	70	200	72
Cu	94	35	130	61
Ni	102	128	250	27
Ba	63	10	74	54

Laguna LO				
Al	68	4	70	65
K	825	21	840	810
Fe	160	42	190	130
Cu	105	7	110	100
Ni	29	0	29	28
Ba	61	5	64	57

Laguna LE				
Al	97	18	110	84
K	630	28	650	610
Fe	250	71	300	200
Cu	135	21	150	120
Ni	445	78	500	390
Ba	110	71	160	59

Laguna LH				
Al	276	303	490	62
K	465	21	480	450
Fe	297	330	530	63
Cu	273	279	470	75
Ni	244	306	460	27
Ba	352	421	650	54

Laguna LK				
Al	82	16	100	70
K	520	142	680	410
Fe	147	47	200	110
Cu	111	25	140	96
Ni	68	71	150	27
Ba	236	298	580	59

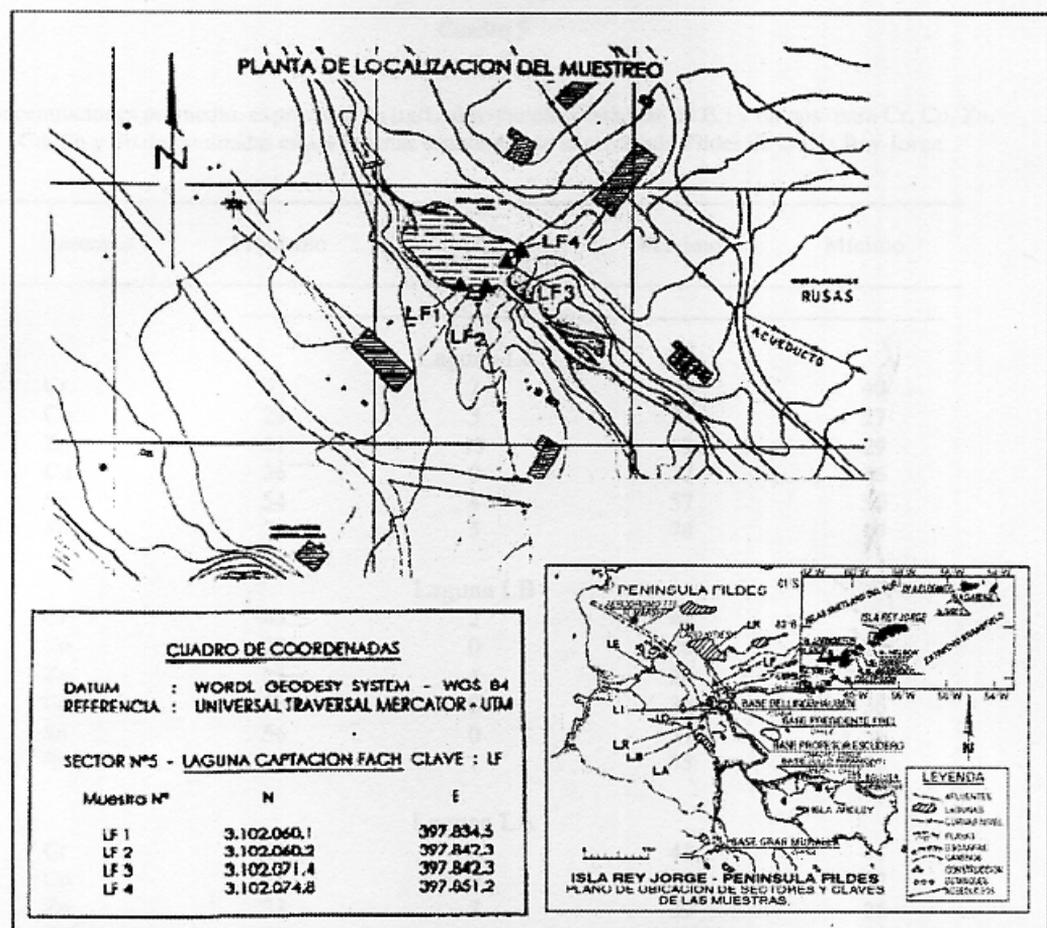


Fig. 4. Detalle de ubicación y coordenadas de los puntos de muestreo de la laguna denominada LF ubicada en la península Filde, isla Rey Jorge, Shetland del Sur, Antártica.

