

DELIMITACIÓN DE PERÍMETROS DE PROTECCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN DE LOS POZOS DE EXPLOTACIÓN DE AGUA SUBTERRÁNEA UBICADOS EN LAS CERCANÍAS DE CABILDO, PROV. DE BUENOS AIRES.

Carrica, Jorge C. (*)**; **Albouy E. René (**)**; **Lexow Claudio (**)**; **Carrica Lucía (*)** Y **Gonzalo Silva (*)**

(***) Dpto. de Geología Universidad Nacional del Sur (UNS) – INGEOSUR-(UNS-CONICET) – Centro de Geología Aplicada Agua y Medio Ambiente- CGAMA (UNS-CIC) e-mail: jcarrica@uns.edu.ar

(**)Dpto. de Geología UNS – CGAMA

(*) Dpto. de Geología UNS

Resumen *La principal fuente de abastecimiento de agua a Bahía Blanca y Punta Alta es el dique Paso de las Piedras. El advenimiento de una serie de años pluviométricamente secos en toda la región (2005-2011), provocó los niveles históricos de agua más bajos del embalse. Como una de las respuestas a la emergencia se materializó una obra de explotación del recurso hídrico subterráneo en las cercanías de la ciudad de Cabildo, propuesta técnica presentada oportunamente a la empresa AZURIX y posteriormente a Aguas Bonaerenses S.A., prestatarias del servicio, por el Grupo de Hidrogeología de la UNS. La obra consistió en una primera batería de 16 pozos de explotación de unos 120 metros de profundidad separados unos 250 metros destinados a suplementar la provisión de agua con unos 0,4 m³/s. El conocimiento de la hidrogeología de la zona y de las características de la fuente permitió delimitar zonas superficiales de protección del acuífero a la contaminación en torno a la batería, definiendo las áreas total de captura de la batería, la de protección microbiológica y el área operacional. Se concluye que una explotación racional del acuífero, conlleva a un bajo peligro de contaminación del acuífero y de los pozos.*

Palabras Clave: Perímetros de protección de pozos, Batería de Cabildo, Bahía Blanca

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVO

La demanda de agua para uso humano e industrial de la zona de Bahía Blanca y alrededores hace necesario contar con un adecuado conocimiento de los recursos hídricos disponibles para elaborar una apropiada planificación hidrológica. A fines de la década de 1980 se comenzó un estudio de evaluación de las potenciales fuentes de abastecimiento a través de un convenio entre el Ministerio de Obras Publicas, la Comisión de Investigaciones Científicas (ambos de la Provincia de Buenos Aires) y la Universidad Nacional del Sur (UNS). En dicho trabajo se evaluaron distintas alternativas para suplementar, por ese entonces, la única fuente de abastecimiento, el dique Paso de las Piedras, limitado por la disponibilidad del recurso y la capacidad de transporte de los acueductos a unos 3 m³/s. El estudio concluyó dando prioridad a la explotación de agua subterránea de la capa freática del sector pedemontano de las Sierras Australes por su excelente características hidroquímicas y por la relación costo-beneficio de la obra. La situación quedó indefinida hasta que en el año 2000, la empresa Azurix, por entonces

concesionaria del servicio, encargó al Grupo de Hidrogeología de la UNS nuevos estudios. Estos, basados en trabajos hidrogeológicos previos, se localizaron en un área de interfluvio entre las cuencas medias del río Sauce Grande y el A° Napostá Chico, cercana a la localidad de Cabildo y al actual acueducto proveniente de Paso de las Piedras como potencial conductor. Se planificó la extracción sostenible de hasta $0,8 \text{ m}^3/\text{s}$, [1]. Con la retirada de la empresa de la concesión del servicio, el proyecto se suspendió. En el periodo 2005-2009 se registró en la región una sucesión de años secos con una media pluviométrica de 495 mm muy por debajo del módulo anual, lo que produjo una importante merma en las reservas del dique. La situación denominada por la prensa “crisis hídrica” fue aliviada con algunas acciones y obras de emergencia realizadas por la concesionaria Aguas Bonaerenses S.A. (ABSA) y por las lluvias ocurridas durante enero del 2011. Las obras paliativas consistieron en tomas adicionales de agua superficial y la construcción de algunos pozos someros (de 50 m) para extracción de agua subterránea en el Bajo San José, dentro del valle medio del río Sauce Grande, aguas abajo del embalse. En esa oportunidad ABSA decidió retomar los estudios en los alrededores de Cabildo, completándose el mismo con un modelo numérico de simulación de las distintas condiciones de explotación [2]. La obra definitiva consistió en una primera batería de 16 pozos de explotación de unos 120 metros de profundidad separados unos 250 metros destinados a suplementar la provisión de agua con unos $0,4 \text{ m}^3/\text{s}$ construida en 2011. Una segunda etapa de otros 15 pozos para duplicar la explotación, no se llevó a cabo. Esta contribución tiene como objetivo delimitar perímetros de protección a la contaminación en torno a la batería de pozos de explotación actual y futura, usando el conocimiento hidrogeológico disponible.

