

Evaluación de relaciones geomorfología – calidad de agua subterránea con apoyo de técnicas estadísticas en la Planicie Sudoccidental de Córdoba, Argentina

Fátima Bécher Quinodóz^{1,2}, Mónica Blarasin² y Gabriela Damilano³

¹CONICET

²Dpto. de Geología, Facultad de Ciencias Exactas Físico Químicas y Naturales, Universidad Nacional de Río Cuarto. Ruta 36 Km 601, Río Cuarto – Córdoba – Argentina.

³Fac. Cs Humanas. Universidad Nacional de Río Cuarto. Ruta 36 Km 601, Río Cuarto – Córdoba – Argentina.

Mail de contacto: fbecher@exa.unrc.edu.ar

RESUMEN

El área presenta un relieve suavemente ondulado, con dunas longitudinales y médanos resultantes de reactivaciones modernas, paleocanales y antiguos derrames del río Quinto y lagunas permanentes/temporarias. El objetivo es realizar la caracterización hidrodinámica e hidrogeoquímica del acuífero libre, estableciendo relaciones con los principales rasgos geomorfológicos, utilizando análisis estadístico para validar el modelo conceptual. El análisis estadístico en Modo R presenta dos grupos: G₁, explicando salinización del agua y G₂ la asociación As-F disueltos en aguas con alta alcalinidad y alto pH. En Modo Q presenta dos grupos: G₁, que asocia aguas salobres-saladas pertenecientes al ambiente eólico y G₂ que representa aguas dulces ubicadas en el ambiente fluvio-eólico. Las aguas dulces bicarbonatadas se vinculan a médanos activos o lomas donde se desarrollan sistemas de flujos locales (recarga reciente de lluvias); las aguas salobres y saladas, sulfatadas y cloruradas, son más evolucionadas y se consideran resultantes de un largo tránsito de flujos regionales.

Palabras clave: aguas subterráneas-geomorfología-análisis estadístico.

ABSTRACT

The studied area has an undulated relief, with old longitudinal dunes and modern ones resulting from reactivation by present winds. Paleochannels belonging to the rio Quinto river and temporary and permanent lagoons were observed. The objective of this work is to characterize the unconfined aquifer from a dynamic and geochemical point of view, establishing relationships with geomorphological features. A statistical analysis was made for the validation of the conceptual model. The R mode multivariate analysis showed two groups: G₁, which explains groundwater salinity and G₂ linking As and F with pH and alkalinity. The Q mode exhibited two groups: G₁ representing brackish-salty groundwater in the aeolian environment and G₂ grouping fresh groundwater located in the fluvial-aeolian area. Fresh water is related to active dunes linked to local flows from modern precipitation recharge. The brackish-salty water is the result of regional flows.

Keywords: groundwater-geomorphology-statistical analysis.

Introducción, objetivos y ubicación del área estudiada.

El área de estudio (2.400 km²) comprende un sector de la planicie medanosa al Sur del río Quinto, entre Villa Valeria y Del Campillo, Córdoba (Fig. 1). Esta planicie arenosa suavemente ondulada, presenta dunas longitudinales de orientación NO-SE, con médanos resultantes de reactivaciones modernas de orientación NE-SO, coincidente con la dirección de los vientos actuales, paleocanales y antiguos derrames del río

Quinto, además de áreas deprimidas ocupadas por lagunas permanentes y temporarias.

Dados los antecedentes de diferentes calidades de agua halladas en esta gran región, el objetivo de este trabajo es la caracterización hidrodinámica e hidrogeoquímica del acuífero libre, estableciendo relaciones con los principales rasgos geomorfológicos, utilizando análisis estadísticos para tratar de validar el modelo conceptual.

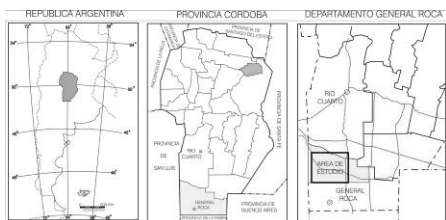


Figura 1. Localización área de estudio.