El Cuadro 5 muestra las concentraciones de los elementos Cr, Co, Zn, Cd, Sn y Sb. En general, todos excepto el Cd, se encuentran en concentraciones inferiores a la norma chilena, sin mostrar mayores variaciones entre una laguna y otra. El Cd está sistemáticamente sobre la norma, así como también lo está el Cr en el caso específico de la laguna LH. Además, esta laguna muestra concentraciones mayores que las restantes lagunas en Cr, Zn, Cd y Sb.

Cuadro 5

Concentraciones promedio, expresadas en $\mu\text{g/L}$, desviaciones estándar (D.E.) y rangos para Cr, Co, Zn, Cd, Sn y Sb determinadas en las lagunas estudiadas de la península Fildes de la isla Rey Jorge.

Elemento	Promedio	D.E.	Máximo	Mínimo
$\mu\text{g/L}$				
Laguna LI				
Cr	45	7	53	40
Co	29	3	32	27
Zn	41	19	62	29
Cd	36	0	37	36
Sn	54	4	57	50
Sb	74	5	78	69
Laguna LB				
Cr	43	2	44	41
Co	28	0	28	27
Zn	27	4	29	22
Cd	36	0	36	36
Sn	56	0	57	56
Sb	74	1	75	73
Laguna LA				
Cr	41	0	41	41
Co	28	0	28	27
Zn	33	7	39	26
Cd	36	0	36	36
Sn	56	0	56	56
Sb	74	0	74	74
Laguna LF				
Cr	44	5	49	40
Co	28	1	29	27
Zn	45	23	71	27
Cd	36	0	36	36
Sn	57	0	57	56
Sb	74	0	74	73
Laguna LR				
Cr	39	2	41	37
Co	28	1	29	27
Zn	31	8	41	26
Cd	36	0	36	35
Sn	56	0	56	56
Sb	74	0	74	74

Química de aguas antárticas continentales

Laguna Lo				
Cr	41	0	41	41
Co	28	0	28	28
Zn	28	5	31	24
Cd	36	0	36	36
Sn	57	0	57	56
Sb	74	0	74	74
Laguna LE				
Cr	41	1	42	40
Co	30	0	30	29
Zn	39	9	45	32
Cd	36	0	36	36
SN	56	0	56	56
Sb	74	0	74	74
Laguna LH				
Cr	285	347	530	39
Co	30	4	32	27
Zn	236	303	450	21
Cd	233	279	430	35
Sn	52	4	55	49
Sb	447	528	820	73
Laguna LK				
Cr	41	1,5	42	39
Co	29	3	33	27
Zn	46	17	67	29
Cd	36	0	36	36
Sn	55	3	56	50
Sb	73	2,5	74	69

De acuerdo con Carrasco y Préndez (1991) los contenidos de Cd en suelos de la isla Rey Jorge están por sobre los valores dados para la corteza terrestre (Mason, 1966) y para suelos no contaminados (Page *et al.*, 1989; Ferguson, 1990); esto significa que debemos atribuirlos al material parental.

Por otra parte, la elevada presencia de Cd en las aguas analizadas, no parece tener su origen en el depósito de aerosoles atmosféricos, los cuales contienen este elemento en concentraciones menores que décimas de ng m⁻³ (Préndez y Vera, 1995).

Finalmente, con respecto a los elementos del cuarto nivel, mostrados en el Cuadro 6, cabe destacar: 1. altas concentraciones (comparativamente a las restantes lagunas) en As para las lagunas LI (9,6 µg/L) y LF (5,1 µg/L); 2. concentraciones del orden cien veces superiores para As (290 µg/L), Se (210 µg/L) y Bi (303 µg/L) en la laguna LH, valores que se sitúan sobre la norma chilena para As y para Se.

Cuadro 6

Concentraciones promedio, expresadas en $\mu\text{g/L}$, desviaciones estándar (D.E.) y rangos para As, Se, Te y Bi determinadas en las lagunas estudiadas de la península Fildes de la isla Rey Jorge.