2. METODOLOGÍA

Se usó toda la información hidrogeológica existente [1]; [2]; [3]; [4]; [5] entre otros, y la red de flujo bajo distintas situaciones hipotéticas de bombeo de la batería obtenidas del modelo numérico del flujo subterráneo MODFLOW (*McDonald y Harbaugh, 1988*; en [4]). La vulnerabilidad del acuífero y el peligro de contaminación se determinaron mediante las metodologías GOD (*Foster, 1987* en [6]). Los perímetros de protección se calcularon alrededor de la batería de pozos con el método de Wyssling en [7].

3. ÁREA DE ESTUDIO Y MEDIO FÍSICO

El área de estudio comprende unos 300 km^2 en proximidades de la localidad de Cabildo, provincia de Buenos Aires, en una zona de interfluvio de las cuencas medias del Ao. Napostá Chico y del río Sauce Grande, (Fig. 1). Estos cursos forman parte de la vertiente sur de las Sierras Australes, presentan un régimen permanente y un carácter efluente con respecto a la capa freática. El clima es subhúmedo-húmedo, mesotermal en transición al semiárido más frío del norte de la Patagonia. La temperatura media anual es de $14,7 \text{ °C}$ y la lámina anual media precipitada en Cabildo es de 674 mm (periodo 1960-2009).

La zona presenta, en su mayor parte, un relieve de llanura con suave pendiente hacia el sur, aunque en el sector donde se ubican los pozos existen una suaves lomadas de arena que favorecen la presencia de una zona de recarga local del acuífero freático subyacente. Las

zonas de recarga preferenciales son dos: una en el sector pie de monte de las sierras y otra coincidente con la presencia de cordones medanosos en el sector.

4. HIDROGEOLOGÍA

El basamento hidrogeológico son rocas cuarcitas paleozoicas que conforman la Sierras Australes y que afloran en la margen derecha del Dique Paso de las Piedras y en las últimas estribaciones serranas que limitan el área de estudio por el norte. Desde allí se profundiza hacia el sur habiéndose detectado a unos 450 m de profundidad en el área de estudio. Por encima se detectaron unos 75m de sedimentos continentales adjudicados a formaciones Paleógeno de características acuicluda acuitarda que pasan transicionalmente hacia arriba a un ambiente de sedimentación marino de plataforma con niveles acuicludos y acuitardos, con agua de elevada salinidad, asignados a la Fm Barranca Final [4].

Suprayacen a los anteriores los “sedimentos pampeanos” o *Fm. La Norma* [8] del Mioceno superior-Plioceno superior que conforman el acuífero freático y la zona no saturada de la región. En el área de estudio se estiman espesores de unos 180 m, acuniéndose hacia los afloramientos serranos. Se tratan de limos arenosos y hasta arcillosos, macizos, cementados con carbonato de calcio y rematados por niveles de tosca (2 a 3 m de espesor) que la caracterizan. La tosca aflora en las lomas mientras que en los bajos es discontinua o puede estar ausente por erosión. Los “sedimentos pampeanos” presentan anisotropías hidrolíticas que dan lugar a una alternancia de niveles acuíferos-acuitardos (sistema multicapa) con un comportamiento hidráulico único. Los sondeos eléctricos verticales (SEV) realizados indican la presencia, en el área de estudio, de niveles arcillosos acuitardos y/o acuicludos a unos 120-140 m de profundidad y otros más netos a 180 – 200 metros que podrían constituir el hidroapoyo del acuífero freático [4]. Ensayos de bombeo, a caudal constante, realizados en los primeros 100 m de espesor saturado arrojaron transmisividades promedio de $200 \text{ m}^2/\text{d}$ y coeficientes de almacenamiento del orden de 0,1, con drenaje diferido [3]. La capa freática, se ubica entre 10 y 20 m de profundidad y presenta una morfología radial divergente con dos zonas de recarga preferenciales: una en el sector pedemontano de las sierras y otra coincidente con la presencia de cordones medanosos en el sector central del área de estudio y cuya delimitación resulta más evidente desde un punto de vista hidroquímico que hidrodinámico. Las zonas de descarga son los cursos efluentes.

