

Hydrochemical and spatial grouping of groundwater of Santa Rosa Valley, Catamarca, Argentina

Battistella, Romina (1); Ortega, Irene (1) & Morvillo, Mónica (2)

(1) Instituto Nacional del Agua-Centro Regional de Aguas Subterráneas

(2) Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales-Universidad Nacional de San Juan

Agrupamiento hidroquímico y espacial del agua subterránea de la Cuenca de Santa Rosa, Catamarca, Argentina.

RESUMEN

Se muestrearon 72 perforaciones en la cuenca de Santa Rosa, Catamarca, Argentina. Las variables determinadas fueron propiedades físicas y de agregación, iones mayoritarios y minoritarios. La clasificación se obtuvo mediante Análisis de Componentes Principales que permitió identificar y agrupar las variables más significativas del sistema y también por Análisis de Clúster que clasificó las perforaciones en dos grupos. La representación de los grupos de agua, sobre las coordenadas geográficas, indicaron autocorrelación espacial pudiéndose relacionar el primer grupo con la dirección noroeste de la región, mientras que el segundo grupo se emplaza al centro y sureste del área de estudio.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo refiere a la caracterización hidroquímica de la Cuenca de Santa Rosa con aplicación de técnicas del análisis estadístico. La información

surge en el marco del Acuerdo Especifico N° 01/12 del Convenio I.N.A.- Gobierno de Catamarca, para el “Estudio Hidrogeológico de las Cuencas de Santa Rosa y Cuenca de Aconquija”, firmado para determinar la disponibilidad del recurso hídrico subterráneo y zonas potencialmente aptas, en base a un relevamiento hidrogeológico de pozos, análisis hidroquímico, medición de precipitaciones y prospección geoelectrica (Torres et al, 2014).

La provincia de Catamarca se encuentra emplazada en un sistema de 9 cuencas (ETISIG, 2014) dentro de las cuales se encuentra nuestra zona de estudio limitado al departamento de Santa Rosa (Figura 1). La misma se localiza sobre depósitos aluviales e indiferenciados y fanglomerados del cuaternario. Contiene los acuíferos más importantes de la región, explotados actualmente para riego, consumo humano y ganadería. Las localidades más importantes corresponden a Los Altos, Alijilán y Bañado de Ovanta (Figura 2). En este tipo de cuencas, los recursos hídricos subterráneos revisten un interés estratégico. La exploración de zonas de aptitud de agua de riego está fundada en el creciente aumento de la frontera agrícola, y en la necesidad de afrontar períodos de bajas precipitaciones.

La extracción de agua subterránea por bombeo de pozos, responde en general a la necesidad de riego complementario para la explotación agrícola. La soja, el maíz y el trigo son los cultivos que predominan en el área de estudio (INTA, 2014). El riego se realiza principalmente con sistema de aspersión a pivote central, aplicado con mayor densidad en el centro, centro-norte y noroeste del área. Por otra parte, el abastecimiento de agua en la zona sur y área urbanizada, se realiza mediante sistema de canales que distribuyen el agua procedente de los diques La Cañada y Sumampa.

Entre las problemáticas más importantes para determinar la calidad de agua, están la salinidad y la detección de contaminantes de origen antrópico y de origen natural. La presencia de contaminantes disueltos en el agua, puede producir afecciones a la salud de personas y animales que la consumen, y limitar el crecimiento de determinados cultivos. De ahí que surge la necesidad de estudios vinculados principalmente a la calidad de los recursos hídricos, que resulte no sólo un aporte al conocimiento científico sino también conducente al mejoramiento de la calidad de vida de la población y el medioambiente.

La clasificación hidroquímica mejora el conocimiento de la calidad del agua y es útil para definir índices que faciliten el monitoreo del recurso, proveyendo a la sociedad de herramientas para su futuro manejo y explotación. Por otro lado, el conocimiento y la comprensión de la hidroquímica, representa una oportunidad para la aplicación de análisis estadísticos multivariados que permiten la clasificación de las muestras de agua para estudiar las relaciones entre los parámetros químicos y evaluar las similitudes entre los puntos muestreados (Cloutier et al, 2008).

En consecuencia, el presente trabajo tiene por objetivo la caracterización y clasificación hidroquímica del recurso hídrico subterráneo de la Cuenca de Santa Rosa empleando técnicas de análisis estadístico.