Elemento	Promedio	D.E.	Máximo	Mínimo
$\mu\text{g/L}$				
Laguna LI				
As	9,6	5,8	17	2,8
Se	2,6	0,7	3,5	2,0
Te	0,5	0,4	1,1	0,2
Bi	0,8	0,8	1,9	0,1
Laguna LB				
As	2,0	1,4	3,5	0,2
Se	3,0	0,05	3,1	3,0
Te	0,01	0	0,01	0,01
Bi	BLD			
Laguna LA				
As	1,05	0,55	1,6	0,5
Se	2,5	0,73	3,4	1,6
Te	0,1	0	0,1	0,1
Bi	BLD			
Laguna LF				
As	5,1	0	5,1	5,1
Se	3,3	0	3,3	3,3
Te	0,3	0	0,3	0,3
Bi	BLD			
Laguna LR				
As	BLD			
Se	3,6	1,05	5,1	2,7
Te	0,47	0,43	0,9	0,04
Bi	BLD			
Laguna LO				
As	BLD			
Se	4,5	1,5	6,0	3,0
Te	BLD			
Bi	BLD			
Laguna LE				
As	1,6	0,7	2,3	0,9
Se	3,7	0,6	4,2	3,1
Te	BLD			
Bi	BLD			

Química de aguas antárticas continentales

Laguna LH				
As	145	205	290	0,7
Se	105	148	210	0,3
Te	1,2		1,2	
Bi	152	214	303	0,1
Laguna LK				
As	1,2	0,7	1,8	0,5
Se	2,3	0,9	3,3	1,2
Te	BLD			
Bi	BLD			

