

Aspectos de la contaminación con nitratos en el agua subterránea de la ciudad de Concordia

Alicia Rossi¹ y Adrián Silva Busso²

¹Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Concordia. Salta 277, Concordia, Entre Ríos. Tel 0345 310232. aliciarossi1@hotmail.com

². INA-Dirección de Servicios Hidrológicos. Autopista Ezeiza - Cañuelas, Empalme J. Newbery Km 1,620, Ezeiza, Buenos Aires. Tel: 44804500 (5314) pntsas@ina.gov.ar

Mail de contacto: aliciarossi1@hotmail.com

RESUMEN

En la presente contribución se analiza, mediante una metodología representativa, la calidad del agua subterránea de la ciudad de Concordia con respecto a los nitratos, cloruros y bicarbonatos y el efecto sobre ella de potenciales fuente de contaminación. A partir de los datos obtenidos en el campo y en el laboratorio se confeccionó un mapa de curvas equipotenciales y una cartografía temática generada a partir de curvas de isocontenidos de nitratos, cloruros, bicarbonatos y la relación iónica cloruros/bicarbonatos. La coincidencia de altos contenidos de nitratos, comportamiento anómalo del cloruro y altos valores de la relación Cl /HCO₃, permiten reconocer una fuente de contaminación puntual ubicada en un sector próximo al vertedero de residuos de la ciudad. El resto del área muestra valores muy bajos de concentración de dichas especies iónicas y coincide con un área de recarga ubicada en el centro urbano.

Palabras clave: acuífero, nitrato, recarga

ABSTRACT

This study analyses the groundwater quality and potential effects of pollution sources in it within the city of Concordia using representative methods regarding Nitrates, Chlorides and Bicarbonates. Based on field and laboratory data, a contour map of groundwater table was drawn as well as thematic mapping was made by means of Nitrates, Chlorides, Bicarbonates and Cl/HCO₃ values. The relation of high levels of Nitrates, anomalous Chloride behavior and high values in Cl/HCO₃ suggest the existence of a specific source of pollution located near the solid waste disposal facility. The rest of the area shows low concentration levels in such ionic species and it is situated in the recharge area located in the center of town.

Keywords: Aquifer, nitrate, recharge

Introducción

La calidad de las aguas subterráneas y el costo de explotación relativamente bajo, son razones que justifican su utilización como fuente de agua para consumo. Las actividades humanas amenazan la calidad, cantidad y dinámica de las mismas, en consecuencia, se debería poner especial atención en la protección de los acuíferos para prevenir su deterioro.

La ciudad de Concordia cuenta con una alta cobertura del servicio de desagüe cloacal y con un servicio de agua potable. Sin embargo, persisten algunos sectores de la ciudad servidos por perforaciones y en los que hay carencia de redes cloacales, por lo que pueden presentar potenciales problemas de contaminación del acuífero freático. Hay que considerar además que las actividades productivas que se desarrollan en el área peri-urbana (industrial, frutícola, huertas, viveros), se abastecen del

agua que proviene del acuífero subyacente, al igual que la provisión de agua de los municipios más alejados como Villa Zorraquín, Osvaldo Magnasco y Villa Adela, mientras que en el área urbana del municipio de Concordia predomina la provisión de agua proveniente del Río Uruguay. En el presente trabajo, se evalúa una de las problemáticas ambientales de la ciudad de Concordia, relacionada con los niveles de contaminación del acuífero freático, que se encuadra dentro de las características citadas. Mediante indicadores representativos se realiza un análisis de la hidrodinámica e hidroquímica del agua subterránea en la ciudad.

El objetivo general fue realizar una caracterización hidrogeoquímica que permita evaluar los procesos de contaminación del acuífero libre en el ejido urbano de la ciudad de Concordia. Pero además se alcanzaron objetivos específicos, como los siguientes:

- ✓ Identificar los sitios del acuífero donde se genera mayor contaminación con énfasis en la concentración de nitratos
- ✓ Evaluar la distribución de dicho contaminante en el acuífero libre.
- ✓ Identificar las posibles fuentes de contaminación.
- ✓ Determinar la calidad del agua subterránea, particularmente con respecto a sus posibles usos como fuente de agua dulce.

Metodología

Para la realización del presente trabajo se adoptó una metodología basada en el estudio de los aspectos geológicos, hidrogeológicos y una caracterización de algunos parámetros hidrogeoquímicos, desarrollados en una serie de etapas que se detallan a continuación.

