

Variación del Contenido Regional de Nitrato en el Agua Subterránea del Departamento Pocito- San Juan, Durante los Últimos 50 Años

Battistella, Romina; Ortega, Irene & Carelli, Fernanda

Instituto Nacional del Agua – Centro Regional de Agua Subterránea

E-mail: rbattistella@ina.gob.ar

RESÚMEN: El objetivo del presente trabajo es analizar en 5 períodos consecutivos a lo largo de 50 años, los cambios temporales y espaciales de los parámetros físico-químicos del acuífero libre y confinado del departamento Pocito, teniendo en cuenta el tipo de explotación en la zona. Se elaboró una base de datos con los registros históricos pertenecientes al Laboratorio del INA-CRAS, de 339 perforaciones entre 1966 y 2018. Las variables evaluadas fueron: temperatura del agua, conductividad eléctrica, potencial hidrógeno y nitrato. Se utilizó un análisis de la varianza para comprobar si existían diferencias significativas entre períodos (I, II, III, IV y V), tipo de acuífero (Libre y Confinado) y tipo de zona (Virgen, Rural y Urbana). La mayor parte de los parámetros físico-químicos analizados no experimentan variaciones de importancia en el tiempo, sí observándose diferencias significativas en cuanto al tipo de acuífero explotado y también en el caso de la zona urbana y rural, con respecto a la zona virgen que no fue sometida a explotación antrópica. Solamente en el caso del nitrato se observa una evolución progresiva en el tiempo de su concentración, posiblemente debido al efecto del crecimiento demográfico, aumento de superficie cultivada con uso de fertilizantes nitrogenados y vertido de residuos agroindustriales. Asimismo, en relación a la zona, la urbana presentó las mayores concentraciones y la virgen, las menores.

Palabras Claves: hidroquímica, evolución, nitrato

INTRODUCCIÓN

El crecimiento poblacional, el aumento de la frontera agrícola y el desarrollo de agroindustrias asociadas, suponen una fuerte influencia sobre el recurso hídrico subterráneo de una región. Esto se manifiesta, en los cambios hidroquímicos que sufren los acuíferos a través del tiempo en zonas urbanas y rurales, donde a partir de la actividad del hombre se han modificado sustancialmente las condiciones naturales. Estas actividades afectan en forma directa al ciclo hidrológico ya que cambios en las redes de drenaje, la impermeabilización de la superficie del terreno, las construcciones, la intensa explotación de las aguas subterráneas y vertidos hacia el agua superficial han alterado los procesos de infiltración, escurrimiento, las condiciones del flujo y la química del agua subterránea y superficial.

El Departamento Pocito forma parte del Valle de Tulúm, el clima es seco con temperaturas máximas de 40 °C en verano y mínimas de bajo cero en el invierno. Se ubica 17 Km al Sur de la ciudad de San Juan. Tiene una superficie de 515 Km² y una población con más de 50.000 habitantes, concentrada principalmente en las localidades de Villa Aberastain y La Rinconada (Fig.1). El 55% de la superficie del departamento se encuentra sobre el área del oasis del Valle de Tulúm, una zona rica en agua que concentra la mayor capacidad productiva y poblacional de la provincia de San Juan, siendo vid, hortalizas y olivo, los cultivos predominantes. En Pocito, principalmente se utilizan las aguas provenientes de canales de riego a partir de diques y como fuente alternativa de provisión de agua se utilizan pozos que explotan los horizontes acuíferos freáticos. Estos están generalmente en estrecha relación con las aguas superficiales de origen fluvial o pluvial, incluyendo el riego, y en consecuencia el tipo de contaminantes presentes, está relacionado principalmente con el origen del residuo y las reacciones bioquímicas que ocurren dentro del propio residuo y en la zona no saturada subyacente (Nicholson et. al., 1983).