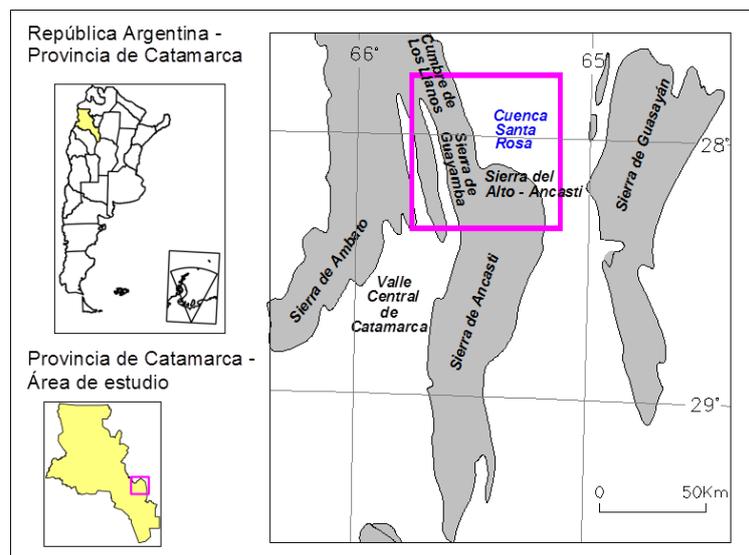


Figura 1: Ubicación geográfica

UBICACIÓN Y MARCO HIDROGEOLÓGICO

La Cuenca de Santa Rosa forma parte de la cuenca del río salí-Dulce cuyo límite sur, en el área de trabajo y fuera del área montañosa, pasa aproximadamente a latitud de la localidad de Cortaderas. Integra la provincia geológica de Sierras Pampeanas y comprende la llanura desarrollada al este de los bloques montañosos que integran la Sierra del Alto o de Ancastí y la

continuación al norte en la denominadas sierra de Guayamba - Cumbre de Potrerillo y Cumbre de Los Llanos. Esta llanura de la provincia de Catamarca forma parte de una mayor con nivel base local en el embalse de Río Hondo y limitada al oeste con las elementos orográficos antes mencionados y al este con la Sierra de Guasayán, abarcando parte de las provincias de Catamarca, Tucumán y Santiago del Estero.

Los terrenos aflorantes en la región de estudio corresponden a rocas metamórficas e intrusiones de rocas ígneas del Precámbrico – Paleozoico y una cubierta sedimentaria que comprende sedimentitas y sedimentos del Terciario y del Cuaternario. Los depósitos de piedemonte comprenden materiales gruesos en proporciones variables, bloques, gravas, arenas y finos en menor magnitud y pasan a los depósitos aluviales que forman la planicie aluvial y las granulometrías presentes son arenas, gravas y limos, desarrollándose también acumulaciones eólicas en forma de loess.

La Figura 2 muestra en colores la geometría de la cuenca sedimentaria. En el subsuelo está conformada, desde abajo hacia arriba, por tres unidades: *Basamento Resistivo* (color rosa), constituido por rocas ígneas y metamórficas del Precámbrico - Paleozoico conocidas como Basamento Cristalino, consideradas no acuíferas y correspondientes al basamento hidrogeológico de la cuenca de agua subterránea; *Relleno Conductivo* (color amarillo y verdes), se correlaciona con los terrenos del Terciario, Mioceno; y se considera acuífero secundario y *Relleno Resistivo* (color blanco), éste último comprende sedimentitas y sedimentos del Terciario (Plioceno), sedimentos porosos y permeables del Cuaternario. Esta última unidad contiene los acuíferos más importantes de la región, explotados actualmente para riego, consumo humano y ganadería. Estos acuíferos son de tipo libre y en profundidad del subsuelo las intercalaciones de materiales finos entre capas de mayor permeabilidad, favorecen las condiciones de semiconfinamiento. Posee espesores máximos de unos 404 m y en la región donde se encuentra la mayoría de los pozos del área, varía en general entre unos 200 m y 350 m (IT-329, 2014). Estos terrenos presentan las mejores condiciones hidráulicas para almacenar y conducir agua, constituyendo los principales acuíferos del área de estudio.

La mayoría de las perforaciones relevadas para el proyecto están en uso y cerca del 60% bajo la modalidad de riego complementario de explotaciones agrícolas. La profundidad media de las perforaciones es de unos 180 m y la profundidad media de entubación de unos 170 m. Los filtros de los pozos normalmente son de más de un tramo, con un máximo de 15 tramos de filtros por pozo. La longitud total promedio de filtros de 40 m por pozo, con un máximo de 66 m y un mínimo de 13 m.

El flujo del agua subterránea tiene un sentido general suroeste – noreste en dirección a las partes más bajas del valle de Santa Rosa y egressa de éste hacia las provincias de Tucumán y Santiago del Estero. Asimismo se pone en evidencia que el área de recarga de la cuenca de agua subterránea del Valle de Santa Rosa (Figura 2) se vincula a las sierras del borde sur y suroccidental (sierras de El Alto – Ancasti y Guayamba) a partir de las precipitaciones pluviales que allí ocurren.

En cuanto a la profundidad del nivel estático del agua subterránea, es mínima en cercanías de las sierras del borde sur con profundidades menores a 10 m y en el sector noroeste del área de estudio con profundidades inferiores a 30 m. En los sectores restantes se profundiza el nivel de agua subterránea hasta máximos de 80 m en el sector centro y centro –este.