BLD=Bajo Límite de Detección

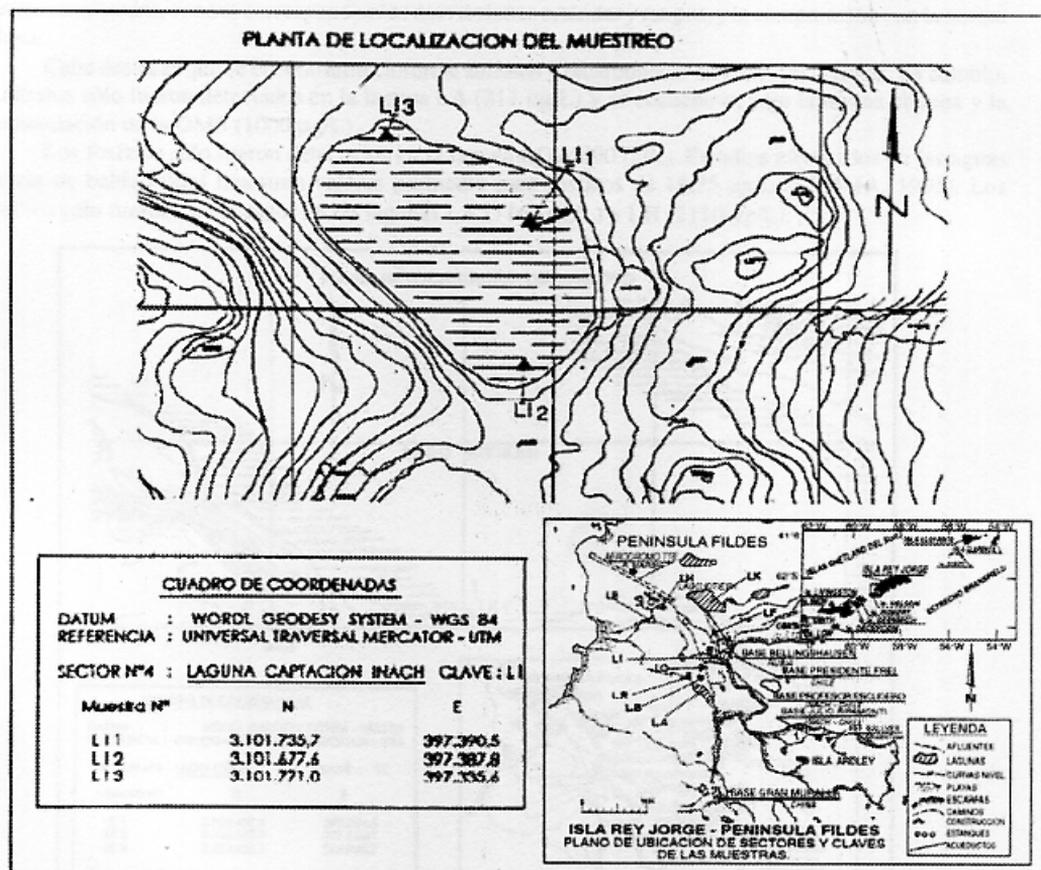


Fig. 5. Detalle de ubicación y coordenadas de los puntos de muestreo de la laguna denominada LI ubicada en la península Fildes, isla Rey Jorge, Shetland del Sur, Antártica.

Cuadro 7

Concentraciones promedio (Prom), expresadas en $\mu\text{g/L}$, desviaciones estándar (D.E.) y rangos (Máx y Mín) para aniones determinados en aguas dulces superficiales de la península Fildes de la isla Rey Jorge y valores según la norma chilena (N.Ch. 409/1).

Anión	Prom	D.E.	Máx	Mín	N.Ch
	$\mu\text{g/L}$				
Cl^-	23721	4259	35389	17643	250000
SO_4^{2-}	22765	17004	68932	6750	250000
HCO_3^-	21160	13514	57722	4594	
NO_3^-	211	0	211	211	10000
F^-	1640	471	2110	1169	1500
PO_4^{3-}	4890	0	4890	4890	

Con respecto a los aniones estudiados, el Cuadro 7 muestra las concentraciones promedio para las 25 muestras analizadas, con sus correspondientes desviaciones estándar y rangos, y la comparación con la norma chilena.

Cabe destacar que se encontraron cloruros, sulfatos y bicarbonatos en todas las lagunas; en cambio, los nitratos sólo fueron detectados en la laguna LA (211 $\mu\text{g/L}$) y se encuentran bajo la norma chilena y la recomendación de la OMS (1000 $\mu\text{g/L}$).

Los fosfatos sólo fueron detectados en la laguna LO (4890 $\mu\text{g/L}$). Estudios efectuados en las aguas costeras de bahía Fildes muestran valores promedio para fosfatos de 16,75 $\mu\text{g/L}$ (SOHMA, 1995). Los fluoruros sólo fueron encontrados en las lagunas LA (1169 $\mu\text{g/L}$) y LH (2110 $\mu\text{g/L}$).

