

COMPORTAMIENTO GEOQUIMICO DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS EN EL TRAMO OCCIDENTAL DE LA CUENCA DEL RIO CTALAMOCHITA, PROVINCIA DE CORDOBA, ARGENTINA

M.H. Merino* y H.B. Nicolli*

RESUMEN

Se ha comprobado una gran variabilidad en la composición química de las aguas subterráneas de la cuenca del río Ctalamochita. Un aumento gradual de la salinidad y de la dureza, en el sentido del escurrimiento subterráneo, en general de oeste a este, va acompañado de cambios en la composición iónica; algunas muestras son cálcicas, pero la mayor parte son dominante o fuertemente alcalinas (en las que el sodio es el catión principal); la composición aniónica revela los mayores cambios, ya que las aguas evolucionan desde fuerte o predominantemente bicarbonatadas a predominantemente sulfatadas (la mayor parte de las muestras) o fuertemente sulfatadas, pasando por términos intermedios (sin anión dominante).

ABSTRACT

A great variability in the chemical composition of ground water from the Ctalamochita river basin has been found. A gradual salinity and hardness increase in the sense of the runoff flow, from west to east, is accompanied by changes in the ionic composition. Some samples are calcic-type waters but most of them are alkali-type waters (sodium being the principal cation); anion composition shows the greatest changes since bicarbonate-type waters change to dominant sulfate- (most samples) or strongly sulfate-type waters, going through an intermediate anion composition (no dominant-type water).

INTRODUCCION

A pesar de que los estudios hidroquímicos no han sido frecuentes en el territorio de la República Argentina, se han mencionado reiteradamente los problemas relacionados con la calidad de las aguas en la Llanura Chacopampeana. A una elevada salinidad de los acuíferos de esa región suele sumarse una contaminación natural con arsénico acompañada, generalmente, de elevados contenidos de flúor y vanadio. Recientes trabajos (1, 2, 3) han señalado la presencia, además, de otro importante contaminante, el selenio, y de otros oligoelementos cuyos efectos son menos conocidos (uranio, antimonio, molibdeno) en un área de la llanura sudoriental de la provincia de Córdoba.

Inmediatamente al oeste del área citada, dentro de la cuenca del río Ctalamochita y al este de las Sierras Pampeanas de Córdoba, se ha emprendido una caracterización geoquímica preliminar de las aguas subterráneas, cuyos resultados se dan a conocer en la presente comunicación.

UBICACION Y MARCO GEOLOGICO

El área estudiada, que abarca una superficie aproximada de 12.000 km² y cuyas coordenadas extremas son 31°47' y 32°50' de latitud sur, y 63°11' y 64°28' de longitud oeste (figura 1), se encuentra en la provincia geológica denominada **Llanura Chacopampeana**.

Del análisis e interpretación de imágenes satelitarias se ha podido deducir la existencia de importantes fotolineamientos, algunos de los cuales son fracturas. La más evidente es la **fractura Hernando-Alejandro Roca** que con dirección N-S separa los bloques de la **Pampa elevada** y de la **Pampa hundida**. Sendas áreas geomorfológicas, homónimas⁽⁴⁾; están limitadas por esa fractura, la que ejerce un importante control de la red de drenaje en el área estudiada.

* Departamento de Geoquímica y Aplicaciones Geológicas de la Teleobservación, Comisión Nacional de Investigación Espacial, Avda. Mitre 3100; 1663 San Miguel (Provincia de Buenos Aires, Argentina).

** CONICET - Argentina.

Existe una alta correspondencia, en cuanto a rumbo, entre dicha geofractura y otros lineamientos menores, en los que predomina una orientación NNO-SSE. En la Pampa hundida esos lineamientos muestran una elevada densidad y un paralelismo notorio, cuyos efectos se observan en las características de la red de escurrimiento superficial y en las diferentes aptitudes agronómicas del suelo.