Metodología

Se realizó un estudio a escala regional y se trabajó sobre la base de 4 Hojas topográficas del Instituto Geográfico Nacional (IGN) a escala 1:100.000, de fotografías aéreas y de imágenes satelitales. Se trataron datos climáticos pertenecientes a la serie El Dorado (1988–2012), cedida por un particular. Se efectuó el estudio geológico - geomorfológico, a través de la descripción de perfiles litológicos aflorantes y procedentes de perforaciones. Para complementar la tarea de reconstrucción del subsuelo se realizó prospección geoelectrónica mediante sondeos eléctricos verticales (SEV) según disposición Schlumberger, en lugares seleccionados de acuerdo a las evidencias geológicas. Las curvas de resistividad aparente resultantes fueron procesadas con el programa IPI2 Win v 2.0, comparándose los resultados con datos de perforaciones. Para el estudio hidrogeológico se realizó el muestreo de agua subterránea en 25 perforaciones que captan de los primeros 20 m del acuífero libre de acuerdo a la información relevada. En laboratorio se realizaron las siguientes determinaciones (CO_3^{2-} , HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , As , F^- , NO_3^-). La información resultante fue procesada, obteniéndose los mapas de potenciales hidráulicos, de profundidad del nivel freático e hidroquímicos. Por último, se efectuó un análisis estadístico de las variables consideradas en el estudio y para determinar posibles relaciones, se aplicaron tanto la técnica multivariada de análisis de conglomerados como contrastes para diferencias de medias paramétricas (test t para muestras independientes) y no paramétricas (pruebas de Kolmogorov - Smirnov y de Mann - Whitney).

Resultados

Caracterización climática

El clima en la zona es de tipo mesotermal subhúmedo seco, con una precipitación media anual de 605,6 mm, concentrada principalmente en primavera-verano. La serie de precipitaciones anuales (P) analizada fue El

Dorado (1988-2012) con un mínimo de 220 mm y un máximo de 1.065 mm. El balance hídrico seriado de paso mensual muestra que, para un almacenamiento de agua en el suelo de 150 mm, entre 58,5 y 100% de P es devuelto a la atmósfera como evapotranspiración real. Los déficits se producen fundamentalmente en los meses de otoño-invierno y los excesos, variables entre 0 y 210 mm, en primavera-verano, muy condicionados por el comportamiento de las precipitaciones. La tendencia de los excesos hídricos es creciente, fundamentalmente para los años comprendidos entre 1972-1985 y entre 1998-2004; a partir de 2005 y hasta la fecha los déficits hídricos se han incrementado, comportamiento hidrológico que se observa fundamentalmente en descensos del nivel freático y reducción de superficie de agua en lagunas instaladas en dunas parabólicas y en los corredores de deflación de las dunas longitudinales (Fig. 2).

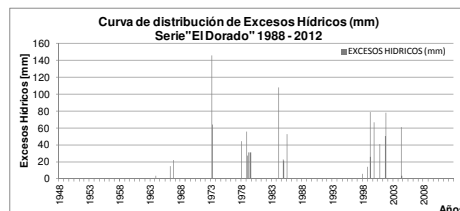


Figura 2. Excesos hídricos

Caracterización geológica – geomorfológica

La zona de estudio se ubica geomorfológicamente en la Planicie Arenosa de la Llanura Pampeana y dentro de esta en la llanura medanosa con dunas longitudinales (Degiovanni, 2005). Esta planicie presenta un relieve plano a suavemente ondulado, en el que se reconocen, especialmente en el ángulo SO, dunas longitudinales de orientación NO-SE (pendientes inferiores al 2%), con médanos resultantes de reactivaciones modernas de orientación NE-SO, coincidentes con la dirección de los vientos actuales. Se observan paleocanales y antiguos derrames del río Quinto, como así también áreas deprimidas (asociadas a antiguos corredores de deflación), ocupadas en épocas de mayor humedad por lagunas permanentes y/o temporarias. El afloramiento del nivel freático en ciertas épocas y la posterior evaporación en períodos más secos generan eflorescencias salinas. En el área se identificaron dos grandes ambientes geomorfológicos: I: Ambiente Fluvio-Eólico y II- Ambiente Eólico, identificándose para el ambiente I las subunidades la- Faja Fluvial y lb-

Llanura fluvio eólica con dunas parabólicas y paleorasgos fluviales, mientras que en la unidad II, se reconocen las subunidades IIa- Llanura medanosa con dunas longitudinales y IIb- Área con bajos hidrohalomórficos (fig. 3). En todas las unidades dominan sedimentos psamo-pelíticos con variable grado de cementación carbonática. En el ambiente fluvio-eólico

aparecen subordinadas arenas gruesas y muy localmente gravas, mientras que en el ambiente eólico se destaca la fracción arenas muy finas-limosas y un aumento del porcentaje limo-arcilla en las áreas deprimidas, siempre con importante cantidad de vidrio volcánico (Blarasin, 1984).

