

M452

~~C-185~~

ISSN Com. Mus. Prov. Cs. Naturales Santa Fe V 5 N° 2 Págs. 1995  
1-

0325-3856

"Florentino Ameghino"  
(Nueva Serie)

Argentina



CARACTERIZACION GEOQUIMICA DE LAS AGUAS DE LA CUENCA  
DEL RIO CARCARAÑA, PROVINCIA DE SANTA FE

Daniela M. Kröhling

**Subsecretaría de Cultura**

Provincia de Santa Fe

- 1996 -

CARACTERIZACION GEOQUIMICA DE LAS AGUAS DE LA CUENCA  
DEL RIO CARCARAÑA, PROVINCIA DE SANTA FE

*Daniela M. Kröhling.*

\* \* \*

Comunicaciones (Nueva Serie) 5 (2)

del

Museo Provincial de Ciencias Naturales

“Florentino Ameghino”

Edición y Propiedad Intelectual del Museo Provincial de Ciencias Naturales “Florentino Ameghino” - Primera Junta 2859 (3000) - Santa Fe - Argentina) Tel. (054) (042) 523843 Fax (54-42) 533843.

Reservados todos los derechos. Ninguna parte del material cubierto por este título puede ser reproducido por cualquier medio sin el previo permiso por escrito del Editor, Hecho depósito que establece la ley 11.723.

COMUNICACIONES DEL MUSEO PROVINCIAL  
DE CIENCIAS NATURALES  
"FLORENTINO AMEGHINO"

**Editor-Director** (Publisher): Lic. Carlos Virasoro

**Asesoría Científica:** (Editorial Board)

Dr. Raúl H. Aramburu (Ictiología), Dr. Axel O. Bachmann (Entomología), Prof. Adolfo H. Beltzer (Ornitología), Dr. Esteban Bojanich M. (Geología), Ing. Qco. José L. Cerana (Química de suelos), Lic. Carlos N. Cerutti (Antropología), Dr. Martín de La Peña (Ornitología), Prof. Antonio De Petre (Suelos), Prof. Danilo H. Di Persia (Oligoquetos y Nematodos), Lic. Lauce R. Freyre (Biología Pesquera), Dr. Rafael Herbst (Paleontología Invertebrados), Ing. Agr. Víctor H. Lallana (Botánica acuática), Dr. Raymond F. Laurent (Herpetología), Dr. Juan P. Lewis (Ecología botánica), Dr. Roberto C. Menni (Ictiología Marina), Prof. Juan J. Neiff (Ecología botánica), Prof. Juan C. Paggi (Plancton), Prof. Susana José de Paggi (Ecología planctónica), Dr. Rosendo Pascual (Paleontología Vertebrados), Ing. Qco. Armando I. A. Ricciardi (Entomología Química), Ing. Agr. Virgilio Roig (Dinámica Botánica).

La publicación Comunicaciones del Museo Provincial de Ciencias Naturales "Florentino Ameghino" tiene como fin difundir artículos científicos originales, tesis resumidas, comunicaciones breves relacionadas con las ciencias naturales, ecología, y ciencias ambientales, generalmente en español con resumen en inglés. Recibe con interés trabajos referidos al área regional, en especial de la Provincia de Santa Fe, pero no se excluyen otras contribuciones que involucran progresos en el conocimiento general de aquellas ciencias en otras áreas del país o extranjero.

The Comunicaciones of "Florentino Ameghino" Provincial Museum of Natural Sciences is devoted to the publication of research papers, short communications and abstracts of thesis in the field of Natural sciences either basic or applied. It publishes those papers concernent mainly with the regional area known as the Province of Santa Fe. Not withstanding, contributions involving advances in the general knowledge of these sciences in any other part of the country or abroad, are also welcomed.

## INFORMACION GENERAL

Los manuscritos deben enviarse por correo certificado al:

Museo Provincial de Ciencias Naturales "F. Ameghino"  
Primera Junta 2859 - (3000) Santa Fe  
Argentina

Deben estar escritos a doble espacio y amplios márgenes; acompañados por dos fotocopias. Para conocer el reglamento adoptado, debe consultar "Reglamento de Publicación y Guía para los autores" (Comunicaciones, 9: 21-23, 1981).

Manuscripts should be sent first classe, air mail to:

Museo Provincial de Ciencias Naturales "F. Ameghino"  
Primera Junta 2859 - (3000) Santa Fe - Tel. (054) (042) 523843  
Argentina

They must be typewritten in double spacing and wide margins, with two copies. Further details of the format and reglamentations adopted for contribuitons are given in: "Reglamento de publicación y guía para los autores" (Comunicaciones 9: 21-23, 1981).

**Periodicidad y canje:** Se edita en forma irregular y envía por canje de acuerdo a la disponibilidad de ejemplares.

**Exchange - Publication eschedule:** Is issued irregular. Publishers and institution of related objectives may receive it on exchange.

Abreviatura internacional/World-list Abbreviations

Com. Mus. Prov. Cs. Nat. "Florentino Ameghino"

**Informes:** Biblioteca y Centro de Documentación "Dr. Joaquín Frenguelli" - Primera Junta 2859 - 1er. Piso (3000) Santa Fe - (Argentina). Tel. (054) (042) 523843. Horario: 7 a 13 horas.

# CARACTERIZACION GEOQUIMICA DE LAS AGUAS DE LA CUENCA DEL RIO CARCARAÑA, PROVINCIA DE SANTA FE

Daniela M. KRÖHLING

CONICET - Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas (FICH-UNL), C.C. 495  
(3000) Santa Fe; FAX 54-042-571143/54-042-550944.

## ABSTRACT

Hydrogeochemical characteristics of the Carcarañá river basin in the province of Santa Fe, covering an area of 5,000 km<sup>2</sup>, are studied.

A systematic sampling of phreatic level and surficial waters was performed. Physico-chemical parameters and major anions and cations were determined by using standard techniques.

According to the ionic composition most ground waters of the area are dominantly bicarbonated, strongly sodium-potassic. The majority of the surface waters belong to dominantly sulphated, strongly sodium-potassic type. Phreatic waters were classified as weakly saline, considering the total dissolved solids.

The statistical distribution of measured parameters and elements in the phreatic waters were analyzed. A reasonable approximation to lognormal distributions was found which corresponds to dynamic diffusion equilibrium. The distribution of common anions indicates four types of waters.