MUESTREO Y METODOLOGIA ANALITICA

Se seleccionaron 72 muestras para estudiar el comportamiento geoquímico de las aguas sub-

terráneas pertenecientes al nivel freático. El muestreo fue realizado de acuerdo con las normas dadas por el U. S. Geological Survey (5, 6) modificadas y adaptadas para este tipo de investigaciones.

En los análisis químicos se empleó una adaptación (7) de procedimientos del U. S. Geological Survey (5). Las determinaciones de temperatura, pH, conductancia específica, oxígeno disuelto y turbidez se realizaron instrumentalmente, por mediciones *in situ*. En laboratorio se determinaron Na^+ y K^+ por espectrometría de emisión en llama, Ca^{2+} y Mg^{2+} por complejometría con EDTA, HCO_3^- por volumetría con H_2SO_4 , SO_4^{2-} por turbidimetría sin empleo de aditivos, Cl^- por medición

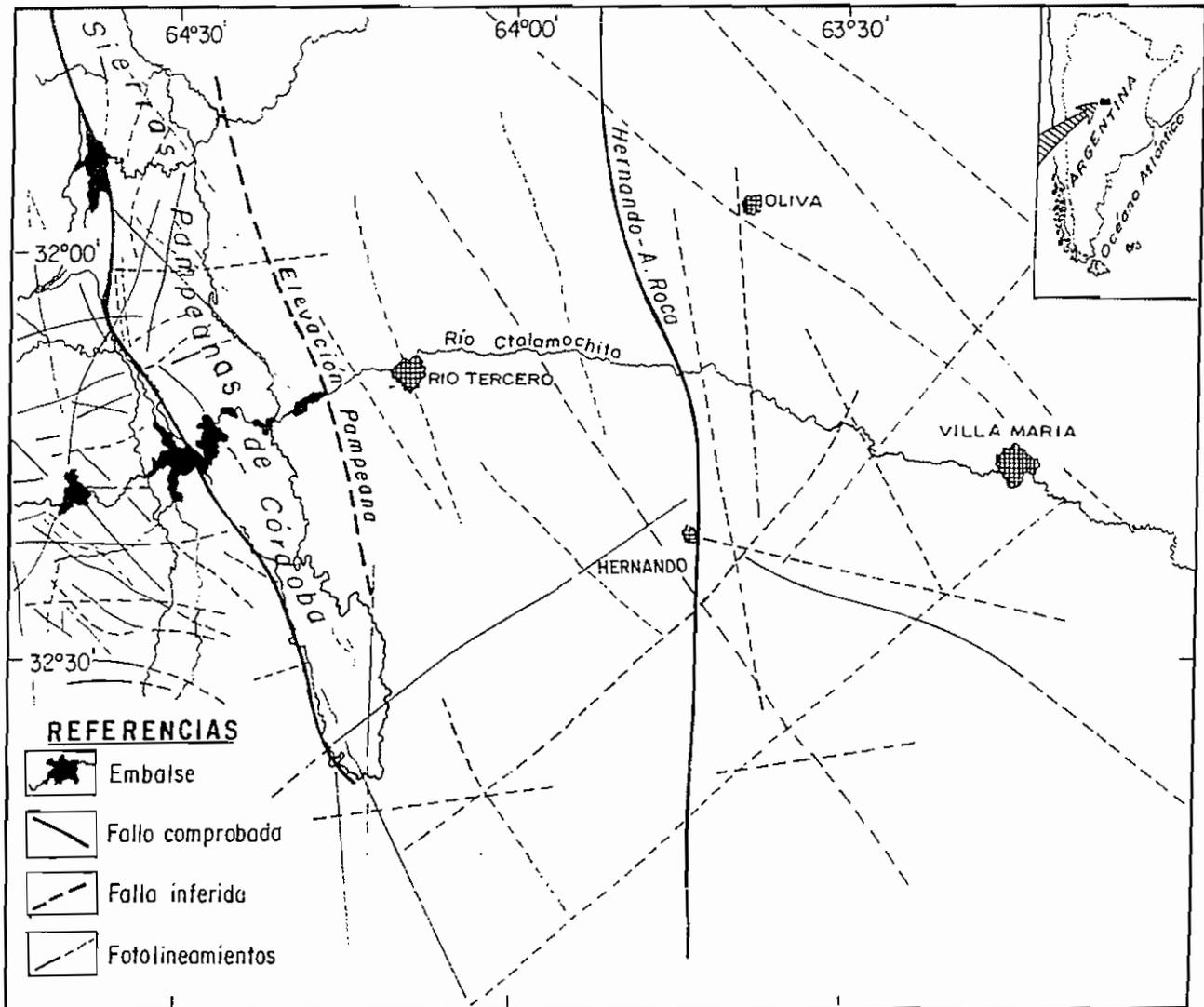


Figura 1. Ubicación y rasgos estructurales del área estudiada.

de actividad iónica con electrodo específico, CO₂ por cálculo y SiO₂ por espectrometría de absorción molecular. Además, se determinó el residuo seco a 105 y 180°C, se midió el valor del potencial redox y se calculó el valor de los sólidos totales disueltos y de la dureza.

COMPOSICION IONICA

