

VALORACIÓN DEL DETERIORO DE AGUAS SUPERFICIALES EN LA CUENCA DEL RÍO ANISACATE, CÓRDOBA, ARGENTINA

Carlos O. Daziano¹ y Rosa F. Ayala²

1- Docente Investigador, CONICET. 2- Docente Investigador UNC. Argentina.

Abstract

The assessment of the chemical character of freshwater were carried on in Alta Gracia Basin to examine the suitability of waters for municipal and/or irrigation use taken on account world average freshwater (WAF) standards, after Livingstone (1963), the parameters after Richards (1954), Gibbs (1970) and Todd (1980), World Health Organization (WHO, 1993), among others.

Diagram after Stiff (1951) of major-ion composition shows similar “shapes” while dimensions change correlative to the absolute concentrations from upstream to downstream. Predominance of bicarbonate and calcium among anions and cations indicates that they are of calcium bicarbonate type facies. Dominance of HCO_3^- ($\geq 200 \text{ mg/l}$) among anions means a very strong chemical weathering processes on basement rocks. This is accordingly to Gibbs’s classification of world water chemistry. Relatively high concentrations of SO_4^{2-} , Cl^- and Na^+ were detected; all of them related to natural standards of freshwater, analyzed outside from the urban zone. Such increase on pollution affect the vulnerability system in first step. Freshwater from Alta Gracia – Anisacate Basin are largely unfit as drinking waters, inadequate to domestic uses and restricted their suitability for irrigation purpose.

Resumen

Se llevaron a cabo estudios de valoración de las características hidrológicas de las aguas superficiales de la cuenca de Alta Gracia, provincia de Córdoba a los efectos de determinar la aptitud de las mismas para irrigación o uso municipal.

Para ello se tuvieron en cuenta la normalización de las aguas superficiales mundiales promedio según Livingstone (1963), los parámetros de Richards (1954), Gibbs (1970) y Todd (1980) y el Organismo Mundial de la Salud (WHO, 1993), entre otros.

Las composiciones de las aguas en el diagrama de Stiff (1951) exhiben similares configuraciones en sus “formas”, variando sus proporciones según las concentraciones absolutas de los aniones principales, corriente abajo. La riqueza en bicarbonato y calcio entre los aniones y cationes respectivamente, indican una predominancia de facies tipo-bicarbonatadas a la vez que, una prevalencia de HCO_3^- ($\geq 200 \text{ mg/l}$) entre los aniones implica procesos de intemperismo químico sobre las rocas del basamento. Esto está en un todo de acuerdo con la clasificación del quimismo de las aguas según Gibbs (1970). Fueron detectadas concentraciones relativamente altas de SO_4^{2-} , Cl^- y Na^+ dentro y fuera de la zona urbana corriente abajo, respecto de patrones naturales escogidos en los niveles de cabeceras de la cuenca. Tal contaminación afecta la vulnerabilidad del sistema en un primer estadio, determinando la inaptitud de las aguas para bebida, son inadecuadas para uso doméstico y restringida su aptitud con propósitos de irrigación.

Palabras claves: Aguas superficiales – facies hidroquímicas – normalización – aptitud – contaminación antropogénica – residuos tóxicos – vulnerabilidad

Introducción

En este trabajo se evaluaron las características hidroquímicas de las aguas superficiales de la cuenca de Alta Gracia, provincia de Córdoba a los efectos de determinar la aptitud de las mismas con fines de irrigación, uso municipal u otros. Para ello se tuvieron en cuenta la normalización de las aguas superficiales mundiales promedio según Livingstone (1963) y Gibbs (1970), del Organismo Mundial de la Salud (WHO, 1993), y los parámetros hidroquímicos de Piper (1944), Stiff (1951), Richards (1954) y de Todd (1980), entre otros. Se analizaron nueve muestras de aguas superficiales, estratégicamente escogidas dentro de la cuenca de Anisacate - Alta Gracia. Se efectuó el procedimiento convencional tanto en la toma de muestras como en la analítica desarrollada. Los parámetros pH, temperatura (°C) y conductividad eléctrica (EC) fueron determinados en campaña. El quimismo de las aguas fue realizado en el laboratorio de química analítica de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales; Universidad Nacional de Córdoba, (UNC).

