

# PRIMEROS RESULTADOS HIDROGEOQUÍMICOS DE LA CONCENTRACIÓN DE ELEMENTOS MAYORES Y NITRATO EN AGUAS SUPERFICIALES Y PROFUNDAS DEL SUR Y SUROESTE DE URUGUAY

Martínez<sup>1</sup>, M.; Arló<sup>1</sup>, L.; Bossi<sup>2</sup>, J. y Morales<sup>2</sup>, H.

Recibido: 14 de abril de 2000. Aceptado: 20 de julio de 2000.

## RESUMEN

Se realizaron análisis químicos de iones mayores y nitrato en aguas superficiales y profundas, de dos regiones geológicamente diferentes del suroeste de Uruguay, sedimentaria y cristalina. Se verificaron diferencias en cuanto al comportamiento de los iones respecto de sus concentraciones y distribución, posiblemente atribuibles a los diferentes ambientes. En el área cristalina rocas poco porosas y poco permeables, y en el área sedimentaria, mineralogías más fácilmente solubilizables.

**PALABRAS CLAVE** : hidrogeoquímica , aguas naturales, región cristalina y sedimentaria, iones mayores y nitrato en aguas.

## SUMMARY

### FIRST HIDROGEOCHEMICAL RESULTS: CONCENTRATION OF MAYOR ELEMENTS AND NITRATE IN SURFACE AND GROUND WATERS OF SOUTH AND SOUTHWEST URUGUAY

Chemical analysis of mayor ions and nitrate in surface and groundwaters were carried out in two geologically different regions , sedimentary and cristaline. Differences were verified regarding the ions behaviour, their concentration and distribution, possibly attributed to the different enviroments. In the cristaline area the rocks have few porous and scarce permeability, and in the sedimentary area the mineralogies are more easily solubilized

**KEY WORDS** : hidrogeochemistry, natural waters, cristaline and sedimentary region, mayor iones and nitrate in waters.

## INTRODUCCIÓN

El trabajo tuvo como objetivo relevar y comparar valores de iones mayores y nitrato, de aguas superficiales y de pozos perforados con más de 15 metros de profundidad y ubicación geográfica verificada, distribuidas en dos áreas geológicas diferentes, cristalina y sedimentaria. Estas áreas conforman sistemas acuíferos distintos, los cuales impartirían diferente composición química a las aguas. Con ello se pretende lograr un aporte a la naturaleza química de las aguas naturales de éstas dos regiones.

## Geología del área estudiada

En los departamentos de Soriano, Colonia, San José, Flores, Florida y Canelones se han obtenido suficientes valores para permitir un intento de diferenciación entre comportamiento químico de las aguas de rocas sedimentarias y cristalinas.

En la Figura 1 se muestra la carta geológica simplificada del área estudiada, abarcando las dos zonas cuyo estudio comparativo se encara en este ensayo.

Desde el punto de vista geológico, el total del área estudiada consiste en un zócalo cristalino de más de 1800 millones de años en el que se produjo una fosa tectónica hace unos 150 millones de años rellena hasta espesores de 2000 metros por sedimentos del cretácico inferior y luego una sedimentación de depósitos más modernos en toda la zona litoral. Esta estructura geológica ha determi-

1. Cátedra de Química , Facultad de Agronomía, Montevideo.

2. Cátedra de Geología, Facultad de Agronomía. Avda. E.Garzón 780 12900 - Montevideo, Uruguay.

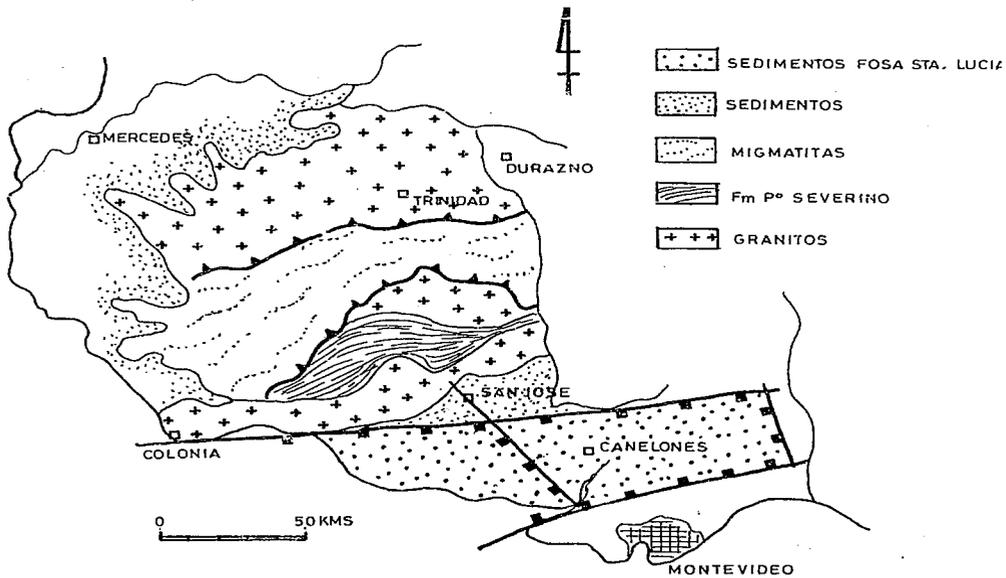


Figura 1. Esquema geológico simplificado del área estudiada.

nado una zona sedimentaria en los alrededores de la ciudad de Canelones dentro de la fosa tectónica de Santa Lucía y otra zona al NW que incluye las ciudades de San José y Trinidad donde el subsuelo está construido por migmatitas, granitos y metamorfitas de la formación Paso Severino (Bossi *et al.*, 1998).

El área sedimentaria abarca una superficie de 2700 Km<sup>2</sup> y en su evolución ha experimentado un movimiento de báscula con hundimiento hacia el oeste, determinado un predominio de los sedimentos más antiguos hacia el extremo oriental. En la Figura 2 se expone la carta geológica elaborada por Bossi *et al.* (1998), muy simplificada.

