

RELACIÓN ENTRE LA DISTRIBUCIÓN DE NITRATOS Y LA RECUPERACIÓN PIEZOMÉTRICA EN EL CONURBANO BONAERENSE

Silva Busso, Adrián Angel¹ y Gabriela Rouiller²

¹ DSH - Instituto Nacional del Agua, Autopista Ezeiza -Cañuelas, Empalme J. Newbery Km. 1,620 Ezeiza, Bs. As., Argentina. TEL: 011-44804500 (5314), pntsas@ina.gov.ar

² PMA-Comisión Nacional de Energía Atómica, Av. Del Libertador 8250, Buenos Aires, Argentina. TEL: 011- 47041262, rouiller@cnea.gov.ar

RESUMEN

El área de estudio del Conurbano Bonaerense se encuentra en la subregión hidrológica I Río Paraná que se extiende desde la cuenca del Río Salado al sur y sudeste, hacia el norte hasta el $-33^{\circ}30'$, al este el Río Paraná y al oeste aproximadamente el $-62^{\circ}30'$. La contaminación de aguas subterráneas por nitratos es el resultado del movimiento del mismo por la zona no saturada hasta alcanzar la zona saturada. El origen suele ser antrópico. El proceso local de recuperación de estos acuíferos en la región ha provocado la incorporación de carga contaminante en tránsito en la zona no saturada y su dilución en el sistema acuífero local. El objetivo de este trabajo es describir este proceso a partir de la comparación y análisis de las concentraciones de nitratos y piezometrías de los últimos años antes y después de la recuperación de los acuíferos mencionados. Para ello se han empleado datos hidroquímicos antecedentes recopilados y aportados por diferentes instituciones. Estos han sido tratados estadísticamente para confeccionar una cartografía temática. El conjunto cartográfico se ha analizado con la aplicación de técnicas de SIG que permiten un análisis territorial preliminar intentando determinar la relación causa efecto entre aumentos de concentración de nitratos y recuperación piezométrica.

Palabras clave: Conurbano Bonaerense, Hidroquímica, Nitratos

ABSTRACT

The study area, the Conurbano Bonaerense, is located into Río Paraná Hydrogeology Sub-Region I. This region extends from Salado River basin at south and southeast, from $-33^{\circ}30'$ at the North, the Paraná River at East and $-62^{\circ}30'$ at the West. The groundwater pollution by nitrate results of its movement through the unsaturated zone down to the saturated zone. The origin is usually anthropogenic. The local piezometric level recovery process of this aquifer has produced the incorporation of the contaminants in transit in unsaturated zone and the dilution of these in the local aquifer system. The target in this paper is to describe this process from the analysis and comparison between the nitrate concentrations and piezometric variations in the past years, after the regional recovery of the dynamic levels. We have used historical hydrochemistry data, compiled and provided by different national agencies. These data have been analysed with statistical methods for carrying out several thematic maps. Set of thematic map was analysed with GIS techniques that allowed a preliminary territorial analysis in order to determine the cause-effect relationship between the nitrate concentration variations and the piezometric recovery.

Keywords: Conurbano Bonaerense, Hydrochemistry, Nitrates

INTRODUCCIÓN Y AREA DE ESTUDIO

La Ciudad de Buenos Aires y el Gran Buenos Aires conforman una de las zonas más densamente pobladas del mundo con 11,5 millones de habitantes en 3800Km². Este conglomerado se encuentra en la subregión hidrológica I Río Paraná (Santa Cruz y Silva Busso, 1999). La precipitación media anual supera ligeramente los 1000 mm. Para la región noreste de la Provincia de Buenos Aires los valores de infiltración se encuentran entre 0,57% y 9,44% de las precipitaciones medias anuales (Santa Cruz y Silva Busso, 1996). Para la región urbana y suburbana los valores de infiltración se encuentran entre 0,1% y 7,59% de las precipitaciones medias anuales del Gran Buenos Aires respectivamente (Santa Cruz y Silva Busso, 2002).