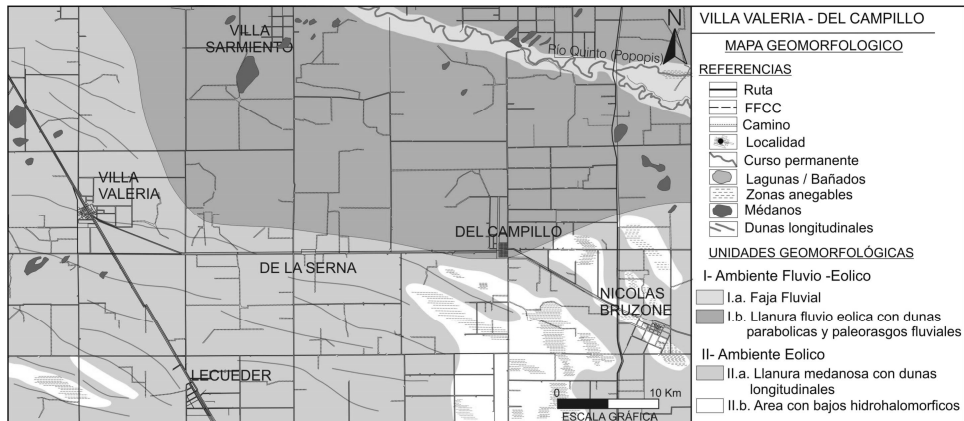


Figura 3. Mapa geomorfológico

Caracterización hidrogeológica

El estudio de la geología superficial, de los perfiles expuestos, el inventario de perforaciones de profundidades variables y los resultados e interpretaciones de los Sondeos eléctricos verticales (SEVs) permitieron generar un modelo hidrogeológico preliminar del subsuelo. A modo de ejemplo, en la Figura 4 se muestra la curva obtenida para el SEV N° 9.

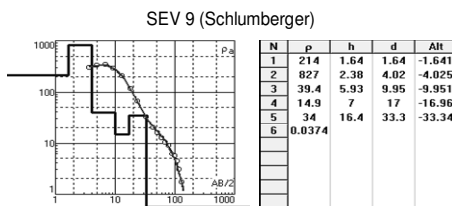


Figura 4. Sondeo eléctrico vertical N° 9.

En los perfiles hidrogeológicos A-A', B-B' y C-C' (Fig. 5) se muestran las principales características del subsuelo, pudiendo observarse un amplio dominio de sedimentos finos (arenas muy finas limosas), aunque se reconocen cambios faciales de materiales más cementados o más gruesos que a una escala local implican anisotropías desde el punto de vista hidráulico, especialmente en el ámbito de la faja fluvial del río Quinto y áreas de derrame.

El acuífero estudiado es el libre, el cual exhibe cierta homogeneidad, dado el dominio de sedimentos finos (arenas muy finas limosas), reconociéndose que, si bien la moda de arenas muy finas dominan en general (Fig. 6), los sectores medanosos tienen proporciones de 10-20 y hasta 30% de arenas finas, lo que mejora la permeabilidad.

En el sector se realizaron ensayos de bombeo, con el objetivo de determinar los parámetros hidráulicos del acuífero. Las áreas de ensayo se localizan en el ámbito de Villa Valeria y Villa Sarmiento; los ensayos fueron realizados bajo régimen de no equilibrio, a caudal constante y se calcularon los parámetros del acuífero mediante el método de Jacob. En el caso de Villa Valeria, la zona presenta arenas finas con algo de limo, parda clara, suelta, no plástica, la que se continua hasta la profundidad final del sondeo (12 metros); en algunos sectores se manifiestan pequeñas concreciones carbonáticas dispersas. El ensayo de bombeo permitió obtener los siguientes valores, Transmisividad (T) de 68 m²/día, Conductividad Hidráulica (K) de 4,5 m/día y un Coeficiente de Almacenamiento (S) o porosidad efectiva del orden de 14%. Para Villa Sarmiento la zona presenta arena fina limosa, parda clara, suelta, no plástica, que se continua hasta los 8,5 metros de profundidad; por debajo se localiza un nivel de limos con abundantes concreciones

carbonáticas. El ensayo de bombeo permitió obtener los siguientes valores para un Radio efectivo de 18 m, Conductividad Hidráulica (K)

3,70 m/día, Transmisividad (T) del orden de 56 m²/día, un Coeficiente de Almacenamiento (S) o porosidad efectiva del orden del 16%.