METODOLOGIA

Muestreo

Dentro del Acuerdo Específico 01/12 se identificaron 181 perforaciones y 11 pozos excavados. Para la realización del presente estudio se tomaron 72 muestras de agua subterránea a partir de 66 perforaciones y 6 pozos excavados distribuidos en el área de estudio (Figura 2), de propiedades privadas y estatales, en diferentes períodos del año 2014. Dependiendo del lugar de ubicación en la cuenca, los pozos explotan horizontes permeables comprendidos entre 10 y 323 metros de profundidad. La extracción de agua se hizo según la técnica descripta en “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater” (APHA, AWWA, WEF, 1998). Se determinaron *in situ* la conductividad eléctrica, pH y temperatura del agua. La muestra principal fue

acompañada en todos los casos de dos muestras complementarias: una para el análisis de nitrato, y la otra para las determinaciones por absorción atómica, preservadas a pH < 2, a 4°C.

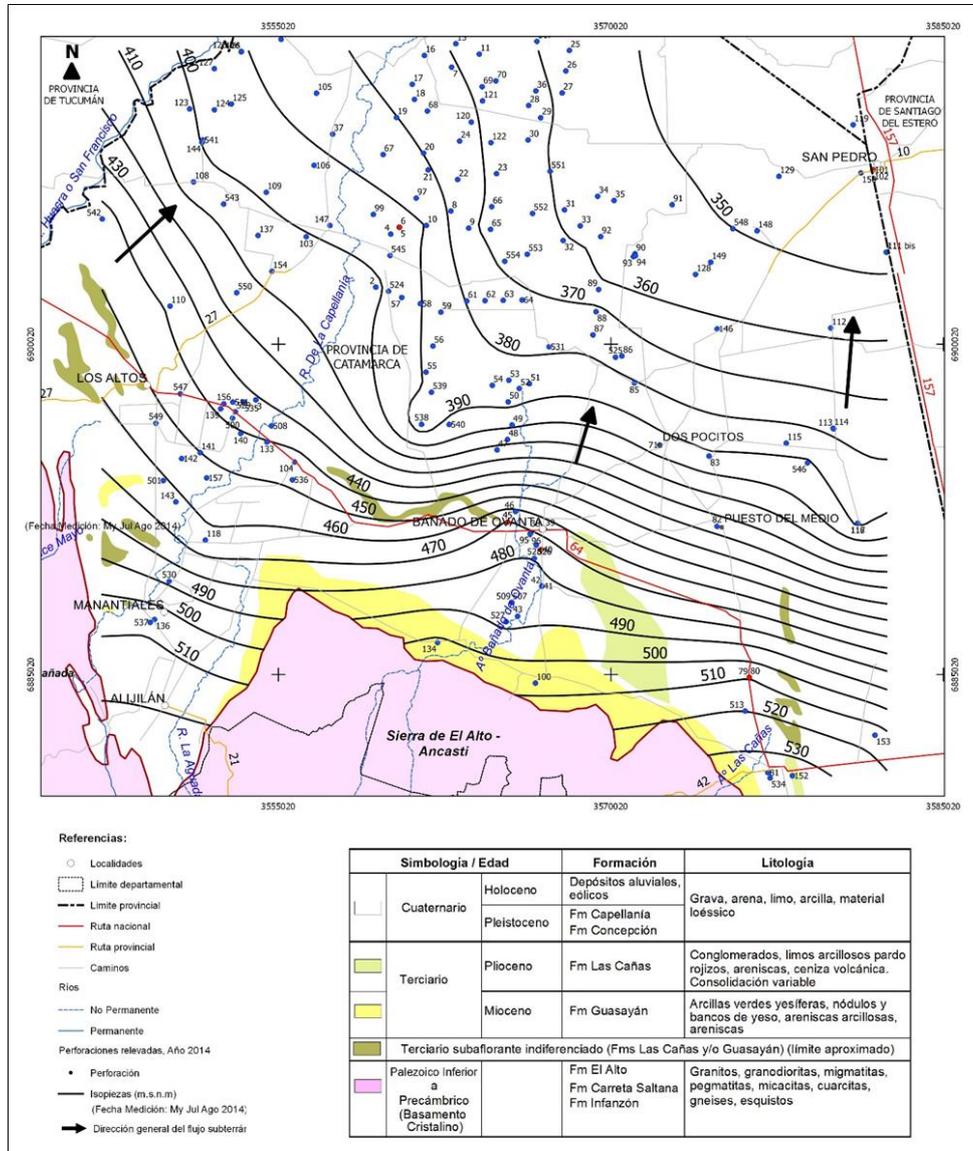


Figura 2: Área de estudio y dirección del flujo de agua subterránea, Cuenca de Santa Rosa

Los análisis realizados en el laboratorio del INA-CRAS, incluyen las determinaciones que se mencionan a continuación:

- Propiedades físicas y de agregación: C.E. (Conductividad eléctrica), pH (Potencial Hidrógeno), alcalinidad total, dureza total y de no carbonatos y sólidos disueltos calculados.