The analyses of the geographic distribution of the variations of the main anion and main cation suggests a high correlation in the distribution of the concentration isolines. In general, both ions show the major positive anomalies in the recharge zone of the basin.

In previous studies made in the province of Córdoba, was detected a pattern of increasing geochemical evolution of the phreatic waters in the basin, from the recharge area to the discharge zone. That is not true in the study area, where waters of recent infiltration dominate. This change, due to increase of bicarbonate content, is interpreted as a product of precipitation increase in the study area.

## RESUMEN

Este trabajo comprende el estudio hidrogeoquímico de la cuenca del río Carcaraña en la provincia de Santa Fe, que ocupa un área de unos 5000 Km<sup>2</sup>.

Se muestrearon sistemáticamente la capa freática y las aguas superficiales siguiendo un plan establecido. Se determinaron entre otros, los parámetros fisicoquímicos y los contenidos de sólidos disueltos, según técnicas dadas.

El estudio de la composición iónica de las aguas subterráneas permite clasificar la mayor parte de las mismas como predominantemente bicarbonatadas, fuertemente sódico-potásicas. La mayoría de las aguas superficiales pertenece al tipo de las predominantemente sulfatadas, fuertemente sódico-potásicas. Las aguas freáticas se clasifican además, considerando el contenido de sólidos totales disueltos, como aguas debilmente salinas.

Se analizó la distribución estadística de los parámetros y constituyentes determinados en las aguas freáticas, habiendo comprobado un ajuste aceptable a la ley lognormal de las distribuciones de frecuencias de los mismos. La distribución de los constituyentes se vincula a un modelo lognormal, correspondiente a un equilibrio de difusión dinámico. La distribución del anión dominante conduce a la caracterización de cuatro tipos de aguas.

El análisis de la distribución geográfica de las variaciones de los contenidos del anión principal y del catión principal revela una alta correspondencia en la distribución de las isolíneas de concentración. En general, ambos iones presentan las mayores anomalías positivas en la zona de recarga de la cuenca.

El esquema de evolución geoquímica creciente de las aguas freáticas de la cuenca del río Tercero - Carcaraña desde el área de recarga a la de descarga, definido en trabajos anteriores llevados a cabo en la provincia de Córdoba, se interrumpe en el área de estudio ya que en este predominan aguas de reciente infiltración. Dicho cambio, debido al aumento del contenido de bicarbonato, se interpreta como producto del incremento en las precipitaciones en la cuenca estudiada.

## INTRODUCCION

A través de trabajos de investigación llevados a cabo por el Departamento de Geoquímica y de Aplicaciones Geológicas de la Teleobservación (DepGeoqui) de la C.N.I.E (actualmente CO.N.A.E.), se ha priorizado sobre la caracterización geoquímica de importantes áreas de la Llanura Pampeana, como las situadas en la provincia de Córdoba; en particular en su llanura sudoriental, en las cuencas de Mar Chiquita y del río Ctalamochita (ex Tercero) y en sus respectivas zonas de recarga.

En la continuidad de esas líneas de investigación, este Departamento ha encarado el estudio de las aguas hacia el este de la región citada, bajo la responsabilidad de quien presenta esta contribución. En la misma se adelantan algunos de los resultados logrados, los que alcanzan mayor desarrollo en el trabajo inédito de Kröhling (1992).

El objetivo principal del presente estudio es definir la composición iónica y su relación con parámetros fisicoquímicos y con salinidad en aguas superficiales y subterráneas del nivel freático de la cuenca y caracterizar la evolución geoquímica de las aguas freáticas desde la zona de recarga hacia la de descarga, considerando los procesos fundamentales que controlan la calidad química del agua.

### AREA DE ESTUDIO

El área comprende la cuenca del río Carcarañá en su tramo santafesino, situada entre los 60° 45' y 62° 00' long. O y entre los 32° 20' y 33° 15' lat. S, ocupando una superficie de aproximadamente 5000 km<sup>2</sup> en la Llanura Pampeana.

El paisaje del área ofrece reducidas pendientes generales, a excepción de algunos sectores donde son algo acentuadas, con evidentes controles estructurales. Una serie de bloques de distinto tamaño, dispuestos oblicua y transversalmente al sentido de la pendiente, elevados o hundidos y basculados por Neotectónica, definen el aspecto geomorfológico regional. Los elementos estructurales de gran jerarquía corresponden a la falla Tostado-Selva, que marca el límite interprovincial Santa Fe-Córdoba y se extiende hasta el río Carcarañá, y a las líneas de fracturas por donde corre el río Paraná.

La secuencia estratigráfica aflorante está representada por una sucesión de sedimentos eólicos y palustres de distribución areal, en la que se intercalan fajas fluviales depositadas por la divagación del río Carcarañá. La Geología del Cuaternario de la región indica que la sucesión de estadios climáticos alternantes húmedos y secos condicionó su evolución (Iriando, 1993).

El río Carcarañá está formado por la concurrencia de las aguas de los ríos Ctalamochita y Saladillo en la provincia de Córdoba. El aporte del agua superficial al río en la cuenca de estudio proviene de un reducido número de afluentes y de líneas de escurrimiento difusas.

El clima de la región según la clasificación de Thornthwaite, corresponde al tipo C<sub>2</sub> B<sub>2</sub>' r a', que caracteriza un clima semihúmedo-húmedo,

mesotermal pero con eficiencia termal, con nula o pequeña deficiencia de agua y con concentración estival de la temperatura no excesiva, dada la relativamente poca variación anual de este último elemento. La temperatura media anual es de 16° C y la precipitación media anual varía entre 950 mm en el sector oriental hasta 850 mm en la zona occidental del área.

En función del tipo climático actual, el modelado del área responde a la dinámica hídrica.

## DESARROLLO METODOLOGICO

### Muestreo sistemático de aguas

En la campaña de muestreo sistemático, realizada en setiembre de 1990, se obtuvo un total de 71 muestras de aguas superficiales y subterráneas, distribuidas en el área (Figura 1).

Los itinerarios de muestreo de aguas superficiales se efectuaron a lo largo de las vías de drenaje principales. El río Carcarañá se muestreó a intervalos regulares; en los tributarios principales se tomaron dos muestras y en los restantes sólo una. Se recolectaron 21 muestras.