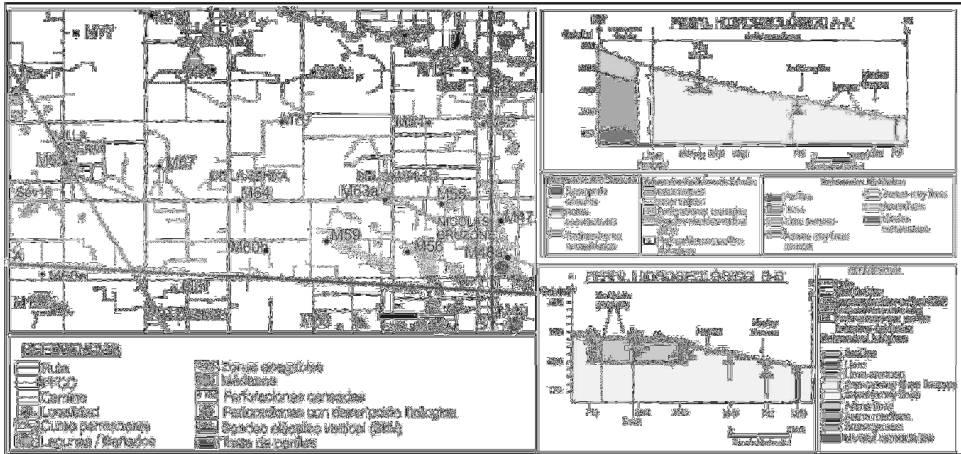


Figura 5. Área de estudio. Ubicación de perfiles hidrogeológicos.

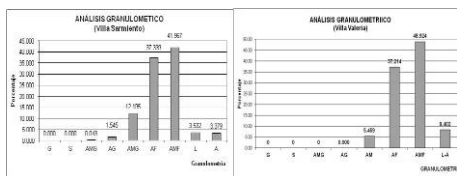


Figura 6. Análisis granulométricos para diferentes sectores del área. a)- Sector Villa Sarmiento y b)- Sector Villa Valeria.

Caracterización hidrodinámica

El acuífero freático se caracteriza por una dirección de escurrimiento general NO-SE, paralela a la traza del río Quinto. La superficie freática presenta morfología desde suavemente ondulada en el sector SE a casi planar en el sector centro. La traza de las líneas de flujos de la Figura 7, indican que en su mayor parte el sector se comporta como un área de tránsito del flujo subterráneo procedente del sector occidental (provincia de San Luis), mientras que en el extremo SE los bajos topográficos actúan como zonas de descarga (pantanos) del acuífero freático (IIB- Área con bajos hidrohalomórficos). Los gradientes hidráulicos calculados son muy bajos del orden de 0,1% asociados a áreas más planas y bajos hidrohalomórficos. A partir de los gradientes y conductividades hidráulicas mencionadas para la zona, las velocidades reales de escurrimiento del agua subterránea son de 0,04-0,07 m/d (en

ambiente más plano, sector centro) y 0,25-0,5 m/d (en arenas de los campos de dunas del sector SO y NO, respectivamente).

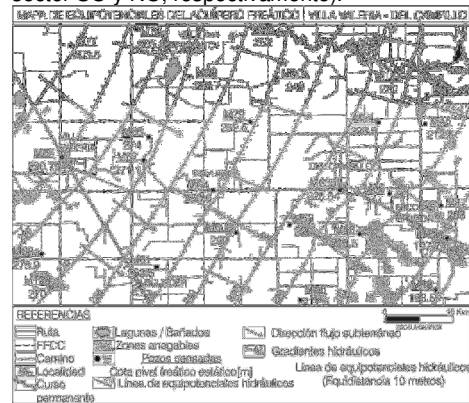


Figura 7. Mapa de líneas equipotenciales del acuífero freático. Año 2013

Las fluctuaciones del nivel freático en la región están vinculadas fundamentalmente a la recarga efectiva que llega al acuífero a partir de las precipitaciones. En concordancia con las disminuciones de P y los excesos hídricos del balance, puede indicarse que en los últimos 7 años, en el área se han producido descensos de los niveles freáticos, aspecto que se refleja en la reducción de los cuerpos lagunares y superficies anegadas.

Caracterización hidrogeoquímica

Los parámetros estadísticos de las variables químicas analizadas para las 25 muestras se exhiben la Tabla 1. La conductividad eléctrica presenta un mínimo de 1.056 $\mu\text{S/cm}$ y un máximo de 14.530 $\mu\text{S/cm}$, con UNA desviación estándar de 4.153,51 (Tabla 1), lo que indica que la misma presenta una gran variabilidad (Fig. 8).