Los valores de Eh y pH determinan que las aguas del nivel freático pertenecen a los grupos V y VI (8), consideradas todas de **tipo oxidante**. Ese conjunto revela una gran variabilidad, ya que la composición aniónica destaca aguas fuertemente bicarbonatadas, intermedias (sin anión dominante), predominantemente sulfatadas (la mayor parte de las muestras) y fuertemente sulfatadas. En cuanto a la composición catiónica, algunas muestras son fuertemente cálcicas o predominantemente cálcicas, pero la mayor parte de esas aguas son dominante-

mente alcalinas, en las cuales el sodio es el catión principal (9).

En el cuadro 1 puede observarse los valores máximo, mínimo, medio y más frecuente de cada constituyente o parámetro medido. Se estudió la distribución de frecuencias de cada constituyente o parámetro y, con el objeto de comprobar la bondad del ajuste entre la distribución empírica y la distribución teórica elegida (gaussiana o lognormal) se aplicó la d'cima de Pearson, con un nivel de significación del 5 %, de acuerdo con los criterios de Rodinov (10). De esta manera se comprobó un excelente ajuste de turbidez, pH (en laboratorio), conductancia específica, SiO₂, Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺, HCO₃⁻, SO₄²⁻, Cl⁻, STD, dureza y CO₂ a una **distribución lognormal**. El pH (*in situ*) y el Eh ajustan tanto a la **lognormal** como a la **gaussiana**, en tanto que el OD ajusta **solamente a la gaussiana**.

Cuadro 1. Análisis químicos de aguas subterráneas del nivel freático.

