

# Caracterización física y química de las aguas de los lagos Chungará y Cotacotani

Water Physical and Chemical Characterization of the Lakes Chungará and Cotacotani

PEDRO A. MLADINIC, NICOLAS V. HREPIC,  
EMILIO H. QUINTANA

Laboratorio de Contaminación Ambiental, Departamento de Química, Facultad de Ciencias, Universidad de Tarapacá, Casilla 747, Arica, Chile

Physical and chemical parameters of Chungará Lake were studied in a 19 month period (October 1982 to April 1984). In this time 15 samplings were made, each one at 0, 5, 10 m, Secchi and double Secchi depth. Temperature, pH, conductivity, dissolved oxygen total dissolved solids, nitrates, phosphates, silica, carbonates, bicarbonates, chlorides, sulfates, total hardness, sodium, potassium, calcium, magnesium, arsenic, lithium, boron, manganese, copper, aluminum, chromium, zinc and iron were measured. Water was classified following various criteria and quality standards. The same was made in surface sampling in Cotacotani Lake, between June 1983 and April 1984.

El lago Chungará se encuentra situado en la Primera Región entre los paralelos 18°10'S y 18°29'S junto a la frontera chileno-boliviana y a una altura de 4.520 m.s.n.m., lo que lo sitúa como el lago más alto del mundo. Tiene una superficie de aproximadamente 19 kilómetros cuadrados, un volumen de agua almacenada de 385 millones de metros cúbicos y una profundidad máxima de 32 metros. Son tributarios del lago Chungará las vertientes Ajata y Mal Paso y el estero Sopolane (1).

La laguna Cotacotani está situada a unos 4 km al noreste del lago Chungará y pertenece a la hoya del río Lauca. Está formada por cuatro lagunas de diferentes tamaños, conectadas mediante canales y bajos naturales. Tiene una superficie de 6 kilómetros cuadrados y un volumen de agua almacenada de 30 millones de metros cúbicos. Sus afluentes son el río Benedicto Morales y el estero El Encuentro y su descarga natural da origen al río Desaguadero, que vierte sus aguas en las ciénagas de Parinacota de donde nace el río Lauca (1).

En 1966 se inició el proyecto "Impulsión Ajata" destinado a bombear el agua del lago Chungará a las lagunas de Cotacotani. Esta obra quedó inconclusa, pero

en diciembre de 1981 se hizo entrega al Ministerio de Obras Públicas de un nuevo informe (1, 2), en enero de 1983 se iniciaron las obras y en octubre del mismo año se comenzó a bombear el agua hacia Cotacotani.

Ambos lagos forman parte del Parque Nacional Lauca (3), que en diciembre de 1981 fue declarado por la UNESCO integrante de la Red Internacional de Reservas de la Biosfera (4).

Dado que la información disponible (2, 5, 6) era escasa y contradictoria, en octubre de 1982 los autores de este trabajo iniciaron un muestreo sistemático en el lago Chungará y en junio de 1983 en las lagunas de Cotacotani, a fin de determinar la calidad química de sus aguas en relación a la variación en profundidad y estacional de sus diversos parámetros físicos y químicos y a su posible utilización como agua de riego y como agua potable.

## MÉTODOS

En el lago Chungará se establecieron dos estaciones de muestreo ubicadas, la primera de ellas, en el pedraplén de la casa de bombas y, la segunda, a 1.700 metros de la estación de bombeo y en la zona de mayor profundidad (32 m), mientras que en la laguna de Cotacotani las muestras

se colectaron solamente en superficie de la laguna principal.

El período de muestreo se extendió por 19 meses, comprendidos entre octubre de 1982 a abril de 1984. En el lago Chungará se realizaron 15 muestreos a profundidades variables de 0, 5, 10, Secchi y doble Secchi metros. La transparencia se determinó con el disco Secchi.

Las muestras obtenidas se almacenaron en frascos plásticos y cada muestra fue dividida en dos fracciones, una de ellas fijada a pH 2 con ácido nítrico y la otra refrigerada a la temperatura de + 4 grados centígrados. Las determinaciones de pH, temperatura y fijación de oxígeno disuelto se realizaron "in situ" y los análisis restantes se efectuaron en los laboratorios de la Universidad de Tarapacá en Arica, previa filtración de las muestras por placa porosa G-4 (10-16  $\mu$ m).