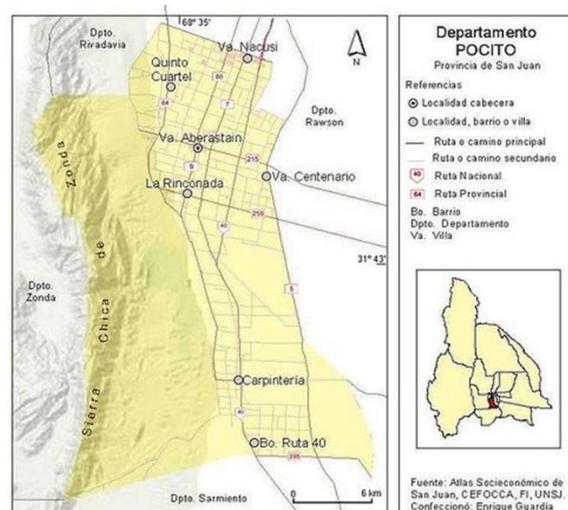


Figura 1.-Ubicación de la zona de estudio

La cuenca del Tulúm, obtiene su principal recarga a partir del Río San Juan, que corre Oeste-Este, y el abanico aluvial marca sobre Pocito un sentido del flujo de agua subterránea Noroeste - Sudeste (Fig.2). El agua del Río San Juan es de tipo Cálcica Bicarbonatada Sulfatada, por lo que se espera encontrar similares características en los acuíferos vinculados. La cuenca, a la altura de la zona de estudio se encuentra atravesada con aproximación longitudinal, por el límite entre el acuífero libre y confinado, lo que plantea diferencias de condiciones en el tratamiento de los datos. Según describe Rodríguez (1978) la zona de acuífero libre abarca el abanico aluvial del Río San Juan, desde su sector apical hasta la parte distal, como puede observarse la línea de puntos en la Figura 2. Allí se produce un cambio de fases granulométricas y la presencia de materiales finos de tamaño de limos y arcillas, intercalados entre sedimentos de mayores dimensiones. Este cambio da origen a condiciones de semiconfinamiento y luego confinamiento de los acuíferos. Los sedimentos en los cuales se desarrolla el acuífero libre poseen elevadas porosidades efectivas

MATERIALES Y MÉTODOS

El análisis de los datos se hizo a partir de 663 muestras tomadas de 314 perforaciones equipadas con bombas para la extracción de agua, a distintas profundidades, que se encuentran distribuidos a través de todo el departamento. Para identificar cada período se considero fecha de inicio las primeras muestras tomadas por el Centro Regional de Agua Subterránea, año 1966. Siendo Periodo I: 1966-1975, Periodo II: 1976-1985, Periodo III: 1986-1995, Periodo IV: 1996-2005, Periodo V: 2006-2018. Cada perforación fue ubicada geográficamente utilizando el software Golden Software Surfer V.8.2.27.0 y QGIS 2.18. Una vez determinada la posición de los pozos, se procedió a identificar si pertenecía a la zona delimitada como acuífero libre o confinado y clasificar la zona de explotación del suelo en la que se encontraba cada perforación. En la zona geográficamente diferenciada como acuífero confinado (Figura 2) existen perforaciones que no explotan dicho acuífero sino que están en la zona freática y estarían expuestas más directamente a las condiciones ambientales, como sucede en el acuífero libre. Para éste procedimiento se utilizó el software libre Google Earth Pro. Se caracterizó la zona según las perforaciones estuviesen bajo explotación agrícola, siendo zona rural; si existían barrios o industrias, zona urbana y, por último si no había indicios de ningún tipo de actividad antrópica, se la caracterizó como zona virgen.