- Iones principales: Ca^{++} (Calcio), Mg^{++} (Magnesio), Na^+ (Sodio), K^+ (Potasio), CO_3^- (Carbonatos), HCO_3^- (Bicarbonato), SO_4^- (Sulfato) y Cl^- (Cloruro).
- Constituyentes inorgánicos menores no metálicos: SiO_2 (Sílice), B (Boro), NO_3^- (Nitrato) y F^- (Fluoruro).
- Metales traza disueltos: Fe (Hierro), Mn (Manganeso), As (Arsénico), Zn (Zinc), Cd (Cadmio) y Cu (Cobre).

Métodos Estadísticos

➤ *Análisis Exploratorio Multivariado*

Este análisis se aplicó sobre el conjunto de variables más completas desde el punto de vista de la detección de sus mediciones. Es decir, existen variables determinadas para varios pozos que no han sido incluidas en este estudio. Con este criterio se conformó una matriz de datos, disponiendo en filas a las 72 perforaciones y en columnas a sus coordenadas geográficas con sus determinaciones en trece variables: pH, Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , K^+ , HCO_3^- , SO_4^- , Cl^- , SiO_2 , F^- , B, NO_3^- , As.

El procesamiento se realizó con el software libre R versión 3.3.1 (2016) cuyo entorno y lenguaje es el más utilizado actualmente en investigación, para la aplicación estadística.

En primera instancia se aplicó la técnica conocida como Análisis de Componentes Principales (ACP). Esta metodología permite reducir la dimensión de variables y convertirlas a un nuevo sistema de componentes independientes, definidas como una combinación/rotación de las originales y ordenadas de mayor a menor importancia según la mayor cantidad de información o entropía (varianza/autovalor) que concentran. Cada variable original aporta en mayor o menor grado a cada componente principal, con un peso o ponderación en la componente, que es proporcional al coeficiente de correlación lineal con ésta, permitiendo interpretar la correspondencia de las variables originales con las componentes conceptualizadas como grupos de variables (Peña, 2002).

Esta metodología se apoya en los coeficientes de correlación lineal de los pares de variables originales, por lo que, en forma previa se debe explorar la condición de linealidad con escalas en lo posible simétricas en cada variable.

La falta de simetría puede ser indicio de relaciones no lineales y de coeficientes de correlación lineal “falsos y bajos”. En estos casos se deben considerar las transformaciones logarítmicas del tipo $\log(X+C)$ ó $\log(C-X)$, según la asimetría sea positiva o negativa respectivamente, para mejorar la performance de los resultados.

El análisis estadístico multivariado es un enfoque cuantitativo e independiente de la clasificación de las aguas subterráneas que permite el agrupamiento de muestras y la creación de correlaciones entre los parámetros químicos (Cloutier et al., 2008). A posteriori del ACP, se aplicó Análisis de Clúster o de Conglomerados a fin de agrupar y clasificar las perforaciones en grupos homogéneos, en función de las similitudes o similaridades entre estas desde el punto de vista de un conjunto variables, que para el caso se tomaron a las dos primeras componentes principales (CP1 y CP2). Existen dos tipos de análisis de agrupamiento: los jerárquicos y partitivos.

Los *métodos jerárquicos* son algoritmos secuenciales en los que en cada etapa se enlazan las unidades o grupos de ellas hasta integrar o separar a la última unidad, (aglomerativo o divisivos), tomando como información la matriz de distancias o similitudes entre los elementos. Dentro de esta metodología, existen diversos criterios (simple, completo, promedio, centroide y Ward) según se defina la distancia de enlace o encadenamiento entre grupos (height), a partir de la cual se representa todo el proceso de agrupamiento en el dendrograma o árbol jerárquico. Entre los criterios de enlace más recomendados está el simple, -distancias mínimas- que permite distinguir los últimos elementos integrados como posibles unidades atípicas y de Ward, que produce grupos más compactos o densos. Como medida de similitud global del agrupamiento, se aporta el coeficiente aglomerativo, que surge de restar a 1 el promedio de las distancias relativas de enlace de cada elemento con el resto. Dicho coeficiente (Agglomerative Coefficient) toma valores entre 0 y 1, resultando el agrupamiento más compacto (disimilitud mínima) cuanto más aproximado a 1 se encuentre (Peña, 2002).

Por otra parte, los *métodos partitivos* (K-means), parten de predeterminar el número K de grupos y trabajan con la matriz de datos, asignando las unidades

en forma secuencial en uno u otro grupo, hasta que cada grupo se estabiliza según un criterio de optimalidad.

➤ *Caracterización química*

Además de la salinidad total, pH, alcalinidad y dureza del agua, para la clasificación según la composición química de las muestras se consideran los iones mayoritarios presentes. El método utilizado en el CRAS es una modificación a partir del método de Kurlov, basado en el criterio de considerar en la denominación del agua, aquellos aniones y cationes que sobrepasan el 20 % de miliequivalentes por litro (meq/l). Siendo Ca^{++} , Mg^{++} y Na^+ los cationes, y HCO_3^- , $\text{SO}_4^{=}$ y Cl^- , los aniones (Fagundo, 1996).