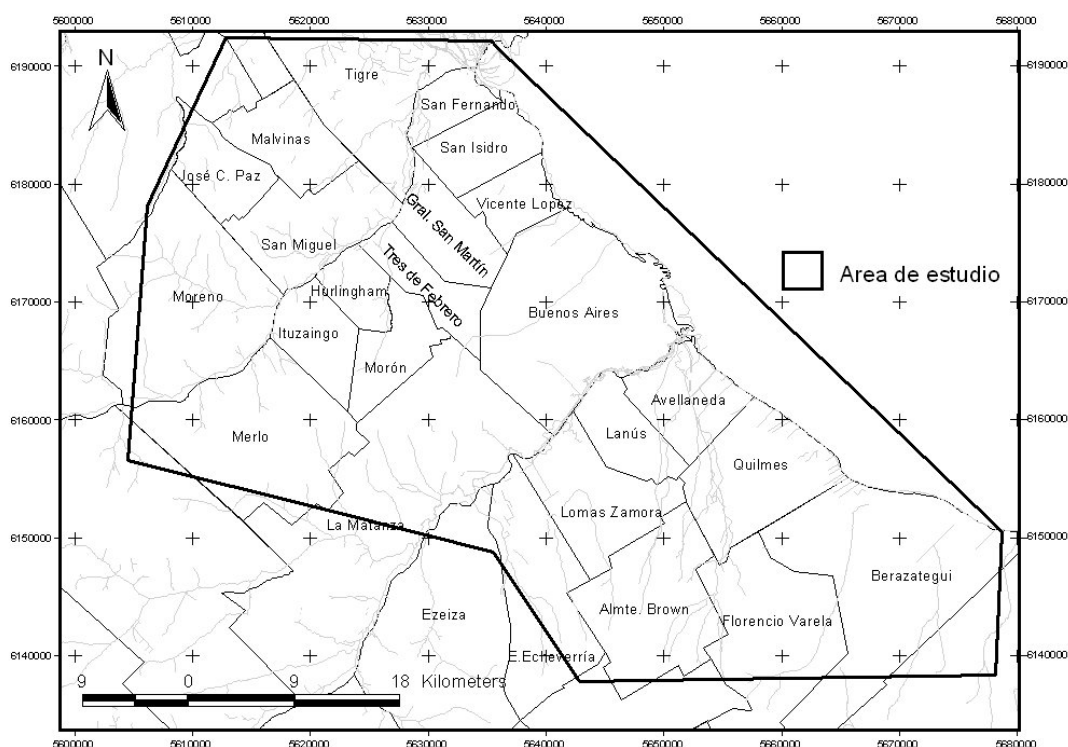


Figura 1. Ubicación del Área de Estudio

OBJETIVOS Y METODOLOGÍA

El objetivo de este trabajo es describir el efecto de dilución que el proceso de recuperación de niveles piezométricos ha tenido sobre las concentraciones regionales de nitratos en la zona del Conurbano Bonaerense. Se recurrió a la comparación y análisis de las concentraciones de nitratos y piezometrías de los últimos años, antes y después de la recuperación de los acuíferos mencionados.

En relación a lo expuesto se propone un análisis de las variaciones temporales y espaciales en la concentración de nitratos. Para ello se han empleado datos hidroquímicos antecedentes recopilados y aportados por diferentes instituciones. La base de datos químicos creada surge de dicha recopilación y cuenta con 10000 datos aproximadamente, situados entre los años 1941 y 2002 siendo estos tratados estadísticamente para confeccionar una cartografía hacia fines de la década del 80 y otra a inicio del 2000. Para los fines del trabajo sólo se considerarán los datos tomados de captaciones y perforaciones en el Acuífero Puelches. El conjunto cartográfico se ha analizado con la aplicación de técnicas de SIG que permiten un análisis territorial preliminar intentando determinar la relación causa efecto entre aumentos de concentración de nitratos y recuperación

piezométrica. Bejarano et. al., (2002) ha propuesto el uso de SIG en el análisis y estudio de contaminación con nitratos dado que proporcionan una visualización global y gráfica.

Metodológicamente la cartografía temática preparada se realizó generándose curvas de isoconcentración de nitratos tomados en dos conjuntos de datos, uno correspondiente a principios de 1993 y otro en el año 2002. Los mapas piezométricos empleados corresponden a los preparados para esos mismos años 1993 y 2002 ya publicados en Santa Cruz et. al., (1996); el primero, y ligeramente corregido y actualizado el segundo a partir del trabajo de Santa Cruz y Silva Busso, (2002). La confección cartográfica ha definido un área más específica de análisis sobre la cual se procedió a realizar mapas de variación piezométrica y concentración de nitratos (años 1993 y 2002). Sobre la base de los mapas mencionados se poligonizaron áreas entre los límites de isocurvas, procediendo luego a la reclasificación de los mismos. Este proceso se realizó para permitir, con la ayuda de herramientas de álgebra de mapas, la suma de áreas de similar comportamiento relativo obteniendo finalmente el mapa de áreas de dilución.

ANÁLISIS DE LOS ANTECEDENTES

La Sección Epiparanaeana es la sección acuífera que por su accesibilidad resulta la más explorada en el área del Conurbano Bonaerense. El agua subterránea explotable de estas áreas se encuentra alojada fundamentalmente en los Sedimentos Pampeanos y en la Formación Puelches (en las zonas más bajas puede incluir unidades formacionales post-pampeanas) con profundidades máximas del orden de los 70 metros. Por tratarse estos de acuíferos multicapa están todos hidráulicamente conectados. O sea, que si se explota sólo el más profundo (Acuífero Puelches), también provoca el descenso del nivel en el Acuífero Pampeano e incluso sobre el acuífero freático deprimiendo todo el sistema en su conjunto. A la inversa, si se deja de extraer agua de los acuíferos mencionados, incluyendo el Acuífero Puelches, los mismo comienzan a recuperar carga hidráulica lentamente teniendo como consecuencia probable, (dado que es un proceso aun no confirmado), que los acuíferos más profundos aporten agua hacia los niveles superiores aumentando el nivel piezométrico (CFI-EASNE, 1972; Hernández, 1975; Santa Cruz et. al, 1996 y Santa Cruz y Silva Busso, 2002).

El agua de interés para consumo humano, riego e industria se encuentra alojada en los Acuíferos Pampeano y Puelches los que fueron explotados intensamente, en particular el Acuífero Puelches, desde las primeras décadas del siglo XX permitiendo el desarrollo de conos de depresión locales y por coalescencia de estos, los conos regionales. Hacia finales del siglo XX y comienzos del actual, como consecuencia de diversos factores que restringieron la explotación, el sistema natural presentó una rápida recuperación de los niveles piezométricos de ambos acuíferos a niveles cercanos a la hidrodinámica original de la región. Este fenómeno de recuperación regional ha sido explicado en trabajos previos (Santa Cruz et. al., 1996; Santa Cruz y Silva Busso, 2002).

El nitrato, en particular, tiene su origen, generalmente, en fuentes de nitrógeno exteriores al sistema acuífero siendo consecuente de actividades antrópicas de algún tipo (urbanización, agricultura, saneamiento, etc.). Aunque existen ejemplos de incorporación natural por desecación de bañados, pantanos o cuerpos de agua (Custodio Llamas, 1983) y también se ha determinado el aporte de nitratos a partir del agua de lluvia.

