



## HIDROQUÍMICA DE LA SIERRA CHICA DE CORDOBA, ARGENTINA: II. APLICACIÓN DEL QUAL2KW EN LA EVALUACIÓN DEL IMPACTO ANTRÓPICO

Stella M. Formica<sup>1,2</sup>, Gabriela A. Sacchi<sup>1</sup>, Melina Kinen<sup>1</sup>, Verena Campodonico<sup>2</sup>, Andrea I. Pasquini<sup>1,2</sup> y Marcela A. Cioccale<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Universidad Nacional de Córdoba. Av. Vélez Sarsfield 1611, Córdoba, Argentina. X5016GCA.

<sup>2</sup> CICTERRA (Centro de Investigaciones en Ciencias de la Tierra). CONICET- Universidad Nacional de Córdoba Av. Velez Sarsfield 1611, X5016GCA, Córdoba, Argentina [sformica@efn.uncor.edu](mailto:sformica@efn.uncor.edu)

El estudio de situaciones ambientales que generan escenarios adversos ocasionados por el accionar del hombre, además de ser una preocupación a nivel global, tiene un interesante y marcado enfoque multidisciplinario que permite entender que las alteraciones ocasionadas en una zona en particular, afectarán inevitablemente a otras. El fenómeno del crecimiento urbano es una realidad en la provincia de Córdoba, que se extiende en la actualidad a regiones donde el ambiente prístino era dominante. Esta situación ha aumentado la generación de residuos urbanos, el volumen de aguas residuales y la problemática de su tratamiento, entre algunos de los problemas que se pueden mencionar. Por esta razón es importante disponer de una legislación provincial y nacional actualizada que proteja el recurso hídrico natural, además de emplearla como referente para analizar los datos de un estudio hidroquímico al informar sobre la calidad del recurso.

Las cuencas de los ríos Ceballos y Salsipuedes (31° 06' y 31°18' S y 64° 15' y 64° 25' O) son típicos sistemas hídricos de montaña desarrollados en la Sierra Chica de Córdoba. Constituyen la principal fuente de abastecimiento de agua para consumo humano, recreación y riego para las localidades de la zona. En esta región el desarrollo urbano se ha incrementado notablemente durante los últimos años, impactando directamente en la calidad del recurso hídrico.

El río Ceballos nace en la Sierra Chica a 750 m s.n.m, siendo los arroyos Los Hornillos y Colanchanga sus principales afluentes en el ambiente serrano. Mantiene una dirección hacia el este hasta la localidad homónima y luego cambia de rumbo hacia el sur donde recibe sus principales afluentes desde el oeste, los arroyos Cabana y La Reducción. Desagua en la margen izquierda del río Suquía. La cuenca del río Salsipuedes tiene sus nacientes en las proximidades del Cerro El Cuadrado a 1.250 m s.n.m., su cuenca presenta una forma alargada con el eje mayor en dirección noroeste-sureste. Discurre por el piedemonte de las sierras, pasando por la localidad homónima y se infiltra antes de alcanzar la llanura.

En este trabajo se utilizaron técnicas de muestreo y métodos analíticos estándares, tanto para las determinaciones de campo como de laboratorio (Eaton et al., 1995). Para seleccionar los sitios de muestreo se tuvo en cuenta el uso del suelo (zonas prístinas y urbanas), densidad demográfica y características geológicas, geomorfológicas e hidrológicas de las cuencas. Los datos obtenidos fueron introducidos en el programa QUAL2Kw (Chapra y Pelletier, 2003), con el fin de analizar la calidad de las aguas de los ríos Ceballos y Salsipuedes. Se consideraron variables fisicoquímicas y biológicas: pH, conductividad eléctrica (CE), temperatura, nitrógeno de nitratos ( $\text{N-NO}_3^-$ ), alcalinidad, fósforo total (PT), oxígeno disuelto (OD) y microorganismos patógenos (bacterias coliformes totales y fecales); variables hidráulicas: caudal (Q), velocidad (V) y profundidad del cauce (H); y variables de morfología del cauce: ancho, pendiente, características del lecho, entre otras. Las mismas se determinaron para cada tramo o "reach" definido sobre el cauce principal de los ríos estudiados. Se modeló el impacto de fuentes puntuales de contaminación (en este caso, los afluentes) y fuentes difusas con valores simulados a lo largo de los principales centros urbanos (Kinen, 2012). Finalmente, se realizó una evaluación de la calidad del agua en función de la siguiente normativa: Decreto 415/99 de la Norma Provincial para descarga de efluentes líquidos a cursos de aguas superficiales (DAS, 1999), Real Decreto 927/1988, Ley Nacional 24051 y Decreto 831/93 para fuentes de agua para bebida humana (BOE N° 209, 1985) y la Directiva 76/160/CEE para uso con fines de recreación (CEE, 1975).

Como ejemplo de los ejercicios de modelación realizados, se presentan los resultados obtenidos para las variables CE,  $\text{N-NO}_3^-$  y organismos patógenos para la cuenca del río Ceballos en la Figura 1. Las curvas a), c) y e) son las modeladas por el programa sin calibración (CMSC), mientras que b), d) y f) corresponden a las curvas modeladas con calibración (CMCC) para los mismos parámetros. Se incluyen en cada gráfico los valores fijados en las legislaciones. Para ajustar las curvas modeladas a los datos de campaña se simuló un incremento en los valores de la CE entre 26 y 58%, mientras que para el  $\text{N-NO}_3^-$ , estos se aumentaron entre un 68% y 84%. Para el caso de los organismos patógenos las fuentes difusas simuladas debieron considerar un incremento del 100%. En el río Salsipuedes los valores que permitieron realizar el ajuste alcanzaron porcentajes similares. Sin embargo, las concentraciones medidas reflejan un menor impacto antrópico en esta última, lo cual estaría ligado directamente a la menor densidad poblacional respecto de la cuenca del río Ceballos.