En una primera etapa se realizó una campaña de relevamiento de campo, tendiente a reconocer los límites superficiales de las distintas unidades formacionales. Se relevaron perfiles estratigráficos, a partir de secuencias expuestas en el parque San Carlos, sobre la margen del Río Uruguay y a partir de una perforación realizada en Villa Adela.

Se realizó un censo de pozos, a partir de 100 captaciones preexistentes. Para los fines de este estudio se consideraron los datos tomados en captaciones que hayan alcanzado los acuíferos Salto Chico y Ubajay, realizados por instituciones, empresas y vecinos. En cada uno de los puntos de muestreo se midieron "in situ" la profundidad de los niveles estáticos del agua subterránea y se extrajeron muestras para la realización de análisis químicos. Se obtuvieron además, datos vinculados al diseño y ubicación de las perforaciones.

Los análisis químicos fueron realizados por el laboratorio de Aguas de la Facultad de Alimentos de la Universidad Nacional de Entre Ríos (UNER) determinándose los iones Cl^- , HCO_3^- y NO_3^- . El conjunto de datos, obtenidos en el laboratorio, se analizaron a partir de la realización de una cartografía temática generando curvas de isoconcentración de cada especie iónica mencionada (Cl^- , HCO_3^- , NO_3^-), analizando y cartografiando la relación $\text{Cl}^-/\text{HCO}_3^-$. Para el análisis hidrodinámico se confeccionó el mapa piezométrico del área de estudio que se trazó con una equidistancia de 2,5m entre curvas. En la confección de los distintos mapas se utilizó un software de interpolación y se corrigieron los resultados con programas de tipo CAD, sobre la base de la caracterización hidrogeológica. Se interpretó el mapa piezométrico del acuífero local que consideramos libre o semilibre (freático) y

similar procedimiento se empleó con la distribución espacial de la concentración de nitratos, cloruros, bicarbonatos y la relación $\text{Cl}^-/\text{HCO}_3^-$.

Ubicación del área de estudio

La ciudad de Concordia, se encuentra ubicada en el departamento Concordia, en el noreste de la Provincia de Entre Ríos entre los 57° y 58° de longitud oeste y entre los 30° y 31° 50' de latitud sur. El área de estudio se encuentra limitada hacia el norte por el Arroyo Ayuí Grande, hacia el sur por el arroyo Yuquerí Chico, hacia el oeste por la Ruta Nacional 14 y hacia el este por el Río Uruguay (Figura 1).

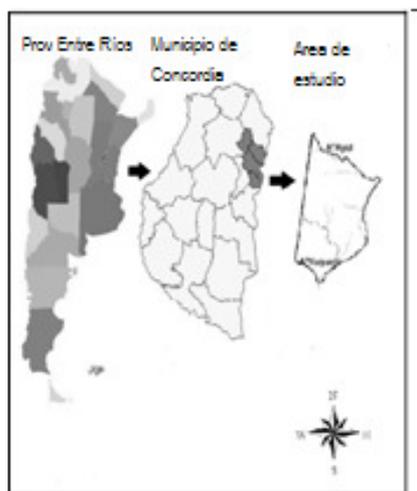


Figura 1. Mapa ubicación y Área de estudio

Clima y balance hidrológico local

De acuerdo a Garrán y Garín (2010), el departamento Concordia queda comprendido, en su mayor parte, dentro del clima templado húmedo de llanura y una pequeña franja al noreste, al subtropical húmedo de llanura. La temperatura media anual es de 18,7°C. El promedio anual de precipitaciones es de 1345 mm, con montos anuales máximos y mínimos de 2193 mm y 861 mm respectivamente. Para dichos autores el trimestre con menores lluvias corresponde al invernal, en el que se registran el 15% del total anual, correspondiéndole a las tres estaciones restantes porcentajes similares del orden del 28%. También consideran que los excedentes hídricos se registran en los meses de Octubre y Abril, mientras que el déficit en los meses de verano. A pesar de ello, el trimestre invernal es el que suele tener los mayores

excesos hídricos, en parte por un arrastre de disponibilidad de humedad edáfica proveniente de las lluvias abundantes de otoño, y en parte también por la menor evapotranspiración estacional debido a las temperaturas invernales relativamente bajas.

Problemática del Abastecimiento de Agua en Concordia

De acuerdo a informaciones aportadas por el Ente Autárquico de Obras Sanitarias del Municipio se bombean desde el Río Uruguay 3200 m³/hora durante el verano y 2800 m³/hora en invierno. Considerando una población de 170.033 habitantes, según el censo del año 2010, la cantidad de agua que se consumiría por habitante y por día para ambas estaciones será de 451 l/hab/día, durante el período de verano, y de 395 l/hab/día durante el invierno. Además se debería considerar el agua que es aportada por las perforaciones pertenecientes al Ente Autárquico de Obras Sanitarias de la Municipalidad y que se ubican en los barrios periféricos.