Para Schulz et. al., (2000) existiría un valor umbral inicial que parecería indicar un origen natural del nitrato en el agua subterránea, mencionando que no se observan evidencias de contaminación difusa provenientes de otras actividades. Incluso se determina un patrón unitario de distribución del nitrato y una distribución media areal condicionada a las áreas geomorfológicas, como así también una correspondencia en el tiempo con los cloruros y los ciclos de lluvia.

Más allá de su origen, natural o antrópico, el resultado es el movimiento del mismo por la zona no saturada hasta alcanzar la zona saturada. El transporte y destino depende de la forma química en que se encuentre el nitrógeno; de los procesos fisicoquímicos que conllevan a la transformación de una especie en otra, el flujo subterráneo y de las características litológicas de las unidades que atraviesa.

La incorporación de nitrato en los acuíferos de las zonas urbanas, y en particular en el Gran Buenos Aires, ha sido un proceso gradual pero constante durante todo el siglo XX y en particular en los últimos años. Coincidente con el proceso de recuperación de estos acuíferos, en la región se ha producido la incorporación o movilización de carga contaminante en tránsito en la zona no saturada y su dilución y/o dispersión en el sistema acuífero local.

Simultáneamente la rápida y desordenada urbanización, las obras civiles y canalización de las redes de drenaje han modificado la geomorfología y funcionamiento natural del medio. Estas alteraciones traen aparejados cambios en las características de la zona no saturada (ZNS) y variaciones hidroquímicas de los acuíferos. Un ejemplo estudiado es el de la Ciudad de La Plata, Buenos Aires, donde el agua subterránea de abastecimiento presenta un elevado contenido en nitrato. Los mismos provienen de: pérdidas en la red cloacal; antiguos pozos ciegos hoy desactivados y un viejo basural (Auge, 2000). Dicho autor propone, en contraste, que en zonas en que se practica agricultura extensiva y ganadería, actividades que emplean bajas cantidades de agroquímicos, son por ende de escaso riesgo para la contaminación del agua subterránea. Sin embargo, Costa (1999) y luego Elichiry, (2002) demuestran que en áreas de agricultura extensiva el contenido de nitratos no solo puede ser significativo sino que además tiende a profundizarse en niveles acuíferos inferiores.

Otro caso de estudio como el presentado por Saracho et. al., (2005) determinan que del total de las captaciones de abastecimiento de la Ciudad de Catamarca el 50 % de las mismas supera el límite para consumo humano de nitrato y presentan muy poca variación temporal. Dichos autores determinan que la concentración elevada de nitrato se explica por la ubicación de las perforaciones que coincide con zonas de asentamientos poblacionales más densos y antiguos de la ciudad y con áreas de descarga de efluentes cloacales crudos, de los vuelcos de origen antrópico, e incluyen las descargas de aguas servidas sin tratamiento alguno sobre el arroyo Fariñango y el Río Del Valle.

Existen pocos estudios que tratan el problema de migración de nitrato a través de la zona no saturada, uno de ellos realiza, en el Acuífero Pampeano de la zona de Balcarce, una correlación del fenómeno con las actividades agrícolas (Costa, 1999). Este autor determina que cultivos bajo riego representa un peligro potencial para los acuíferos, ya que con la combinación del uso de fertilizantes y de la mineralización, la masa total de $\text{NO}_3\text{-N}$ que puede potencialmente llegar hacia el acuífero es de $195 \text{ Kg. ha}^{-1}\text{año}^{-1}$.

En áreas urbanas, y a consecuencia de fenómenos de urbanización o incluso falta de saneamiento, no se dispone de un adecuado modelo de migración para la región. Un estudio parcial de Heredia et. al., (2000) menciona que en el Partido de Escobar (Buenos Aires) el 66,7% de los puntos analizados contienen valores de nitratos superiores a 45 mg/l, con valores mínimos de 2 mg/l y máximos de 174 mg/l. Observan también que a pesar de ello, la presencia de nitrato en los Acuíferos Pampeano y Puelches es aún puntual y con mucha heterogeneidad de los valores entre puntos muy cercanos (de no más de 200m). Por lo que se estima que una causa puntual podría ser por deficiencias en el sistema de saneamiento seleccionado (pozo absorbente) y la implementación de redes cloacales remediaría el problema en algunas áreas (Heredia et. al., 2000).

Un estudio detallado del aporte de nitratos por mal saneamiento lo exponen Varnier e Hirata, (2000) en la Ciudad de San Pablo, Brasil a partir de los aportes de nitratos por déficit

de saneamiento en fosas sépticas. Las variaciones en la concentración se atribuyen a variaciones de los flujos de recarga. En este caso si se demuestra una pluma de contaminación de especies reducidas de nitrógeno hasta formas oxidadas a partir de la fosa séptica.

En cuanto a la distribución y evolución temporal del nitrato en el Conurbano Bonaerense, se ha realizado un mapa de distribución de nitrato hacia principios de la década del noventa (Santa Cruz et. al., 1994) donde se observan zonas puntuales con concentraciones que alcanzan los 300 ppm. Carol, (2003) realizó con los datos hidroquímicos para el Acuífero Puelches entre dicho periodo mapas anuales de isocontenidos de nitratos y un análisis periódico de su evolución. Del análisis estadístico anual realizado por Carol (2003) surge una tendencia decreciente desde el año 1995 al 2002, con valores medios de 81.7 ppm y 48,4 ppm respectivamente. Aunque reconoce que esta tendencia es incierta debido a que los pozos muestreados no son los mismos para cada año y el consecuente abandono de explotación y muestro en los pozos con valores elevados de nitratos conlleva a errores interpretativos que dificultan demostrar una relación correlación clara entre deficiencias de saneamiento y presencia de nitratos (Carol, 2003).