El muestreo de aguas subterráneas del nivel freático se realizó en 50 estaciones, repartidas en general a distancias regulares, en coincidencia con pozos abiertos con un molino de viento instalado. En la época de muestreo, el nivel freático se encontraba generalmente entre 6 y 12 m, con profundidades extremas de 3 a 25 m.

En cada punto de muestreo se recolectaron 3 litros de agua. Las operaciones de fraccionamiento y tratamiento de las muestras para su conservación se efectuaron en el laboratorio de campaña, según las normas del U.S. Geological Survey (Brown et al., 1970; Wood, 1976), adaptadas a las necesidades específicas de esta investigación, de acuerdo con las pautas dadas por Nicolli y Gamba (1979).

### Metodología analítica

Temperatura, pH, oxígeno disuelto, conductancia específica y turbidez se determinaron instrumentalmente en el momento de la toma de muestra. En el laboratorio de campaña se midió nuevamente el pH y se obtuvieron los valores de la alcalinidad total.

En el laboratorio central del DepGeoqui se controlaron las cifras de conductancia específica y se determinó el residuo seco a 105° C y 180° C. La fase químico-analítica se llevó a cabo siguiendo en general, los procedimientos del U.S. Geological Survey (Brown et al., op. cit.) y las normas fijadas por Nicolli (1980). Se determinaron los siguientes constituyentes: Li+, Na+ y K+ por espectroscopía de emisión en llama; Mg<sup>2+</sup> y Ca<sup>2+</sup> por complejometría con EDTA; SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> por turbidimetría sin uso de aditivos y Cl- por medición de actividad iónica con electrodo específico. El SiO<sub>2</sub> se obtuvo por espectrometría de absorción molecular; HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> a partir de la determinación de la alcalinidad total, por titulación potenciométrica con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> y los valores de CO<sub>2</sub> por cálculo.

## Análisis estadístico

La mayor parte de las muestras de aguas freáticas constituye una población de referencia adecuada para el análisis estadístico ( $n=48$ ).

Las distribuciones de probabilidad de cada una de las determinaciones practicadas se ensayaron considerando una distribución lognormal. Con el propósito de verificar analíticamente la bondad del ajuste entre los valores de referencia (distribución empírica) y la hipótesis lognormal (distribución teórica), se aplicó sistemáticamente la dócima de Pearson o del  $X^2$ .

En general, las distribuciones de frecuencias de los contenidos de sólidos disueltos analizados y de  $CO_2$  y de los valores de los parámetros fisico-químicos y de dureza y alcalinidad, muestran un buen ajuste a la hipótesis lognormal. Además, las distribuciones de los valores de pH ajustan a ley gaussiana.

A partir de la discriminación, por orden de significación, de los coeficientes de correlación de Pearson, calculados entre todas las variables investigadas en las aguas freáticas, se observan correlaciones extremadamente significativas entre conductancia específica y residuo seco a  $105^\circ C$  y a  $180^\circ C$ ; de residuo seco a  $105^\circ C$  con residuo seco a  $180^\circ C$ ; de alcalinidad total con  $HCO_3^-$  y de  $Na^+$  con STD. Además se establecen correlaciones altamente significativas y muy significativas de diversos parámetros físicos, de dureza y alcalinidad, con algunos cationes y aniones.

## RESULTADOS

En la Tabla 1 se consignan los valores mínimo, máximo, medio y más frecuentes para cada determinación practicada en las muestras correspondientes a aguas freáticas.

La clasificación de las aguas freáticas según su contenido salino, considerando al parámetro STD (sólidos totales disueltos igual a la suma en g/l de los contenidos de cationes y aniones analizados) señala que el **90%** de las muestras son **débilmente salinas** (STD: 1 a 3 g/l); el **6%** **no salinas** (STD < 1 g/l) y el **4%** **moderadamente salinas** (STD: 3 a 10 g/l). La clasificación de las mismas, de acuerdo con normas del U.S. Geological Survey, referentes a los valores de dureza, muestra que un **30%** son **aguas blandas**, un **42%** **semiduras**, **18%** **duras** y **10%** **muy duras**.

## Composición iónica

La composición iónica en equivalentes por ciento (eq%) de las aguas muestreadas se ilustra en los diagramas de Piper de las Figuras 2 y 3.

Según el triángulo de composición catiónica de las aguas freáticas, prevalecen **aguas fuertemente sódico-potásicas (94%)**, el resto corresponde a **aguas predominantemente sódico-potásicas (6%)**. Si se considera la composición aniónica, predominan **aguas predominantemente bicarbonatadas (50%)** y **fuertemente bicarbonatadas (42%)**; algunas son del **tipo intermedio - sin anión dominante (4%)** y otras **dominantemente sulfatadas (4%)**.

El triángulo de composición catiónica de las aguas superficiales destaca, mayoritariamente, **aguas fuertemente sódico-potásicas (95,2%)**; las **dominantemente sódico-potásicas** representan una proporción menor (**4,8%**). La composición aniónica muestra el predominio de **aguas dominantemente sulfatadas (80,9%)**; un pequeño número es **del tipo de las intermedias - sin anión dominante (14,3%)** y el resto pertenece a las **dominantemente bicarbonatadas (4,8%)**.

## **Caracterización geoquímica de las aguas freáticas**

**Clasificación de las aguas freáticas sobre la base de la variación de los contenidos del anión principal.** Para la caracterización geoquímica se considera la distribución lognormal del bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ). En consecuencia, el valor de la mediana y de los umbrales estadísticos del  $\text{HCO}_3^-$  son los límites que permiten separar la mayor parte de la población de valores en cuatro grupos.

En la Tabla 2 se detalla la composición media aniónico-catiónica para cada uno de los tipos fundamentales. Los pequeños cambios de composición entre las aguas de los tipos **I a IV** se observan en los diagramas de la Figura 4. Según sus contenidos medios, estos tipos corresponden a **aguas bicarbonatadas sódicas**.

**Distribución geográfica de las variaciones de los contenidos del anión principal y del catión principal en las aguas freáticas.** En los mapas de distribución geográfica de los constituyentes predominantes de las Figuras 5 y 6, se representan las curvas correspondientes a los valores de la mediana y de los umbrales geoquímicos de las distribuciones de frecuencias de sus contenidos. Estas curvas definen límites, que se eligieron en función del buen ajuste de aquellas distribuciones a la distribución lognormal.