La determinación de nitrato se hizo a partir del método colorimétrico por reducción de cadmio (8039 HACH), donde el cadmio reduce el nitrato presente en la muestra a nitrito. Este reacciona en un medio ácido con ácido sulfánilico para formar una sal diazonium intermedia. La concentración se informa en miligramos por litro (mg/l). En el momento de la extracción de las muestras se realizaron determinaciones de CE (conductividad eléctrica), pH y T° (temperatura), remitiéndose las muestras recolectadas al Laboratorio del Centro Regional de Agua Subterránea en la Provincia de San Juan para su análisis. El análisis estadístico se obtuvo a partir de una ANAVA utilizando el software INFOSTAT versión libre 2018. Previamente se procedió a la transformación logarítmica de los datos, a fin de corregir la asimetría presente en la distribución de la variable. De ésta manera, se estableció una distribución normal para poder aplicar los supuestos del análisis de la varianza. Se utilizó el test de comparación de medias LSD Fisher con un nivel de significancia de 0.05.

Una vez obtenidos los resultados de la ANAVA, se aplicó la transformación inversa para interpretar los resultados, en la unidad correspondiente a la variable.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Teniendo en cuenta la temperatura del agua, al hacer el análisis conjunto de todos los datos se observó descensos significativos entre las temperaturas medias en el periodo III con respecto al resto, en ambos acuíferos. De ésta manera, los dos primeros periodos se diferencian significativamente, obteniendo las mayores temperaturas ($>1^{\circ}\text{C}$) en el acuífero confinado. Comparando las medias según el tipo de explotación del suelo, las tres zonas estudiadas presentan diferencias estadísticamente significativas, en orden decreciente virgen, rural y urbano independientemente del límite entre acuífero libre y confinado. Posiblemente, la ausencia de cobertura vegetal y mayor exposición solar en la zona virgen, sean los factores que influyan en el aumento de la temperatura del suelo ($>2^{\circ}\text{C}$), por ende del agua subterránea, y por otro lado la ausencia de explotación de agua freática en la zona virgen, podría ser otro factor que determine las mayores temperaturas observadas en ésta zona, no existiendo renovación de agua freática.

Teniendo en cuenta la CE no se observaron diferencias significativas, durante los períodos medidos dentro de cada acuífero. Los valores medios oscilan entre $1046\ \mu\text{S}/\text{cm}$ en el período I y $1294\ \mu\text{S}/\text{cm}$ en el periodo V. El estudio de evolución salina realizado por Guimaraes (1978) concluye que la CE varía desde un mínimo de 440 a un máximo de $3480\ \mu\text{S}/\text{cm}$, no obstante en este estudio se registraron valores de hasta $8000\ \mu\text{S}/\text{cm}$, posiblemente relacionados a contaminaciones puntuales. Por otro lado, los valores en la zona virgen arrojaron valores significativamente menores en comparación a las zonas rural y urbana. Cuando se analizan las zonas de explotación del acuífero libre y confinado por separado, conservaron la misma relación. Cabe destacar que dentro del acuífero confinado, la zona urbana presentó los valores promedios estadísticamente más elevados de CE, con promedio de $2.360\ \mu\text{S}/\text{cm}$, lo que puede atribuirse a que los pozos se encuentran a poca profundidad, llegando a ser muestras relacionadas a la capa freática y no vinculada a las condiciones de confinamiento naturales. Los estudios realizados por el CRAS determinan que no existe hasta la actualidad en la zona de interés, contaminación por aguas salinas, sino simplemente variaciones lógicas del tenor de sólidos disueltos, relacionado con la normal dinámica de la cuenca y en particular con algunas perforaciones defectuosas o con efectos contaminantes puntuales.

Los valores promedios de pH en el departamento de Pocito se mueven en un rango promedio de $7,2$ a $7,8$, a pesar de encontrarse en algunos casos diferencias estadísticamente significativas, entre periodos, acuíferos y zonas de explotación del agua subterránea, hidroquímicamente no son relevantes.

Son ampliamente conocidos los efectos perjudiciales del nitrato, cuando su concentración es mayor a $45\ \text{mg}/\text{l}$ (Cárdenas & Sánchez, 2013; Larios Ortiz, 2009). La Organización Mundial de la Salud establece, éste valor, como límite máximo en el agua de bebida.