RESULTADOS

En términos generales el Acuífero Puelches presenta una porosidad efectiva de hasta 20 %, permeabilidad de hasta 25 m/d, transmisividad entre 300-500 m²/d, coeficiente de almacenamiento orden 10⁻³ e incluso 10⁻⁴, caudales específicos más comunes: entre 3 y 11m³/h (Sala y Auge, 1970; CFI-EASNE, 1972; Hernández, 1975; Santa Cruz et. al., 1996).

Estos parámetros hidráulicos indican que se trata de una unidad hidrogeológica de la que pueden esperarse elevadas tasas de recuperación piezométrica, como evidencia la figura 2 que muestra las áreas donde se han producido las variaciones piezométricas en el Acuífero Puelches durante el periodo 2000-1993.

Dichas variaciones se han asumido como positivas cuando se trata de un proceso de recuperación y ascenso de niveles piezométricos. Se consideran negativas cuando se trata de procesos de depresión por extracción de agua. Esto último es previsible que ocurra, dado que una de las causas más significativas de la recuperación es el cese de las demandas de agua sobre el acuífero y dado que la demanda no ha sido eliminada en toda la región existen zonas que, aunque más restringidas arealmente, han aumentado su demanda en este periodo.

Aún así, el mapa presenta una región dominada por la recuperación piezométrica sobre todo en las áreas donde previamente existía mayor presión de demanda y profundidad de los conos de depresión (Hernández, 1978; Santa Cruz et. al., 1996) como la región sur y oeste del conurbano bonaerense. Este proceso de recuperación piezométrica ha generado un nuevo cambio del flujo subterráneo y por ende del transporte y migración de sustancias disueltas, así como una modificación en el carácter efluente/influente de los ríos y arroyos, cambios en la recarga y conexión entre los acuíferos Pampeano y Puelches.

Sobre la base de estos antecedentes y consideraciones se realizó un mapa de isovariación de la concentración de nitratos entre el periodo 1993-2002 con intención de determinar las áreas donde las variaciones fueron significativas (ver figura 3).