A pesar de los elevados volúmenes que se suministran, el abastecimiento de agua de la ciudad, especialmente durante la estación de verano, es deficiente y muchos barrios sufren disminución en el suministro.

Frente a esta situación, es posible analizar que una parte del volumen de agua que proviene del Río Uruguay así como del agua subterránea que se bombea, se pierda al circular por las cañerías de distribución que es una infraestructura obsoleta en un amplio sector de la ciudad. También se deberían contabilizar las pérdidas del sistema cloacal y pluvial y las que se pueden producir en las obras de entubado del Arroyo Concordia.

La Figura 2 muestra esquemáticamente las principales rutas a través de las cuales se realiza la conducción del agua y el probable destino de las pérdidas de conducción que podrían estar funcionando como "recarga artificial" del acuífero libre local en la ciudad de Concordia.

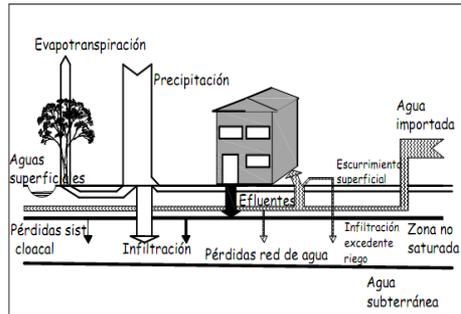


Figura 2. Modelo conceptual del funcionamiento del abastecimiento en la ciudad de Concordia

Geología del área de Concordia

En la zona de Concordia las unidades aflorantes más conspicuas comienzan con la Formación Serra Geral (White, 1908). Se trata esencialmente de un conjunto de vulcanitas de composición basáltica con intercalaciones clásticas. El basalto se presenta como unidades de textura afanítica y/o criptocristalina de color gris a pardo rojizo. Presenta numerosas venillas y vesículas rellenas de calcedonia y/o cuarzo, dado que se trata de un basalto toleítico. Se observan cuarcitas de color rojizo, granoblásticas, masivas, que se presentan con vesículas y fracturas tapizadas con cristales de cuarzo. Se intercalan niveles clásticos compuestos de areniscas de color rojo, con granometría de tamaño fino a mediano, individuos equidimensionales, redondeados a subredondeados, parcialmente cementados con cemento síliceo. Esta unidad se encuentra diaclasada, con fracturas subhorizontales y subverticales. Silva Busso (1999) propone emplear el término nominal Formación Serra Geral para referirse al conjunto tecto-sedimentario característico de la comarca entrerrriana, que comprende tanto las secuencias volcánicas (Miembro Posadas), como las sedimentitas intercaladas del miembro Solari tal como la define Gentile y Rimoldi (1979). En la zona de estudio, se encuentra aflorando en forma discontinua, a lo largo de la costa del Río Uruguay, aproximadamente desde el Aº Manzores hasta el Parque San Carlos y forma el salto de agua de escaso relieve denominado Salto Chico. Se le asignan edades entre el Jurásico superior al Cretácico medio (Sailva Busso, 1999)

La Formación Puerto Yeruá (De Alaba y Serra, 1959) se encuentra expuesta en el área de estudio de forma saltuaria a lo largo de la costa del Río Uruguay. Ocurre entre el parque San Carlos y la desembocadura del Aº

Concordia y en la desembocadura del A^o Yuquerí. Esta unidad apoya sobre los basaltos de la F. Serra Geral y está integrada por conglomerados arenosos, areniscas y areniscas algo limosas. El color varía de rojizo a rosado y se presentan fuertemente cementadas con cemento carbonático y silíceo, aunque presenta grandes variaciones locales.

Otra unidad aflorante es la Formación Salto Chico (Rimoldi, 1963, Gosso, 1965), que tiene amplia representación en el área. Está compuesta por conglomerados arenosos, con clastos predominantes del tamaño de guijarros, gravas, que están integrados en una matriz arenosa de color pardo rojizo y puede presentar intercalaciones de arcillas verdes. Los clastos están compuestos por material silíceo y trozos de basalto. Gentili y Rimoldi (1979), mencionan su posible correlación con la F. Salto, que aflora en la vecina costa oriental, aunque no se dispone de un adecuado estudio de correlación. Ambas se las supone de edad Plio-Pleistoceno y serían relativamente contemporáneas con la F. Ituizangó.