Si se comparan ambos mapas se reconoce una alta correspondencia en la distribución areal de las isolíneas de concentración y consecuentemente, en la forma y posición general de las zonas con valores de fondo, con variaciones de fondo y con anomalías. Esto ratifica la existencia de una zonación en las distribuciones de  $\text{HCO}_3^-$  y  $\text{Na}^+$ , en general con los contenidos más altos en la zona de recarga de la cuenca y los tenores máximos concentrados en su sector noroccidental.

## **DISCUSION**

En general, tanto en el lote de aguas freáticas como en el de aguas superficiales se nota una dispersión moderada de los resultados, teniendo en cuenta los cationes y aniones predominantes en cada grupo.

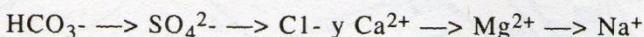
No obstante, si se consideran los valores extremos y los más frecuentes de cada parámetro medido o constituyente analizado en las aguas freáticas, se reconoce una relativa variación en la composición.

Los factores que causan esos cambios son variados y de difícil determinación. Entre ellos se destaca la importancia de la geología y la geomorfología del área, que condicionan la circulación del agua subterránea; la distribución de los sectores de recarga y descarga

e incluso pluviometría y cantidad de agua de recarga profunda participan en el proceso. Los factores litológicos del medio sedimentario, como los cambios texturales y de composición de los sedimentos limo-loésicos del área, que provocan variaciones en la porosidad y permeabilidad del medio, influyen en el intercambio iónico entre agua y sedimento, teniéndose en cuenta además el tiempo de contacto, y siendo afectado también por la variable climática. Igualmente deben considerarse las características y el régimen de explotación del pozo del que se extrae la muestra (Custodio, 1976).

Si se analiza la composición iónica de las aguas freáticas de la cuenca, se deduce el predominio de aguas muy jóvenes, es decir aguas del **tipo bicarbonatado sódicas de reciente infiltración**.

Según Custodio (op. cit.) la evolución normal de un agua en un acuífero de circulación regional está dada por una sucesión de facies en las que sucesivamente van dominando:



Si se consideran los antecedentes de composición de las aguas freáticas analizadas en estudios geoquímicos realizados en áreas que forman parte de la cuenca del río Ctalamochita-Carcarañá, desde la zona de recarga hacia la descarga, se tienen aguas de evolución creciente en su composición desde el área correspondiente al complejo ígneo metamórfico de las Sierras de Comechingones y Sierra Chica (Nicolli y Baleani, 1989), pasando por la zona ubicada al este del piedemonte de la Sierra Chica (Merino, 1990) hasta la llanura sudoriental cordobesa (Nicolli et al., 1985). Comparando la composición de las aguas en la llanura sudoriental cordobesa, del **tipo intermedio levemente sulfatado-clorurado sódico** (Nicolli et al., op. cit.), con la composición de las aguas en el área de estudio, se observa una interrupción en la evolución antes citada.

En el agua infiltrada recientemente dominan los iones  $\text{HCO}_3^-$  y  $\text{Ca}^{2+}$ , pero Custodio (op. cit.) señala que los cambios de bases pueden alterar la evolución de los cationes, en particular la relación alcalinos/alcalinotérreos.

El aumento en los tenores de  $\text{HCO}_3^-$  en las aguas del área de estudio señala la magnitud de la cantidad de agua meteórica infiltrada en la misma; ésta es inferida a partir del incremento en el promedio anual de precipitaciones en relación al que se registra en la zona contigua al oeste. El  $\text{HCO}_3^-$  procede de la disolución del  $\text{CO}_2$  atmosférico en el agua de lluvia y del  $\text{CO}_2$  del suelo durante la infiltración. La concentración de  $\text{SO}_4^{2-}$  y  $\text{Cl}^-$  puede aumentar o éstos pueden precipitar a medida que el agua circula por el medio; en efecto, en sectores aislados, donde el nivel freático se halla cerca de la superficie del terreno, pueden producirse mayores concentraciones por evaporación directa desde la capa freática y también en aquellos donde el fluido intercepte sedimentos que puedan aportar sales solubles o se mezclen con acuíferos profundos.

El predominio del catión  $\text{Na}^+$  se explica fundamentalmente a través del cambio iónico del  $\text{Ca}^{2+}$  del agua por el  $\text{Na}^+$  de los sedimentos, especialmente de minerales con alta capacidad de cambio de



bases, como los que constituyen las arcillas, que están presentes en cantidades variables en los sedimentos limo-loésicos de la región. Algunos valores puntuales que reflejan mayor concentración de  $\text{Ca}^{2+}$  en el agua pueden originarse, bajo determinadas condiciones, a partir de la disolución de materiales compuestos por  $\text{CaCO}_3$ , que aparecen en los depósitos eólicos típicos del área.

## CONSIDERACIONES FINALES Y CONCLUSIONES

El ajuste de las distribuciones de los parámetros y constituyentes analizados a una hipótesis lognormal corresponde, según Smirnov (1963), a un modelo de equilibrio de difusión dinámico, en el que la asimetría de cada distribución es causada, principalmente, por factores hidrodinámicos. Químicamente, un modelo de este tipo se caracteriza por una variación gradual desde soluciones no saturadas a soluciones cada vez más saturadas (Smirnov, op. cit).

A partir de lo expuesto y de los resultados logrados se extraen las siguientes conclusiones principales:

-La mayor parte de las aguas freáticas se clasifica como aguas predominantemente bicarbonatadas / fuertemente bicarbonatadas, fuertemente sódico-potásicas (fuertemente alcalinas). Las aguas superficiales pertenecen, en su mayor proporción, al tipo de las predominantemente sulfatadas, fuertemente sódico-potásicas (fuertemente alcalinas).

-Según el contenido de STD en las aguas freáticas, predominan aguas débilmente salinas y de acuerdo con el rango de dureza, aguas semiduras.

-La distribución de los constituyentes de las aguas freáticas se vincula a un modelo lognormal, correspondiente a un equilibrio de difusión dinámico.

-Se reconoce afinidad en el comportamiento geoquímico de algunos parámetros fisicoquímicos, de dureza y alcalinidad y de una serie de constituyentes, en base a los coeficientes de correlación.

-La distribución lognormal del  $\text{HCO}_3^-$  en las aguas freáticas permite caracterizar cuatro tipos de aguas, con pequeñas diferencias en su composición.