La recarga por agua de lluvia se cuantificó mediante balances hidrológicos y del ión cloruro, obteniéndose un valor promedio del 12,5% de la precipitación media, esto es unos 84 mm/año [1]; [9]. La recarga preferencial favorece la calidad química del agua del acuífero, cuya conductividad eléctrica, en general, no supera los $1000 \mu\text{S}/\text{cm}$. Es del tipo bicarbonatada clorurada calco-sódica y químicamente dulce (potable) hasta las profundidades de los ensayos realizados, (unos 100 m de espesor saturado). El ingreso subterráneo de agua por el límite norte del área, se estimó en base a la red de flujo, la permeabilidad calculada por ensayos de bombeo y el espesor del acuífero con geoeléctrica y perforaciones [2].

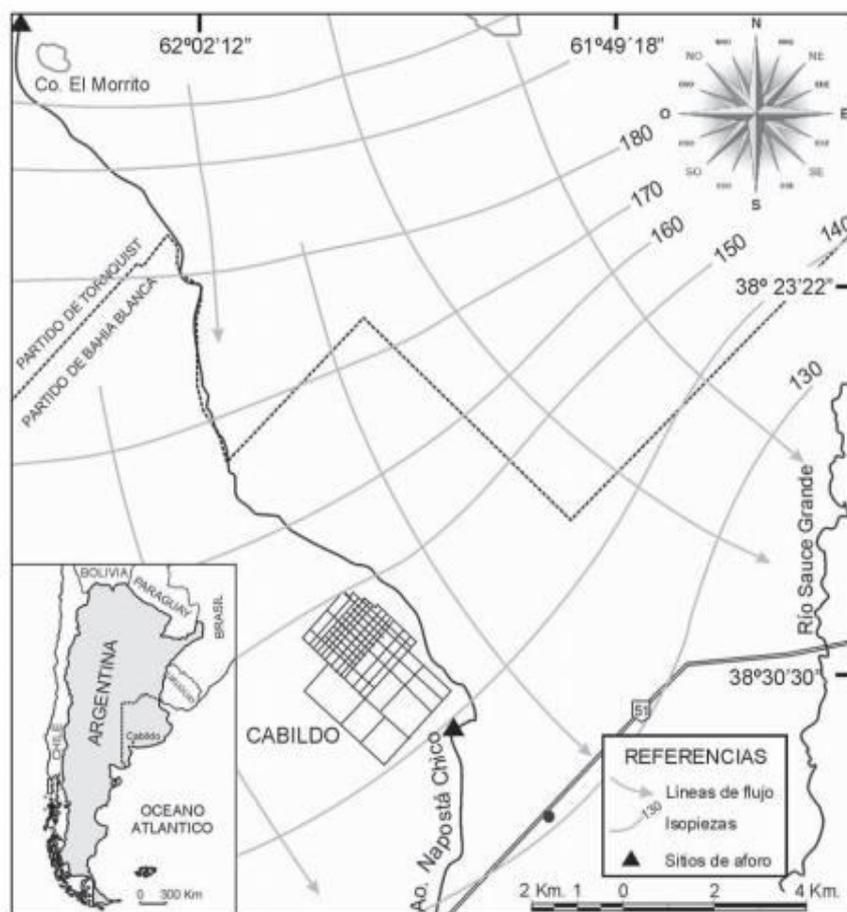


Figura N° 1. Área de estudio y red de flujo del acuífero freático del sector.