Tabla 1. Estadísticos descriptivos

	N Estadístico	Rango Estadístico	Mínimo Estadístico	Máximo Estadístico	Media Estadístico	Error típico	tp. Estadístico	Varianza Estadístico
ph	25	1,5	7,3	8,8	8,2	,1	,3	,1
CE	25	13474,0	1056,0	14530,0	5838,2	830,7	4153,5	17251662,3
SDT	25	9432,0	739,0	10171,0	4086,7	581,5	2907,5	8453276,3
CO3	25	24,2	,0	24,2	4,4	1,7	8,4	70,8
HCO3	25	1085,0	415,0	1500,0	883,4	50,4	252,1	63537,4
SO4	25	2510,3	65,3	2575,6	871,9	151,0	755,0	570001,3
Cl	25	3737,1	34,3	3771,4	1184,2	234,8	1173,9	1377982,3
Na	25	4481,3	68,8	4550,1	1626,7	265,1	1325,3	1756392,6
K	25	194,0	9,1	203,1	39,4	8,2	41,2	1698,4
Ca	25	93,6	2,4	96,0	39,7	5,2	25,8	663,7
Mg	25	149,3	3,9	153,2	56,7	7,0	35,0	1223,8
As	25	2392,0	8,0	2400,0	494,9	114,7	573,5	328885,2
F	25	14,9	,5	15,4	4,7	,7	3,3	11,0
NO3	25	1166,1	2,9	1169,0	137,8	45,9	229,5	52670,7

Las variaciones en la composición química del agua subterránea y los resultados del relevamiento geológico permiten deducir una asociación con los ambientes geomorfológicos. En el caso del ambiente fluvio-eólico se observan aguas con salinidades desde 0,7 g/L (dulces), vinculadas a médanos activos localizados en el sector NO y centro, hasta aproximadamente 1,5 g/L en lomas topográficas (asociadas a paleoderrames al Sur del río Quinto y paleocauces al sur de Villa Sarmiento).

En el caso del ambiente II (IIa- Llanura medanosa con dunas longitudinales y IIb- Área con bajos hidrohalomórficos) el agua alcanza valores de salinidad de 2 hasta 10 g/L (salobres-saladas). Las mayores concentraciones se asocian, en general, a perforaciones más profundas (15-24 metros), mostrando salinización en profundidad.

El carácter geoquímico del agua en la zona de estudio (Fig. 9) resultó en un mosaico geoquímico complejo, observándose tipos muy variables, con un 36% de aguas cloruradas sódicas. Las aguas bicarbonatadas sódicas representan un 24%, mientras que las aguas bicarbonatadas cloruradas sódicas un 12% y un 16% las aguas cloruradas sulfatadas sódicas. Por su parte las aguas bicarbonatadas magnésica-cálcica, bicarbonatadas sulfatadas sódicas y cloruradas bicarbonatadas sódicas presentan cada una un 4%.

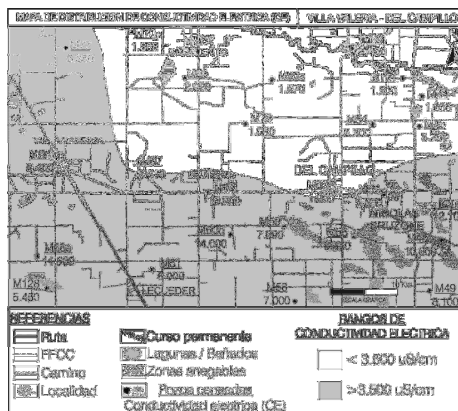


Figura 8. Mapa de Conductividad eléctrica del acuífero freático. Año 2013

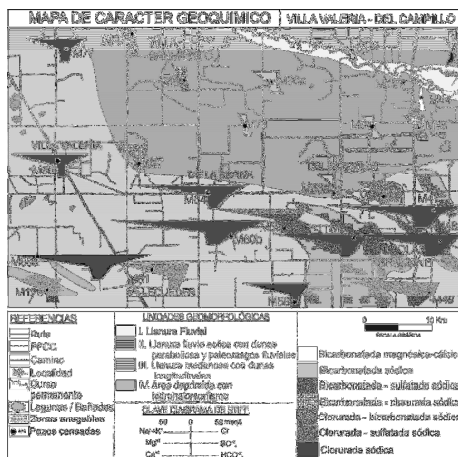


Figura 9. Mapa con Unidades Geomorfológicas y Diagramas modificados de Stiff.

Las aguas dulces bicarbonatadas corresponden a muestras extraídas de perforaciones ubicadas cerca de médanos activos. Las aguas salobres y saladas, sulfatadas y cloruradas, se corresponden con perforaciones ubicadas en las áreas más planas, donde dominan menores velocidades del agua (0,06 m/día), dado los sedimentos más finos o bien en áreas deprimidas donde se suman procesos de concentración de sales por evaporación y evapotranspiración. (Bécher Quinodóz et al., 2012a, Blarasin et al., 2012).