-En las distribuciones geográficas de las variaciones de los contenidos de  $\text{HCO}_3^-$  y  $\text{Na}^+$  en las aguas freáticas, la forma y posición de la anomalía y de las curvas mantienen una cierta correspondencia. En general, ambos iones muestran las mayores anomalías en la zona de recarga de la cuenca.

-Se observa un incremento de la actividad de  $\text{HCO}_3^-$  y un fuerte decremento de la actividad de  $\text{SO}_4^{2-}$  y  $\text{Cl}^-$  en las aguas freáticas del área de estudio, en relación a la región correspondiente a la cuenca del río Ctalamochita. En consecuencia, las aguas de circulación local en la cuenca estudiada apenas interactúan con los sedimentos, manteniendo en general, la composición adquirida durante la infiltración.

## AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Dr. H.B. NICOLLI, director del DepGeoqui, por la dirección de las tareas de investigación. Además se manifiesta el reconocimiento a la Geól. A.B. GUERESCHI y al Geól. M.H. MERINO, a cargo del laboratorio de campaña y al Técn. A.J BARROS por su aporte en la fase analítica. Se agradece especialmente al Dr. J. E. RUSANSKY por su ayuda incondicional y al Dr. L.H. FERPOZZI y Dr. D.E. MARTINEZ por el interés manifestado en el tema.

## BIBLIOGRAFIA

BROWN, E.M., SKOUGSTAD, M.W & FISHMAN, M.J., 1970. Methods for collection and analysis of water samples for dissolved minerals and gases **U.S. Geol. Survey., Techniques of Water Resources Investigations**, 5(A1), 160 p.

CUSTODIO, E., 1976. Hidrogeoquímica En: **Hidrología Subterránea**. Edic. Omega, I (10):1-93. Barcelona.

IRIONDO, M.H., 1993. El Litoral. En: **El Holoceno en la Argentina (M. Iriondo, Ed.)**, CADINQUA, II:1-34.

KRÖHLING, D.M., 1992. Caracterización geoquímica de las aguas de la cuenca del río Carcarañá, provincia de Santa Fe. **Trabajo Final**. Fac. de Cs. Ex., Fís. y Nat., Univ. Nac. de Córdoba, 225 p.

MERINO, M.H., 1990. Geoquímica del flúor en aguas subterráneas de la cuenca del río Ctalamochita, entre el embalse de río Tercero y la ciudad de Villa María, provincia de Córdoba. **Trabajo Final**. Fac. de Cs. Ex., Fís. y Nat., Univ. Nac. de Córdoba.

NICOLLI, H.B., 1980. Determinación de Li<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> y Cl<sup>-</sup> en aguas y salmueras. Informe **C.N.I.E., G.E.**, 01/88.

NICOLLI, H.B. y GAMBA, M.A., 1979. Guía para el muestreo geoquímico de aguas y salmueras. **Publ. C.N.I.E., G.F.**, 79/01, 23 p.

NICOLLI, H.B., O'CONNOR, T.E., SURIANO, J.M., KOUKHARSKY, M.M., GÓMEZ PERAL, M.A., BERTINI, L.M., COHEN, I.M., CORRADI, L.I., BALEANI, O.A. y ABRIL, E.G., 1985. Geoquímica del arsénico y de otros oligoelementos en aguas subterráneas de la llanura sudoriental de la provincia de Córdoba, **Acad. Nac. Ciencias**, Miscelánea N° 71, 112p; Córdoba.

NICOLLI, H.B. & BALEANI, O.A., 1989. Hydrochemical investigations in Hard Rock Areas of Sierras Pampeanas of Cordoba, Argentina. **28th Int. Geol. Congress, Abstracts**, 2, p.514. Washington D.C.

SMIRNOV, S.J., 1963. Statistical distribution of the concentrations of elements in natural waters. **Geochemistry** N° 4:437-444 (Geokhimiya N° 4:417-424).

WOOD, W.W., 1976. Guidelines for collection and field analysis of ground water samples for selected unstable constituents. **U.S. Geol. Survey., Techniques of Water Resources Investigations**, 1 (D2), 24p.

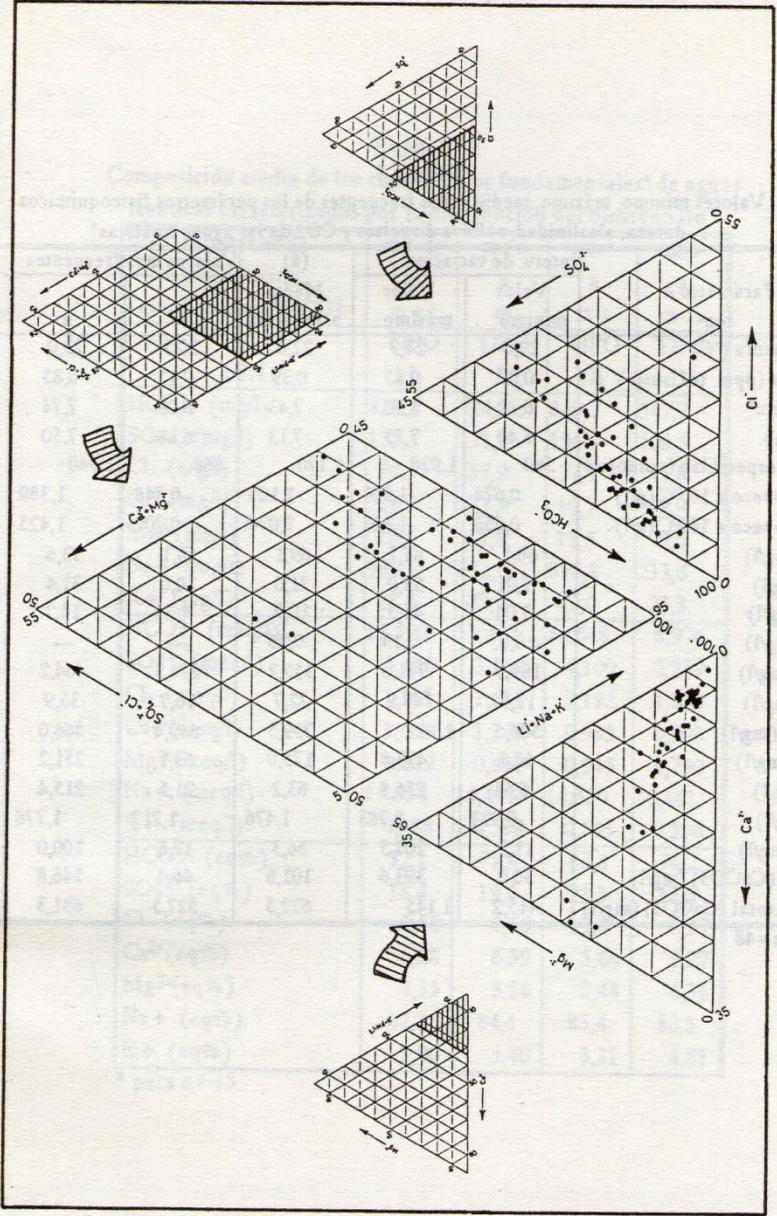


FIGURA 2. Composición aniónico-catiónica de las aguas freáticas.