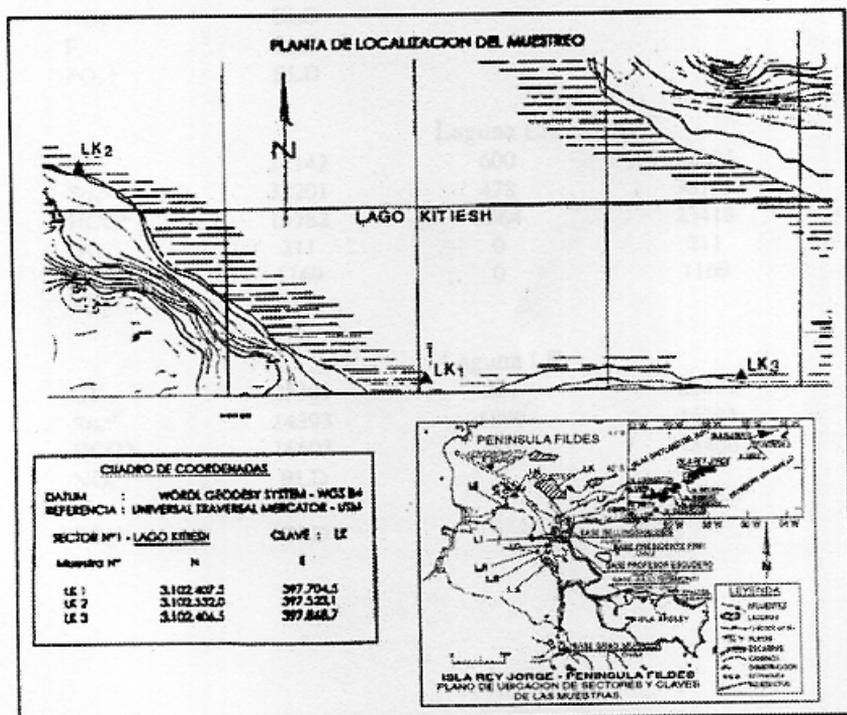


Fig. 6. Detalle de ubicación y coordenadas de los puntos de muestreo de la laguna denominada LK ubicada en la península Fildes, isla Rey Jorge, Shetland del Sur, Antártica.

Cuadro 8

En el Cuadro 8 se ntrega el detalle de las concentraciones de aniones determinadas en las diferentes lagunas estudiadas.

Concentraciones promedio, desviaciones estándar (D.E.) y rangos (Máx y Mfn), para aniones determinados en las diferentes lagunas estudiadas de la península Fildes de la isla Rey Jorge.

Anión	Promedio	D.E.	Máx	Mfn
μg/L				
Laguna LI				
Cl ⁻	20980	675	21470	20210
So ₄ ⁻²	6963	251	7240	6750
HCO ³⁻	16140	2252	18140	13700
NO ₃ ⁻	BLD			
F ⁻	BLD			
PO ₄ ⁻³	BLD			
Laguna LB				
Cl ⁻	21437	3241	23621	17714
So ₄ ⁻²	29407	5615	34355	23304
HCO ³⁻	45994	10323	57722	38281
NO ₃ ⁻	BLD			
F ⁻	BLD			
PO ₄ ⁻³	BLD			
Laguna LA				
Cl ⁻	22142	600	22834	21767
So ₄ ⁻²	38201	478	38719	37776
HCO ³⁻	19782	3564	23418	16295
NO ₃ ⁻	211	0	211	211
F ⁻	1169	0	1169	1169
PO ₄ ⁻³	BLD			
Laguna LF				
Cl ⁻	25301	221	25473	25052
So ₄ ⁻²	14393	1899	16331	12536
HCO ³⁻	16603	2479	18466	13789
NO ₃ ⁻	BLD			
F ⁻	BLD			
PO ₄ ⁻³	BLD			

Laguna LR				
Cl ⁻	18229	683	18979	17643
So ₄ ⁻²	25755	1130	26509	24456
HCO ₃ ⁻	5811	1703	7778	4826
NO ₃ ⁻	BLD			
F ⁻	BLD			
PO ₄ ⁻³	BLD			
Laguna LO				
Cl ⁻	24997	256	25178	24816
So ₄ ⁻²	67154	2515	68932	65375
HCO ₃ ⁻	4935	482	5276	4594
NO ₃ ⁻	BLD			
F ⁻	BLD			
PO ₄ ⁻³	4890	0	4890	4890
Laguna LE				
Cl ⁻	34413	1380	35389	33437
So ₄ ⁻²	6963	26	8785	8748
HCO ₃ ⁻	16140	4039	35736	30024
NO ₃ ⁻	BLD			
F ⁻	BLD			
PO ₄ ⁻³	BLD			
Laguna LH				
Cl ⁻	24935	206	25080	24789
So ₄ ⁻²	13240	170	13360	13120
HCO ₃ ⁻	37062	709	37563	36560
NO ₃ ⁻	BLD			
F ⁻	2110	0	2110	2110
PO ₄ ⁻³	BLD			
Laguna I.K				
Cl ⁻	25502	3285	29276	23279
So ₄ ⁻²	12632	1918	14666	10856
HCO ₃ ⁻	16310	1792	18373	15141
NO ₃ ⁻	BLD			
F ⁻	BLD			
PO ₄ ⁻³	BLD			

Un análisis comparativo de los Cuadros 7 y 8 demuestra que a excepción del flúor en la laguna LH, los restantes aniones se encuentran dentro de los valores aceptados por la norma chilena para agua potable.