Las mediciones del laboratorio obtenidas en mg/l, se convierten en meq/l y en porcentaje de meq/l (% meq/l). El porcentaje de cada uno de estos iones se calcula como sigue (2):

$$X^{+/-} \% \text{ meq} = X^{+/-} \text{ meq/l} \times 100 / (\sum X^+ + \sum X^-) \text{ meq/l} \quad (2)$$

Donde:

$X^{+/-}$ Cation o anión X cuya concentración relativa vamos a determinar

$\sum X^+$ Sumatoria de los cationes principales en me/l (calcio + magnesio + sodio)

$\sum X^-$ Sumatoria de los aniones principales en me/l (bicarbonato + sulfato + cloruro)

(3)

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En primer lugar presentamos el resultado de aplicar Componentes Principales. El número de componentes tenidas en cuenta son las que presentan varianzas mayores a la de sus variables estandarizadas, es decir mayores a 1. En el diagrama de barras de la Figura 3, se representan las varianzas decrecientes del nuevo sistema y una línea de puntos horizontal superpuesta en el nivel 1, a partir del cual se deducen tres componentes significativas. La componente CP1, de mayor importancia por la varianza o información (entropía) que concentra, está explicada (compuesta) mayormente por el Na^+ , Ca^{++} , Mg^{++} , K^+

SO₄⁼, Cl⁻, y B, según se deduce de los coeficientes más elevados de la primera columna en la matriz de rotación multiplicados por el autovalor de la CP1, que arroja el software "R" (Figura 4) Esta componente representa a la conductividad eléctrica del agua, o dicho de otra manera al factor de mineralización de las aguas en función de su hidroquímica normal. El Boro se encuentra en la CP1 y a pesar que los altos valores se vinculan a altos valores de conductividad eléctrica, su presencia depende puntualmente de la geoquímica.

En segundo lugar, con menor entropía, conforman la componente CP2: As, F⁻, HCO₃⁻, y pH. Existen antecedentes de la asociación entre As y F⁻ debido al origen volcánico de las rocas. Cabrera & Blarassin (n.d) encontraron a éstos dos elementos en la CP1 en el análisis multivariado sobre la evolución hidrogeoquímica de las aguas, evidenciando un origen químico común, posiblemente debido a la mineralogía del loess pampeano. Por otro lado el pH y el HCO₃⁻ también están presentes en la CP2 con una marcada correlación entre sí.

Por último, el NO₃⁻ y SiO₂ justifican la componente CP3, siendo la componente con menor variabilidad. Las variables mencionadas no están correlacionadas entre sí. El NO₃⁻ puede tener origen natural pero en nuestros acuíferos fundamentalmente es producto de la aplicación de fertilizantes o de la descomposición orgánica, procesos vinculados a la acción antrópica, el SiO₂ es un componente relacionado a la geoquímica.

Como resultado, son las variables predominantes quienes determinan las características hidroquímicas del agua subterránea de las perforaciones analizadas.

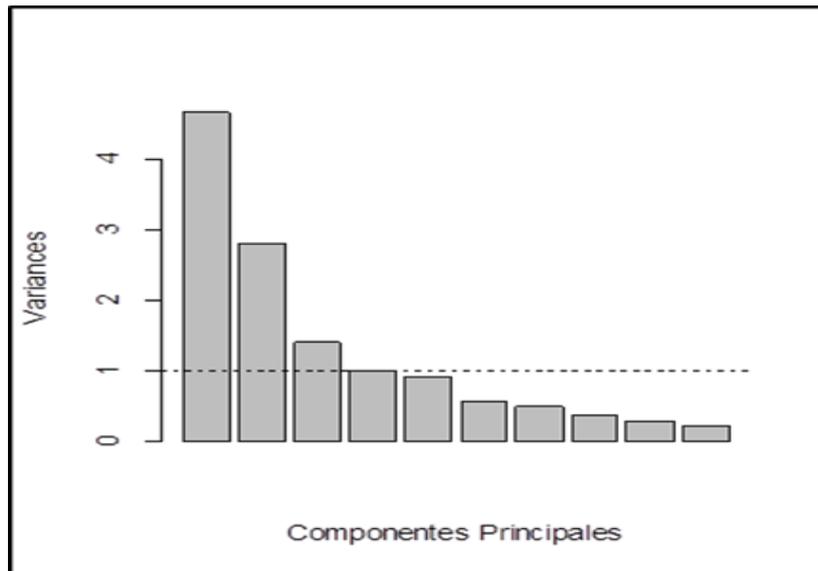


Figura 3: Varianzas de las primeras diez componentes principales.

Standard deviations:			
	PC1	PC2	PC3
	2.1581	1.6692	1.1865
Rotation:			
	PC1	PC2	PC3
pH	0.119	-0.423	0.044
Ca..	0.363	-0.197	-0.087
Mg..	0.365	-0.085	-0.126
Na.	0.435	0.057	0.064
K.	0.187	0.128	-0.232
HCO3.	0.111	0.434	-0.119
SO4.	0.428	-0.013	0.065
Cl.	0.430	-0.020	0.052
SiO2	-0.050	0.317	0.541
F.	0.099	0.427	-0.267
B	0.321	0.104	0.368
NO3.	0.026	0.183	-0.605
As...	0.011	0.490	0.175

Figura 4: Salida de R, desvío estándar y coeficientes o pesos de las variables, en los 3 componentes principales.