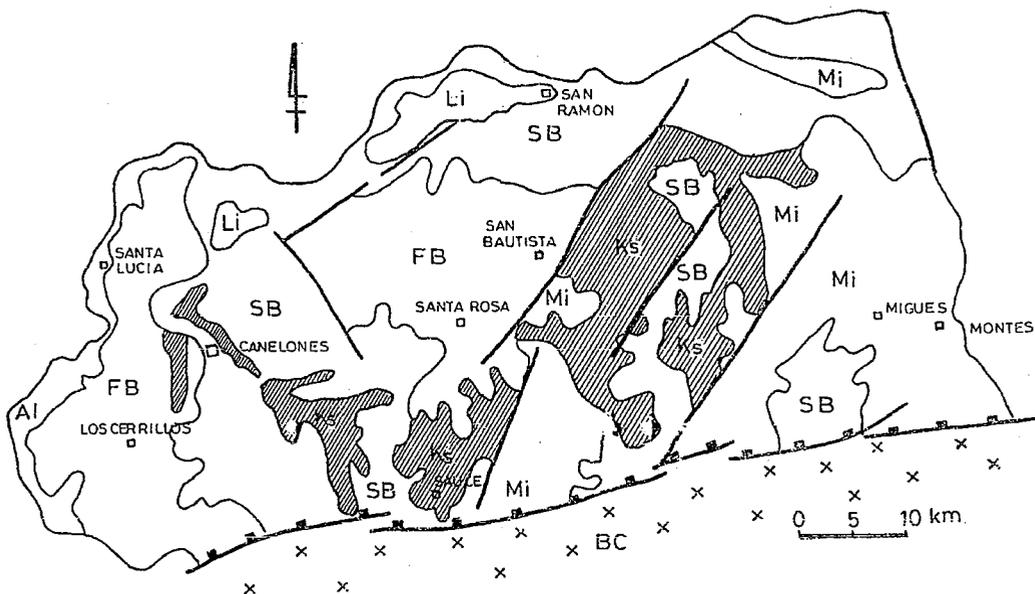


Figura 2. Esquema geológico simplificado del área sedimentaria del departamento de Canelones. Al= aluviones recientes; Li= formación Libertad; SB= miembro San Bautista de la Formación Raigón; FB= formación Fray Bentos; K<sub>s</sub>= formación del Cretácico Superior (Mercedes y Asencio); Mi= formación Miguez; BC= Basamento Cristalino.

El área cristalina abarca una superficie de 14000 km<sup>2</sup> y según los datos de Bossi *et al.* (1996) se desarrolla en fajas de rumbo groseramente NE con límites tectónicos subhorizontales que en su expresión más simplificada se han expuesto en la figura 1.

### Hidrogeología

La geología del área estudiada define dos regiones diferentes respecto a la edad y génesis de las rocas allí existentes. Hidrogeológicamente esta subdivisión lleva a definir dos zonas con comportamiento distinto con relación al tipo de sistema acuífero presente en cada caso.

El área cristalina, donde el tipo de rocas existentes son: genéticamente poco permeables y poco porosas, sólo es posible la circulación y almacenamiento de agua subterránea, en áreas localizadas donde se han desarrollado episodios tectónicos distensivos en fase rígida que trituraron las rocas generando en las mismas porosidad secundaria. Esta particularidad condiciona la recarga superficial de los acuíferos de fisura, o conductores hidráulicos a las existencias de cursos de aguas superficiales con carácter permanente en el área de fracturación.

La zona sedimentaria está constituida por distintas formaciones geológicas, siendo la más antigua, cretácico inferior y la más moderna cuaternaria. Las litologías psamíticas y psefíticas presentes en algunas de ellas permiten el desarrollo de un sistema acuífero, donde el agua circula por los macroporos existentes en el sedimento, conformando un "acuífero poroso" de carácter regional o semirregional. La recarga superficial de este sistema se realiza a partir de las áreas aflorantes, de curso de agua entallados en sus dominios y a través de los acuitardos que en algún caso las cubren. Estos acuitardos se corresponden con las formaciones Fray Bentos y Libertad. Las fracciones finas (psamitas y pelitas) de estas unidades contienen cantidades apreciables de feldespatos-calcosódicos y/o ferromagnesianos (hornblenda), según Bossi y Navarro (1991). A su vez en ambos casos se observa un elevado contenido de carbonato de calcio bajo formas concrecionales y/o pulverulentas. Por lo tanto antes de llegar al acuífero el agua tiene un alto tiempo de residencia en estratos superiores, permitiendo esas condiciones la solubilización de aquellos iones más lábiles que pueden existir en los estratos superiores.

### MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo consistió en el análisis de datos obtenidos de dos fuentes:

a) Información correspondiente a aguas superficiales, tanto en la zona del cristalino como del sedimentario, y la

correspondiente a cierto número de muestras de aguas subterráneas de ambas regiones provino de realizar el análisis químico de iones mayores y nitrato, en las aguas naturales recolectadas por los estudiantes del Taller de Recursos Naturales de la Facultad de Agronomía, previo asesoramiento de los requisitos necesarios para la obtención de una toma en forma representativa y con ubicación exacta de la misma en coordenadas coplanares.

b) Información correspondiente a cierto número de muestras de aguas profundas en la zona sedimentaria provino de relevar pozos perforados realizados por PRENADER (Programa Nacional de Riego) y OSE (Obras Sanitarias del Estado), utilizando los datos químicos aportados por OSE para Bossi *et al.* (1999); y para las aguas profundas de la zona cristalina, se incorporó la información de Bossi *et al.* (1995) y Martínez M. (1997).

### Extracción de muestras:

**Aguas superficiales.** Las muestras fueron extraídas en circunstancias de encontrarse agua "corriendo" y con posibilidad de medir dicho caudal. La metodología de extracción fue la recomendada por International Standard ISO 5667-2,(1991) y 5667-3,(1985). Todas las muestras fueron recogidas durante los meses de diciembre y enero.

**Aguas subterráneas.** Las muestras fueron extraídas de pozos semi-surgentes o perforados cuyo caudal, profundidad y nivel dinámico eran conocidos según International Standard ISO 5667-11, (1993).

La metodología de extracción fue la recomendada por International Standard ISO 5667-2,(1991) y 5667-3, (1985). Para la toma de estas muestras no se tomó en cuenta la estación del año.

### Análisis químico de iones mayores y nitrato:

Bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ): Método volumétrico por formación de  $\text{H}_2\text{CO}_3$  (Custodio, 1989).

Se tomaron 10,0 mL de muestra, se adicionó rojo de metilo como indicador y se tituló con ácido clorhídrico 0,050N hasta punto final. El resultado se expresó en ppm  $\text{HCO}_3^-$ .