| | Valor mínimo | Valor máximo | Media | Valores mas frecuentes de | | % |
|-------------------------------|--------------|--------------|-------|---------------------------|-------|------|
| Temperatura | 14,5 | 30,8 | 19,7 | 19,0 | 22,0 | 58,5 |
| Turbidez | 1,00 | 143,0 | 15,21 | 3,16 | 17,78 | 70,8 |
| pH (<i>in situ</i>) | 7,10 | 8,70 | 7,82 | 7,58 | 7,94 | 61,1 |
| pH (laboratorio) | 7,25 | 8,50 | 7,75 | 7,58 | 7,85 | 52,8 |
| Eh | 332,0 | 482,0 | 390,3 | 363,1 | 398,8 | 54,2 |
| Conduct. espec. | 100 | 10700 | 1442 | 631,0 | 2512 | 65,0 |
| Residuo (105°C) | 98,30 | 8717 | 1738 | 719,7 | 3727 | 62,5 |
| Residuo (180°C) | 94,90 | 8704 | 1719 | 719,7 | 3727 | 63,9 |
| SiO ₂ | 4,47 | 89,9 | 53,11 | 50,11 | 70,79 | 58,4 |
| Ca ²⁺ | 2,81 | 396,8 | 85,49 | 17,78 | 100,0 | 61,1 |
| Mg ²⁺ | 0,97 | 132,7 | 26,09 | 5,62 | 56,23 | 56,7 |
| Na ⁺ | 3,87 | 2776 | 449,7 | 158,5 | 1000 | 66,7 |
| K ⁺ | 0,42 | 46,60 | 14,09 | 7,49 | 23,71 | 55,6 |
| HCO ₃ ⁻ | 85,90 | 1119 | 378,9 | 215,4 | 464,2 | 63,9 |
| SO ₄ ²⁻ | 2,30 | 2399 | 679,1 | 63,09 | 1000 | 56,9 |
| Cl ⁻ | 1,99 | 3029 | 217,1 | 17,78 | 177,8 | 58,3 |
| STD | 124,1 | 8857 | 1905 | 1000 | 4217 | 59,7 |
| Dureza (CaCO ₃) | 18,59 | 2625 | 387,7 | 100,0 | 464,2 | 54,2 |
| CO ₂ | 0,28 | 32,51 | 10,33 | 4,64 | 14,67 | 66,7 |
| OD | 3,30 | 10,40 | 6,07 | 5,0 | 8,0 | 58,3 |

Valores de temperatura en °C, de Eh en mv, de conductancia específica en µmho/cm, y del resto de los constituyentes en mg/l.

COMPORTAMIENTO GEOQUIMICO

Se ha observado una variación en la composición química de las aguas subterráneas del nivel freático que se traduce, en general, en un aumento de la salinidad en el sentido del escurrimiento; esa variación está acompañada de diversos cambios de los valores de los parámetros fisicoquímicos y de los contenidos de sólidos disueltos.

Con el objeto de estudiar más ordenadamente esos cambios se han elegido, arbitrariamente, las variaciones de contenidos del anión HCO_3^- como criterio válido para definir tales cambios y caracterizar el comportamiento geoquímico de las aguas en el área estudiada. El análisis de la distribución de frecuencias de contenidos de HCO_3^- , que definió un excelente ajuste a la hipótesis lognormal, ha permitido seleccionar los valores correspondientes a los **umbrales estadísticos** para caracterizar geoquímicamente **cuatro tipos de aguas** en el área de estudio. Dichos valores son: 154,5 mg/l (m-2s), 251,2 mg/l (m-s), 410,0 mg/l (m), 647,3 mg/l (m+s) y 1053 mg/l (m+2s) de HCO_3^- . En el cuadro 2 están consignados los tipos de aguas I, II, III y IV, con los respectivos contenidos medios de aniones y cationes (en eq %).

Cuadro 2. Agrupación en cuatro tipos de aguas sobre la base de los umbrales estadísticos de la distribución de eq% HCO_3^- .

| Umbral | m-2s | m-s | m | m+s |
|--------------------|-------|-------|-------|-------|
| | a | a | a | a |
| | m-s | m | m+s | m+2s |
| Tipo de agua | I | II | III | IV |
| Ion* | | | | |
| Ca^{2+} | 23,11 | 13,89 | 18,89 | 20,35 |
| Mg^{2+} | 6,97 | 5,86 | 9,49 | 8,99 |
| Na^+ | 68,11 | 78,49 | 70,18 | 68,52 |
| K^+ | 1,77 | 1,70 | 1,40 | 1,21 |
| HCO_3^- | 72,34 | 35,42 | 18,11 | 10,66 |
| SO_4^{2-} | 18,98 | 48,29 | 64,46 | 65,01 |
| Cl^- | 8,68 | 15,75 | 17,49 | 24,34 |

*Contenidos medios de cationes y aniones en eq%.