En segundo lugar, como resultado de aplicar análisis de clúster aglomerativo con enlace simple, se pudieron identificar en el dendrograma correspondiente (Figura 5), tres pozos con datos hidroquímicos “atípicos”. En el sector derecho del dendrograma, donde se ubican los últimos agrupamientos, se observan el pozo cavado ‘45’ de 8.3 metros de profundidad, y a las perforaciones ‘509’ (180

mts) y '532' (235 mts), como los más distintos con respecto a la totalidad de pozos estudiados. Excepto el pozo cavado 45, el resto son perforaciones entubadas profundas multifiltradas. La tabla 1 describe los valores destacados en los diferentes parámetros medidos en los pozos atípicos. Los elevados valores de C.E. hallados en los 3 pozos es consecuencia de la alta concentración de sales presentes. Otro parámetro distintivo son los SDT (sólidos disueltos totales) sin embargo no pueden sacarse conclusiones conjuntas de los 3 pozos, debido a que el pozo 45 es un aljibe y posee agua de diferentes fuentes. En cambio, los pozos 509 y 532 son perforaciones entubadas muy profundas, poseen aguas de 30 a 36°C y altos contenidos de $SO_4^{=}$, caracterizando a éstas aguas como hipotermales (pozo 509) y mesotermales (pozo 532) según el Código Alimentario Argentino (2007).

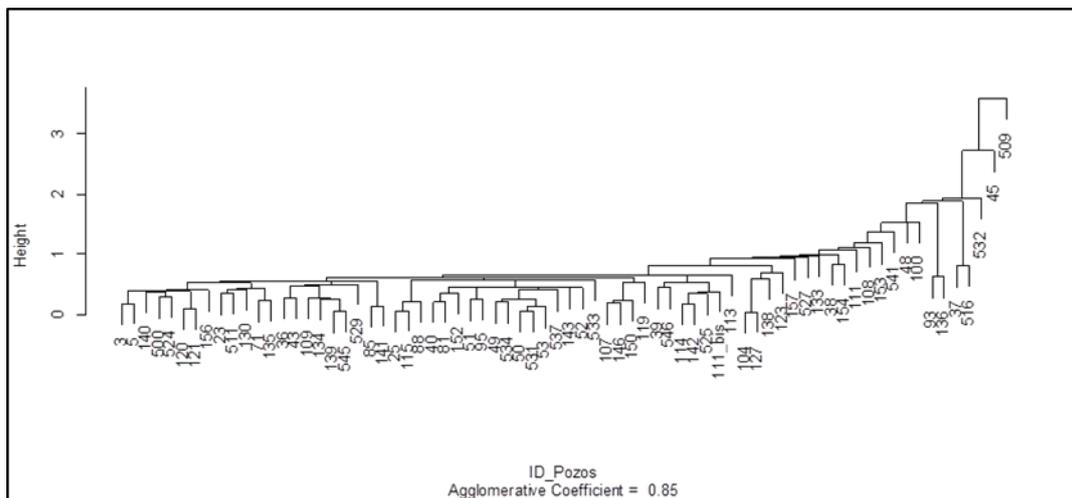


Figura 5: Dendrograma de agrupamiento de las perforaciones con enlace simple.

Tabla 1: Parámetros físico-químicos de los pozos atípicos

Pozo	T°	CE	SDC	CE	pH	AT	DT	Ca++	Mg++	Na+	K+	HCO-3	SO4=	Cl-
45	24	6760	5690	7030	7.2	329	1080	277	94	1430	4.7	401	3290	332
509	30	6860	5860	7030	6	18	1050	200	133	1530	4.4	23	3110	706
532	36	5120	3890	5740	6.5	134	924	256	69	900	3	163	2180	374

Asimismo, se realizó el agrupamiento de las perforaciones con enlace de Ward, cuyo dendrograma se muestra en la figura 6. Del mismo, se desprende una clasificación en dos grupos de perforaciones/pozos; el Grupo 1 (color negro) y el Grupo 2 (color rojo). Observando el dendrograma, la mayor distancia indica

el grado de separación entre los clusters basados en la varianza mínima entre las muestras, indicando mayor similitud entre los pozos del G1 y mayor heterogeneidad entre los pozos del G2.