Cloruro ( $\text{Cl}^-$ ): Método volumétrico por formación de Cloruro Mercuríco.

El procedimiento se realizó según Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 18<sup>th</sup> ed.1992.

Se tomaron 10,0 mL de muestra y con ácido nítrico 0,1N se llevó a un pH de  $2,5 \pm 0,1$ , recomendado para obtener un buen punto final con difenilcarbazona como indicador y se tituló con nitrato mercuríco 0,010N. El resultado se expresó en ppm  $\text{Cl}^-$ .

Dureza Total ( $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$ ) : Método volumétrico de titulación con EDTA.

El procedimiento se realizó según Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 18<sup>th</sup> ed. 1992.

Se tomaron 10,0 mL de muestra, mediante el agregado de un buffer se llevó a pH  $10,0 \pm 0,1$  y se tituló con EDTA usando negro de eriocromo T como indicador. El resultado se expresó en ppm  $\text{CaCO}_3$  (carbonato de calcio).

Sodio: Método espectroscopía de emisión atómica. El procedimiento se realizó según las normas ISO 9964-3 (1993) modificado. Se prepararon soluciones patrón de sodio de concentraciones exactamente conocidas que cubrieron el intervalo de 0 a 2 ppm  $\text{Na}^+$ . Se diluyeron las muestras para producir valores dentro del intervalo. El resultado se expresó en ppm  $\text{Na}^+$ .

pH : El procedimiento se realizó según Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 18<sup>th</sup> ed. 1992.

Las medidas se obtuvieron utilizando un pHmetro ORION modelo 230 A, el resultado se expresó en unidades de pH.

Conductividad: El procedimiento se realizó según Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 18<sup>th</sup> ed. 1992.

Las medidas se obtuvieron utilizando un conductímetro ORION modelo 122, el resultado se expresó en microsiemens por centímetro, ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), corregido a 25°C.

Nitrato: Método del electrodo selectivo para nitrato.

El procedimiento se realizó según Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 18<sup>th</sup> ed. 1992. El resultado se expresó en ppm N.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En esta sección se realizó la descripción del comportamiento químico de las aguas superficiales y profundas en cada una de las regiones estudiadas, sedimentaria y cristalina; se establecieron posibles correlaciones entre las concentraciones de algunos iones.

### Región sedimentaria:

#### Aguas superficiales:

Los histogramas que se muestran en la Figura 3, permitieron realizar la siguientes observaciones:

El contenido en nitrato es bajo, más del 95% de las muestras están por debajo de 2 ppm N y el 100% por debajo de 10 ppm N (límite de potabilidad química).

En el 93% de las muestras el contenido de cloruro no supera 60 ppm de  $\text{Cl}^-$  (1,7 meq/L).

El contenido de sodio se encuentra en un amplio rango con valores mayores a 150 ppm de  $\text{Na}^+$ , encontrándose el 81% del total en valores hasta 100 ppm  $\text{Na}^+$  (4,3 meq/L).

Con respecto al contenido de calcio y magnesio, que representa la dureza total de la muestra, en el 82% del total presenta un intervalo entre los valores 50 y 150 ppm  $\text{CaCO}_3$  (entre 1 y 3 meq/L).

El contenido de sales totales medido en la magnitud de conductividad presenta un intervalo entre los valores 125 y 500 microsiemens por centímetro que representa en términos muy generales una concentración total de iones de 2,5 hasta 10 meq/L en el 79% de las muestras.

En cuanto al contenido de los cationes mayores, sodio, calcio y magnesio, comparando magnitudes relativas (meq/L), se puede decir que estas aguas poseen mayor proporción de sodio.

#### Aguas profundas :

De la Figura 4, se desprenden los siguientes comentarios:

Con respecto al nitrato, 73% del total de las muestras no superan el límite de potabilidad química de 10 ppm N.

El contenido de cloruro se encuentra distribuido homogéneamente en un amplio rango, desde valores bajos hasta valores de 450 ppm  $\text{Cl}^-$  (12,7 meq/L).

En el 62% de las muestras el contenido de sodio no supera las 200 ppm  $\text{Na}^+$  (8,7 meq/L), aunque el porcentaje restante se distribuye en valores desde 250 a mayores de 500 ppm  $\text{Na}^+$ .

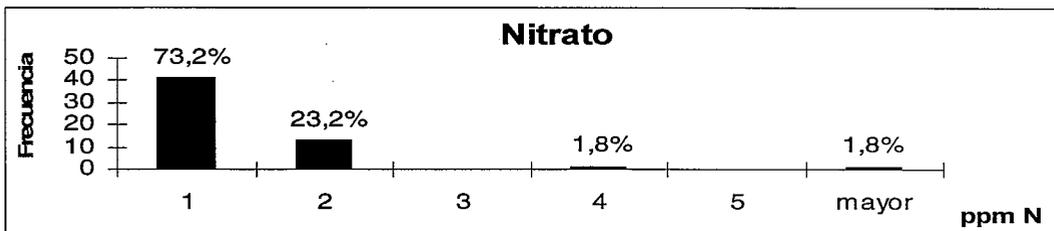
El contenido de calcio y magnesio (dureza total de la muestra) presenta un intervalo entre los valores 200 y 400 ppm  $\text{CaCO}_3$  que representa entre 4 y 8 meq/L, en el 74% del total.

El 62% de las muestras presentan un contenido de sales totales, medido en la magnitud de conductividad, que va de 500 a 1500 microsiemens por centímetro (aproximadamente entre 10 hasta 30 meq/L), el porcentaje restante se distribuye homogéneamente hasta valores mayores a 3500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

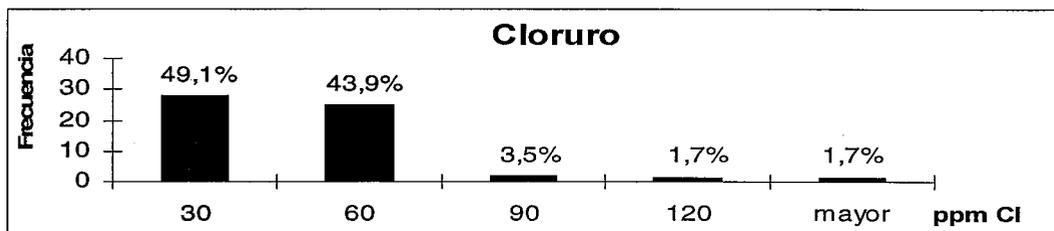
Relacionando los histogramas para cloruro y sodio en esta situación, se observa que, porcentajes similares de muestras están distribuidas en rangos similares de concentración, así es que el 59% de las muestras contienen cloruro en un rango de hasta 8,4 meq/L y el 62% contiene sodio en un rango de hasta 8,7 meq/L.