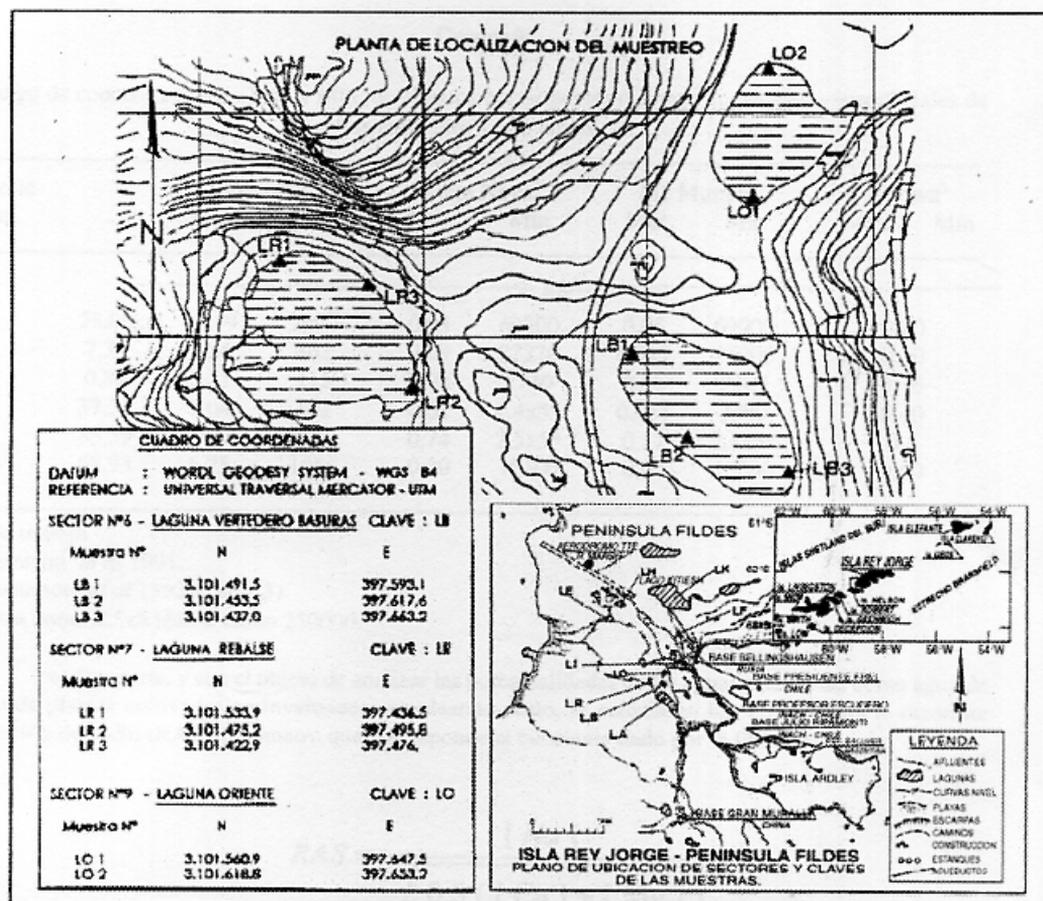


Fig. 7. Detalle de ubicación y coordenadas de los puntos de muestreo de las lagunas denominadas LB, LO y LR ubicadas en la península Fildes, isla Rey Jorge, Shetland del Sur, Antártica.

En el Cuadro 9 se entrega una comparación para los rangos de concentración de los componentes y elementos traza mayores para aguas de diferentes lagos y lagunas del territorio antártico y sub-antártico. Nótese que las concentraciones para McMurdo y Syowa no corresponden únicamente a aguas superficiales.

Estos resultados evidencian que las concentraciones de los componentes y elementos traza mayores en las aguas superficiales de Rey Jorge están dentro de los rangos informados para otros cuerpos de aguas continentales antárticas.

Puesto que las aguas de las lagunas estudiadas derivan fundamentalmente de las precipitaciones ocurridas a través del año en algunos casos, o básicamente en el período de invierno en otros, sería interesante comparar las concentraciones de elementos y aniones encontrados en este trabajo con las informadas en la literatura para nieve y hielo. Desafortunadamente la información disponible no resulta apropiada, puesto que no se refiere a nieve fresca sino a la encontrada en profundidad (Legrand y Delmas, 1986; Watanabe *et al.*, 1992) o a muchos kilómetros de la costa (Mulvaney *et al.*, 1993). Sólo aparece disponible el dato entregado por Kamiyama *et al.*, 1992, para sulfato superficial (0-2 m) correspondiente a 10-120 µg/L, valor muy inferior al encontrado en este trabajo.