Las metodologías de análisis utilizadas corresponden a las establecidas por la American Public Health Association (A.P.H.A.) (7, 8) para: temperatura, pH, conductividad específica, oxígeno disuelto, sólidos totales disueltos, nitratos, fosfatos, alcalinidad, cloruros, dureza total, metales, arsénico, sulfatos, sílice y boro. Los elementos traza se determinaron por absorción atómica, previa concentración por coprecipitación-flotación coloidal (9). Todos los análisis químicos se hicieron en duplicado, con excepción del oxígeno disuelto que se hizo en triplicado.

## RESULTADOS Y DISCUSION

Las variaciones anuales de temperatura y pH del agua del lago Chungará, a las profundidades de 0, 5 y 10 metros, se ilustran en las figuras 1 y 2.

Los promedios de los análisis realizados en las muestras del lago Chungará, laguna Cotacotani y canal Lauca aparecen en la Tabla I.

Para el lago Chungará se puede concluir que existe uniformidad, tanto en el tiempo como en profundidad, de las concentraciones de sales solubles para la gran mayoría de los componentes determinados. Se exceptúan de ello el litio y los nutrientes, cuya variación estacional y en profundidad está en relación con la productividad primaria del lago (17). Las variaciones anuales de oxígeno disuelto, litio, boro, nitratos, fosfatos y sílice del agua del lago Chungará se ilustran en las figuras 3, 4 y 5. En la laguna Cotacotani y en el canal Lauca tampoco se observan variaciones estacionales significativas para los componentes analizados.

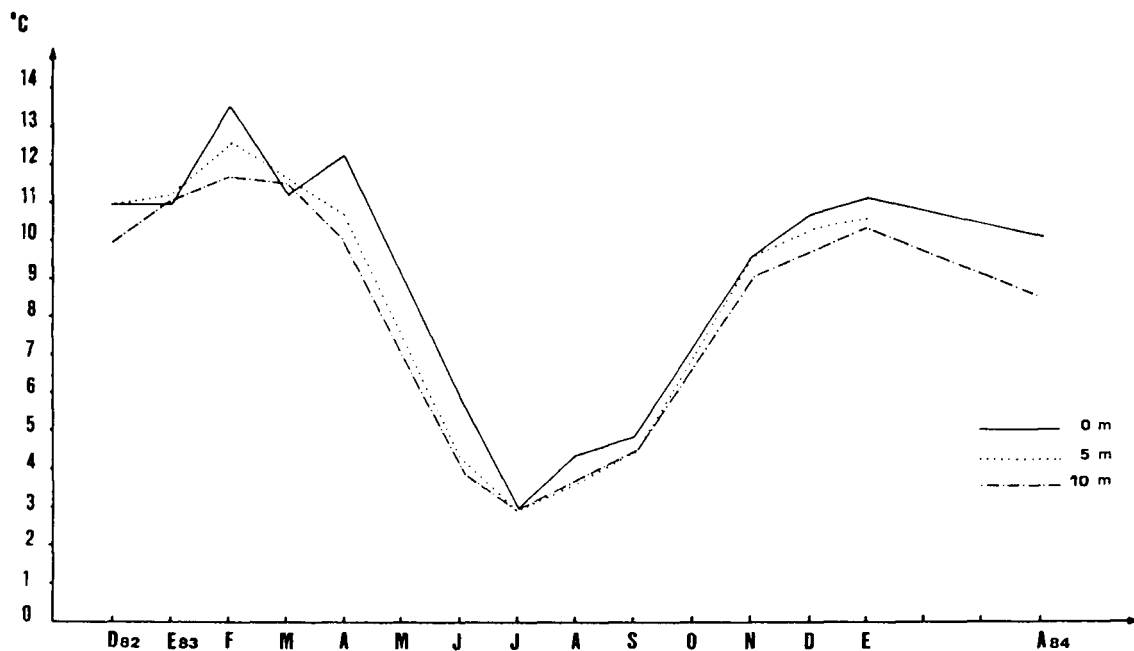


Fig. 1: Variación anual de temperatura del agua del lago Chungará, a diferentes profundidades.