La tendencia del comportamiento catiónico en aguas profundas se parece a lo observado en aguas superficiales, de tener mayor contenido relativo de sodio que de calcio y magnesio.

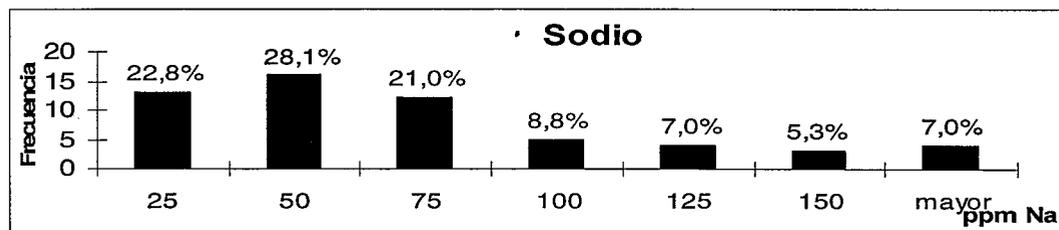
Comparando las aguas profundas y superficiales de esta región, se establece que:



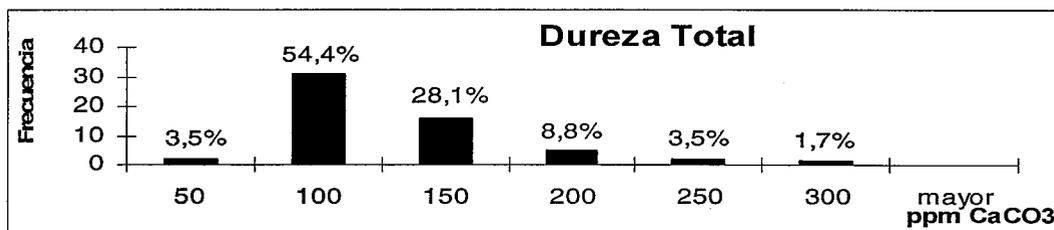
Total: 56; Promedio: 0,90 ; Desviación estándar: 0,82



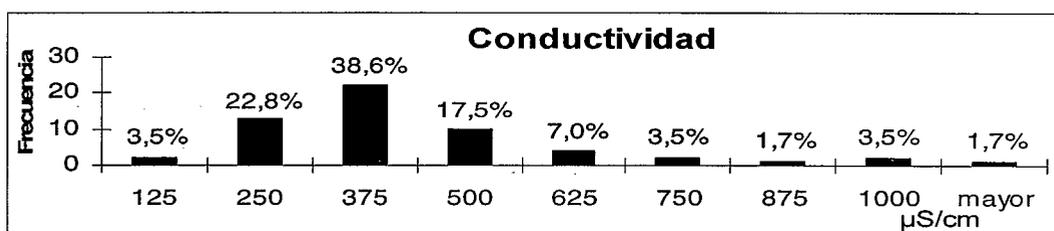
Total: 57 ; Promedio: 37,4 ; Desviación estándar: 28,6



Total: 57 ; Promedio: 66,8 ; Desviación estándar: 55,6

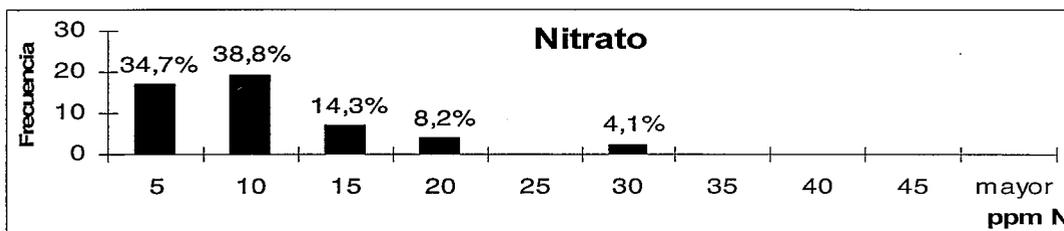


Total: 57 ; Promedio: 106 ; Desviación estándar: 47

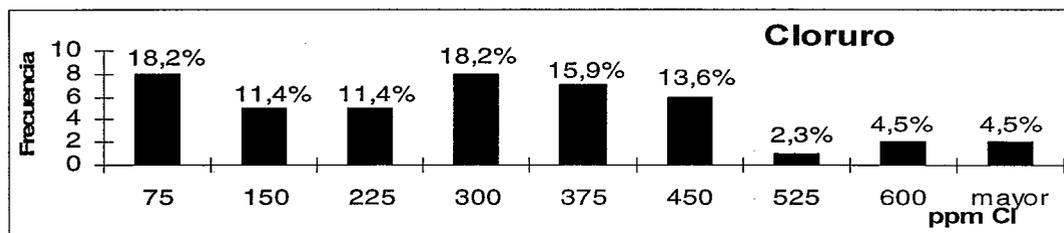


Total: 57 ; Promedio: 3747 ; Desviación estándar: 237

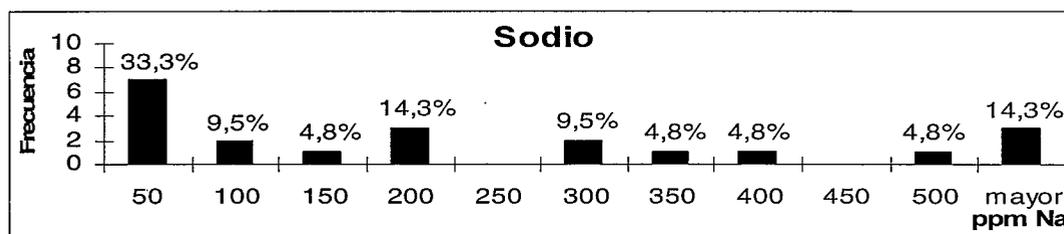
**Figura 3.** Análisis químico de aguas superficiales del noroeste del departamento de Canelones con sustrato sobre sedimentos. En cada histograma el número debajo de cada barra representa el valor máximo de ese rango.