Cuadro 9

Rango de concentraciones (Máx y Mín) de algunos componentes mayores en las aguas superficiales de sitios antárticos y sub-antárticos.

Especie Quím.	Rey Jorge ¹		Terra Nova ²		Mc Murdo ³		Syowa ³	
	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín
	µg/L							
Na	25,06	12,19	2990	0,23	69700	0,05	69000	0,40
Mg	7,39	1,64	462	0,09	27270	0,017	48000	0,20
K	0,89	0,37	215	0,08	2740	0,02	2900	0,10
Ca	37,35	7,04	162	0,02	1,4x5*	0,031	2500	0,40
Cl ⁻	35,39	17,60	4550	0,74	2,5x5*	0,17	2,1x5*	0,5
SO ₄ ²⁻	68,93	6,75	1056	0,30	13100	0,00	15000	0,60

¹ Este trabajo

² Cremisini *et al* 1991.

³ Matsumoto *et al* 1992 (Table 3).

* datos como 2,5x5 léanse como 250000.

Por otra parte, y con el objeto de analizar las potencialidades de las aguas estudiadas como agua de riego de plantas cultivadas en invernadero empleando suelo, se calcularon los valores para la razón de adsorción de sodio (RAS), parámetro que corresponde al cociente dado por la fórmula:

$$RAS = \frac{[Na]}{\sqrt{0,5 ([Ca] + [Mg])}}$$

El Cuadro 10 muestra los valores determinados para las aguas de las diferentes lagunas.

Cuadro 10

Valores promedio de la razón de adsorción de Na (RAS) y del valor promedio de la conductividad eléctrica (C.E.) para nueve lagunas de la isla Rey Jorge.

Laguna	RAS	C.E. ds/m
LI	1,590	0,15
LB	0,846	0,23
LA	1,184	0,23
LF	0,973	0,17
LR	0,725	0,17
LO	0,962	0,33
LE	1,416	0,21
LH	1,527	0,20
LK	1,281	0,15

A partir de los resultados anteriores y de acuerdo a las directrices para interpretar la calidad de las aguas para riego (Ayers y Westcot, 1987), es posible concluir que de emplearse las aguas analizadas en el riego de suelos en invernadero, no existirían restricciones debido a salinidad ni a toxicidad por sodio, pero sí existirían problemas, moderados a severos, en cuanto a infiltración por posible pérdida de la estructura del suelo.

CONCLUSIONES

Algunas de las aguas superficiales de las lagunas estudiadas en la isla Rey Jorge cumplen con los requisitos químicos exigidos para el consumo humano, de acuerdo a la norma chilena N. Ch. 409/1.

Se observa un no cumplimiento de la normativa para algunas especies químicas, a saber:

- Cd en todas las lagunas, estando la norma superada en 20 veces en la laguna LH y en alrededor de tres a cuatro veces en las restantes.
- Cr, As, Se y F- en la laguna LH.
- Fe en las lagunas LI, LF y en el punto de bombeo de las aguas de la laguna LH

La superación de la norma chilena de calidad de agua potable para Cd que se da en todas las lagunas no parece debida a una contaminación de tipo antropogénico, sino más bien a una condición natural, lo cual puede resultar más complejo al momento de tomar las medidas necesarias para el uso del agua.

La superación de la norma chilena de calidad de agua potable de las especies señaladas para las lagunas explicitadas debiera llevar a la autoridad correspondiente a instalar sistemas apropiados de purificación a la brevedad posible o a la decisión de prohibir el uso para bebida de las respectivas aguas.

Considerando la reglamentación existente para la eliminación de aguas servidas y la ausencia de grandes fuentes contaminantes, sería esperable que los requerimientos de calidad biológica de las lagunas estudiadas estuvieran satisfechos. No obstante, y en consideración a los resultados anteriores, sería muy necesario realizar el estudio biológico para establecer, sin lugar a dudas, la calidad biológica de todas las aguas.