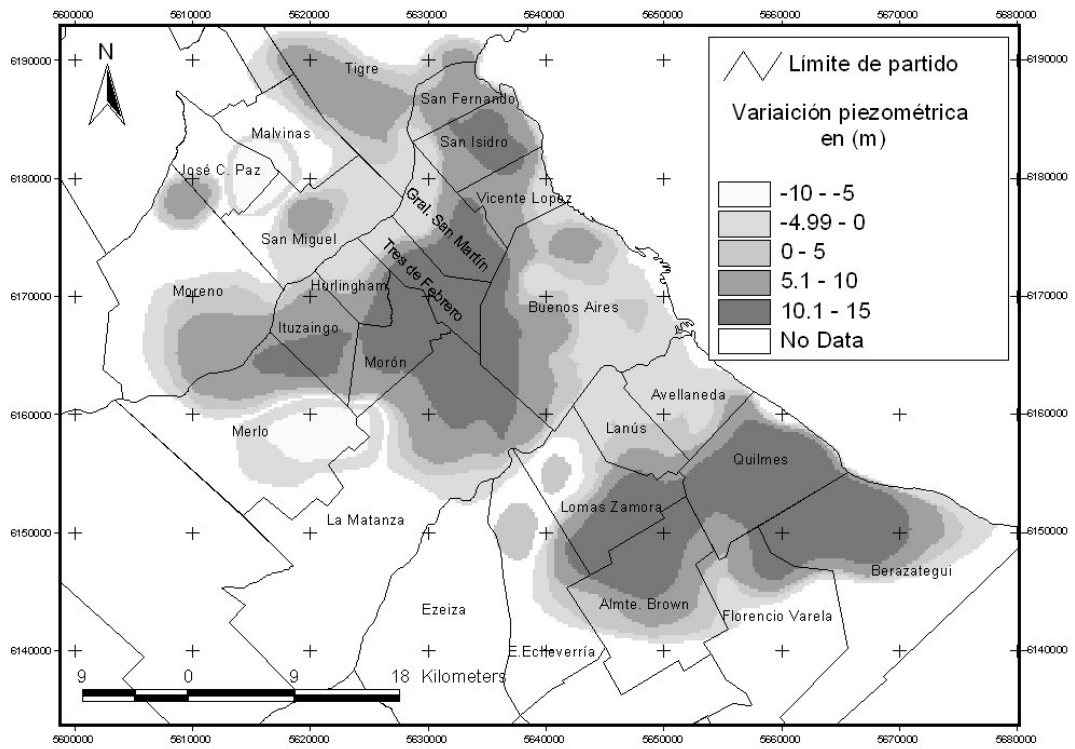


Figura 2. Áreas de variación piezométrica del Acuífero Puelches entre 1993-2002

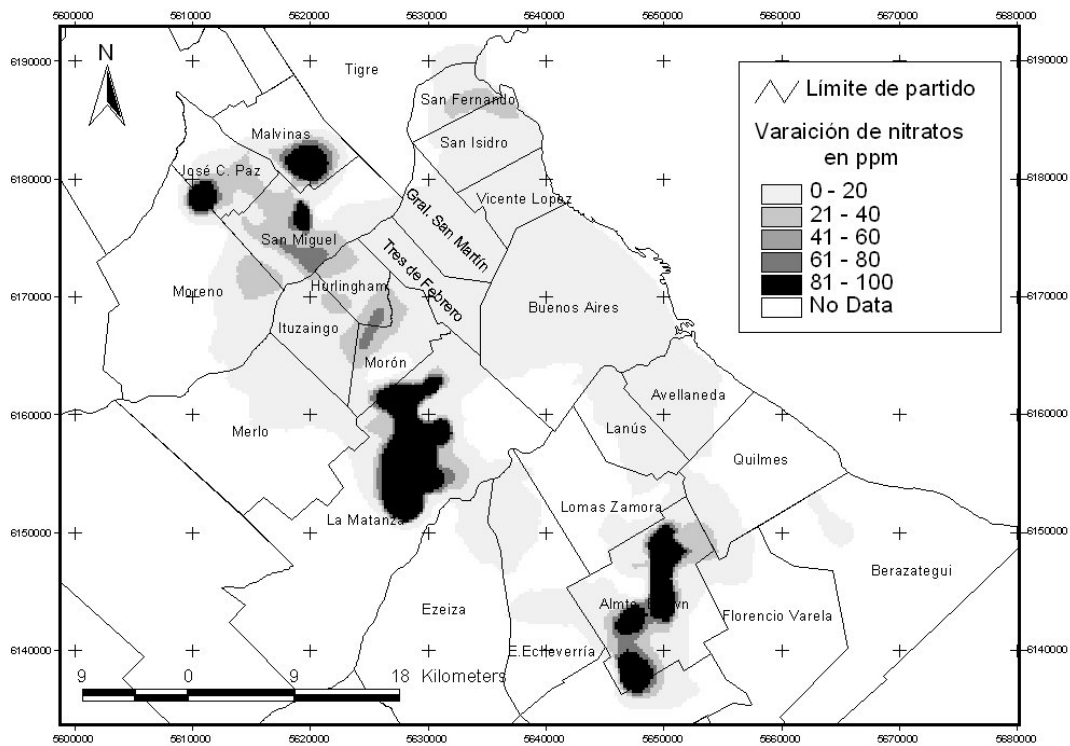


Figura 3. Variación (disminución) de la concentración de nitratos del Acuífero Puelches entre 1993-2002

En el mismo se han mapeado áreas con intervalos positivos de 20ppm de concentración de nitratos asignándole valores positivos para mejorar la interpretación y lectura pero dichos valores corresponde a reducciones entre la distribución de la concentración en el 2002 con respecto a las determinadas en 1993. Es decir que las curvas y áreas no definen aumentos sino reducciones de concentración de nitratos.

Como puede observarse en al figura 3 las áreas con variaciones más significativas se concentran en los partidos de Malvinas Argentinas, José C. Paz, La Matanza y Almirante Brown alcanzando reducciones por dilución de entre 80 - 100ppm. Aunque en general la tendencia es la dilución al menos en tenores comprendidos entre 0 – 20 ppm.

DISCUSIÓN

A causa de las razones expuestas previamente, intentar realizar una correlación directa y secuencial entre el aumento en la concentración de nitratos en el acuífero Puelches, con la presencia de pozos sépticos o problemas de saneamiento, que por infiltración desde la ZNS llegan al Pampeano y de este al Puelches por conexión hidráulica vertical, no ha superado aún la etapa de ser una inferencia sobre la base de la distribución de la urbanización y las concentraciones de nitratos, existiendo dificultades para determinar o al menos estimar, los tiempos de migración involucrados en este proceso.

Considerando a la advección como principal mecanismo de migración, debe considerarse que el nitrato se movilizaría a velocidades similares a las del flujo de agua. Esta relación ha sido observada comparando el diseño de las líneas de flujo y el diseño de las curvas de isocontenido (Santa Cruz et. al., 1996; Carol, 2003). De esta forma tiende a concentrarse en las zonas con conos de depresión.

Es así como en las zonas donde la intensa explotación del Acuífero Puelches genera conos de depresión, que además también deprimen al Acuífero Pampeano, conllevaría a una migración vertical del nitrato entre acuíferos. De esta forma al aumentar la migración a través del Acuífero Pampeano y de este último al Acuífero Puelches aumentaría la carga contaminante de un acuífero a otro.

Esto explicaría la coincidencia entre las mayores concentraciones de nitratos y los conos de depresión. De esta forma si la depresión regional ha tenido efecto en la distribución regional de nitrato, sería previsible que la recuperación también modifique dicha distribución por tratarse de procesos hidráulicos relacionados.

Para evidenciar el efecto que ha tenido la recuperación sobre los valores regionales de nitrato se propone el mapa de la figura 4. El mismo muestra la isocurva de 45ppm en dos periodos diferentes de tiempo, hacia el 2002 y hacia 1993. El área encerrada entre ellas y la costa del estuario del Plata posee valores mayores a 45 ppm y menores hacia el entorno del perímetro. Si bien no pueden conocerse o determinarse los pasos intermedios en detalle a causa de lo ya mencionado por Carol, (2003), si puede observarse una variación en el área que envuelven ambas curvas. Esta variación conlleva a una reducción del área afectada con más de 45ppm y un desplazamiento relativamente uniforme hacia el este.

Cuando se señala la tendencia del flujo subterráneo, tomado de la piezometría de Santa Cruz y Silva Busso, (2002) se ve claramente la correlación entre dirección de flujo, cambios de geometría de la isocurva y reducciones de áreas afectadas. Estas se concentrarían en zonas donde la explotación del acuífero ha dejado de ser intensa, o sea de mayor y más rápida recuperación. El área nueva por debajo de 45 ppm se estima a priori en un 20-25% de la original determinada en 1993. El mapa de la figura 4 plantearía en su

representación una posible situación de recuperación-dilución de la concentración inicial de nitrato aportada al Acuífero Puelches.