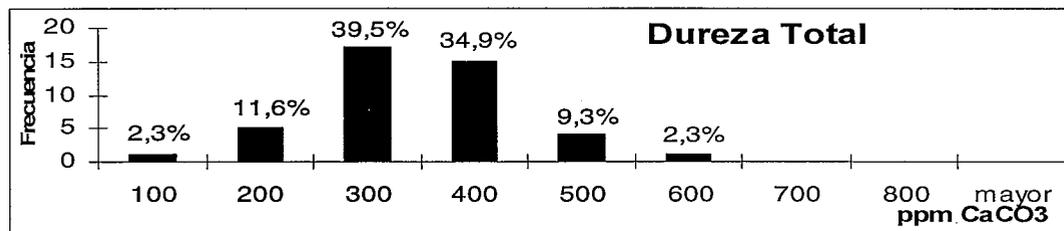
Total: 49 ; Promedio: 8,2 ; Desviación estándar: 6,2



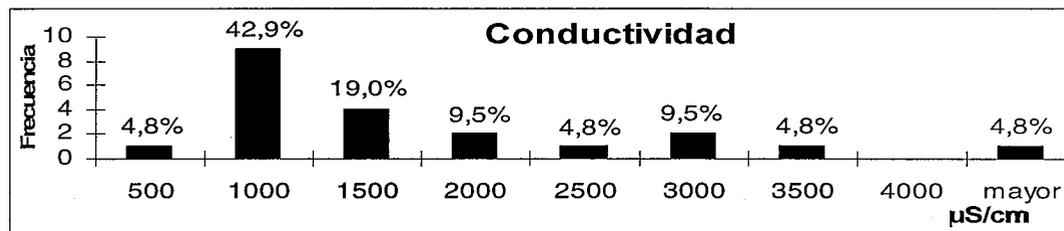
Total: 44 ; Promedio: 264 ; Desviación estándar: 183



Total: 21 ; Promedio: 229 ; Desviación estándar: 237



Total: 43 ; Promedio: 294 ; Desviación estándar: 97



Total: 21 ; Promedio: 1467 ; Desviación estándar: 1134

Figura 4. Análisis químico de aguas profundas del sur de Uruguay, pozos semisurgentes con extracción en acuíferos sobre sedimentos. Departamento de Canelones. En cada histograma el número debajo de cada barra representa el valor máximo de ese rango.

1. La diferencia entre los valores promedio de pH no es apreciable y se muestran en el cuadro 1, mientras que los valores promedio de concentración del ión bicarbonato muestran diferencia.
2. El contenido total de sales en las primeras triplica el de las segundas, manteniendo en ambos casos una distribución semejante.
3. El ión sodio en ambas situaciones tiene valores que muestran gran dispersión, manteniendo las diferencias de concentración (3 a 1), de las profundas respecto a las superficiales.
4. El cloruro, en cambio, sólo presenta gran dispersión en aguas profundas y supera la relación alcanzando valores de 6 a 1 entre las dos situaciones.
5. El contenido de calcio y magnesio (dureza total), en ambos casos se presenta en rangos acotados, conservando las diferencias de concentración (3 a 1).
6. La caracterización del comportamiento catiónico para ambos casos indica predominancia del catión sodio frente al calcio y al magnesio.

### Región cristalina:

#### Aguas superficiales :

En la Figura 5, se observa:

El contenido de nitrato es bajo, el 100% de las muestras contiene menos de 2 ppm N.

Para el ión cloruro, el 100% de las muestras no supera las 30 ppm Cl<sup>-</sup> (0,85 meq/L).

Con respecto al contenido de sodio, se observa que se encuentra concentrado en un rango de hasta 100 ppm Na<sup>+</sup>, pero el 91% de las muestras no superan 75 ppm Na<sup>+</sup> (3,3 meq/L).

La dureza total se encuentra en un intervalo grande de valores, homogéneamente distribuidos hasta valores de 250 ppm de CaCO<sub>3</sub> (5 meq/L).

Los valores de conductividad se presentan dispersos, no superando los 875 μS/cm, sin embargo el 52% de las muestras no sobrepasan los 250 μS/cm, representando éste valor aproximadamente 5 meq/L de contenido de sales totales.

En estas muestras se puede decir, comparando la magnitud relativa meq/L, que el calcio y el magnesio se presentan en mayor proporción al sodio.

#### Aguas profundas :

Los histogramas presentados en la figura 6, permiten decir que:

Para el ión nitrato, en el 81% de las muestras, los valores son menores a 10 ppm N.

El contenido de cloruro en el 95% de las muestras, presenta concentraciones menores a 150 ppm Cl<sup>-</sup> (4,2 meq/L).

El sodio en el 84% de las muestras se encuentran en un rango que no supera las 150 ppm Na<sup>+</sup> (6,5 meq/L), el porcentaje restante se encuentra con poca dispersión hasta 250 ppm Na<sup>+</sup>.

Respecto a la dureza total (contenido de calcio y magnesio), el 90,5% de las muestras caen en un rango de 100 a 400 ppm CaCO<sub>3</sub>, es decir desde 2 hasta 8 meq/L.

La conductividad en el 86% de las muestras se encuentran entre 500 y 1500 μS/cm (aproximadamente 10 a 30 meq/L), observándose muy poca dispersión en el porcentaje restante.

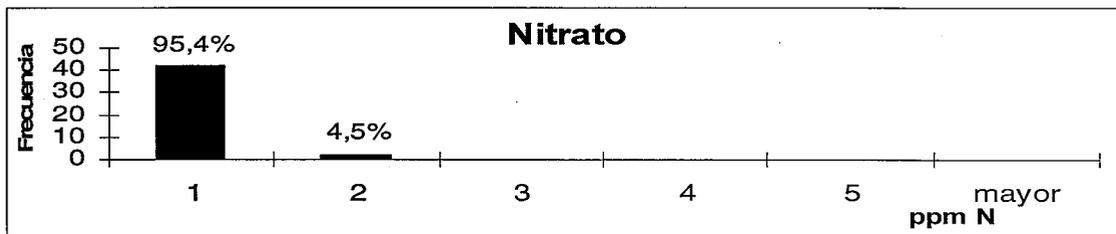
Relacionando el sodio con los cationes calcio y magnesio, en magnitudes relativas, se observa que en el comportamiento de estas aguas hay predominancia del calcio y el magnesio frente al sodio.