El nitrógeno puede aparecer en forma de NH_3 , NH_4^+ y por oxidación puede convertirse a NO_2^- y finalmente NO_3^- , que es la forma más usual y estable (De Miguel, 1999). En éste estudio, los valores de

nitrate desde el año 1966 al 2018 marcan un aumento significativo en el tiempo, independientemente del tipo de acuífero analizado. La Figura 3 muestra las concentraciones medias por periodos dentro de cada acuífero. En el acuífero libre, la concentración promedio va de 6,2 mg/l, en el periodo I a 22,2 mg/l de nitrato en el periodo V. Esto marca un acentuado aumento de la contaminación por nitratos seguramente relacionado al aumento de la urbanización y de la superficie cultivada, vinculado a las condiciones litológicas de la zona que coincide con las altas permeabilidades en los sedimentos y rocas presentes. En la zona diferenciada como acuífero confinado se observa la misma tendencia, desde el periodo I al III. En este caso, aumenta de 3,2 mg/l en el periodo I a 17,6 mg/l NO₃⁻ en el III. No se cuenta con determinaciones de nitrato, dentro del laboratorio del CRAS para el período IV. En el periodo V, solo se cuenta con 2 muestras, por lo que la disminución aparente entre el periodo III y V, dentro del acuífero confinado no es estadísticamente significativa.

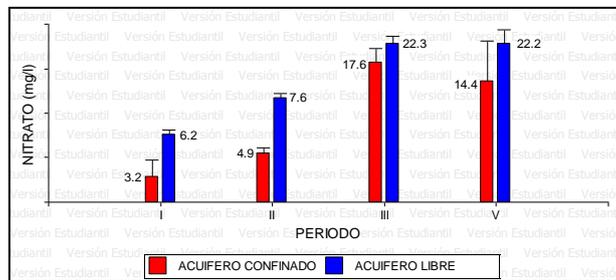


Figura 3.- Contenidos medios de nitrato por periodo, en el acuífero confinado y acuífero libre.

Pocito muestra el mismo efecto observado durante las décadas del 70-80 ocurrido en la Capital de San Juan y departamentos aledaños: Chimbas, Rawson y Santa Lucía, solo que postergado una década después. Cuando tenemos en cuenta la zona de explotación donde se encuentran las perforaciones hay una clara evidencia en el uso del suelo (Fig.4). El nitrato puede estar presente en las aguas subterráneas, bien como resultado de la disolución de rocas que los contengan, lo que ocurre raramente o bien por la oxidación bacteriana de la materia orgánica. Su concentración en aguas subterráneas no contaminada raramente excede de 10 mg/l (de Miguel- Fernández, 2006).

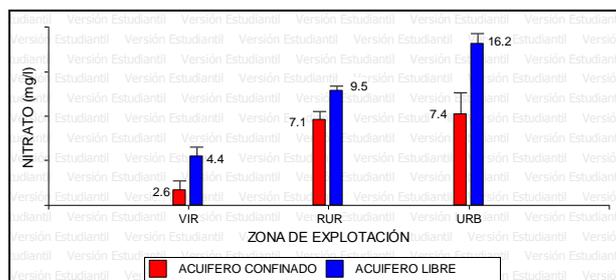


Figura 4.- Concentraciones promedio de nitrato en ambos acuíferos dependiendo el tipo de zona de explotación de las perforaciones.

Cuando se analizaron todos los pozos en conjunto, se observó un aumento de los contenidos de nitrato, diferenciándose la zona virgen de la rural y la urbana, con valores crecientes respectivamente, independiente de que acuífero formaban parte. A pesar de que el sector delimitado como acuífero confinado muestra valores más bajos, respecto al acuífero libre, la tendencia es un aumento regional, evidenciando que donde no hay actividad antrópica, los contenidos son bajos y a medida que se explota el suelo, las concentraciones de nitrato comienzan a aumentar.