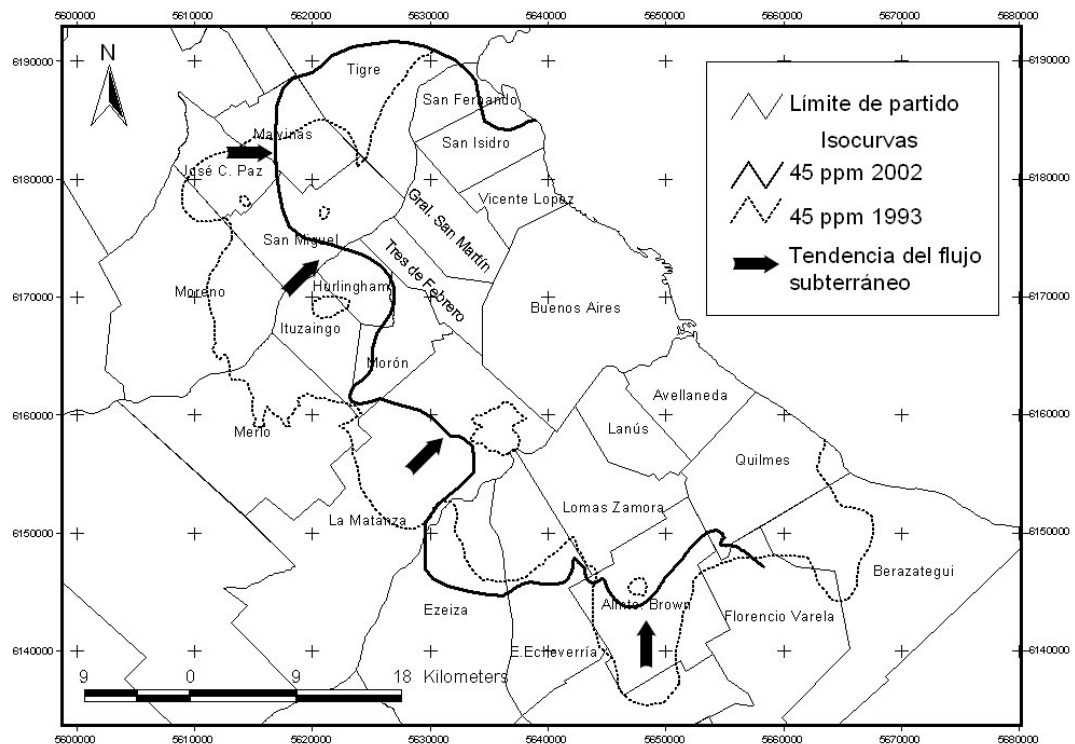


Figura. 4. Desplazamiento de la isocurva del límite de potabilidad (45ppm) Acuífero Puelches

En apoyo a esta primera aproximación es importante considerar los estudios previos de diversos autores sobre las posibilidades de migración del nitrato por advección. Köhn et. al., (2000) desarrolla un modelo hipotético para analizar el transporte de nitrato en zonas saturadas. Dichos autores estimaron la migración del nitrato a partir de una fuente dispersa originada por el uso de fertilizantes nitrogenados. Los resultados obtenidos en el modelo hipotético sugieren que en un medio acuífero homogéneo e hipotético, luego de un año de acción continua de la fuente, los efectos se producen en la parte superior del acuífero, en cambio a mayor profundidad (20m) no se verifica la influencia del proceso contaminante.

Ellos consideran que el flujo subterráneo es aproximadamente horizontal y es poco probable que el nitrato alcance las capas más profundas durante plazos cortos de tiempo. Sin embargo, y contrariamente a lo propuesto por el modelo hipotético de Köhn et. al., (2000) en un caso de explotación agronómica intensiva real en la zona de Balcarce, Buenos Aires, Elichiry, (2002) sobre el Acuífero Pampeano se modelizó el transporte de nitratos bajo un modelo hidráulico previo y considerando los mecanismos de migración vertical propuestos Costa et. al., (2001). Elichiry (2002) consideró los procesos de advección y dispersión, despreciando los intercambios de nitratos entre la fase sólida y líquida por falta de datos y gran movilidad de este tipo de contaminante. En este caso se determinó que la pluma resultante de simulación desarrolla poca extensión longitudinal a causa de los conos de depresión consecuentes de la explotación de agua para riego. Elichiry (2002) menciona que recién después de 137 años de simulación la curva de 50 mg/l alcanza los 4500 m, pero la profundización alcanza rápidamente varias decenas de metros. Estos estudios concentran su esfuerzo en las posibilidades de movilización de nitrato a consecuencia de explotaciones acuíferas de algún tipo (supuestas o reales) y aunque no evalúan explícitamente el efecto

que tendría la recuperación si determinan que la movilidad por advección es significativa e incluso cuantificable.

En cuanto a procesos de dilución de nitratos en acuíferos, Schulz et. al., (2000), menciona mecanismos de dilución de los nitratos provenientes de la recarga en tránsito por parte del flujo subterráneo, atribuibles a cambios espaciales en los procesos edáficos del suelo, posteriormente lixiviado y transportado en profundidad. Estos autores, al no observar un patrón unitario de distribución de los nitratos, proponen una distribución media areal condicionada a las áreas geomorfológicas. Fernández y Mariño, (2002), en la misma zona de estudio, concluyen de forma similar a Schulz et. al., (2000) en el control geomorfológico de la distribución de nitrato, escasa y leves incrementos de concentración del mismo en el agua de la zona de recarga. La disminución en la concentración de nitratos para la zona de recarga estaría condicionada por el efecto de dilución, producto de un aumento continuo de la recarga como consecuencia de la intensificación de las precipitaciones especialmente en los últimos 6 años. (Fernández y Mariño, 2002). Araujo y Tancredi, (2000), también concluyen en que los cambios en el flujo subterráneo afectan la concentración de nitratos en las zonas de recarga en el acuífero libre de Santa Isabel do Pará, Brasil. En síntesis, existen estudios previos que citan ejemplos de dilución de nitrato a consecuencia de diversas condiciones de recarga, lo que haría suponer que en el Conurbano Bonaerense la recuperación piezométrica, que puede entenderse como parte de un proceso de recarga regional del acuífero, puede también conducir a la dilución y reducción de los valores de concentración de nitrato en, al menos, algunas zonas acuíferas. Es probable que los procesos de dilución hidrodinámica también hagan sentir su efecto sobre la movilidad del nitrato, aunque es conceptualmente posible resulta difícil evaluarlo y probablemente sea un proceso de migración subordinado a los antes mencionados.