**Cuadro 1.** Promedio y desviación estándar del pH y de la concentración de HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> de aguas superficiales y profundas de las regiones sedimentaria y cristalina.

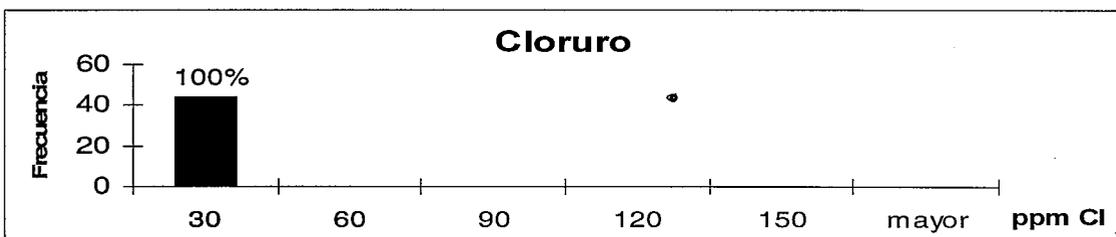
Región	Tipo de agua	pH(25 °C)			HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (ppm)		
		n†	Promedio	DS‡	n†	Promedio	DS‡
Sedimentaria	Superficial	57	7,1	0,4	57	181	95
	Profunda	21	7,6	0,4	28	432	195
Cristalina	Superficial	44	7,4	0,4	44	207	124
	Profunda	63	7,3	0,4	63	399	104

† n: número de muestras usadas en el análisis.

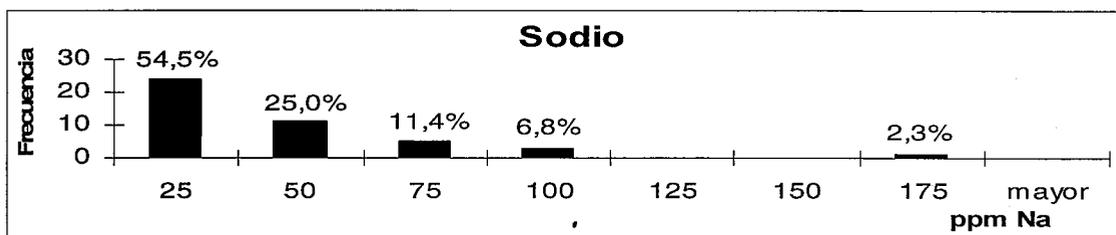
‡DS: desviación estándar.



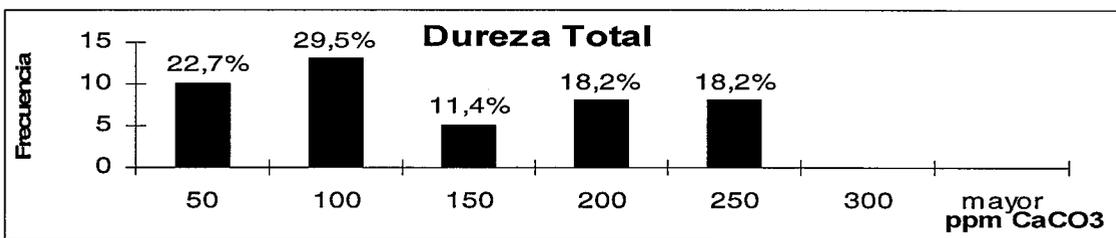
Total: 44 ; Promedio: 0,57 ; Desviación estándar: 0,15



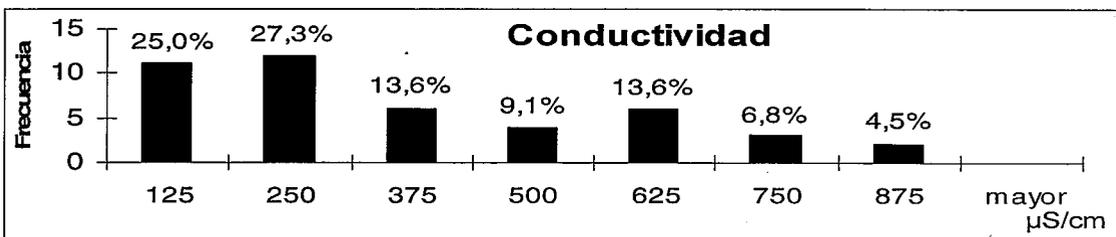
Total: 44 ; Promedio: 13,2 ; Desviación estándar: 6,5