Por otra parte, el empleo eventual de las aguas estudiadas para fines de riego, por ejemplo en ensayos de invernadero con suelos, induciría una disminución de la permeabilidad por pérdida de la estructura del suelo.

Una interpretación más integral de los resultados a procesos de química de la atmósfera requiere la información que se encuentra en curso en su fase analítica respecto de precipitaciones (agua y nieve) y aerosoles atmosféricos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer al Sr. Orlando Olivera, del Centro de Investigaciones Minero Metalúrgicas (CIMM), su colaboración al permitirles efectuar el análisis elemental de las aguas mediante la técnica analítica de ICP/MS, como parte de su proyecto Fondef, y a la Prof. Adriana Carrasco, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad de Chile, por su interesante contribución a la discusión de los resultados.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AYERS, R.S., y D.W. WESTCOT, 1987. La calidad del agua en la agricultura. Boletín N° 29 FAO, Revisión I.
- CARRASCO, M. A. and M. PRÉNDEZ, 1991. Element distribution of some soils of Continental Chile and the Antarctic Peninsula: Projection to atmospheric pollution. *J. of Water, Air, and Soil Pollution*, 57-58: 713-722, USA.
- CREMISINI, C., C. ORLANDINI y S. TORCINI, 1991. Mayor, Minor and Trace Elements in the surface waters at Terra Nova Bay (Antarctica). Data collected during the II, III, and IV Italian Expeditions (1986-1989) *Annali di Chimica*, 81: 563-577.
- INN, Chile, edición 1994. Norma Chilena Oficial para agua potable No 409/1, Instituto Nacional de Normalización.
- KAMIYAMA K, O. WATANABE and E. NAKAYAMA, 1992. Atmospheric conditions reflected in chemical components in snow over East Queen Maud Land, Antarctica. *Proc. NIPR Symp. Polar Meteorol. Glaciol.*, 6: 88-98.
- LEGRAND, M. and R. DELMAS, 1986. Relative contributions of tropospheric and stratospheric sources to nitrate in Antarctic snow. *Tellus* 38B: 236-249.
- MASON, B, 1966. *Principles of Geochemistry*. 3rd Ed., J. Wiley and Sons, NY.
- MATSUMOTO, G., S. NAKAYA, H. MURAYAMA, N. MASUDA, T. KAWANO, K. WATANUKI and T. TOKII 1992. Geochemical characteristics of Antarctic lakes and ponds. *Proceed. NIPR Symp. on Polar Biology*, 5: 125-145.
- MULVANEY, R., G.F.J. COULSON and H.F.J. CORR, 1993. The fractionation of sea salt and acids during transport across an Antarctic ice shelf. *Tellus* 45B: 179-187.
- PAGE, A. L., A.C. CHANG and D.C. ADRIANO, 1989. *Proceed. 2nd Internl. Symp. on Land Application of Sewage Sludge*. Nichiry Printing Industry Co. Ltd. Tokyo, Japan 175.
- PRÉNDEZ, M. y R.D. VERA, 1995. Modificación en el tiempo de los aerosoles atmosféricos de la base chilena Eduardo Frei Montalva: Evaluación Preliminar. *Proceed. Pags.: 293-311. En: Medrano, B.R. y E. Pereira (eds). Ciencias Espaciais e da Atmosfera na Antártica* Transtec Editorial Ltda., Sao Paulo, Brasil.
- SOHMA. 1995. Estudio comparativo de variables fisicoquímicas en aguas costeras y neríticas de la Bahía Fildes (Isla Rey Jorge). Instituto Antártico Uruguayo, Servicio de Oceanografía Hidrografía y Meteorología de la Armada.
- WATANABE, O., Y. FUJII and H. MOTOYAMA, 1992. Results of analyses of Mizuho 700 m Ice Core, East Antarctica. Part I. $\delta^{18}O$, Microparticles, ECM (Acidity), pH, Major Ions. *JARE Data Reports No 181 (Glaciology 20)* Nat. Inst. of Polar Res., Tokio.