4.1. Modelo Numérico

El modelo numérico de flujo subterráneo se formuló con el programa MODFLOW en el entorno Visual Modflow 3.1. [4]; [5] y fue de utilidad para integrar la información disponible y corroborar cuali y cuantitativamente el funcionamiento hidrodinámico del acuífero en estado estacionario y transitorio de bombeo. El mapa de isopiezas simulado en régimen estacionario reproduce, en general, la configuración local de la superficie freática, las direcciones de flujo subterráneo predominantes y la relación hidráulica entre el arroyo y el acuífero. El modelo ajusta con un coeficiente de correlación (r) entre valores simulados y medidos de $r = 0,9$ y un error medio de 2,8 m en el orden de las fluctuaciones plurianuales de los niveles freáticos. El balance de masas indica un ingreso de agua al acuífero de unos 64166 m³/día (recarga por agua de lluvia, caudal subterráneo e influencia del arroyo) que se iguala con la descarga subterránea hacia el arroyo Napostá Chico (24896 m³/d) y el río Sauce Grande (39266 m³/d) [5]. La modelación del flujo estacionario se empleó como condición inicial para realizar una simulación transitoria de bombeos, a efectos de analizar el impacto hidrodinámico que tendrían las extracciones de agua subterránea sobre el acuífero y sustentar

la posibilidad de llevar a cabo una explotación como las supuestas.

Un primer escenario de bombeo consideró una extracción de agua subterránea por medio de una batería de 15 pozos que bombean $100 \text{ m}^3/\text{h}$ cada uno, durante los 365 días del año, (unos $0,41 \text{ m}^3/\text{s}$). La distancia entre pozos es de 250 metros teniendo en cuenta la superposición teórica entre conos de bombeo en base a parámetros hidráulicos calculados y a criterio económicos (longitud de acueductos de interconexión). La ubicación de la batería responde a criterios geofísicos e hidroquímicos y de conformidad con ABSA sobre calles vecinales, con 12 pozos en sentido noreste y una batería de 3 pozos con rumbo noroeste. La Figura 2 muestra el esquema hidrodinámico que se establece en el acuífero luego 1 año de bombeo continuo en la batería simulada, la cual no difiere, en líneas generales, de la batería construida.

Otro escenario hipotético planteado, supone una explotación constante por 365 días de $0,83 \text{ m}^3/\text{s}$ con una batería de 30 pozos, con igual separación entre pozos y caudal unitario de extracción. La batería está compuesta por la anterior adicionando tres pozos a la línea noroeste y una línea de doce pozos en una calle vecinal perpendicular a la anterior y con orientación noreste. La Figura 3 muestra la configuración que adquiriría la superficie piezométrica luego de un año de bombeo y en la cual se aprecia que se mantiene el esquema hidrodinámico general de flujo subterráneo. Asimismo se induciría una captación adicional desde el arroyo (por influencia) de unos $0,037 \text{ m}^3/\text{s}$ (un 20% en su caudal básico). Los máximos abatimientos del nivel freático se producirían en el sector interno a la intersección de la línea de pozos y estaría en orden a los 20 m. Luego de un año de explotación deberían verificarse descensos medios de hasta 5 m en el nivel de agua, en los pozos ubicados hasta 1000 m de la batería de explotación. Si bien los resultados demuestran la factibilidad de llevar a cabo una explotación anual transitoria como la supuesta anteriormente, se trata de un escenario de bombeo excepcional y teórico ya que una extracción de este tipo se instrumentaría, en la práctica, solo en forma acotada en el tiempo y en función de la demanda.

5. AREA DE PROTECCION DE LOS POZOS A LA CONTAMINACIÓN

El área de protección hace referencia a un área superficial alrededor de un pozo o campo de pozos a través del cual es probable que los contaminantes se muevan hasta alcanzar los mismos, mientras que el área de captación o captura es un concepto hidrológico que depende de las propiedades del acuífero, de las características del pozo y del caudal de bombeo y generalmente abarca áreas mucho mayores pudiendo alcanzar hasta la divisorias de las aguas subterráneas. Foster et al. [6] presentan una serie de conceptos vinculados con áreas y perímetros de protección y de recomendaciones para la autoridad de aplicación competente.

Las áreas de protección de las fuentes de abastecimiento protegen a la fuente de a) contaminantes que decaen con el tiempo, donde el tiempo de residencia subsuperficial es la mejor medida de protección y b) contaminantes no degradables, donde se debe considerar la dilución que depende de la trayectoria del flujo. La dilución del contaminante, que resulta de los mecanismos de advección y dispersión asociados al flujo de aguas subterráneas, es usualmente el proceso de atenuación dominante.