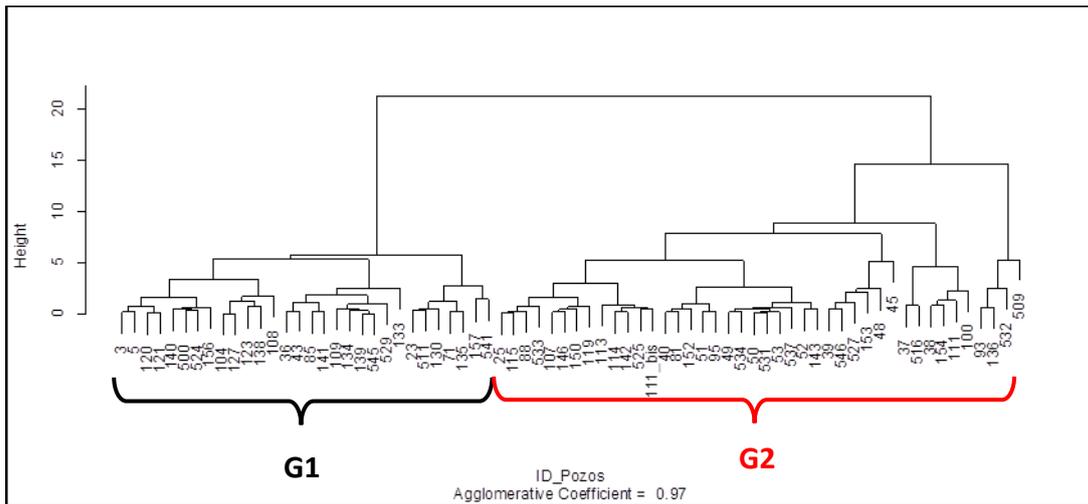


Figura 6: Dendrograma de agrupamiento de las perforaciones con enlace de Ward

La Figura 7 es una representación geográfica de los puntos muestreados ubicados espacialmente por sus coordenadas geográficas, donde se graficó también el recorrido del Río San Francisco y Río de la Capellanía, las localidades de Los Altos, Alijilán y Bañado de Ovanta. Cabe destacar que las representaciones cartográficas producidas con el software R están delimitadas por defecto al interior de un dominio geográfico cuadrangular, definido por las coordenadas extremas de las perforaciones, no pudiéndose visualizar aspectos geográficos que se encuentren externos al mismo.

Puede visualizarse que los puntos negros, correspondientes al G1 se encuentran más o menos desplazados con respecto a los puntos rojos del G2, esto podría indicar ciertas similitudes en la hidrogeoquímica de los pozos cercanos a los recorridos de los ríos y a la zona de recarga del acuífero.

Las perforaciones del G2 se encuentran mayormente desplazadas hacia el centro, este y sureste del área de estudio. Los pozos detectados como atípicos también pertenecen al G2, identificados en la Figura 7 con un círculo.

Habiendo realizado el agrupamiento en base a las CP1 y CP2, se evidencia el peso de las variables en ambos grupos. Teniendo en cuenta que las variables de la CP1 son Na^+ , Ca^{++} , Mg^{++} , K^+ , SO_4^- , Cl^- , y B, se refuerza el concepto anterior en los mapas de predicción de concentración de Boro y C.E. en la cuenca de Santa Rosa, donde las mayores valores hallados se ven desplazados hacia la zona Este (Battistella *et al*, 2016).

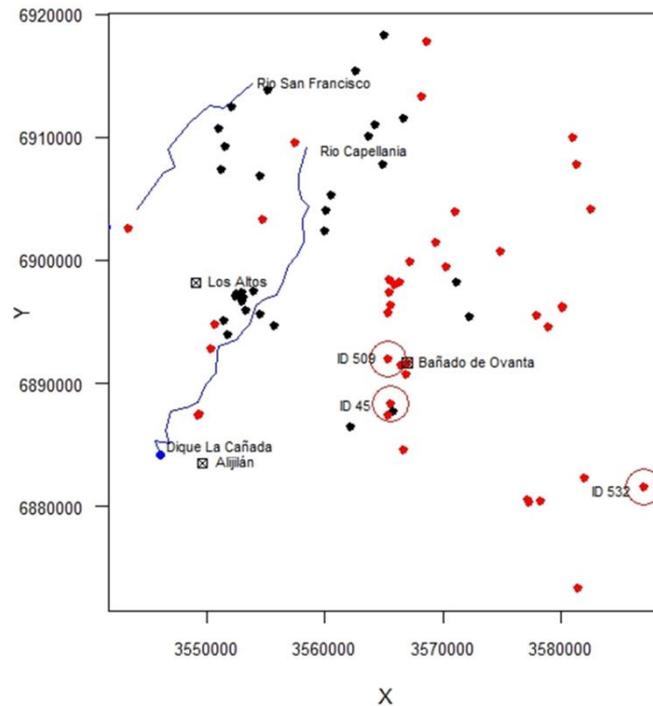


Figura 7: Posición geográfica de los pozos atípicos.

Uno de los problemas clásicos de degradación de la tierra que ha tenido que enfrentar el hombre, ha sido el de controlar, prevenir o mejorar los suelos afectados por la salinidad. En las regiones áridas, semi áridas y estepas, donde la evaporación es mayor que las precipitaciones, se ubican las regiones más afectadas por sales (Kovda, 1964). Las sales se encuentran en el agua de riego a partir de la meteorización de las rocas, además de la disolución lenta del carbonato de calcio, sulfato de calcio y de otros minerales, transportadas por el agua de riego y depositadas en el suelo en donde se acumulan en la medida que el agua se evapora o es consumida por los cultivos. La solubilidad de los cationes y aniones de las sales disueltas ocurre en forma equivalente. La suma de cationes es igual a la suma de aniones. Para determinar las diferencias en cada grupo, G1 y G2, se analizó la

composición del agua, según los miliequivalentes de sus iones principales. El resultado se muestra en la figura 8, dando agua de tipo sódica bicarbonatada en el G1 con un 36% de Na^+ y 35% de HCO_3^- sobre el total de iones principales. Y el agua del G2 es de tipo sódica sulfatada bicarbonatada con 38% de Na^+ , 24% de $\text{SO}_4^{=}$ y 19 % de HCO_3^- .