La Formación Hernandarias (Reig, 1956) se sobre impone a la anterior y constituye la cubierta cuaternaria que se extiende sobre la mayor parte de la provincia. Está constituida por limos arcillosos y arcillas limosas con proporción variable de arena fina a muy fina, distribuidas uniformemente en todo el perfil. (Santa Cruz y Silva Busso, 1996). La unidad se encuentra aflorando en forma muy restringida en el área de estudio (sólo el 5% del área). Tchilinguerán et al. (1998) le han asignado a esta unidad edades Pleistocenas.

Finalmente, la Formación Ubajay (Gentili y Rimoldi, 1979) y eventualmente denominada como F. El Palmar (Iriondo, 1980) es la más reciente en la secuencia y está representada en el área de estudio por psefitas gruesas a medianas de color ocre amarillento y limos arenosos de color castaño. En Concordia se dispone sobre los sedimentos de la F. Salto Chico (aunque no faltan ejemplos sobre otras unidades más antiguas) y se suele apoyar sobre un nivel de arcillas verde claras, que podrían indicar un cambio hacia condiciones de menor energía del sistema deposicional de la F. Salto Chico. Su contacto erosivo con unidades recientes como la F. Hernandarias (más al oeste) nos permite suponerla aquí como de edad Pleistoceno-Holoceno.

En el Parque San Carlos se pudo identificar un perfil donde se observa la secuencia de ambas formaciones separadas por el nivel de arcillas verde claras (Figura 3).

Aceñolaza y Sayago (1980) identifican rellenos de valles fluviales actuales formados por la erosión de la plataforma estructural del Pleistoceno que dieron lugar a una serie de paquetes sedimentarios que se ubican en distinta posición topográfica y que generalmente expresan niveles de terrazas que representan fluctuaciones climáticas recientes.

Es obvio que ellas se constituyeron acompañando diferentes etapas de aridez y/o pluviosidad que afectó la región desde tiempos del Lujanense hasta la actualidad (Aceñolaza, 2007). Tchilinguerán et al. (1998) diferencian depósitos aluviales (recientes) de los depósitos aluvio- coluviales (recientes). Iriondo (1980) propone como Formación La Picada los depósitos sedimentarios que forman el relleno aluvial de los ríos y arroyos de Entre Ríos y el resto de la Mesopotamia.

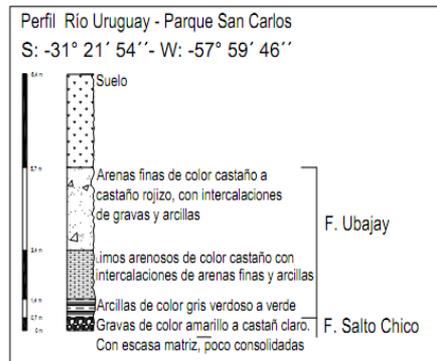


Figura 3. Perfil tipo F. Ubajay en el Parque San Carlos, sobre el Río Uruguay, Concordia

Aspectos Hidrogeológicos

El acuífero libre local, objeto de este estudio, esta mayormente contenido en los acuíferos Salto Chico y Ubajay incluidos dentro de la Subregión Hidrogeológica X o Subregión Mesopotámica Septentrional que comprende la zona central de la provincia de Entre Ríos (Santa Cruz y Silva Busso, 1996). Dichos autores proponen que desde la hidroestratigrafía la sección suprabasáltica contiene la subsección Epiparaniana. En esta se incluye los acuíferos Salto Chico y Ubajay. En la zona de Concordia estas unidades contienen el acuífero libre, casi siempre, aunque puede haber zonas donde el mismo puede estar contenido en unidades más antiguas esto es una circunstancia marginal o poco significativa.

El acuífero Salto Chico suele ser una entidad hidrogeológica de carácter semilibre

habiéndose obtenido valores de coeficiente almacenamiento del orden de 10^{-2} , aunque en no pocos lugares se han medido valores de 10^{-1} que reflejan un estado de funcionamiento libre (Masú et.al., 2011). De acuerdo a Silva Busso (1999) los caudales oscilan entre 200 y 500 m^3/h cada uno, aunque se han alcanzado valores máximos de 800 m^3/h . Auge et. al. (2007 en Amato y Silva Busso, 2009) ha verificado caudales mayores a 100 m^3/h al sudeste de Entre Ríos. Los parámetros hidráulicos medios, mencionados en la bibliografía, atribuyen transmisividades entre 1500 a 2100 m^2/d (Santi et.al., 2009), permeabilidades entre 30 a 72 m/d , (Auge et.al., 2003) y coeficientes de almacenamiento entre $1 \cdot 10^{-1}$ a $5 \cdot 10^{-2}$ (Silva Busso, 1999). Santi et.al. (2009) en las cercanías de San Salvador ha calculado almacenamientos variables entre $1.2 \cdot 10^{-3}$ - $3.2 \cdot 10^{-3}$; valores de porosidad efectiva 20 %, transmisividad vertical del acuitardo $1.8 \cdot 10^{-1}$ - $2 \cdot 10^{-2}$ d^{-1} y estima la recarga en el orden de 652 $hm^3/año$.