El peligro de contaminación depende de la ubicación de la actividad contaminante (superficial o subsuperficial), si está dentro del área de captura de la fuente, del tiempo de flujo

subterráneo horizontal, desde la ubicación de la actividad hasta el punto de extracción (líneas isócronas); del tipo de contaminante y de la vulnerabilidad del acuífero a la contaminación, que es la fragilidad o susceptibilidad del sistema acuífero a ser afectado adversamente por una carga contaminante. Uno de los métodos más utilizados para determinar la vulnerabilidad por su simplicidad y confiabilidad es el denominado GOD [6], cuya aplicación requiere los parámetros: distancia al agua (profundidad del nivel freático) entre 5 y 20 m, tipo de acuífero: libre con cobertura de tosca y litología de la zona no saturada de loess; que permiten obtener un valor de 0,24 que define un índice de vulnerabilidad bajo del acuífero a la contaminación.

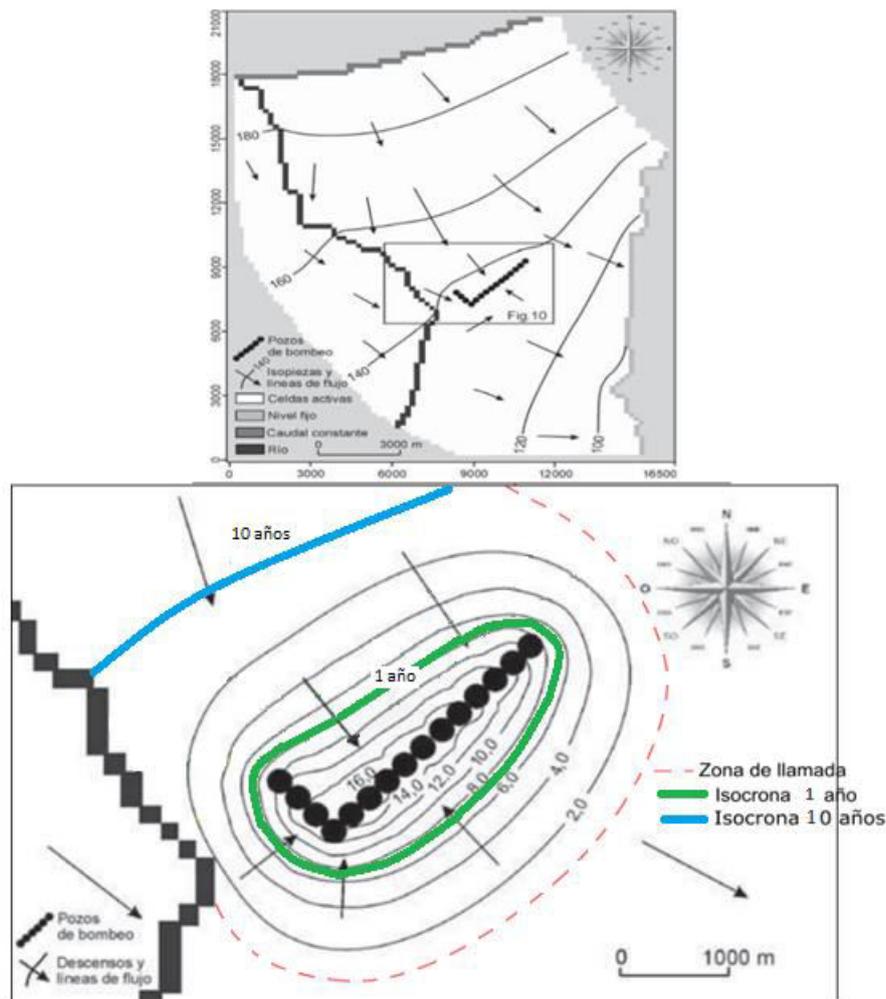


Figura 2. Red de flujo e isócronas después de 1 año de bombeo continuo de 15 pozos

La eliminación total del peligro de contaminación de una fuente de agua dulce exigiría la prohibición de todas las actividades potencialmente contaminantes (o completamente controladas) dentro de toda el área de captura (o zona de llamada) de la alimentación a esa fuente. Sin embargo, este criterio es imposible o antieconómico, fundamentalmente por las

necesidades socio-económicas del uso del territorio. Por lo tanto las restricciones mas estrictas se aplican en aquellas áreas más próximas a la fuente en base a varios criterios (distancia horizontal, tiempo de flujo horizontal, porcentaje del área de recarga, capacidad de dilución y/o atenuación de la zona saturada); pero en general se considera que una combinación de los criterios de tiempo de flujo (horizontal) y distancia del flujo es la más apropiada.