Ubicación de área y Ambiente geológico

La comarca se ubica (Figura 1) sobre la vertiente oriental de la Sierra Chica de Córdoba, entre las latitudes 31°36'00" Sur y 31°43'30" Sur y, las longitudes 64°24'30" Oeste y 64°31'30" Oeste. La red de avenamiento comprende unos 33 km (en promedio), cubriendo 225 km². Geológicamente, el área comprende el complejo metamórfico de la Sierra Chica, de edad precámbrica a eopaleozoica (Daziano, 1998). Las rocas más antiguas de la región corresponden a rocas ultramáficas, incluidas en el basamento como megaenclaves litosferoclasticos y fueron designadas como "Formación Buena Esperanza" (Daziano, op.cit.); siendo referidas a una edad meso-Proterozoica media (Ectasiano).

Quimismo de las aguas superficiales

El carácter químico esencial de las aguas superficiales, (tabla 1) según las concentraciones relativas de sus constituyentes, corresponde a aguas alcalinas normales. Existe una predominancia composicional Ca-(Ca+Mg)-HCO₃; lo que sugiere un tipo cálcico-bicarbonatado para las facies hidroquímicas presentes. En orden de abundancia, dichas facies son: Cálcicas (56%), Cálcico-sódicas (33%) y Cálcico-magnesiánica (11%) según se desprende del diagrama trilineal de Piper (1944). Ningún par catión-anión excede del 50%, en composición. Las altas concentraciones de HCO₃ al igual que de Ca y Mg > Na + K, correlativos con las concentraciones de estos elementos en las rocas del basamento – indicarían un intenso proceso de intemperismo químico de las rocas de campo, en concordancia con la clasificación de las aguas, dentro del diagrama de Gibbs (1970).

Existe un exceso de casi tres veces los contenidos de cationes alcalino-térreos sobre los álcalis mientras que, una predominancia de ácido débil (HCO₃) sobre ácidos fuertes (Cl + SO₄), por un factor igual a 4.4 caracteriza a las aguas superficiales de la comarca.

La salinidad, expresada según las concentraciones de sólidos totales disueltos (TDS), varía en un rango de entre 300 a 500 mg/l. Fueron detectadas concentraciones relativamente altas de SO₄⁼, Cl⁻ y Na⁺ dentro y fuera de la zona urbana (corriente abajo), respecto de patrones naturales escogidos en los niveles de cabeceras de la cuenca. Tal contaminación afecta la vulnerabilidad del sistema en un primer estadio, determinando la inaptitud de las aguas para bebida, son inadecuadas para uso doméstico y restringida su aptitud con propósitos de irrigación. Por otra parte, se determinaron los coeficientes (promedios en ppm): Cl/NO₃ = 2.2 y SO₄/Cl = 2.37 como sensores del nivel de polución e índices guías para controles futuros. El índice de absorción de sodio (SAR) se incrementa progresivamente corriente abajo, desde un contenido mínimo de 0.33 meq/l hasta alcanzar su valor máximo de 1.6 meq/l, en la estación final de muestreo (Estación 9).

Los valores (SAR) proyectados sobre el diagrama de Richards - clasificatorios de la aptitud de las aguas para irrigación - recaen en el dominio C1S1-C2S1; es decir, son aguas pobres en sodio y bajas a medias en salinidad total. Por otra parte, siguiendo a Todd (1980) en el formulismo para la determinación del Na% contenido en las aguas, se ha encontrado que éste varía en rango de entre 14.20% a 38.02%. Tal rango las incluye en una "calidad buena" como para ser utilizadas con fines de riego. Sin embargo, relativamente altas concentraciones de Na - mayores que Mg - detectadas en

las cuatro últimas estaciones de muestreo corriente abajo, revisten el carácter de anómalas y pueden ser atribuidas sin duda alguna, a influencias antropogénicas.

Conclusiones

El tramo del Río Alta Gracia - dentro y fuera del área urbana - comprendido entre la ciudad homónima y su desembocadura en el Río San José (Anisacate), presenta concentraciones relativamente altas de SO_4^{2-} , Cl^- y Na^+ , en ese orden de importancia. Ellas se traducen en el incremento de (TDS) y (SAR), afectando en mayor grado la vulnerabilidad del sistema.

Las aguas de la cuenca en el tramo aludido, se catalogan no aptas como aguas de bebida, son inadecuadas para fines domésticos y restringida su aptitud para ser utilizadas en irrigación de cosechas sensibles al sodio.