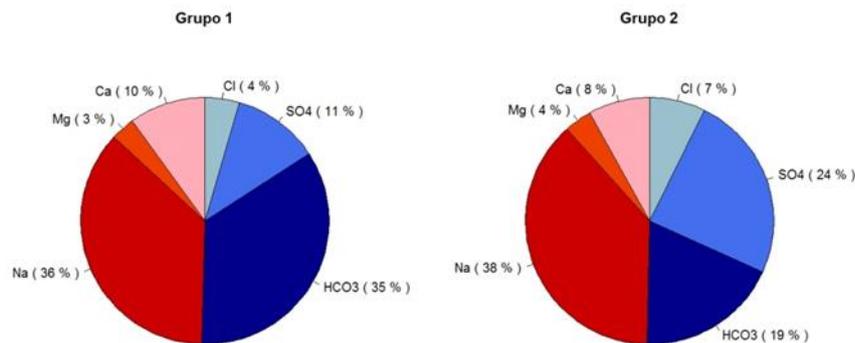


Figura 8: Composición iónica del agua de los pozos del G1 y G2.

Como conclusión, el análisis estadístico multivariado, en particular ACP, es un método esencialmente descriptivo que junto al análisis de Clúster, permite agrupar espacialmente las perforaciones relevadas relacionando las variables físico-químicas estudiadas, lo que aporta información valiosa al conocimiento de nuestros sistemas hidrogeológicos.

BIBLIOGRAFIA

Ayers, R.S. y Westcot, D.W. (1985) Water quality for agriculture. *FAO Irrigation and Drainage Paper 29*, Roma, p.174

Battistella, R., Ortega, I., Morvillo, M. & P. Luna (2016) Caracterización hidroquímica de la Cuenca de Santa Rosa con métodos multivariados y predicción especial de contaminantes. En: *3° Encuentro de Investigadores en Formación en Recursos Hídricos 2016*. Ezeiza, Argentina. p. 54

CAA (Codigo Alimentario Argentino) (2007) Artículo 982 - (Resolución Conjunta SPRyRS y SAGPyA N° 68/2007 y N° 196/2007)

Cabrera, A. & M. Blarassin (n.d.) Hidrogeoquímica y análisis multivariado en el acuífero freático de una Cuenca de llanura al sur de Córdoba, Argentina. 1st Joint World Congress on Groundwater. Disponible en: www.researchgate.net

Clescerl, L. D. (ed.), Greenberg, A.E. (ed), Eaton, A.D. (ed) APHA, AWWA, WEF (1998) Standard methods for the examination of water and wastewater. Ed. 20, USA.

Cloutier, V., Lefebvre R., Therrien R., Martine M.M. (2008) Multivariate statistical analysis of geochemical data as indicative of the hydrogeochemical evolution of groundwater in a sedimentary rock aquifer system: *Journal of Hydrology*, 353, 294-313.

ETISIG (Equipo de trabajo interdisciplinario en sistemas de información geográfica) (2014). Disponible en: *Atlas Catamarca*. www.atlas.catamarca.gov.ar Gobierno de Catamarca.

Fagundo, J. R. (1996). "Química del agua kárstica". *Hidroquímica del Karst*. Ed. OSUNA, Universidad de Granada (España), pp. 13-212.

INTA, 2014. Informes de monitoreo de cultivos del NOA para el período 2001 a 2014. Disponible en: www.inta.gob.ar

Kovda, V.A., 1964. Problems of Salinity and Waterlogging of Irrigated Land in West Pakistan; Observations obtained during a ten-day visit, 16 - 26 August 1964; p.9

Peña, D. (2002) *Análisis de datos multivariantes*. Mc Graw-Hill/Interamericana de España, S.A.U. Miscelánea N°7, Acad. Nac. Ciencias, Córdoba.

R Core Team, Version 3.3.1, (2016). R: A language and environment for statistical computing. *R Foundation for Statistical Computing*, Vienna, Austria. URL: <http://www.R-project.org/>.

Torres, C.; García, E.; Gianni, R.; Salvioli, G.; Urnicia, J.; Luna, P.; Carelli, M. (2014). IT-329, INA-CRAS, San Juan. Estudio hidrogeológico de las cuencas

de Santa Rosa y del Aconquija. *Acuerdo específico N° 01/12. Convenio INA – Gobierno de Catamarca.*

WHO (World Health Organization) (2006). Guidelines for drinking water quality. Third Edition.