En toda la zona estudiada hay importantes contenidos de As y F (Fig. 10 y 11). Los antecedentes de su presencia en el acuífero libre para toda la Llanura Pampeana ha sido verificada por anteriores estudios (Blarasin et

al., 2005). La amplia distribución espacial encontrada para estos elementos estaría vinculada a la meteorización del vidrio volcánico (Nicolli et al. 1997), componente principal de los materiales eólicos de la región (Blarasin, 1984, Giuliano Albo, 2013) o desorción a partir de los óxidos de hierro (Smedley et al., 2000), también constituyentes de estos sedimentos.

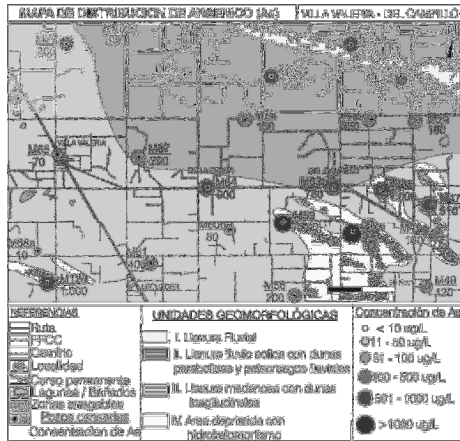


Figura 10. Mapa de distribución de Arsénico. Año 2013.

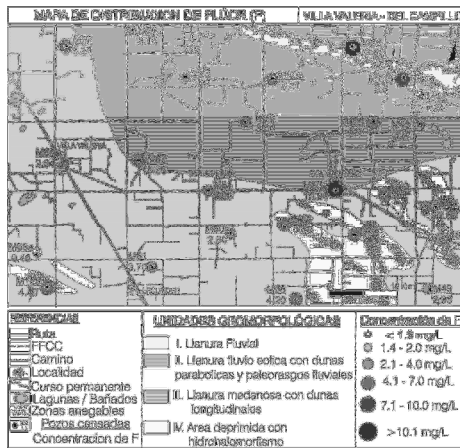


Figura 11. Mapa de distribución de Flúor. Año 2013

Análisis estadísticos multivariado inferencial

Se realizó el análisis de agrupamiento (cluster) en **Modo R** considerando las variables: pH, conductividad eléctrica (CE µS/cm), HCO₃⁻, SO₄²⁻, Cl⁻, Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, F⁻, NO₃⁻

(mg/L) y As (µg/L). El dendrograma de la Figura 12 permitió identificar dos grupos: (**G₁**) que explica la salinización del agua mediante la alta correlación entre la conductividad eléctrica (CE) y los contenidos de Cl⁻Na⁺SO₄²⁻HCO₃⁻, mientras que Ca²⁺Mg²⁺K⁺ presentan una asociación más débil con el núcleo anterior y **G₂** que vincula pH-F-As-CO₃²⁻, revelando la asociación As-F disueltos en aguas con alta alcalinidad y alto pH, situación también observada por otros autores para el Sur de Córdoba (Blarasin et al., 2005; Bécher Quinodóz et al., 2012b).

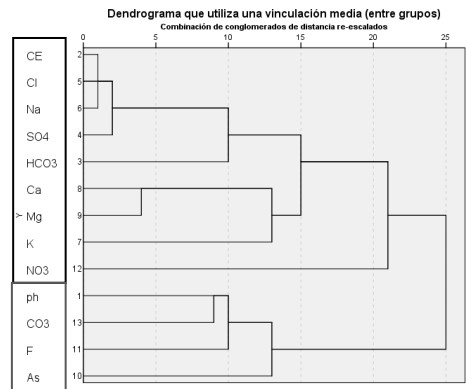


Figura 12. Análisis en Modo R.

El análisis en **Modo Q**, es decir entre observaciones, permitió generar el dendrograma de la Figura 13, donde se observan dos grupos: el **G₁**, constituido por muestras que se localizan en el ambiente eólico, con aguas salobres y saladas (CE > 3500 µS/cm) del tipo cloruradas sódicas a mixtas, con el anión cloruro como dominante.