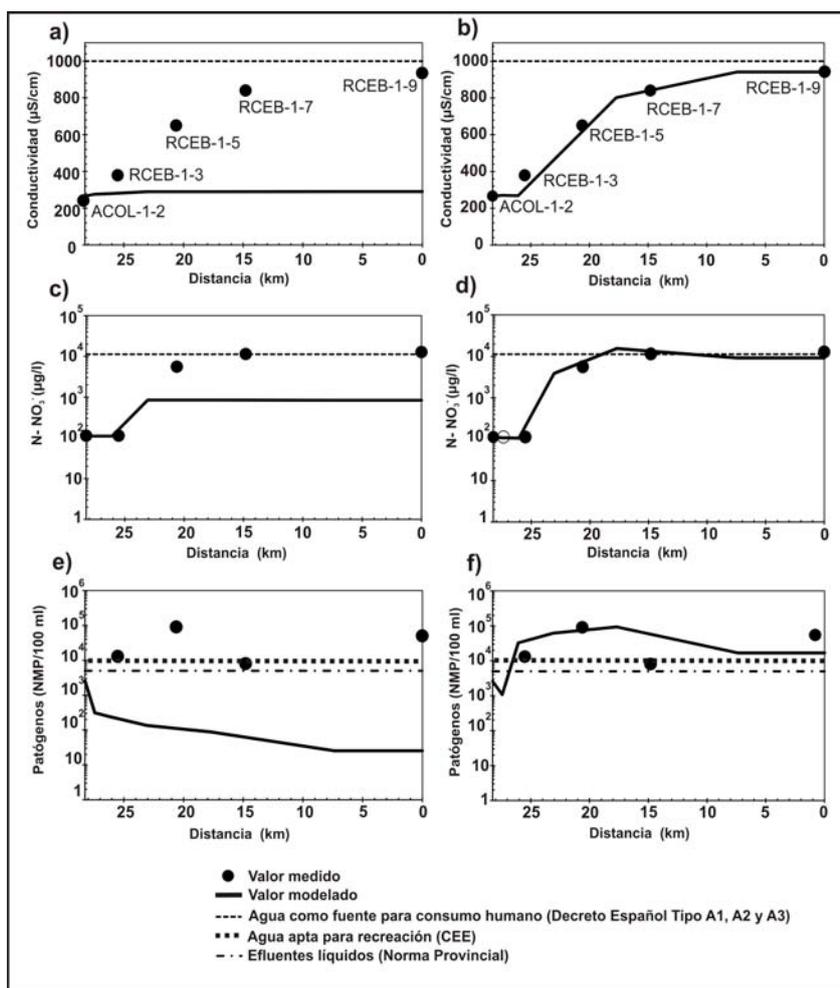


Figura 1.- Modelado geoquímico de las aguas del río Ceballos con QUAL2Kw.

Los NO<sub>3</sub><sup>-</sup> y los patógenos constituyen los principales indicadores de contaminación antrópica. En las cuencas estudiadas provienen en su mayor parte de las aguas residuales sin tratar, ya que la región no posee plantas de tratamiento de efluentes cloacales ni control sobre sus descargas difusas. Se agrega a esta situación el hecho de que la infiltración de aguas servidas a través de los pozos domiciliarios, alimenta la capa freática, con la consecuente contaminación que es más notoria en época de estiaje donde los caudales de estos ríos serranos se mantienen por el aporte de la misma. Por su parte, el río Ceballos también se encuentra afectado por importantes fuentes puntuales como el arroyo Mal Paso, situado aproximadamente a 7 km aguas abajo de la cabecera.

En relación a la normativa analizada, en el río Ceballos los contenidos de patógenos indican que sus aguas no son aptas para recreación en la zona urbana; también se alcanzan valores superiores a lo admitido para descargas de efluentes líquidos a cursos de aguas superficiales (Decreto 415/99). En el caso del río Salsipuedes los patógenos se encuentran en el límite de lo normado en la zona urbana. Con respecto a la legislación nacional y provincial analizada se observa que en la Ley Nacional N° 24051 y el Decreto Provincial N° 415/99 no se contemplan los límites admisibles para patógenos y NO<sub>3</sub><sup>-</sup> en calidad de agua para recreación y para el agua superficial destinada a la producción de agua potable, parámetros sí contemplados en la normativa internacional utilizada.

Chapra, S. y Pelletier, G. 2003. QUAL2K: a modeling framework for simulating river and stream water quality: documentation and users manual. Civil and environmental engineering department, Tufts University, Medford MA Chapra.

Eaton, A. D., Clesceri, L. S. y Greenberg, A. E. (Eds.) 1995. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. A.P.H.A./A.W.W.A./W.E.F., 1108 p., Washington D.C.

Kinen, M. 2012. Estudio biogeoquímico y calidad del agua de las cuencas de los ríos Salsipuedes y Ceballos, Córdoba, Argentina. Trabajo Final, Escuela de Geología, FCEFYN, Universidad Nacional de Córdoba. (inédita), 139 p., Córdoba.