Gestión para el mejoramiento: recomendaciones

Dado la existencia de un factor principal de contaminación de indudable influencia antrópica, detectado en una fase inicial o estadio incipiente de riesgo, se recomienda a los organismos de control competente (Municipalidad) realizar inspecciones periódicas (preferentemente anuales) sobre la línea de drenaje detectada como hidrológicamente anómala, para el área de referencia. La Organización Mundial de la Salud (OMS) recomienda no consumir por día más de seis gramos de sal, por lo que es conveniente la ingesta de alimentos como frutas en general y verduras que a su vez contienen K, los cuales ayudan en la reducción de Na. El riesgo más evidente del exceso de sodio es la mayor probabilidad de desarrollar hipertensión arterial. Por otra parte, deberán tomarse medidas de prevención y control de volcamientos directos o descarga de residuos tóxicos y/o efluentes industriales en la cuenca aludida posibilitando además, conocer eventualmente el origen y naturaleza de los productos tóxicos derramados.

Referencias bibliográficas

- Daziano C O (1998) Hoja Geológica Córdoba: 3163-III a Escala 1:250.000 Capítulo Proterozoico. Convenio Universidad Nacional de Córdoba, (UNC) y Sub-Secretaría de Minería de la Nación; Resolución 670. Bs. As. Argentina.
- Daziano C O (2000) Hidrogeoquímica y Aptitud de Aguas Superficiales Alta Gracia Córdoba, Argentina. 11° Congreso Argentino de Saneamiento y Medio Ambiente. Mendoza, Argentina. AIDIS Argentina, Asociación Argentina de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. Bs. As. - Argentina.
- Gaiero D M et al. (1997) Effects of quarry mining and of other environmental impacts in the mountainous Chicam-Toctina drainage basin (Córdoba, Argentina). *Environmental Geology*, 34: (2/3). Springer-Verlag. Germany.
- Gibbs R J (1970) Mechanisms controlling world water chemistry. *in Science* 170: 1088-1090
- Livingstone D A (1963) Chemical compositions of rivers and lakes. USGS Professional Paper 440-G
- Piper A. (1944) A graphic procedure in the geochemical interpretation of water analysis. *Trans Am Geophys Un* 25: 914-928
- Richards L (1954) Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. (Agricultural Handbook 60) US Dept. Agri., Washington, USA.
- Stiff H A (1951) The interpretation of chemical water analysis by means of patterns. *J Petrol Technol* 3: 15-17
- Todd D K (1980) *Groundwater hydrology* (2nd edn). New York: John Wiley and Sons. 530 pp
- World Health Organization, WHO (1993) *Guidelines for drinking water quality*. (2nd edn) - Geneva

RELACIONES DE FIGURAS

Tabla I. Quimismo de las aguas de la cuenca de Alta Gracia

Figura 1. El área de estudio se localiza sobre la vertiente oriental de la Sierra Chica de Córdoba, entre las latitudes 31°36'00" Sur y 31°43'30" Sur y, las longitudes 64°24'30" Oeste y 64°31'30" Oeste, cubriendo cerca de 225 km². Se analizaron un total

de nueve muestras de aguas superficiales, estratégicamente escogidas dentro de la cuenca de Alta Gracia.

Figura 2. Se muestra la repartición catiónica de las aguas, según las nueve estaciones de muestreo.

Figura 3. Se exhiben las concentraciones de aniones. Observando ambos gráficos, se advierte apriorísticamente una prevalencia de Ca y Na, y de HCO₃ y SO₄ en la composición de las aguas.

Figura 4. En el diagrama multivariante, se exhibe las relaciones parametrales hidrológicas y sus variaciones intrínsecas, respecto de cada una de las estaciones de muestreo corriente abajo.

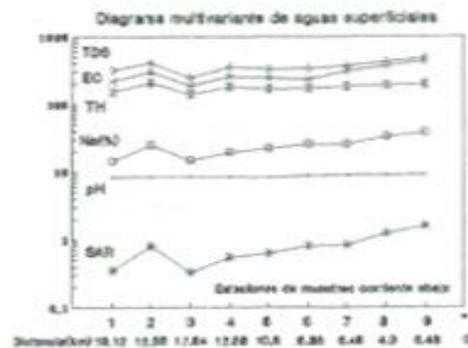
Figura 5. El diagrama de Gibbs (1970) que relaciona los contenidos de sólidos totales disueltos (TDS) con el índice sodo-cálcico: Na/(Na + Ca), confirma que las aguas estudiadas han adquirido su quimismo por medio de materiales intemperizados derivados de las rocas del basamento. La población de muestras o ejemplares analizados recaen en el centro del boomerang del diagrama de Gibbs.