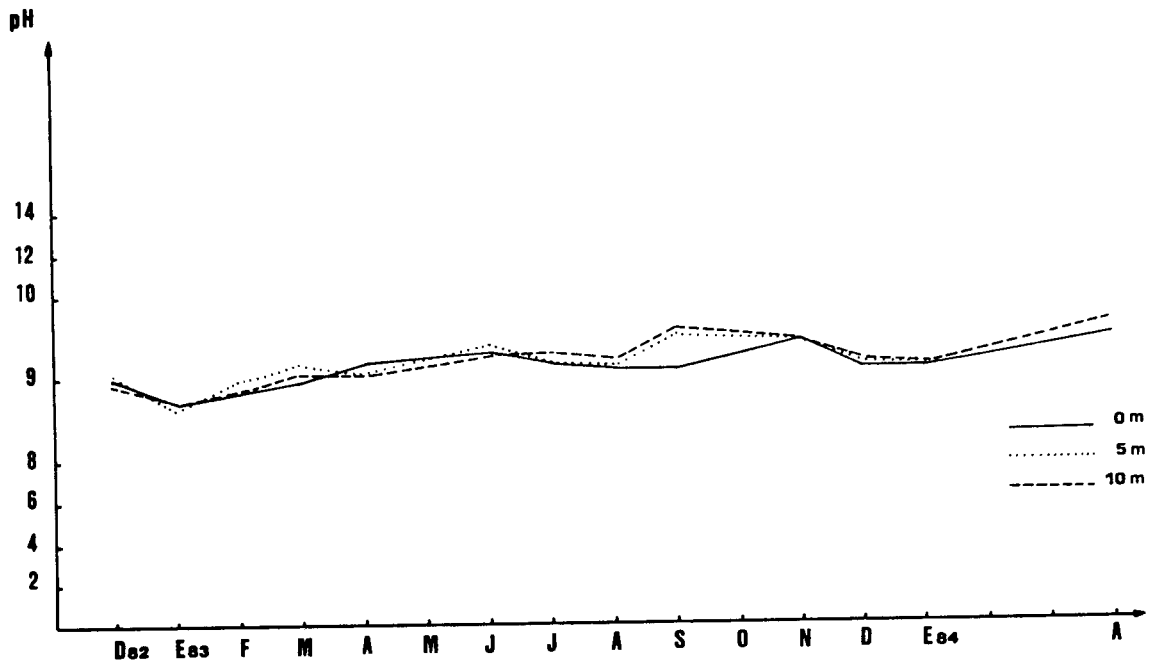


Fig. 2: Variación anual del pH del agua del lago Chungará, a diferentes profundidades.

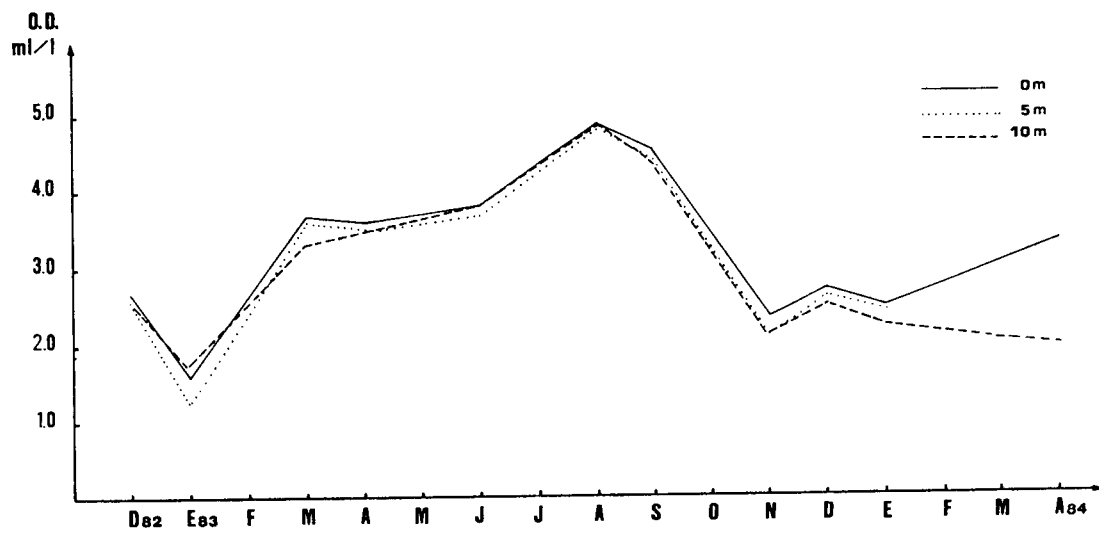


Fig. 3: Variación anual del contenido de oxígeno disuelto del agua del lago Chungará, a diferentes profundidades.