Total: 44 ; Promedio: 30,4 ; Desviación estándar: 31,1

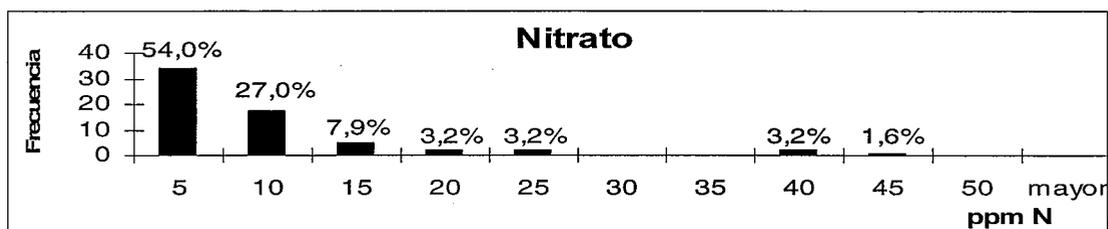


Total: 44 ; Promedio: 124 ; Desviación estándar: 71

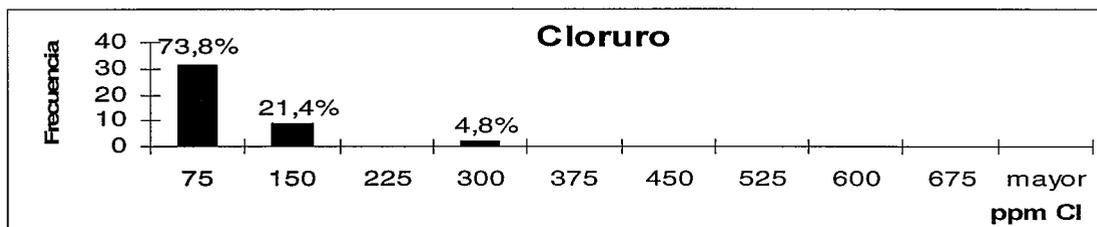


Total: 44 ; Promedio: 311 ; Desviación estándar: 219

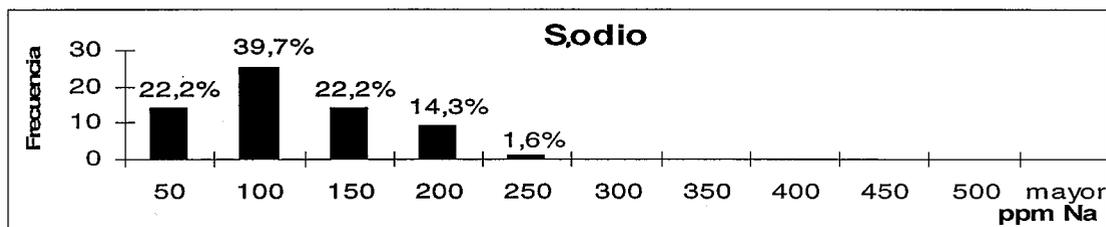
Figura 5. Análisis químico de aguas superficiales del suroeste del Uruguay. Departamentos de Colonia, Soriano, Flores, Florida y San José con sustrato sobre cristalino. En cada histograma el número debajo de cada barra representa el valor máximo de ese rango.



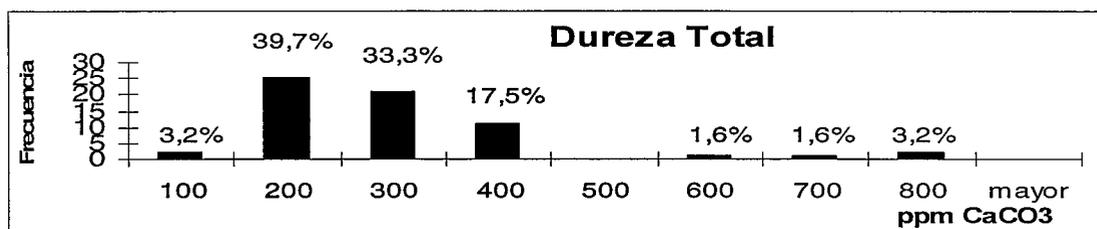
Total: 63 ; Promedio: 7,1 ; Desviación estándar: 8,9



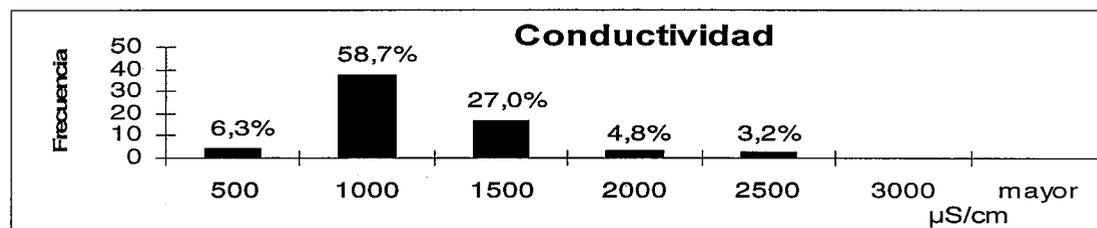
Total: 42 ; Promedio: 53 ; Desviación estándar: 60



Total: 63 ; Promedio: 90 ; Desviación estándar: 55



Total: 63 ; Promedio: 253 ; Desviación estándar: 132



Total: 63 ; Promedio: 952 ; Desviación estándar: 366

Figura 6. Análisis químico de aguas profundas del suroeste del Uruguay, pozos semisurgentes con extracción en acuíferos sobre Basamento Cristalino. Departamentos de Colonia, Soriano, Flores, Florida y San José. En cada histograma el número debajo de cada barra representa el valor máximo de ese rango.

De la comparación de las aguas superficiales con las profundas en esta región, se puede establecer:

1. Que no se encuentran diferencias entre los valores promedio de pH (Cuadro 1), mientras que la concentración promedio del ión bicarbonato es mayor en aguas profundas (Cuadro 1).
2. Que la conductividad en las primeras es la tercera parte que en las segundas, aunque con valores muy dispersos, a diferencia de aquellos en aguas profundas.
3. El sodio se presenta en rangos reducidos en ambos casos, manteniendo la relación 1 a 3 en cuanto a la concentración. Lo mismo ocurre respecto al ión cloruro.
4. La dureza total mantiene una correlación de 1 a 2, encontrándose en las primeras una gran dispersión de valores que produce que en el intervalo de 100 a 200 ppm  $\text{CaCO}_3$  exista un 30% de las muestras, mientras que en las aguas profundas hay un 40% en el mismo intervalo.
5. El comportamiento catiónico en ambos casos indica aguas con predominancia del calcio y el magnesio frente al sodio.

### Comparación entre las dos regiones, respecto a :

#### Aguas superficiales :

- El cuadro 1 muestra que los valores promedio de pH y de concentración del ión bicarbonato no varían en forma apreciable.
- Los valores de conductividad son concordantes en ambas regiones, aunque en el área cristalina se presentan con mayor dispersión.
- La dureza total en la región sedimentaria tiene menor dispersión que en la región cristalina.
- Tanto el contenido de sodio como de cloruro en el cristalino parece ser menor al encontrado en las aguas que corren sobre sedimentos.
- La relación entre los cationes indica comportamiento sódico sobre sedimentos y predominancia de calcio y magnesio en cristalino.

#### Aguas profundas:

- Los valores promedio de pH y de concentración del ión bicarbonato mostrados en el cuadro 1, no presentan diferencia apreciable.
- Con respecto a la conductividad, en ambas regiones, los mayores porcentajes se ubican entre 1000 y 1500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  aunque en la región sedimentaria se observa una mayor dispersión.

- El contenido de cloruro en sedimentos es notablemente mayor y con gran dispersión de valores al encontrado en las aguas del cristalino.
- De la misma manera el sodio está presente en mayor cantidad en el área sedimentaria que en la cristalina observándose también una gran dispersión de valores.
- El comportamiento catiónico para la región sedimentaria indica sódico, mientras que la cristalina indica predominancia de calcio y magnesio en cristalino, en términos generales.