Los sedimentos cuaternarios también son contenedores de acuíferos locales como la Formación Ubajay. Masú, et al. (2011) en el Parque Nacional El Palmar han realizado ensayos hidráulicos que permitieron obtener un caudal específico de 0,8–1,5 $m^3/h.m$ y valores de transmisividad de 48-75 m^2/d , almacenamiento de entre 0,01-0,02. La conductividad eléctrica es de 150 - 400 $\mu S/cm$.

No obstante estas diferencias, en este estudio los aspectos hidrodinámicos e hidroquímicos se los tratara como un conjunto o un sistema acuífero multicapa, dado el alto grado de conexión vertical entre ambos.

Hidrodinámica del Acuífero libre

En función de lo mencionado previamente para la elaboración del mapa de curvas equipotenciales, se integraron los niveles piezométricos de los acuíferos Salto Chico y Ubajay en conjunto (Figura 4) que incluye también las direcciones del flujo subterráneo de ambas unidades. Los valores más elevados de cota hidráulica (30msmn) se registran en el sector NO del área de estudio, mientras que los valores más bajos sobre la costa del Río Uruguay, de forma que la descarga se orienta hacia el Río Uruguay.

El mapa de la Figura 4 también muestra anomalías que interrumpen la integración de la red de flujo. Se observa un área importante de piezometría positiva y geometría radial que indicaría una amplia zona de recarga. La misma está situada en el sector urbano de la ciudad y que podría atribuirse, entre otras posibilidades

interpretativas, a las pérdidas en la red de distribución de agua y drenaje pluvial. Otras posibilidades subordinadas incluirían el sistema cloacal y/o los espacios abiertos sin uso de suelo.

Como se ha mencionado la ciudad está abastecida en parte desde las aguas del Río Uruguay y en parte por los acuíferos aquí en estudio. Las pérdidas en redes pueden llegar a volúmenes de agua muy significativos (se estima un 10% en redes nuevas y hasta un 30% en las antiguas) este factor surge como una primera posibilidad de análisis.

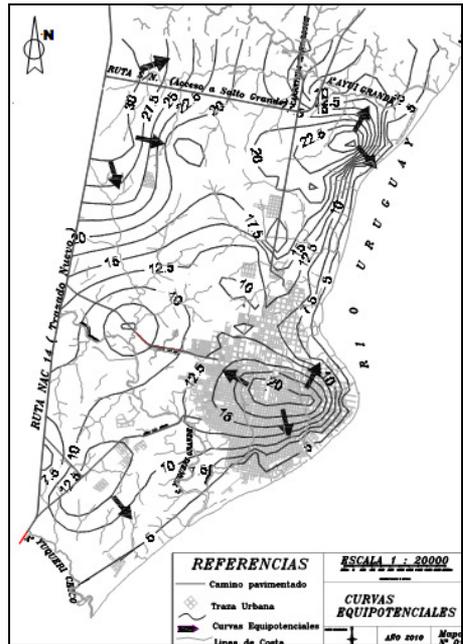


Figura 4. Piezometría del Sistema Acuífero Salto Chico-Ubajay, Concordia

Hidroquímica del Acuífero libre

Para una mejor comprensión de la hidroquímica y su relación con la hidrodinámica, las áreas de recargas y descargas del acuífero libre local, el presente estudio ha recurrido a la realización de mapas temáticos. Estos son útiles para la observación y análisis de la distribución areal de Cl^- , HCO_3^- , NO_3^- y la relación Cl/HCO_3 . Estas especies iónicas y relaciones permiten interpretar más adecuadamente el escenario hidrogeológico urbano. Para cada una de las especies analizadas se procedió a la confección de curvas de isocontenidos y se consideró una

equidistancia de 5 mg/l para el mapa de cloruros y de 10 mg/l para las demás especies.