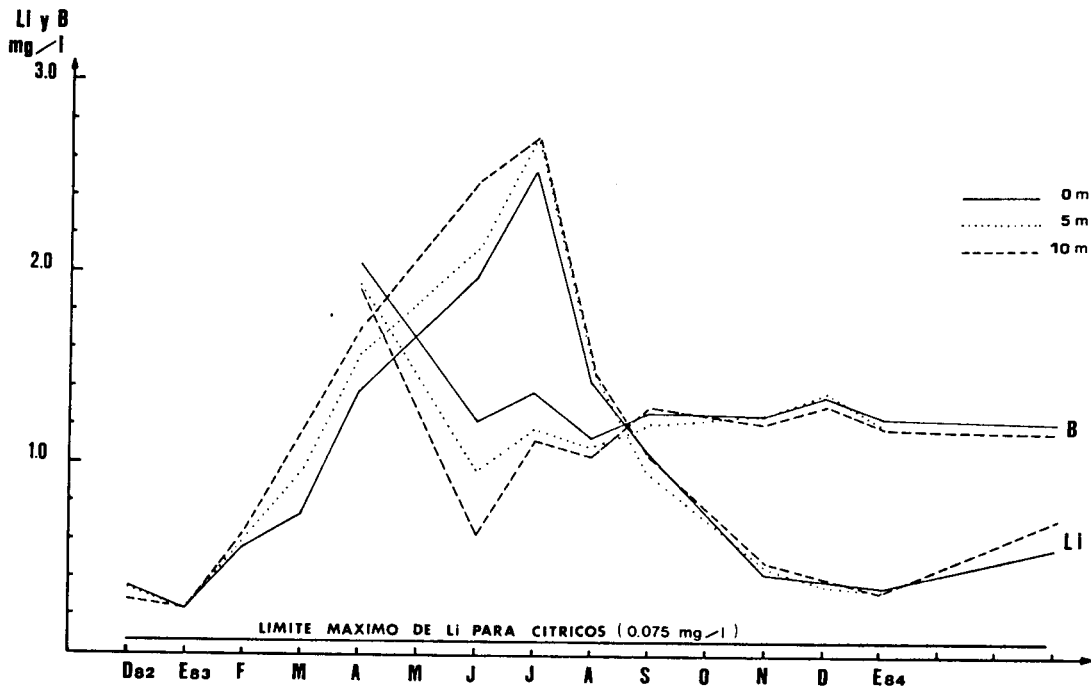


Fig. 4: Variación anual de la concentración de litio y boro en el agua del lago Chungará, a diferentes profundidades.