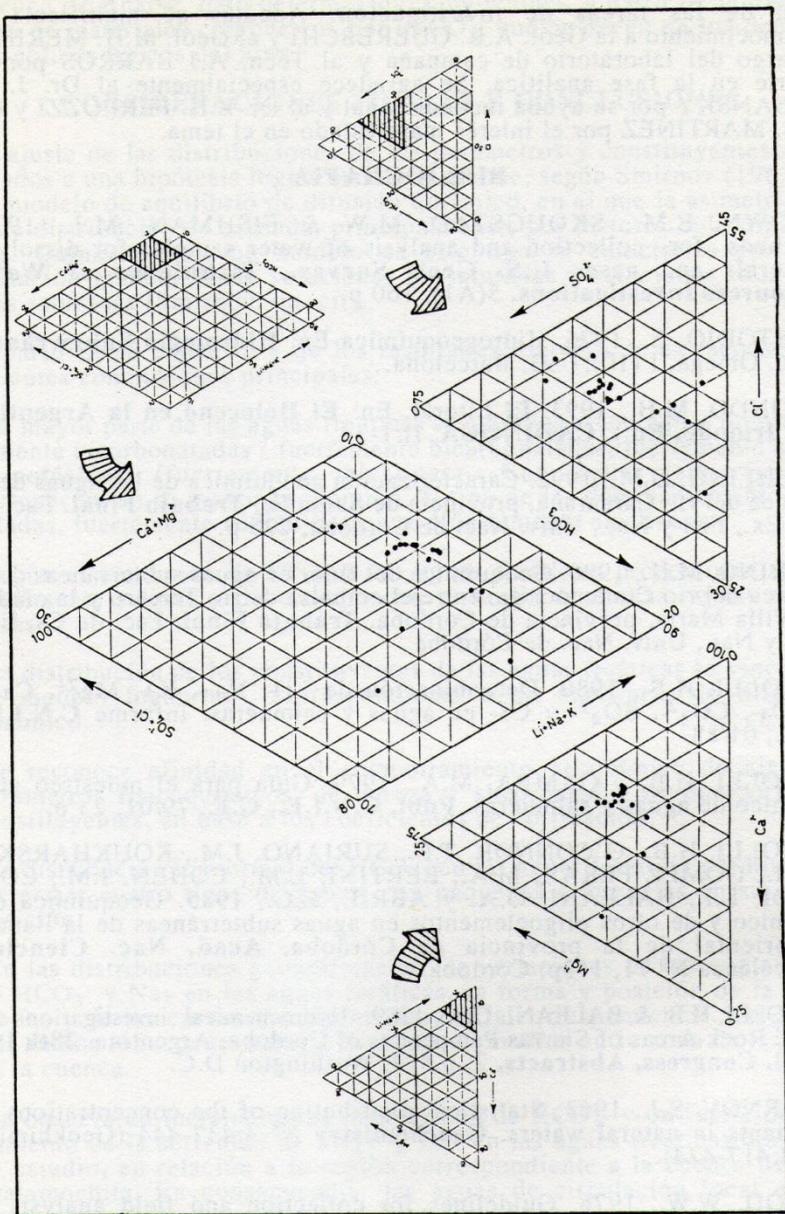


FIGURA 3. Composición aniónico-catiónica de las aguas superficiales.

**TABLA 1**  
**Valores mínimo, máximo, medio y más frecuentes de los parámetros fisicoquímicos**  
**dureza, alcalinidad, sólidos disueltos y CO<sub>2</sub> de las aguas freáticas\***

Parámetro o ion	Interv. de variación		( $\bar{x}$ )	Valores más frecuentes		
	Valor mínimo	Valor máximo	Media aritmética	de	a	%
Temperatura (°C)	20,0	24,9	22,0	20,5	23,0	85
Turbidez (ppm. sol. susp.)	0,07	0,85	0,39	0,15	0,85	79
pH "in situ"	6,80	8,00	7,43	6,99	7,74	79
pH en lab.	6,40	7,75	7,13	6,88	7,50	65
Conduc.específ.lab.( $\mu\text{mho/cm}$ )	580	1.920	1.170	866	1.540	71
Residuo seco a 105°C (g/l)	0,674	1,901	1,103	0,848	1,389	71
Residuo seco a 180°C (g/l)	0,650	1,887	1,074	0,702	1,425	83
SiO <sub>2</sub> (mg/l)	60,5	87,7	69,1	63,1	73,6	81
Ca <sup>2+</sup> (mg/l)	7,01	93,0	21,0	10,0	31,6	77
Mg <sup>2+</sup> (mg/l)	3,04	45,5	10,9	4,64	14,7	71
Li+ (mg/l)	<0,05	0,13	0,06	---	---	--
Na+ (mg/l)	189,9	771,6	355,2	278,3	464,2	69
K+ (mg/l)	12,3	43,9	22,7	16,7	35,9	81
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	506,5	1.397	759,5	649,4	866,0	77
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/l)	40,8	473,8	175,0	63,1	251,2	77
Cl <sup>-</sup> (mg/l)	6,63	256,8	63,2	21,5	215,4	75
STD (g/l)	0,933	2,783	1,476	1,212	1,778	67
CO <sub>2</sub> (mg/l)	11,2	207,5	56,3	17,8	100,0	83
Dureza (CaCO <sub>3</sub> ) (mg/l)	30,0	393,6	101,8	46,4	146,8	79
Alcalin.total (CaCO <sub>3</sub> ) (mg/l)	415,2	1.145	622,5	527,5	681,3	71