Cloruros

Los valores extremos de cloruros fueron de 237mg/l y 0,25mg/l, y son menores al límite de 350mg/l fijado por el Código Alimentario de nuestro país. En la Figura 5 se indica la distribución areal de cloruros. Se observa un sector anómalo con valores mayores a 100mg/l ubicado en la zona próxima a la desembocadura del Arroyo Cambá Paso en el Arroyo Yuquerí Grande, mientras que la planta urbana muestra valores bajos en la concentración de cloruros.

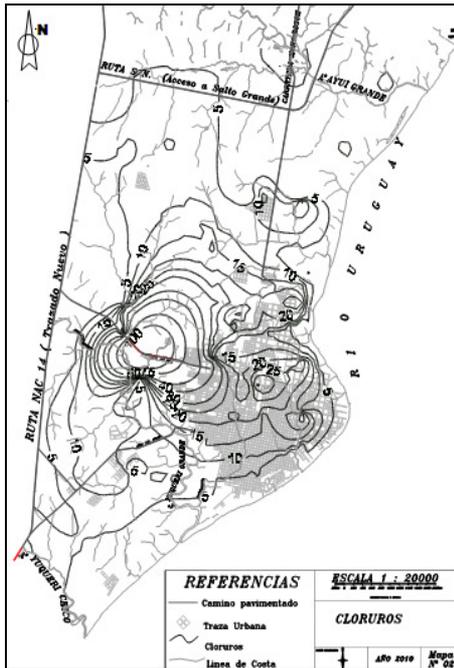


Figura 5. Mapa distribución areal de Cloruros.

Bicarbonatos

En el mapa de la Figura 6, se indica la distribución areal de bicarbonatos en la zona de estudio, con valores entre 0,31 y 112,39 mg/l. El Código Alimentario Argentino no considera a la alcalinidad como un criterio limitante para la potabilidad, no obstante su análisis es importante desde la perspectiva hidroquímica. Se observa una tendencia al aumento en los valores de esta especie, que coincide con la zona de descarga del flujo subterráneo del acuífero libre.

A priori, la concentración de bicarbonatos parece alta en las zonas urbanizadas más viejas y más baja en el perímetro urbano de la ciudad. Esto último probablemente sea más representativo de la recarga vertical natural del acuífero, mientras que en la zona urbana la convergencia de las influencias e impactos antrópicos sobre el suelo determinen el aumento de la concentración, aun tratándose de aguas de relativamente poca salinidad.

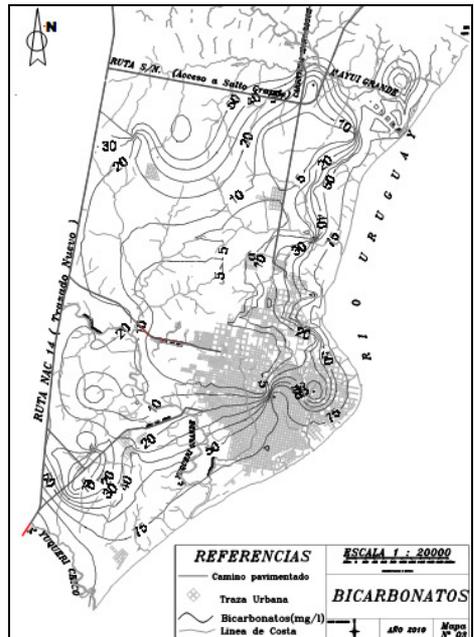


Figura 6. Mapa distribución areal de Bicarbonatos.

Nitratos

Las concentraciones extremas de los nitratos encontrados en el área de estudio fueron de 114,34 mg/l y 0,25 mg/l, superando sólo el 3% de las muestras el valor límite fijado por la legislación de 45 mg/l. En la Figura 7 se representa el mapa de distribución areal de nitratos. Se observan dos zonas anómalas claramente identificadas con valores que superan ampliamente los a 45 mg/l. Uno de ellos, que se destaca por su extensión, está ubicado en un área próxima a la desembocadura del Arroyo Cambá Paso afluente a su vez del Arroyo Yuquerí Grande. Coincidentemente, en esta área de la ciudad es donde está emplazado el vertedero de residuos urbanos. Dada su ubicación en el perímetro suburbano de la ciudad y considerando la

escala de este estudio, es difícil afirmar que se deba a la sola presencia del vertedero, ya que en ese sector se encuentran ubicados, además los barrios Cambá Paso y El Silencio que no están servidos por la red cloacal. La otra anomalía, muy restringida, en la cuenca del A° Yuquerí Chico puede estar relacionado con otras actividades sobre el uso del suelo, como por ejemplo la horticultura que ha sido citadas como fuente de nitratos en diversas ciudades, particularmente en la ciudad de La Plata (Auge, et.al., 2003). La planta urbana presenta valores bajos de contenidos de nitratos.