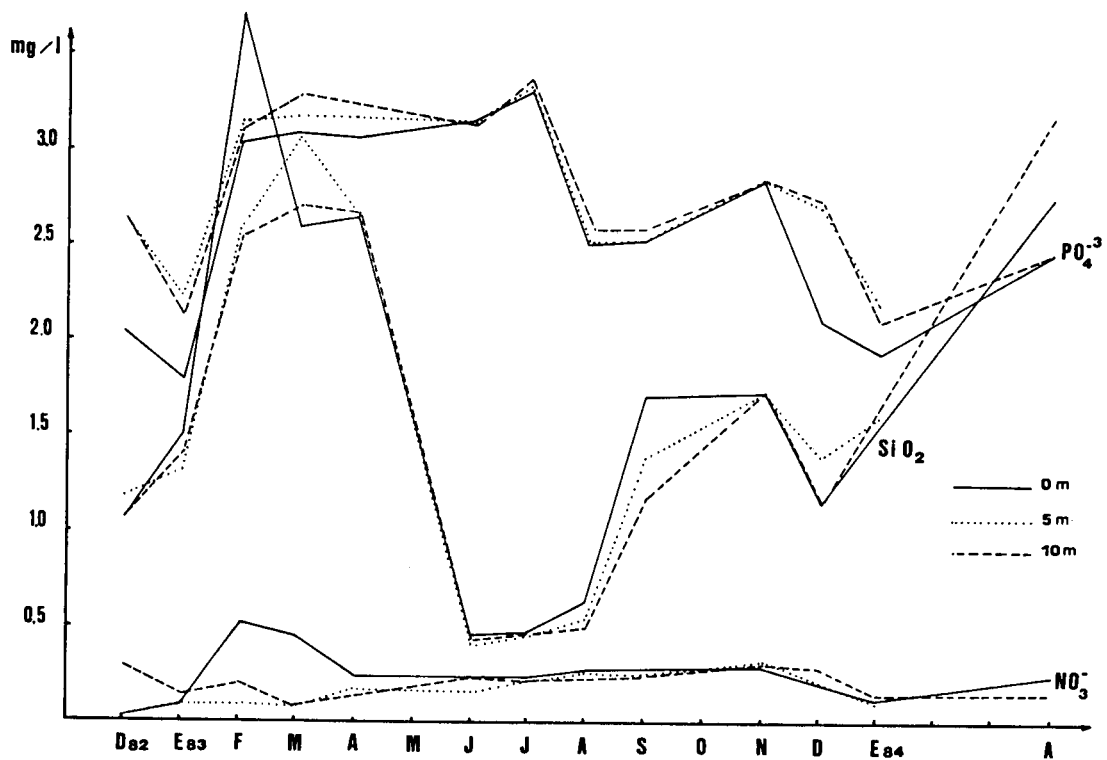


Fig. 5: Variación anual de la concentración de nitratos, fosfatos y sílice en el agua del lago Chungará, a diferentes profundidades.

TABLA 1

Promedios y % de variabilidad de análisis físicos y químicos del agua del lago Chungará, laguna Cotacotani y canal Lauca (Octubre de 1982 a abril de 1984)

Componentes determinados	Lago Chungará		Laguna Cotacotani		Canal Lauca	
	$\bar{x}$	% V	$\bar{x}$	% V	$\bar{x}$	% V
Temperatura °C	8,72	34,2	8,38	29,6	9,83	16,8
pH	9,12	2,4	8,96	3,0	7,72	3,5
C.E. 25°C umhos/cm	1.399,2	8,0	848,8	4,2	628,0	22,2
Oxígeno disuelto ml/l	2,93	29,4	4,20	12,6		
Sólidos totales dis. mg/l	1.171,9	16,0	781,1	0,5	612,0	14,7
Sólidos tot. dis. fijos mg/l	848,2	5,2	620,4	4,2	488,7	14,8
Sólidos tot. dis. volátiles	323,7	57,7	168,7	9,0	123,3	17,2
Nitratos (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ), mg/l	0,176	41,5	0,150	3,3	0,216	1,8
Fosfatos (PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> ), mg/l	2,62	17,2	1,15	17,4	0,74	27,8
Sílice (SiO <sub>2</sub> ) mg/l	1,57	56,7	27,67	10,0	29,3	1,2
Carbonatos (CO <sub>3</sub> <sup>-2</sup> ) mg/l	52,8	30,1	31,5	5,1	0	0
Bicarbonatos (HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) mg/l	330,6	6,2	259,9	3,4	217,0	25,0
Cloruros (Cl <sup>-</sup> ) mg/l	66,0	3,9	36,4	4,4	34,4	7,6
Sulfatos (SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> ) mg/l	394,7	3,3	284,4	3,0	152,6	2,8
Dureza total (CaCO <sub>3</sub> ) mg/l	515,3	3,4	357,2	2,5	224,2	34,0
Sodio (Na), mg/l	147,8	1,2	77,2	3,4	61,0	12,6
Potasio (K) mg/l	36,7	14,6	23,4	15,4	14,5	15,9
Calcio (Ca) mg/l	40,0	16,4	31,9	5,0	46,8	1,9
Magnesio (Mg) mg/l	95,7	6,1	30,9	2,8	28,9	29,8
Arsénico (As) mg/l	0,025	20,0	0,020	5,0	0,023	8,7
Litio (Li) mg/l	0,89	8.314	0,133	21,8	0,157	16,6
Boro (B) mg/l	1,25	21,6	0,49	4,1	0,473	4,4
Manganeso (Mn) ug/l	100,5	2,7	55,3	14,3	55,0	13,8
Cobre (Cu) ug/l	49,0	5,9	42,7	12,2	42,2	13,7
Aluminio (Al) ug/l	20,2	8,9	13,2	10,6	12,4	8,1
Cromo (Cr) ug/l	7,1	14,0	2,0	60,0	2,4	12,5
Cinc (Zn) ug/l	13,7	12,8	12,0	10,0	11,2	11,6
Hierro (Fe) ug/l	102,1	2,2	62,5	1,8	59,8	2,3

En el lago Chungará la relación Mg/Ca tiene un valor promedio de 3,93, lo que indica una condición desfavorable para utilizarla como agua de riego (5). Esta relación baja a 1,62 para la laguna Cotacotani y a 1,02 en canal Lauca.