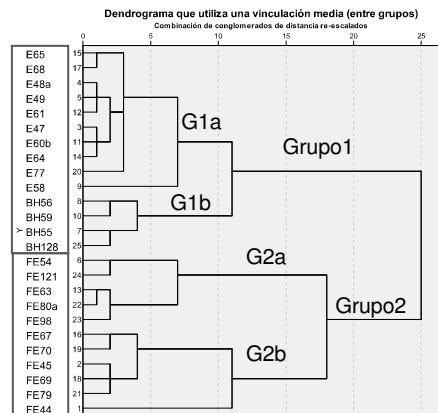


Figura 13. Análisis Modo Q

En dicho grupo se visualizan los subgrupos 1^a – 1b. El 1^a asocia a las muestras cuyas concentraciones de As y F son muy variables, con valores bajos a altos (10 µg/L – 900 µg/L y 0.48 mg/L – 6.3 mg/L, respectivamente), mientras que 1^b, corresponde a las muestras con concentraciones de As y F muy altos (1.000 µg/L – 2.400 µg/L y 4.4 mg/L y 6.8 mg/L, respectivamente), Fig. 10 y 11.

El G₂, está conformado por los subgrupos 2^a y 2^b de aguas dulces (CE < 3500 µS/cm) pertenecientes al ambiente fluvio-eólico. El subgrupo 2^a presenta muestras del tipo bicarbonatadas sódicas, con concentraciones de As y F altos (350 µg/L a 800 µg/L y 4.9 mg/L a 15.37 mg/L, respectivamente), ubicadas en inmediaciones de médanos, mientras que el subgrupo 2^b asocia las aguas del tipo bicarbonatadas a mixtas, con concentraciones

de As (8 µg/L a 160 µg/L) y F (0.85 mg/L a 3.16 mg/L) de moderadas a bajas (Fig. 10 y 11).

Por otro lado, al realizar pruebas de contraste de las medias de la CE entre los dos grandes ambientes geomorfológicos, fluvio-eólico y eólico, se observaron diferencias estadísticamente significativas al 1% tanto para las pruebas paramétricas (p<0.001) Fig. 14 y 15, como no paramétricas (p<0.001), Fig. 16 y 17.

Estadísticos de grupos				
Ambiente Geomorfológico.	N	Media	Desviación tipo	Error típico de la media
CE	1	11	2142.1	713.9
	2	14	8742.1	3288.8
				215.2
				878.9

Figura 14. Estadísticos de grupo. 1- Fluvio – Eólico. 2- Eólico.

	Prueba de muestras independientes								
	Prueba de Levene para la igualdad de varianzas		Prueba T para la igualdad de medias						
	F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Error tip. De la diferencia	95% Intervalo de confianza para la diferencia	
								Inferior	Superior
(CE) Se asumen varianzas iguales	13.193	0.001	-6.5	23	0	-6599.9	1014.13	-8697.8	-4502.06
(CE) No se asumen varianzas iguales			-7.29	14.5	0	-6599.9	904.96	-8534.1	-4665.73

Figura 15. Prueba paramétrica de muestras independientes.

Estadístico de contraste ^b	
	CE
U de Mann-Whitney	0.000
W de Wilcoxon	66.000
Z	-4.215
Sig. asintot. (bilateral)	0.000
Sig. Exacta [2*(Sig. unilateral)	0.000 ^a

a. No corregido para los empates
b. Variable de agrupación: Ambiente geomorfológico

Figura 16. Estadístico de contraste. Prueba no paramétrica. U de Mann-Whitney.

Estadístico de contraste ^a	
	CE
Diferencias más extremas Absoluta	1.000
	Positiva
	0.000
	Negativa
	-1.000
Z de Kolmogorov-Smirnov	2.482
Sig. asintot. (bilateral)	0.000

a. Variable de agrupación: Ambiente Geomorfológico

Figura 17. Estadístico de contraste. Prueba no paramétrica. Z de Kolmogorov - Smirnov

Conclusiones

El estudio hidrogeoquímico dio como resultado aguas con salinidad entre 0,7 g/L (dulces) a 10 g/L (saladas), con tipos geoquímicos desde bicarbonatadas hasta cloruradas sódicas muchas de ellas de carácter aniónico mixto, lo que resulta en un mosaico geoquímico moderadamente complejo. Sin embargo, desde el punto de vista de la salinidad del agua, se observa una asociación con los ambientes geomorfológicos definidos, siendo las más dulces las del ambiente fluvio-eólico y las más saladas las del eólico. Esto quedó corroborado estadísticamente por los test paramétricos y no paramétricos de diferencia de medias de la conductividad eléctrica.