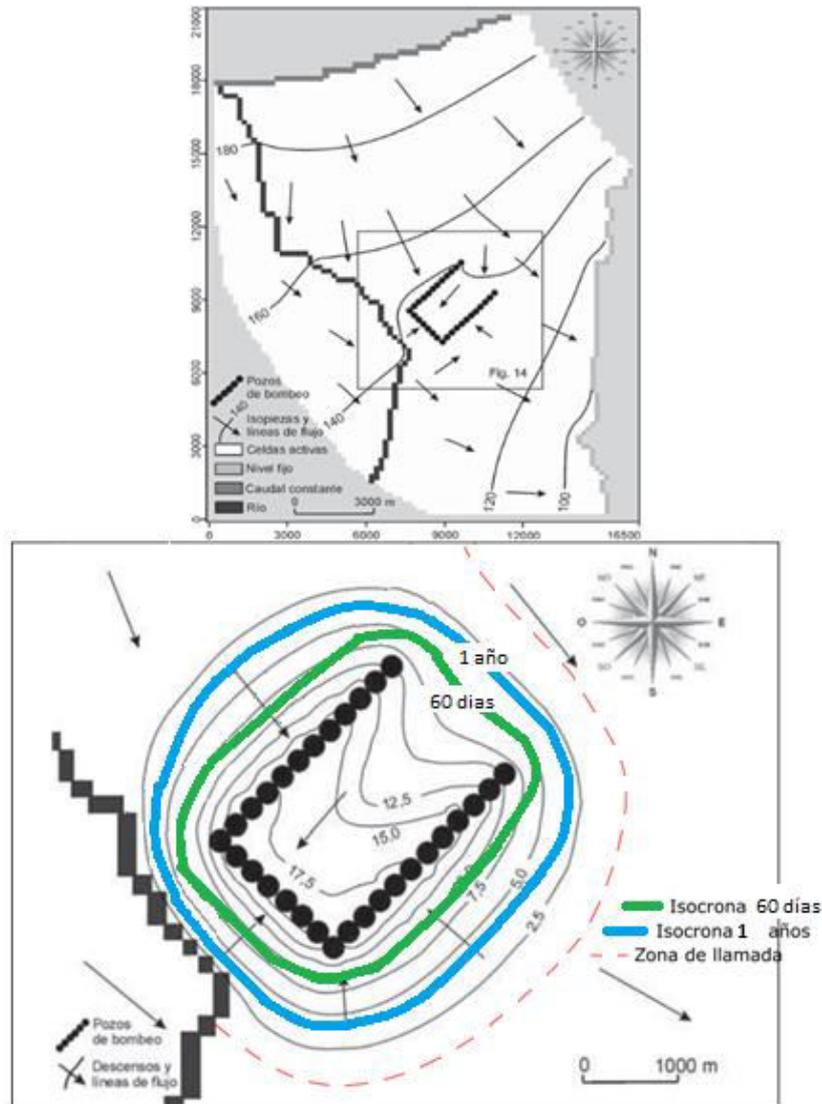


Figura 3. Red de flujo e isócronas después de 1 año de bombeo continuo de 30 pozos

Se pueden establecer una serie de áreas generalmente concéntricas [7] definidas superficialmente en torno a la fuente de abastecimiento de agua subterránea, mediante el conocimiento de las condiciones hidrogeológicas locales y las características de la fuente como: a) Área total de captura, b) Área de protección microbiológica y c) Área operacional.

Los potenciales contaminantes de la zona son de origen agropecuario y fundamentalmente los más persistentes son nitratos, amonio y algunos pesticidas con cierta movilidad y los organismos de origen fecal (contaminación microbiológica) provenientes de actividades derivadas de la cría intensiva de animales; actividades que actualmente no se desarrollan en el sector. Tampoco existe ninguna explotación significativa del acuífero; las extracciones se limitan a establecimientos rurales y para uso doméstico.