Las variaciones en la composición aniónico-catiónica de las aguas freáticas se ponen claramente de manifiesto en los diagramas de Piper (figura 2). El triángulo de composición catiónica revela que las variaciones en la proporción relativa

de cationes cambia muy poco, siempre dentro de términos predominantemente o fuertemente sódicos. El triángulo de composición aniónica revela una evolución de las aguas desde fuertemente bicarbonatadas (tipo I) a predominantemente sulfatadas (tipo III y IV) pasando por el término intermedio, sin anión dominante (tipo II).

CONCLUSIONES

Tomando en cuenta que la mayoría de los parámetros físico-químicos y iones disueltos ajustan a una distribución lognormal, es atinado el ajuste de **todo el modelo** de distribución de constituyentes y parámetros de las aguas estudiadas a una hipótesis lognormal, correspondiente a un **modelo de equilibrio de difusión dinámico** (11). Químicamente, un modelo de este tipo se caracteriza por un cambio gradual, de soluciones menos saturadas a soluciones cada vez más saturadas. Termodinámicamente, la caracterización de este cambio está en concordancia con la existencia de un sistema de menor probabilidad que pasa a uno de mayor probabilidad y por un estado que parte con un alto nivel relativo de energía libre y evoluciona hacia un estado de menor energía libre.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean manifestar su agradecimiento al señor Intendente Municipal de Río Tercero, D. Abel S. Bossa, por su colaboración durante la campaña de muestreo, tarea ejecutada con la ayuda de la profesora Liliana Cellenza y de la geóloga Alina B. Guerreschi, y a los señores Arturo J. Barros por la ejecución de los análisis químicos y Oscar A. Petrozzi por el dibujo del mapa y diagrama.

REFERENCIAS

- (1) Nicolli, H. B.; O'connor, T. E.; Suriano, J. M.; Koukharsky, M. M. L.; Gomez 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. *Miscelánea N° 71, Acad. Nac. Ciencias*, 112 p. Córdoba, Argentina.
- (2) Nicolli, H. B.; Suriano, J. M.; Gomez Peral, M. A.; Ferpozzi, L. H. y Baleani, O. A.; 1989. Groundwater Contamination with Arsenic and Other Trace Elements in an Area of the Pampa, Province of