Analizando todas las variables químicas en conjunto, el análisis estadístico multivariado de tipo cluster (Modo Q) permitió corroborar la estrecha relación que existe entre la calidad del agua subterránea y los ambientes geomorfológicos, a partir de los dos grandes grupos encontrados, donde G₁ asocia las muestras pertenecientes al ambiente eólico y G₂

las correspondientes al fluvio-eólico. Además se reconocen dentro de cada grupo, subgrupos cuyas muestras se vinculan en función de las concentraciones de As y F-. Por otra parte, el análisis en Modo R, permitió identificar un grupo que explica la salinización del agua (G₁) y otro (G₂) que vincula As-F con aguas más alcalinas y de elevado pH. Las concentraciones de As y F se encuentran vinculadas a la litología presente en el área (materiales loésicos con alto contenido en vidrio volcánico), además de estar influenciadas por los gradientes hídricos, que condicionan bajas velocidades del flujo y alto tiempo de contacto agua – sedimento, favoreciendo que dichos elementos se mantengan en concentraciones elevadas en el agua subterránea.

Por último, y a partir del relevamiento de campo y el tratamiento de toda la información, se concluye que las aguas dulces bicarbonatadas se vinculan a médanos activos o lomas donde se desarrollan sistemas de flujos locales que son el resultado de recarga reciente a partir de precipitaciones. Por su parte, las aguas salobres y saladas, sulfatadas y cloruradas, son más evolucionadas y se consideran resultantes de un largo tránsito de flujos regionales, procedentes del sector occidental, además condicionadas por los sedimentos finos dominantes y los bajos gradientes hidráulicos y velocidades del agua, lo que permite un largo tiempo de contacto agua – sedimento y, consecuentemente, procesos que favorecen la transferencia de iones a la solución.

Se corrobora así, que las características geomorfológicas (pendientes, tipo de sedimentos, etc.), definen aspectos hidrodinámicos (gradientes y velocidad del agua) y consecuentemente las propiedades hidroquímicas fundamentales del acuífero.

Agadecimientos

El trabajo fue subsidiado por, **FOICYT y MINCYT-PID 35/08 y SECYT-UNRC.**

Referencias

Bécher Quinodóz F., Blarasin M. y Cabrera A. 2012a. Relación acuífero – lagunas saladas en ambientes medanosos: hidrogeoquímica y modelación numérica. Córdoba–Argentina. XI Congreso Latinoamericano de Hidrogeología – IV Congreso Colombiano de Hidrogeología, Cartagena de Indias, Colombia. Resúmenes extendidos C.D.

Bécher Quinodóz F., M. Blarasin, S. Degiovanni y M. Gallo. 2012b. Validación con Análisis Estadístico Multivariado de la Relación

Geomorfología – Calidad de Aguas Subterráneas en la Planicie Sudoccidental de Córdoba. V Congreso Argentino de Cuaternario y Geomorfología. Actas de Resúmenes. ISBN 978-987-688-011-4. Pág 158-159. Ed. UNRC.

Blarasin, M., 1984. *Hidrología subterránea de la zona Laguna Oscura. Córdoba.* Tesis de Lic. UNRC. Inédito. 150 pág.

Blarasin, M., Degiovanni S., A. Cabrera y M. Villegas, 2005 *Aguas superficiales y subterráneas en el Sur de Córdoba: una perspectiva geoambiental.* ISBN 950-665-350- 141-152. Ed. UNRC.

Blarasin, M., Cabrera, A., Bécher Quinodóz, F., Felizzia, J. y Giuliano Albo, J. 2012. *Exploración hidrogeológica en el entorno de la localidad de Mattaldi.* Trabajo de extensión solicitado por la Cooperativa de Obras y Servicios Públicos de Mattaldi.

Degiovanni S., 2005. *Geomorfología Regional. En "Aguas superficiales y subterráneas en el Sur de Córdoba: Una perspectiva geoambiental".* UNRC.

Giuliano Albo., 2013. *Evaluación de la Contaminación por Nitratos en Aguas Subterráneas de Agroecosistemas mediante el uso de Isótopos Estables ¹⁵N-¹⁴N, ¹⁸O-¹⁶O y otros solutos relacionados.* Tesis Doctoral. UNRC. Inédita

Nicolli H., Smedley P. y J. Tullio, 1997. *Aguas subterráneas con altos contenidos de F, As y otros oligoelementos en el Norte de La Pampa.* Congreso Internacional del Agua. Bs. As. III 40.

Ravelo, C., 1990. PDIMES. *Balance hídrico seriado. Manual.* Asociación Agronómica de Agrometeorología. 8 pág.

Smedley, P., MacDonald, D., Nicolli, H., Barros, A., Tulio, J. y Pearce, J. 2000. *Arsenic and other Quality problems in groundwater from Northern La Pampa Province. Argentina.* British Geological Survey.