5.1. Área Total de Captura y Áreas de Protección de las Perforaciones

La zona de protección más exterior posible para una fuente es su área de captura o sea el área de aporte o área de captura. Está delimitada por el perímetro del área en el que toda la recarga del acuífero y será captada por la fuente. La zona total de captura queda geoméricamente definida por medio de las trayectorias de flujo subterráneo del modelo. Para permitir controles del uso del territorio graduales resulta útil subdividir el área de captura total en áreas de protección de la fuente en base a isócronas. El método de Wyssling determina isócronas de 10 años (o zona alejada) para el caso de Compuestos Orgánicos Persistentes, zona de protección moderada con la isócrona de 365 ó 500 días de flujo horizontal que permite la atenuación de contaminantes de degradación lenta. Las distancias de protección para 1 año y 10 años se muestran en la Tabla 1 y 2 y en la Figuras 2 y 3, determinadas por el método de Wyssling con los parámetros hidráulicos del acuífero. Este perímetro es significativo en términos de dar tiempo para encarar acciones de remediación para controlar la difusión de contaminantes persistentes (al menos en los casos donde se reconoce e informa inmediatamente el incidente de contaminación). Sería conveniente que, en términos conservativos, a 200 metros de distancia de las perforaciones, se construyeran pozos de monitoreo que permitieran un seguimiento conjunto no solo de la calidad del agua subterránea sino también de los aspectos hidrodinámicos. La proximidad de pozos y perforaciones de explotación rural no protegidos y de las actividades agropecuarias sobre el terreno es un factor clave que influye en el peligro de contaminación de las aguas.

5.2. Área de Protección Microbiológica

Es de fundamental importancia prevenir la ingestión de agua subterránea contaminada con bacterias, virus y parásitos patógenos que ingresan a los acuíferos someros desde tanques sépticos, letrinas, drenajes o cursos superficiales con aguas contaminadas, etc. Los pozos inadecuadamente construidos son particularmente propensos a este tipo de contaminación. Sin embargo, en casi todas las formaciones excepto en las más vulnerables, la capacidad de atenuación natural de la zona no saturada o las capas semiconfinantes confieren una protección al acuífero contra la contaminación que se dirige hacia él.

Esta zona de protección interior es usada para proteger acuíferos contra las actividades que potencialmente pueden descargar parásitos, bacterias y virus patógenos [10], tales como el derrame de aguas residuales y cloacales en zonas agrícolas debidas a la cría intensiva de animales. La misma se determina en función de la distancia equivalente a un tiempo de flujo horizontal promedio especificado en la zona saturada del acuífero (isócronas).

En todos los casos de contaminación registrados que resultaron en epidemias de enfermedades

de transmisión hídrica, la separación horizontal entre la fuente de abastecimiento de agua subterránea y la fuente de contaminación patogénica comprobada fue (como máximo) la distancia recorrida por el agua subterránea en 20 días en el correspondiente régimen de flujo del acuífero, a pesar que se conoce que los patógenos resistentes son capaces de sobrevivir en el subsuelo por 400 días o más. Así, se confirmó que la curva isócrona correspondiente a los 60 días es una base razonable para definir la zona coincidiendo con la práctica usual en muchos países. Este perímetro de protección es de significación para la salud pública y porque generalmente es de tamaño reducido y resulta más fácil implementarlo y hacerlo valer. De acuerdo a los parámetros hidráulicos del sector las distancias de protección microbiológica a las baterías consideradas se expresan en la Tablas 1 y 2 y en la Figura 3.

5.3. Área Operacional del Pozo

Comprende una pequeña área de terreno alrededor de la propia fuente de abastecimiento que debe ser propiedad y estar bajo el control de quien realiza la explotación. En ella no se deben permitir actividades que no estén relacionadas con la extracción misma del agua y aun así, estas actividades necesitan ser evaluadas y controladas cuidadosamente para evitar la posibilidad de que los contaminantes alcancen la fuente ya sea en forma directa o a través de alteraciones del terreno en las adyacencias. Este sector es usado para actividades de mantenimiento del pozo, deberían tener un piso de concreto para prevenir la infiltración de aceites y sustancias químicas utilizadas en el mantenimiento de la bomba. Se recomienda la colocación de una cerca perimetral en esta zona para prevenir la invasión de animales y vandalismo. La especificación de la dimensión de esta área es siempre algo arbitraria y depende en cierto modo de la naturaleza de las formaciones geológicas locales, aunque en este caso un radio de por lo menos 5 metros es aceptable.

Zona de Restricciones	Aguas arriba	Aguas abajo
Operacional de cada pozo	5 m	5 m
Protección microbiológica batería (60 d)	267 m	256 m
Protección Moderada de la batería (1 año)	681 m	614 m
Protección territorial (10 años)	2.412 m	1.733 m

Tabla 1. Zona de restricciones para la batería de 15 pozos.