\* para n=48

TABLA 2

Composición media de los cuatro "tipos fundamentales" de aguas freáticas caracterizados por la distribución del bicarbonato \*

Límites en la distribución estadística del HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	m+2s	m+s	m	m-s
	a	a	a	a
	m+s	m	m-s	m-2s
ION	TIPO I	TIPO II	TIPO III	TIPO IV
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	829,2	724,4	649,7	547,7
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/l)	175,3	171,0	196,9	108,5
Cl <sup>-</sup> (mg/l)	70,6	57,9	77,7	41,8
Ca <sup>2+</sup> (mg/l)	21,3	22,5	19,7	19,9
Mg <sup>2+</sup> (mg/l)	10,8	11,8	11,5	9,6
Na <sup>+</sup> (mg/l)	387,1	332,0	336,8	233,6
K <sup>+</sup> (mg/l)	23,0	22,6	22,0	23,3
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (meq/l)	13,590	11,872	10,648	8,976
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (meq/l)	3,650	3,560	4,100	2,259
Cl <sup>-</sup> (meq/l)	1,991	1,633	2,192	1,179
Ca <sup>2+</sup> (meq/l)	1,063	1,123	0,983	0,993
Mg <sup>2+</sup> (meq/l)	0,889	0,971	0,946	0,790
Na <sup>+</sup> (meq/l)	16,838	14,441	14,650	10,161
K <sup>+</sup> (meq/l)	0,588	0,578	0,563	0,596
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (eq%)	72,1	71,9	63,8	74,2
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (eq%)	18,4	19,4	23,3	17,4
Cl <sup>-</sup> (eq%)	9,50	8,66	13,0	8,37
Ca <sup>2+</sup> (eq%)	5,28	6,59	5,84	8,27
Mg <sup>2+</sup> (eq%)	4,35	5,58	5,48	6,36
Na <sup>+</sup> (eq%)	87,3	84,4	85,4	80,5
K <sup>+</sup> (eq%)	3,00	3,40	3,31	4,81

\* para n=45

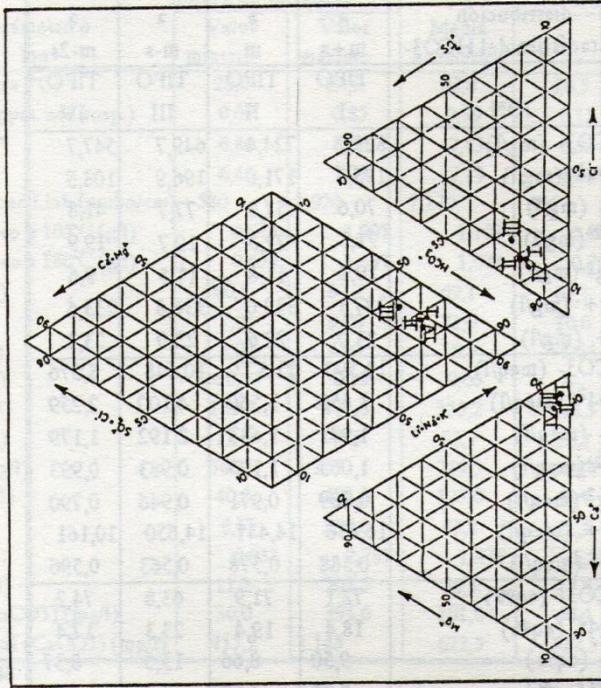


FIGURA 4. Variación de la composición aniónico-catiónica de las aguas freáticas, de acuerdo con los contenidos decrecientes de bicarbonato (tipos I a IV)

**FIG. 5**  
**Mapa de distribución geográfica de los contenidos**  
**del anión principal (HC03-) en las aguas freáticas**