Usando criterios de clasificación de la U.S. Salinity Laboratory (11, 12) y el SAR corregido (13), el agua del lago Chungará tiene una conductividad equivalente y una razón de adsorción de sodio (SAR corregido) que determinan su clasificación en la clase C3S2, lo que significa que existe el riesgo de acumulación de sodio en suelos arcillosos y pobres en materia orgánica, especialmente si el drenaje no es adecuado y no hay yeso presente en el suelo. El agua de la laguna de Cotacotani se clasifica en la clase C3S1 y corresponde a agua de

salinidad media a alta, el contenido de sodio es bajo y puede usarse para el riego en la mayoría de los suelos. El agua del canal Lauca clasifica en la clase C2S1 y corresponde a agua de salinidad media, que puede ser utilizada en casi todos los casos, sin necesidad de cuidados especiales.

De acuerdo al criterio de Wilcox y Magistad (14), para aguas de uso agrícola, el agua del lago Chungará se clasifica en la clase II que corresponde a "buena a perjudicial". Esta ubicación queda determinada por su conductividad y contenido de boro. En cambio, el agua de la laguna Cotacotani y del canal Lauca se sitúan en la clase I, que corresponde a "excelente a buena".

Aunque el boro es un elemento esencial para el desarrollo de las plantas, sus límites de tolerancia son muy estrechos y están en

relación el tipo de cultivo. Scofield (12) estableció una clasificación de acuerdo a los límites permisibles de boro en las aguas de riego y de acuerdo a la tolerancia de los cultivos. La clasificación del agua del lago Chungará, según este criterio, indica toxicidad grave para cultivos sensibles y un contenido normal de boro para cultivos semitolerantes y tolerantes.

En el lago Chungará, boro, litio (para cítricos), porcentaje de sodio y sulfato superan a los límites establecidos por la norma chilena para aguas de riego (15). El litio incluso supera el límite general de 2,5 mg/l, en algunos meses.

Los residuos sólidos filtrables, sulfatos y pH superan a los límites máximos establecidos por la norma chilena para agua potable (16).

#### REFERENCIAS

1. KARZULOVIC, J. (1981) Plan maestro de acción inmediata para el sistema de riego del Valle de Azapa, Región de Tarapacá, Instancia final, Documentos de Trabajo. Volumen I, Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Obras Públicas, Dirección de Riego, Santiago de Chile.
2. EDWARDS, R. Y KARZULOVIC, J. (1981) Plan Maestro de acción inmediata para el sistema de riego del Valle de Azapa, Región de Tarapacá, Instancia final, Informe general. Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Obras Públicas, Dirección de Riego, Santiago de Chile.
3. MINISTERIO DE AGRICULTURA (1970) Decreto Supremo N° 270.
4. UNESCO, París (1981) Resolución 15/XII/1981 y 25/XI/1983.
5. ZAMBRANO, L. (1966) Calidad de las aguas del Lago Chungará, de los ríos Lauca y Vitor y de un pozo de Chaca, Boletín Técnico N° 22, Universidad de Chile, Facultad de Agronomía, Estación Experimental Agrícola, Santiago de Chile.
6. ZUMAETA, O. (1979) Análisis químico de las aguas de riego del Valle de Azapa, *Idesia* 5, 82.
7. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, American Public Association, Water Works Association, Water Pollution Control Federation, (1975).
8. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, American Public Association. Water Works Association, Water Pollution Control Federation, (1980).
9. MLADINIC, P.A. Y QUINTANA, E.H. (1984) Preconcentración de trazas de metales pesados por coprecipitación y flotación coloidal. *Bol. Soc. Chil. Quím.*, 29; 91-93.
10. *Annual Book of ASTM Standards, (1971) American Society for Testing and Material, Part 31, Philadelphia.*
11. *Suelos Salinos y Sódicos, Manual de Agricultura N° 60, (1954) Secretaría de Agricultura, Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas, México.*
12. JACKSON, M.L. (1964) *Análisis químico de suelos*, Omega S.A., Barcelona.
13. AYERS, R.S. Y WESTCOT, D.W. (1976) Calidad del agua para la agricultura, Informe N° 29, FAO, Roma.
14. TRUJILLO, A. Y ZAMBRANO, L. (1966) Composición química del agua de riego de un sector de la comuna de Maipú. Boletín Técnico N° 22, Universidad de Chile, Facultad de Agronomía, Estación Experimental Agrícola, Santiago de Chile.
15. Norma chilena oficial NCh 1333, INN, Santiago de Chile, (1978).
16. Norma chilena oficial NCh 409/1, INN, Santiago de Chile, (1983).
17. SANZANA, J. (1984) Estudio limnológico en el Lago Chungará, Universidad de Tarapacá, Departamento de Investigación y Desarrollo Científico, Arica.