Zona de Restricciones	Aguas arriba	Aguas abajo
Operacional de cada pozo	5 m	5 m
Protección microbiológica batería (60 d)	371 m	356 m
Protección Moderada de la batería (1 año)	943 m	852 m
Protección territorial (10 años)	3.330 m	2.417 mm

Tabla 2. Zona de restricciones para la batería de 30 pozos

6. CONCLUSIONES

Una explotación racional del acuífero, conlleva a un bajo peligro de contaminación del mismo y de los pozos. La baja vulnerabilidad del acuífero a la contaminación y las actividades agropecuarias de baja magnitud e impacto ambiental que se desarrollan en la zona sustentan

lo mencionado. La existencia de pozos y perforaciones de explotación rural no protegidos y de las actividades agropecuarias intensivas sobre el terreno dentro del área de protección microbiológica, son factores que de peligro de contaminación de las aguas subterráneas, por lo tanto deben ser controladas y los pozos convenientemente sellados y reemplazados. Las actividades que puedan generar contaminantes persistentes deben controlarse e instalarse fuera del área de protección moderada (isócrona de 1 año). Es conveniente instalar una red de pozos de monitoreo defensivo a unos 200 metros de la batería.

REFERENCIAS

- [1] FUNS, 2000 “Estudio hidrogeológico de la cuenca del arroyo Napostá Chico” FUNS. Por Bonorino G, J. Carrica, C Lexow, Albouy E.R., Para Azurix S.A. Etapas 1, 2 y 3. 75 pág. respectivamente y anexos.
- [2] FUNS 2010. Ubicación de la batería de explotación para abastecimiento humano en las cercanías de la localidad de Cabildo, para ABSA. Por Bonorino A., Carrica J., Albouy R. y Lexow C. Nov. 2010. 62 pp y anexos.
- [3] Albouy R, J. Carrica y G. Bonorino, 2005. Identificación y análisis del fenómeno de drenaje diferido en sedimentos pampeanos. Cuenca del Arroyo Napostá Chico, Prov. de Buenos Aires. IV Congreso Argentino de Hidrogeología Actas, Tomo I: 261- 268.
- [4] Albouy, R., G. Bonorino, C. Lexow, J. Carrica y D. Lafont, 2010. El agua subterránea en la cuenca del arroyo Napostá Chico: una alternativa para suplementar el abastecimiento a Bahía Blanca, Argentina. X ALHSUD Congress. Caracas, Venezuela. Octubre del 2010. E-book ISBN 978-980-734600-9 CD.
- [5] Albouy, R., J. Carrica, C. Lexow , D. Lafont y G. Bonorino, 2011. Abastecimiento de agua a Bahía Blanca. Ubicación y diseño de la batería de pozos de explotación de agua subterránea. VII Congreso Hidrogeológico Argentino y V Seminario Hispano-Latinoamericano sobre Temas Actuales de la Hidrología Subterránea. *Captación y modelación del agua subterránea*. Actas:3-10. E-Book ISBN 978-987-23936-8-7, Salta.
- [6] Foster, S.S.D., Hirata, R., Gomes, D., D’Elia M. y M. Paris, 2002. Groundwater Quality Protection. A guide for water utilities, municipal authorities and environment agencies. The World Bank, Washington 103 pp. ISBN 0-8213-4951-1.
- [7] FCIHS (2009). Fundación Centro internacional de Hidrología Subterránea. Hidrogeología. Comisión Docente Curso Internacional Hidrol. Subterránea. Barcelona. 768 pp.
- [8] De Francesco, F., 1992. Estratigrafía del cenozoico en el flanco occidental de las sierras de Curamalal. Sierras Australes. III Jorn. Geol Bonaerenses. Actas: 3-12. La Plata
- [9] Carrica J, 2009. Cálculo de la recarga en zonas áridas y semiáridas. En *Recarga de Acuíferos. Aspectos generales y particularidades en regiones áridas*. J. Carrica, M. Hernández y E. Mariño (Eds). AIH-FCEyN UNLPam. ISBN 978-987-1082-39-1: 71-80. Santa Rosa.
- [10] Foster, S. and A.C. Skinner, 1995. Groundwater protection: the science and practice of land surface zoning. International Association of Hydrological Sciences. 225: 471-482