Más claro el aumento se presenta en el acuífero libre donde las concentraciones promedio son: 4,4 mg/l NO₃- en la zona virgen, 9,5 mg/l en la zona rural y 16,2 mg/l en la zona urbana. Este efecto posiblemente sea consecuencia de que las condiciones geológicas y geográficas del suelo son las más propensas para la contaminación del agua. A razón de que la infiltración del suelo en el acuífero libre es directa hacia el agua subterránea, los efectos de la contaminación tienen una respuesta rápida, con respecto al acuífero confinado. Sumado a que en éste último, el ambiente reductor presente, naturalmente no permiten la presencia de nitrato en las capas más profundas.

La Tabla 1 muestra los valores medios, mínimos y máximos de nitrato en mg/l, analizados estadísticamente dentro de las zonas diferenciadas como acuífero confinado y libre, separado por zona de explotación y a su vez por período, lo que permitió ver la evolución regional del contenido de nitrato. En todos los casos la evolución en las concentraciones de nitrato aparece entre acuíferos y entre las zonas.

La cantidad de muestras tomadas en el acuífero confinado dificulta el análisis estadístico sólido, ya que algunos períodos cuentan con escasas muestras. No obstante, en las tres zonas de explotación, en general, los valores medios, mínimos y máximos aumentan. Las altas concentraciones de nitrato presentes en el acuífero confinado, estarían relacionados a la profundidad de los pozos explotando la zona freática, más que a la condición de confinamiento natural. Esto podría asociarse a que en ciertas zonas del acuífero confinado se produce el aumento del nivel freático, proceso conocido localmente como revenición. El aumento de la recarga, sumado a la exposición solar y las altas temperaturas, llevan a una evapotranspiración excesiva que resulta en un aumento de la capilaridad con la consecuente disolución de sales presente en las primeras capas de suelo, y el efecto de concentración de ciertos componentes, como el nitrato, no permitiendo la infiltración, por la naturaleza impermeable del acuífero confinado. Para observar claramente este fenómeno deberían considerarse las profundidades de las perforaciones, variable que no ha sido analizada en éste trabajo por falta de información acerca de los perfiles geológicos completos de todos los pozos evaluados.

Tabla 1.- Contenido promedio de NO₃- (mg/l) en los 5 periodos según la zona de explotación.

		ZONA DE EXPLOTACIÓN	Per.	n	MEDIA	MIN.	MAX.
ACUIFERO CONFINADO	VIRGEN	I	7	2,47	0,61	9,06	
		II	38	2,57	0,05	19,98	
		III	1	7,43	7,43	7,43	
	RURAL	I	3	5,51	1,90	9,32	
		II	84	6,04	0,05	42,77	
		III	10	18,99	8,10	36,12	
		V	2	13,59	7,87	23,22	
	URBANA	II	5	7,01	3,35	23,80	
		IV	2	8,82	6,23	11,90	
ACUIFERO LIBRE	VIRGEN	I	40	2,67	0,05	13,95	
		II	16	8,33	0,98	29,72	
		III	6	11,28	7,43	17,15	
	RURAL	I	175	7,22	0,05	72,23	
		II	141	10,40	0,05	75,72	
		III	29	22,09	6,81	112,92	
		V	31	18,99	0,01	107,75	
	URBANA	I	32	10,12	0,05	43,81	
		II	21	17,60	2,78	87,23	
		III	10	32,77	10,12	55,64	
		V	7	40,76	8,33	149,46	

Es evidente que la zona urbana dentro del acuífero libre es la que sufre el mayor impacto ya que históricamente la población contó con depósitos (pozos negros) para los residuos domésticos sin impermeabilización de sus paredes, sumado al vertido de efluentes y residuos agroindustriales presentes en la zona. En segundo lugar, la zona rural se ve afectada posiblemente por la utilización de fertilizantes orgánicos y sintéticos principalmente nitrogenados, puesto a que las plantas pueden aprovechar el nitrógeno en forma de nitrato, el tipo de fertilizante aplicado, condiciona la proporción de nitrógeno utilizable por estas y en consecuencia, el resto se infiltra hacia el acuífero. Por otro lado, la cobertura vegetal y el mayor volumen de riego en esta región, incrementaría la descomposición de materia orgánica, ocasionando crecientes valores de nitrato en el suelo y su posterior aparición en el agua subterránea.