Figura 6. Las variaciones de los aniones respecto de los sólidos totales disueltos, exhiben índices de correlación estadísticamente positivos; los coeficientes calculados entran en el rango de bueno a muy bueno.

Figura 7. Por otra parte, se ha establecido una muy buena correlación entre la conductancia específica y la descarga.

Figura 8. El carácter químico esencial de las aguas superficiales se exhibe en el diagrama trilinear de Piper (1944).

Figura 9. El diagrama de Stiff (1951) muestra el carácter químico de las aguas estudiadas acorde a sus concentraciones absolutas, dando una representación general del balance catión-aniónico.



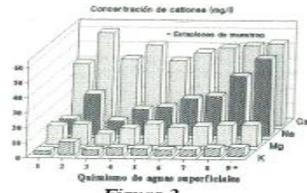


Figura 2

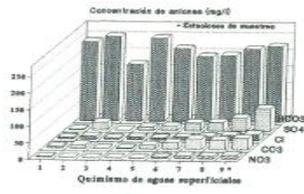


Figura 3

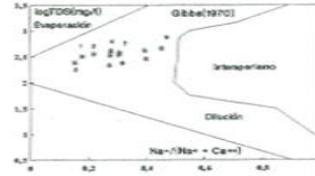


Figura 5

Clasificación en Series Hidroquímicas

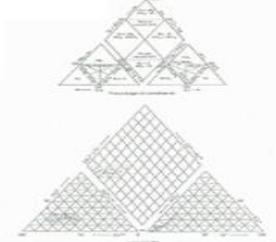


Figura 6

Características Hidrogeoquímicas
Aguas Superficiales

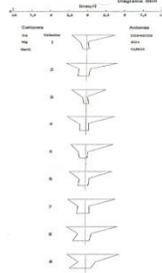


Figura 7

Clasificación de Aguas para Irrigación

Diagrama de Laboratorio para Salinidad (USA)
Grado de Peligrosidad Salina

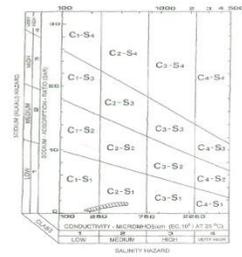


Figura 8

Grado de vulnerabilidad relativa

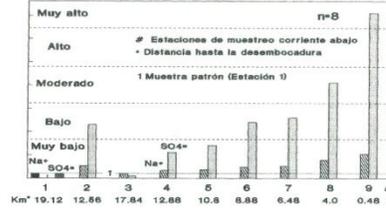


Figura 9

Nra. Nro.	Temp. Grad. Celsius	pH	EC µs/cm	Ca	Mg	Na	K	Cl (mg/l)	SO4	CO3	HCO3	NO3	Descarga m3/s
1	10.1	8.31	218	40.08	12.4	9.89	2.74	4.86	1.92	4.0	237.89	1.88	—
2	12.4	8.43	369	100.92	13.81	19.87	9.8	9.97	22.99	10.8	293.03	1.94	0.18
3	10.01	8.39	198	43.29	7.84	8.97	3.62	4.26	0.89	1.2	170.23	0.87	—
4	12.7	8.37	255	92.81	11.43	10.78	8.06	7.46	10.97	1.5	249.09	1.2	0.145
5	14	8.34	245	42.48	14.34	19.19	4.89	6.03	13.45	1.3	219.44	1.3	—
7	14.2	8.27	232	45.1	12.18	24.14	3.91	8.86	23.89	1.8	195.29	4.34	—
8	15.8	8.87	350	67.3	13.13	25.98	4.3	11.7	14.88	3.12	187.89	8.8	—
9	16.01	8.91	370	82.61	13.89	39.31	6.47	14.23	39.38	2.8	217.83	8.27	—
9	16.7	8.91	439	54.51	14.1	51.27	9.87	16.76	89.2	34.21	236.89	10.97	0.88

Tabla 1