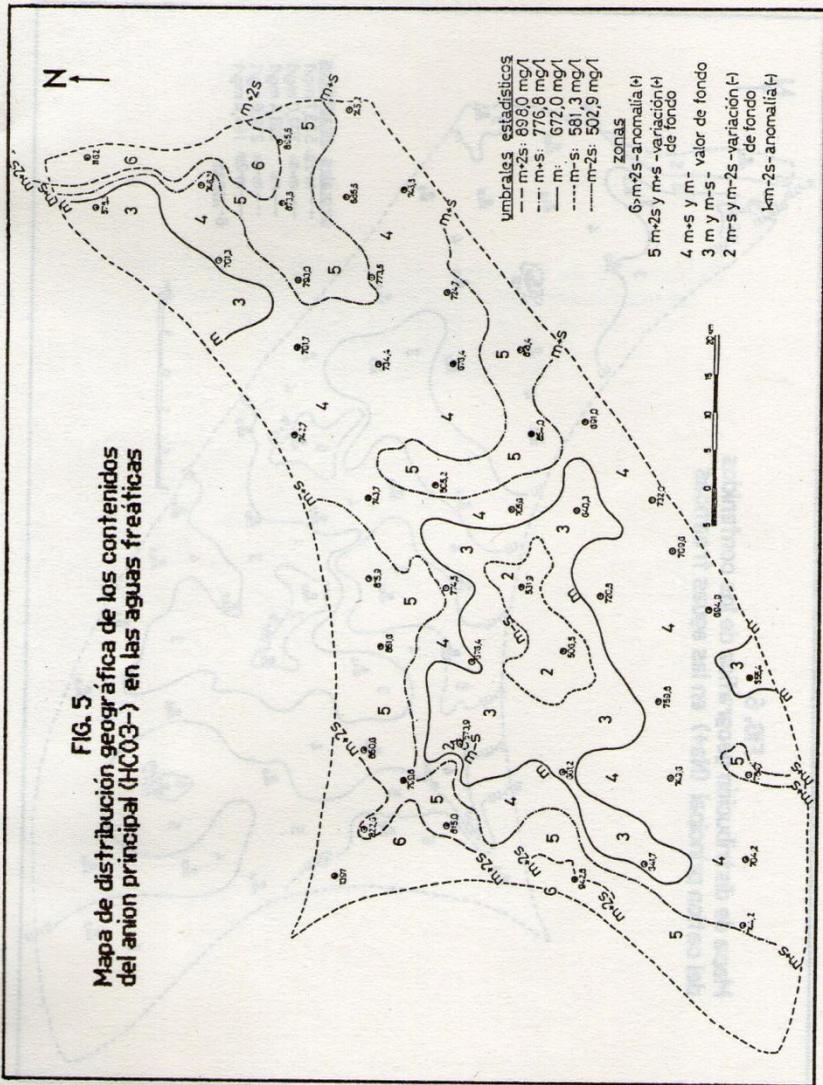
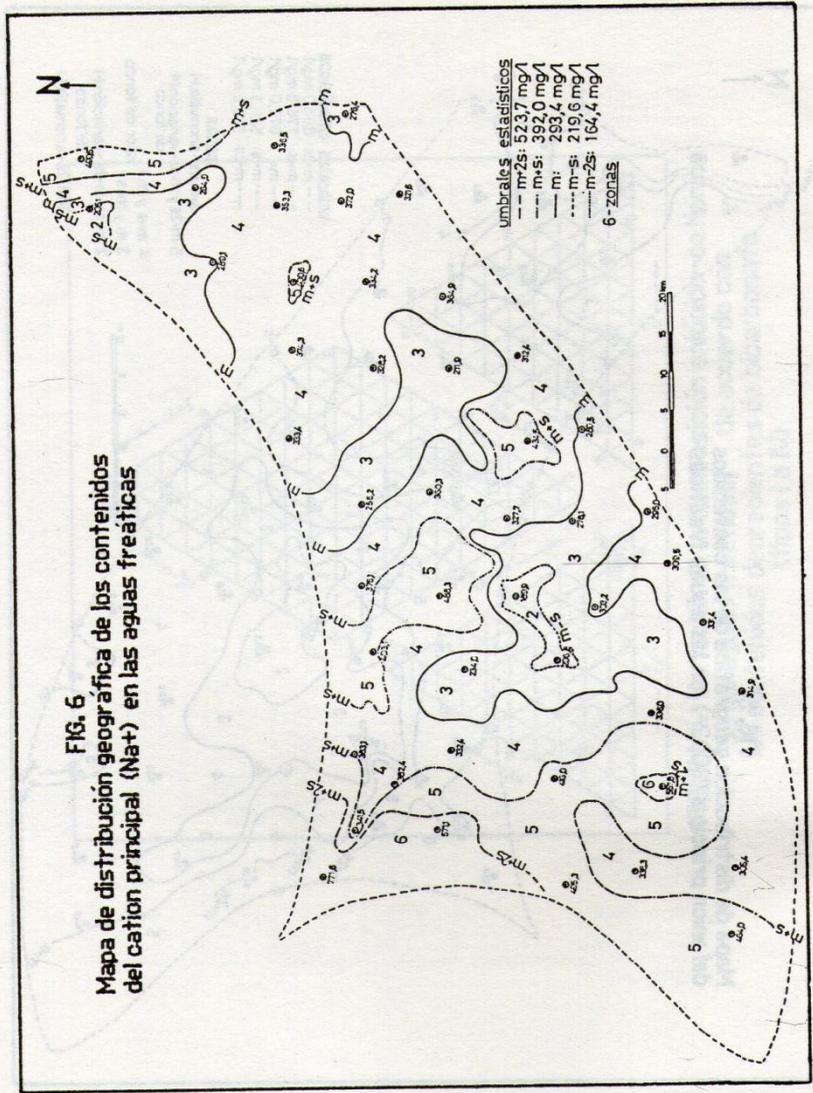
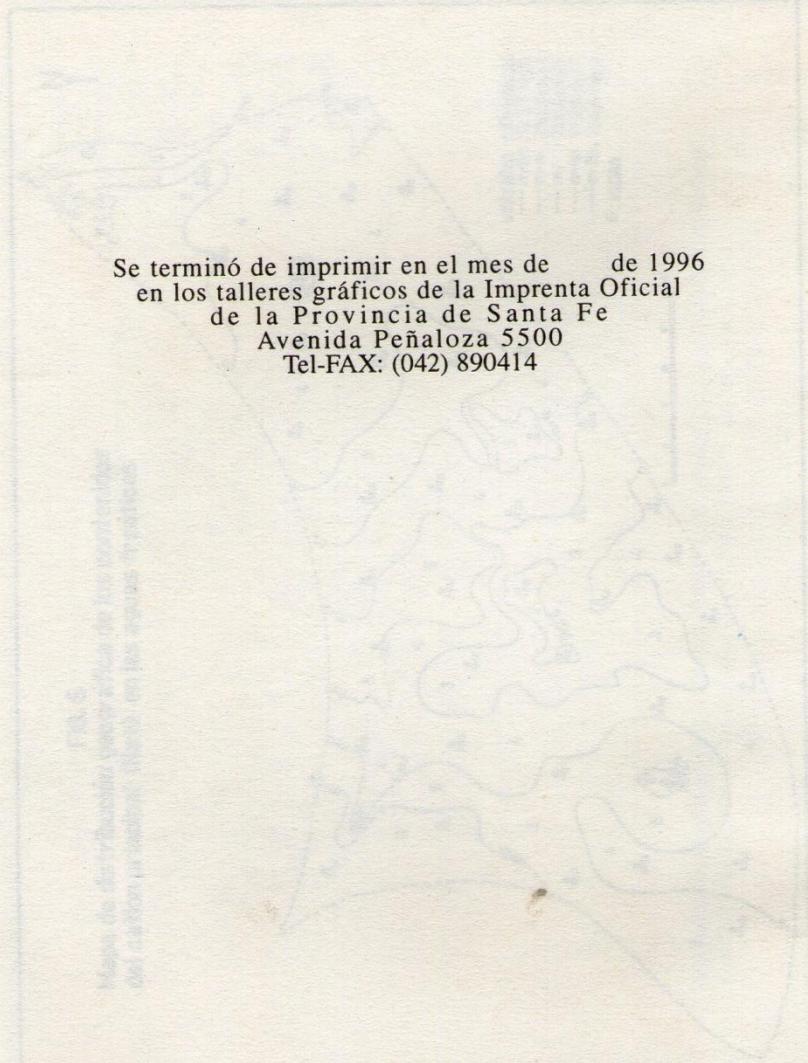


FIG. 6

Mapa de distribución geográfica de los contenidos del cation principal (Nat) en las aguas freáticas





Se terminó de imprimir en el mes de        de 1996  
en los talleres gráficos de la Imprenta Oficial  
de la Provincia de Santa Fe  
Avenida Peñaloza 5500  
Tel-FAX: (042) 890414