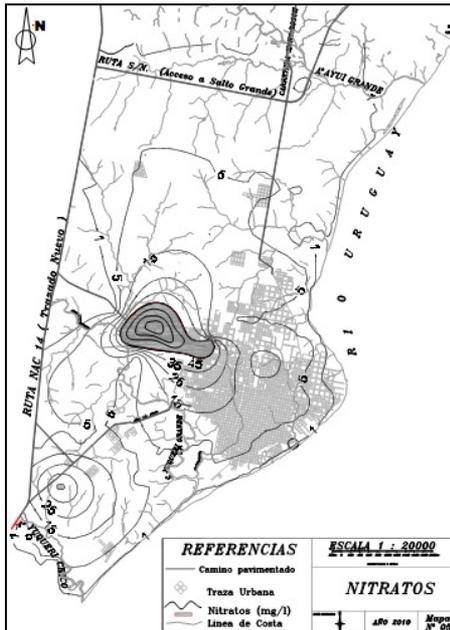


Figura 7. Mapa de distribución areal de nitratos.

Relación iónica Cl/HCO_3

En el mapa de la Figura 8 muestra la isodistribución de la relación, donde se destaca nuevamente una anomalía en un sector próximo al sitio donde se encuentra emplazado el vertedero de la ciudad.

Se observa que dicha anomalía alcanza guarismos por encima de 50, siendo un nivel muy superior al que parece caracterizar la región, incluso en la zona urbana de la ciudad. Esto indica un situación anómala de incorporación de iones durante la recarga.

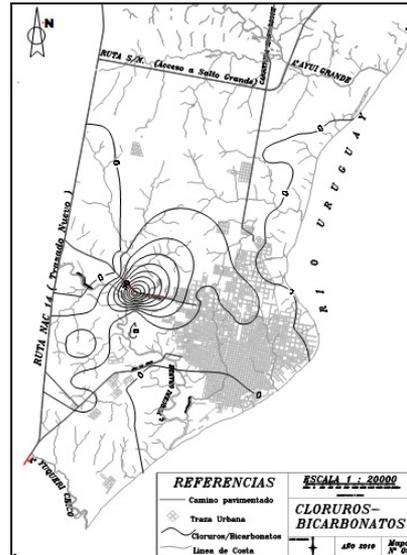


Figura 8. Distribución areal Cl/HCO_3

Conclusiones

El análisis de curvas equipotenciales refleja que los niveles acuíferos no se encuentran sobre explotados en el área de estudio. También refleja que la zona de recarga se encuentra en el sector de mayor urbanización, asociada probablemente a pérdidas en la infraestructura sanitaria, en la distribución del agua corriente, en las obras de entubado del arroyo que surca la ciudad, y a la infiltración natural en áreas verdes.

En relación al contenido en cloruros, los valores del agua subterránea del área de estudio, no reflejan problemas de contaminación por cuanto no se han superado en ninguno de los puntos de muestreo el valor límite de 350mg/l. Se refleja una tendencia anómala en el comportamiento de este ión en el sector próximo al vertedero de residuos de la ciudad, ubicado en un sector cercano a la desembocadura del arroyo Cambá Paso en el arroyo Yuquerí Grande. Los bicarbonatos no parecen acusar esta tendencia, aunque es muy diferente cuando se lo analiza en su relación con los Cloruros.

Aunque la mayor parte de los resultados de los análisis químicos realizados en las aguas subterráneas durante el año 2010 muestran valores de contenidos de nitratos menores a 45mg/l, lo que indican que no hay un deterioro regional importante, el acuífero se haya afectado puntualmente por procesos de contaminación con nitratos muy intensos. Al

respecto, el área próxima al vertedero de residuos es la que muestra mayor afectación, tanto en magnitud como en extensión.

De las relaciones iónicas que se han adoptado en el estudio para evaluar la posible contaminación, la que refleja la mayor contundencia es la relación cloruros versus bicarbonatos, que presenta valores que evidencian procesos de incorporación selectiva de cloruros, afectando un sector, próximo al vertedero de residuos de la ciudad, que también muestra valores de contaminación con nitratos y un anomalía en el comportamiento de los cloruros.

Se puede relacionar la zona de recarga con una extensa área en la que los cloruros, nitratos y bicarbonatos muestran muy bajos valores de concentración. Este efecto de dilución podría estar originado por el aporte de aguas de buena calidad, que podrían ser generadas por pérdidas en la conducción de aguas corrientes, o la infiltración de espacios abiertos.