## CONCLUSIONES

Estudiadas dos áreas geológicamente bien contrastantes se pudieron establecer las siguientes conclusiones:

- a) Los valores promedio de pH en todas las situaciones, se presentan en un entorno de 7,3 con un valor bajo de desviación estándar de 0,4.
- b) Si bien las aguas superficiales tienen un comportamiento similar en cuanto al contenido de sales totales, el comportamiento catiónico es diferencial, el sodio presenta mayor concentración y dispersión en el área sedimentaria, mientras en cristalino lo hacen el calcio y el magnesio.
- c) En las aguas profundas el total de sales es similar, pero varía la proporción de los iones presentes. En sedimentos predominan el cloruro y el sodio, y en cristalino predominan calcio y magnesio con menor proporción de sodio.
- d) En aguas superficiales es posible concluir que el 98% de las mismas tienen concentración de nitrato menor a 2 ppm N. En aguas subterráneas el 80% se encuentra con valores menores a 10 ppm N. Esta situación merece ser destacada ya que indica una ausencia casi total de contaminación, dado que se ha podido determinar que los valores anómalos son consecuencia de mala ubicación de pozos (en centros poblados), fenómeno que se verifica en ambas regiones.
- e) La conductividad media de las aguas subterráneas del área sedimentaria se asocia a la presencia de cloruro y sodio, y en el caso del área cristalina a los cationes asociados al bicarbonato.
- f) La predominancia de cloruro y sodio en las aguas subterráneas del área sedimentaria podría relacionarse con la composición mineralógica de los sedimentos (sal gema, plagioclasas), y el mayor tiempo de residencia del agua en los estratos superiores (acuitardos) que recargan al acuífero. Como en teoría la residencia del

agua en acuíferos de fisura sería menor, y la mineralogía de las rocas casi no permiten la existencia de cloruro y muy baja proporción de sodio, y si una mayor abundancia relativa de calcio y magnesio sería ésta la razón que explica el comportamiento diferencial de las dos zonas respecto a dichos iones.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Ing. Agr. L. Bonomi por haber planteado la inquietud de estudiar la calidad química de las aguas naturales; y a la Ing. Qca. F. Rodríguez por haber conformado un grupo de trabajo que comenzó a estudiar este tema. Asimismo a los productores y a la OSE del Dpto. de Canelonès, y PRENADER por suministrar amablemente la información requerida; a la CSIC por brindar su apoyo financiero a una parte de este trabajo, a la Ayudante Técnica C. Oliveira por la realización de los dibujos y a la Sra. O. Franco por tareas generales de colaboración.

## BIBLIOGRAFÍA

- BITTENCOURT, ANDRE, V. L. 1998. Tópicos de Hidroquímica - Módulo III. 2<sup>do</sup> curso sudamericano sobre evaluación de vulnerabilidad de acuíferos. UNICEMA. Universidad de la República. Paysandú.
- BOSSI, J.; CAMPAL, N.; PIÑEYRO, D. ; SCHIPILOV, A.; FERRANDO, L.; NAVARRO, R.; DALLA SALDA, L.; CINGOLANI, C.; VARELA, R.; LOPEZ de LUCCHI, M. 1996. Terreno Piedra Alta (correlación Piedra Alta - Tandilia). 77 ed. , Facultad de Agronomía, Montevideo.
- BOSSI, J.; FERRANDO, L.; MONTAÑA, J.; CAMPAL, N.; MORALES, H.; GANCIO, F.; SCHIPILOV, A.; PIÑEYRO, D.; SPRECHMAN, P. 1998. Carta Geológica del Uruguay a escala 1.500.000. Geoeditores S.R.L., Montevideo
- BOSSI, J.; MARTINEZ, M.; RODRIGUEZ, F.; CAMPAL, N.; SCHIPILOV, A. 1995. Primer intento de regionalización de los recursos hidrogeológicos del departamento de Colonia. Convenio Facultad de Agronomía, Fundación Fontaina-Minelli. Colonia-Montevideo. Uruguay.
- BOSSI, J.; MORALES, H.; BRUNETTO, I.; MARTINEZ, M.; ARLO, L. 1999. Evaluación de las posibilidades de aguas subterráneas en el centro y noreste del departamento de Canelones. Montevideo, Universidad de la República, (Proyecto CSIC).
- BOSSI, J.; NAVARRO, R. 1991. Geología del Uruguay. Departamento de Publicaciones de la Universidad. 2 V, 930 p.
- CUSTODIO, E.; LLAMAS, M.R. 1989. Hidrología Subterránea. 2<sup>da</sup> ed. Madrid, Omega, V1.
- DREVER, J. I. 1988. The Geochemistry of Natural Waters. 2<sup>da</sup> ed. Prentice Hall. Inc. N.J. 437 p.
- GREENBERG, A.E.; CLESCERI, L.S.; EATON, A.D. eds. 1992. Standard Methods for the examination of water and wastewater. 18<sup>th</sup> ed. Washington, DC, American Public Health Association, pv.
- HOFFSTATTER, R. (1997). Uso del Agua con Fines Agropecuarios : Riego y Abrevadero. Proyecto BID-CONICIT. N° 187. Informe Final.
- INTERNATIONAL STANDARD ISO 1991. Water quality - Sampling Part 2: Guidance on sampling techniques (5667-2). 2<sup>nd</sup> ed. Montevideo, UNIT, 9 p.
- INTERNATIONAL STANDARD ISO 1985. Water quality - Sampling Part 3: Guidance on the preservation and handling of samples (5667-3). 1<sup>st</sup> ed. Montevideo, UNIT, 13 p.
- INTERNATIONAL STANDARD ISO 1993. Water quality - Sampling Part 11: Guidance on sampling of groundwaters (5667-11). 1<sup>st</sup> ed. , Montevideo, UNIT, 9 p.
- INTERNATIONAL STANDARD ISO 1993. Water quality - Determination of sodium and potassium Part 3: Determination of sodium and potassium by flame emission spectrometry (9964-3). 1<sup>st</sup> ed. , Montevideo, UNIT, 5 p.
- MARTINEZ, M. (1997). Determinación de Iones Mayores y Nitrato en la Estanzuela, Colonia. In: Uso del Agua con Fines Agropecuarios : Riego y Abrevadero. Proyecto BID-CONICIT. N° 187. Informe Final. HOFFSTATTER, R. , Montevideo, Uruguay.