En la zona virgen aparecen contenidos promedios de nitrato crecientes. A pesar que en los periodos I y II están por debajo del límite natural, en el período III superan los 10 mg/l. En general los valores máximos ya marcan influencia de la actividad humana en la región.

CONCLUSIONES

Es evidente que el aumento de la población durante los últimos 50 años, trae apareada la dispersión de los centros urbanos hacia zonas rurales, lo que acarrea diferentes inconvenientes para la conservación de los recursos naturales. Uno de los más afectados, es el recurso agua, que pasa desapercibido a la mayoría de los habitantes. La presencia de depósitos domésticos, sumado a los vertidos agroindustriales y el uso de riego en zonas cultivadas, suele producir importantes cambios en la calidad química del agua subterránea, generando compuestos tóxicos, de difícil degradación, por lo que su concentración en el tiempo puede representar una seria amenaza para el futuro de la calidad del agua subterránea. El conocimiento de los requerimientos nutricionales y la cantidad de agua necesaria de cada cultivo, además del establecimiento de un moderno sistema cloacal, tratamiento y valorización de residuos agropecuarios y agroindustriales serán prácticas que permitirán disminuir los efectos perjudiciales en el agua subterránea.

Agradecimientos Queremos expresar nuestro agradecimiento a nuestro compañero y Jefe del Laboratorio, Lic. Ernesto García por su incondicional predisposición al momento de revisar éste trabajo, como así también al Tec. Claudio Garrido por acompañarnos a tomar las muestras y brindar su conocimiento y experiencia en la zona de estudio y al Ing. Ricardo Guimaraes por la colaboración en el análisis e interpretación de los antecedentes existentes.

REFERENCIAS

- Cárdenas, G., & Sánchez, I. 2013. *Nitrógeno en aguas residuales: orígenes, efectos y mecanismos de remoción para la preservar el ambiente y la salud pública*. *Rev. Univ. Salud*, 15(1), 72-88.
- De Miguel, F.C.1999. *Hidrogeología aplicada*, Editorial Felix Varela, pag 453.La Habana- Cuba.
- De Miguel-Fernandez, C., Vazquez-Taset, Y.M. 2006. *Origen de los nitratos y nitritos y su influencia en la potabilidad de las aguas subterráneas*. *Minería y geología* 22 (3), 1-9.
- Di Rienzo J.A., Casanoves F., Balzarini M.G., Gonzalez L., Tablada M., Robledo C.W. *InfoStat versión 2018*. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>
- Ferres, C. y Rodriguez, R. 1986. *Avance en el estudio del contenido de nitrato y otros elementos indicadores de contaminación del acuífero libre del Valle de Tulúm*. Año 1985. Informe Técnico IT 62 INA-CRAS, San Juan. Pag1-3.
- Guimaraes, R. 1978. *Estudio de la evolución salina del agua subterránea Valle de Tulúm – San Juan*. IT 235. INA-CRAS, San Juan, Arg.
- Larios Ortiz, L. (2009). *Contaminación del agua por nitratos: significación sanitaria*. *Revista Archivo Médico de Camagüey*, 13(2), 0-0.
- Nicholson, R.V., Cherry J.A., Reardon, E.J.1983. *Migration of contaminants in groundwater at a landfill: A case study* 6. *Hydrogeochemistry. Journal of Hydrology*. Volume 63, (1–2), pag. 131-176.
- Rocca, J.A. 1970. *Geología de los Valles de Tulum y Ullum-Zonda, Provincia de San Juan*. Plan Agua Subterránea, pag 41-51, Argentina.
- Rodriguez, J.A., 1978. *Limite aproximado acuífero libre –acuífero confinado en el Flanco Occidental de la Cuenca de Tulum -San Juan*. Informe Técnico: P-174 INA-CRAS, San Juan, Arg.