Bibliografía

- ACEÑOLAZA, F.G. 2007." Geología y Recursos geológicos de la Mesopotamia Argentina. INSUGEO. Serie Correlaciones Geológicas. 22:47-116. ISSN 1514-4186.
- ACEÑOLAZA, F.G. y SAYAGOJ.M.1980. Análisis preliminar sobre la estratigrafía, morfodinámica y morfogénesis de la región de Villa Urquiza, provincia de Entre Ríos. Acta Geológica Lilloana,XV(2):139-154, San Miguel de Tucumán.
- AMATO, A y SILVA BUSSO, A. 2009. Importancia Económica, Social y Estratégica del Acuífero Puelches y Unidades Correlacionables en la Cuenca Chacoparanense. Congreso Nacional del Agua, CONAGUA, Trelew, Argentina.
- AUGE M. HIRATA R. y LÓPEZ VERA, F. 2003. Vulnerabilidad a la contaminación con nitratos del Acuífero Puelche en La Plata – Argentina. CEAL. Inéd: 1- 201. Madrid
- DE ALBA, E; SERRA, N. 1959. "Aprovechamiento del Río Uruguay en la zona de Salto Grande. Informe sobre las condiciones y características geológicas". ComisiónTécnica Mixta de Salto Grande.
- GARRÁN, S; GARIN, R. 2010. "Síntesis Agroclimática de la región de Concordia". EEA Concordia del INTA. Sección Agrometeorología. Extraído el 3/2/2011 de<<http://www.inta.gov.ar>
- GENTILI, C.A.; RIMOLDI, H.V. 1979. Meso-potamia. Segundo Simposio de Geología Regional Argentina. Academia Nacional de Ciencias de Córdoba. 1:185-223.
- IRIONDO, M. 1980. "El Cuaternario de Entre Ríos". Rev. Asoc. Cienc. Nat. Litoral, n°11, p.:125-141, Santa Fe, Argentina. ISSN 0325-2809
- MASÚ J., SILVA BUSSO A. y AMATO S. 2011. Aspectos Geológicos del Acuífero Salto Chico en la Cuenca del Arroyo El Palmar. Entre Ríos, República Argentina. VII Congreso Argentino de Hidrogeología y V Seminario Hispano Latinoamericano Sobre Temas Actuales de la Hidrología Subterránea 2011.
- REIG, O.1956. Sobre la posición sistemática de "Zygoletes paranensis" Amegh. y de "Zygoletes entrerrianus" Amegh. Centro de Estudiantes del Doctorado en Ciencias Naturales de Buenos Aires Revista Holmbergia 5 (12-13): 209-226, Buenos Aires.
- RIMOLDI, H. 1963. Aprovechamiento del Río Uruguay en la zona de Salto Grande. Estudio geológico-geotécnico para la presa de compensación proyectada en el Paso Hervidero (provincia de Entre Ríos). 1as Jornadas Geológicas Argentinas. Anales 2:287-310, Buenos Aires.
- SANTA CURZ J. y SILVA BUSSO, A. 1996. Disponibilidad del Agua Subterránea para Riego Complementario en las Provincias de Buenos Aires, Entre Ríos, Córdoba y Santa Fé. Informe Final. PROSAP, Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca, Buenos Aires, Argentina. (Inédito)
- SANTI, M., BIANCHI G. y REZZÓNICO G., 2009. Agua subterránea en el noreste de Entre Ríos. Actas VI Congreso Argentino de Hidrogeología. Planificación y gestión de aguas subterráneas (pág. 63-72). Santa Rosa, La Pampa, Argentina.
- SILVA BUSSO, A., 1999. "Contribución al Conocimiento Geológico e Hidrogeológico del Sistema Acuífero Termal de la Cuenca Chacoparanense Oriental Argentina". Tesis Doctoral, Facultad de Cs. Exactas y Naturales, UBA (INEDITO)
- TCHILINGUERÁN, P; PREZ, H; TEJEDO, A; CRESPO, CAVALLARO, S y DZENDOLETAS, A. 1998. "Carta Geológica ambiental de la Ciudad de Concordia, Entre Ríos, Argentina" Congreso Uruguayo de Geología. Sociedad Uruguaya de Geología, Facultad de Ciencias, Punta del Este.
- WHITE, I., 1908. Relatório sobre as "Coal measures" e rochas associadas do Sul do Brasil. Relatório final da Comissao de Estudos das Minas de Carvão de Pedra do Brasil 1: 2-300. Imprensa Nacional, Rio de Janeiro.