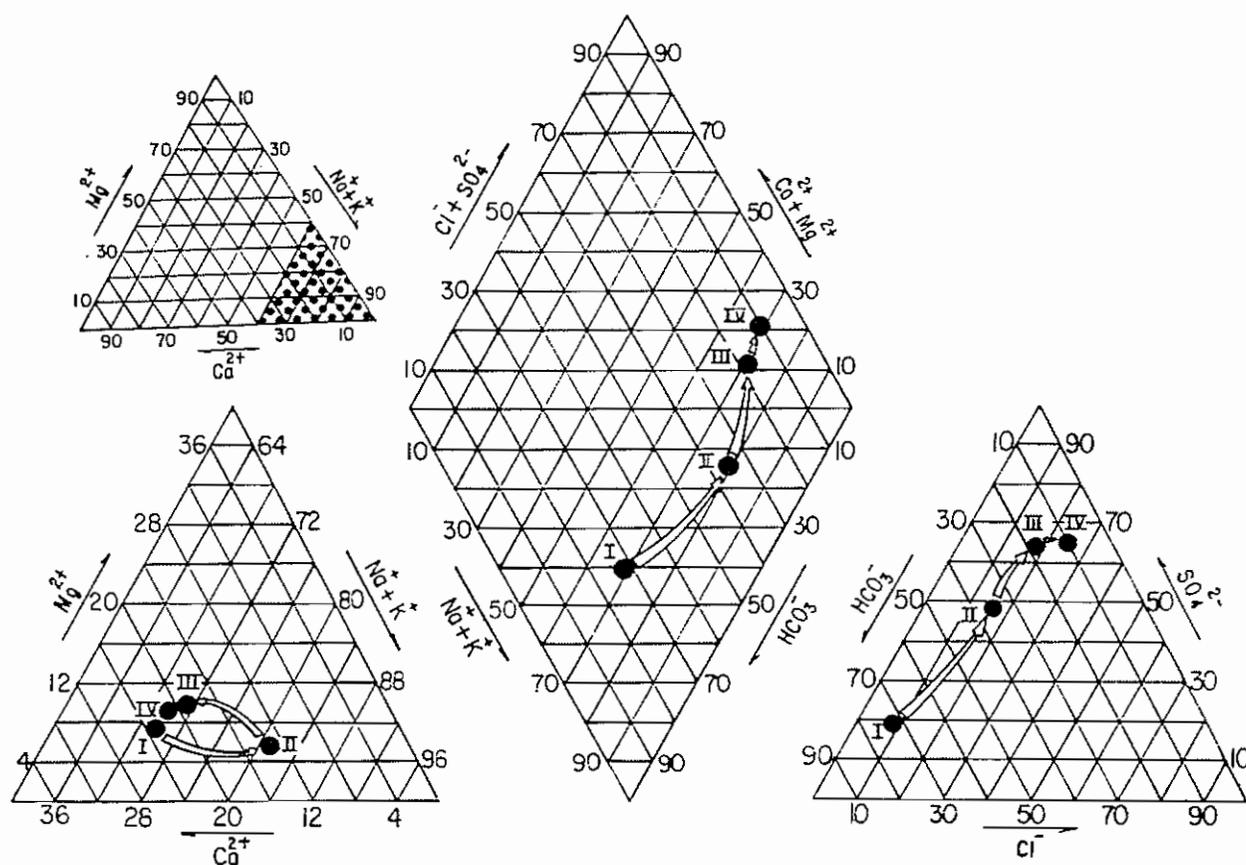


Figura 2. Variación de la composición aniónico-catiónica de las aguas de la cuenca de acuerdo con los contenidos decrecientes de HCO_3^- (tipos I a IV).

Córdoba, Argentina. *Environ. Geol. Water Sci.*, 14 (1): 3-16.

(3) Nicolli, H. B.; Ferpozzi, L. H. y Gómez Peral, M. A.; 1989. Arsenic and Selenium Contamination of Ground Water Hosted in Loessic Sediments of Pampa Plain, Córdoba, Argentina. *28th Int. Geol. Congress, Abstracts*, 2, p. 515, Washington D.C., U.S.A.

(4) Ferpozzi, L. H., 1987. Principales rasgos geomorfológicos y dinámica hídrica de un sector de la llanura sudoriental de la provincia de Córdoba, República Argentina. *II Simp. Latinoamer. sobre Sensores Remotos*, S. 408; Bogotá, Colombia.

(5) Brown, E.; Skougstad, M. W. y Fishman, M. J.; 1980. Methods for collection and analysis of water samples for dissolved minerals and gases. *U.S. Geol. Surv., Techniques of Water-Resources Investigations*, 5 (A1), 160 p.

(6) Wood, W. W.; 1976. Guidelines for collection and field analysis of groundwater samples for selected unstable constituents. *U. S. Geol. Surv., Techniques of Water-Resources Investigations*, D2 (1), 24 p.

(7) Nicolli, H. B., 1988. Técnicas de análisis químicos de aguas y salmueras. *Inf. C.N.I.E., DEPGEOLQUI*, 01/88, inéd.

(8) Pavlov, A. N. y Shemyakin, V. N.; 1967. A geochemical classification of natural waters. *Geochem. Int. N° 4*: 1159-1164 (*Geokhimiya N° 12*: 1482-1488).

(9) Merino, M. H.; 1990. Geoquímica del flúor en aguas de la cuenca del río Ctalamochita entre las localidades de Embalse y de Villa María. Univ. Nac. Córdoba, Fac. Cs. Ex., Fís. y Naturales, Depto. de Geología Aplicada, *Trabajo Final*, 212 p., Córdoba, Argentina.

(10) Rodionov, D. A.; 1965. *Distribution functions of the elements and mineral contents of igneous rocks*. Trad. del ruso, Consultant Bureau, 80 p., N. York.

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