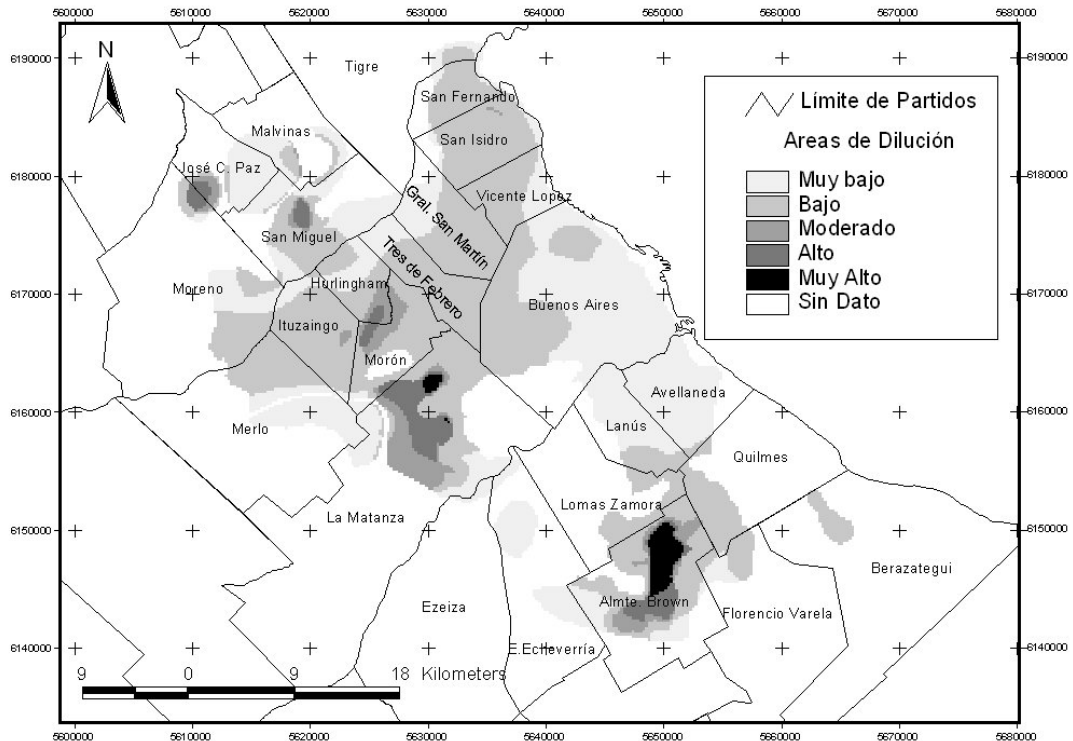


Figura 5. Áreas de dilución post-recuperación del Acuífero Puelches

A los efectos de representar cartográficamente las áreas donde efectivamente habría ocurrido esto último se realizó el mapa de la figura 5. El mismo surge de la combinación de las áreas de recuperación (figura 3) y de variación de nitrato (figura 4),

interpretándose como las áreas de dilución post-recuperación del Acuífero Puelches. Por tratarse de un mapa que muestra zonas que surgen de la combinación de dos procesos es adimensional y las áreas determinadas corresponden a zonas donde la dilución ha sido clasificada en 5 categorías desde muy baja a muy alta (excluyendo zonas sin datos). De esta forma y considerando que el proceso de migración de nitrato lleva un tiempo, el cual variará según las características del acuífero y su explotación, este tiempo que no es considerado cuando compara mapas de un mismo periodo, puede acotarse al menos dentro del intervalo propuesto 1993-2002.

CONCLUSIONES

Independientemente del origen del nitrato, su evolución hidroquímica, movilidad vertical y la litología del acuífero; y del análisis de la información surge que ha existido un proceso regional de dilución de nitrato debido en gran parte a consecuencia de la recuperación piezométrica del Acuífero Puelches durante el periodo 1993-2002. Esto se debe a la relativamente elevada movilidad que por advección posee esta especie iónica en el medio acuífero y las características hidráulicas que favorecen estas condiciones. Por otro lado el uso de herramientas de SIG ha sido un componente importante en la determinación de la relación entre ambos procesos y sobre todo en la cuantificación y representación areal de los mismos. Como aporte final y con el objeto de orientar futuras investigaciones consideramos, que desde una perspectiva ambiental, puede analizarse a través de dos aspectos, o como un proceso natural de autodepuración del acuífero, o bien como un proceso de dilución que a expensas de hacer más difusa la contaminación dificultaría en el futuro las tareas tendientes a una adecuada remediación.

BIBLIOGRAFÍA

- Araújo P. P. y Tancredi A.**, 2000. nitrato em aquífero freático na amazônia oriental cidade de santa izabel do Pará – Brasil. Primer Congreso Mundial Integrado de Aguas Subterráneas. En CD file: 098 Fortaleza, Brasil. ALSHUD.AIH.
- Auge M.**, 2000. Explotación sostenible de agua subterránea en la Plata – Argentina Primer Congreso Mundial Integrado de Aguas Subterráneas. En CD file: 007 Pág.: 1-23. Fortaleza, Brasil. ALSHUD. AIH.
- Bejarano, C., Cabrera, M. C., Candela, L. y De Paz, J. M.**, 2002. Elaboración de un mapa de vulnerabilidad a la contaminación de nitratos mediante una metodología de acople sig -modelo de simulación. Aplicación al acuífero de La Aldea (Gran Canaria). XXXII IAH & ALHSUD International Congress. Groundwater and Human Development, Mar del Plata, Argentina. Abstrac Pág.: 193, en CD Pág._1628-1636.
- Carol E.**, 2003 Elementos hidrogeoquimicos para la protección de acuíferos en el Conurbano Bonaerense, Trabajo de Beca de Capacitación Profesional, Instituto Nacional del Agua, Argentina (Inédito).
- CFI-EASNE**, 1972. Contribución al estudio geohidrológico de la región NE en la Prov. de Buenos Aires. Serie Técnica 24., Buenos Aires, Argentina.
- Costa J L** 1999. Effect of irrigation water quality under supplementary irrigation on soil chemical and physical properties in the “Southern Humid Pampas” of Argentina. Journal of Crop Production 2(2):85-99.
- Custodio E. y M. R. Llamas**, 1983. Hidrología Subterránea. Editorial Omega, Segunda Edición, Tomos I y II. Barcelona, España.

- Elichiry P.**, 2002. Evaluación de la sustentabilidad del riego complementario con la aplicación de modelos numéricos de flujo y transporte en la región periserrana de Tandilia, Buenos Aires, Argentina
- Fernández M. A. y Mariño E. E.**, 2002. Evaluación de los contenidos de nitratos en los alrededores de General Acha, La Pampa, Argentina. XXXII IAH & ALHSUD International Congress. Groundwater and Human Development, Mar del Plata, Argentina. Abstrac Pág.: 193, en CD Pág._277-286.
- Heredia, O.; Fresina, M.; Santa Cruz, J. y Silva Busso, A., 2000.** Nitratos y Fósforo en el Agua Subterránea de un Área Antropizada de la Región Pampeana, Buenos Aires, Argentina. Primer Congreso Mundial Integrado de Aguas Subterráneas. Abstracts, Pág.: 315. En CD file: 229 Fortaleza, Brasil. ALSHUD.AIH.
- Hernández, M. A.**, 1975. Efectos de la sobreexplotación de aguas subterráneas en el Gran Buenos Aires y alrededores. República Argentina. II Congreso Ibero-Americano de Geología Económica. La geología en el Desarrollo de los Pueblos.
- Hernández, M. A.**, 1978. Reconocimiento hidrodinámico e hidroquímico de la interfase Agua Dulce-Agua Salada en las aguas subterráneas del estuario del Plata. (Partidos de Quilmes y Berazategui, Buenos Aires). VII Congreso Geológico Argentino, Neuquén, Actas II: 273-285.
- Köhn J.; Kruse, E. y Santos J. E.**, 2000. Modelado en geofísica aplicado al transporte de nitrato en aguas subterráneas. Primer Congreso Mundial Integrado de Aguas Subterráneas. En CD file: 022 Fortaleza, Brasil. ALSHUD.AIH.
- Sala, J. M. y Auge, M.** (1970)- Algunas Características Geohidrológicas del Noreste de la Prov. de Bs. As., Actas IV Jornadas Geológicas Argentinas 321-336. Bs. As.
- Santa Cruz J. N, A. Silva Busso, S. Amato, M. Guarino, D. Villegas, M. Cernadas**, 1996 Explotación y deterioro del Acuífero Puelches en la región metropolitana de la República Argentina. Agua em revista, CPRM, Brasil, Año 2, Vol. 1 Pág. 48-57.
- Santa Cruz J. N, A. Silva Busso, S. Amato, M. Guarino, D. Villegas**, 1994. El Acuífero Puelches - propiedades y circunstancias- Un Prediagnóstico de Situación. Informe INCYTH- Programa Nacional de Desarrollo Tecnológico en Aguas Subterráneas- Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente Humano. (Inédito).
- Santa Cruz, J y Silva Busso, A.**, 1996. Disponibilidad del agua subterránea para riego complementario en las provincias de Buenos Aires, Entre Ríos, Córdoba y Santa Fe, PROSAP, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación, Argentina (Inédito)
- Santa Cruz, J y Silva Busso, A.**, 1999. Escenario hidrogeológico general de los principales acuíferos de la Llanura Pampeana y Mesopotamia Septentrional Argentina. II Congreso Argentino de Hidrogeología y IV Seminario Hispano Argentino sobre Temas Actuales en Hidrología Subterránea., Santa Fe, Argentina. Actas, Tomo I, Pág. 461-471.
- Santa Cruz, J. y Silva Busso, A.** 2002. Evolución hidrodinámica del agua subterránea en el conurbano de Buenos Aires, Argentina. Boletín Geológico Minero 113(3), p. 259-272.
- Saracho M, Segura L, Moyano P, Rodríguez N.**, 2005. Variación espacio - temporal de la concentración de nitratos en el agua subterránea de la Ciudad Capital, Provincia de Catamarca. IV Congreso Hidrogeológico y III Simposio Latinoamericano sobre temas actuales en Hidrogeología, Río Cuarto 25 -28 de Octubre del 2005, Córdoba, Argentina. En Actas Tomo I Pág.: 129-139.
- Schulz C. J., Fernández M. A. y Castro E. C.**, 2000. Los nitratos y su evolución en el acuífero que provee de agua potable a General Acha, La pampa, Argentina. Primer Congreso Mundial Integrado de Aguas Subterráneas. En CD file: 170 Fortaleza, Brasil. ALSHUD.AIH.

Varnier C y Hirata R., 2000. Contaminação da água subterrânea por nitrato no parque ecológico do Tietê - São Paulo, Brasil. Primer Congreso Mundial Integrado de Aguas Subterráneas. En CD file: 134 Fortaleza, Brasil. ALSHUD.AIH.