

MODELO DE GESTIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÁNEOS EN EL CENTRO-OESTE DE LA PROVINCIA DE SANTA FE (ARGENTINA)

Ofelia TUJCHNEIDER ^{1,2}

Marta PARIS ¹

Mónica D'ELÍA ¹

Marcela PEREZ ¹

RESUMEN

Se presenta en este trabajo un plan de acción destinado a la administración sustentable de las aguas subterráneas en el distrito Esperanza. Desde hace más de 70 años el sistema acuífero es utilizado como recurso y constituye el insumo básico que soporta todas las actividades de la comunidad. Hasta este momento no existe otra fuente de provisión disponible. Se han planteado conflictos resultantes de la explotación implementada hasta el presente, advirtiéndose un cambio en las características químicas de las aguas en las áreas focales de explotación como así también un importante descenso de los niveles piezométricos. El modelo de gestión que se propone fue elaborado a partir del diagnóstico hidrogeológico-ambiental del sistema. Para ello se evaluaron, bajo una concepción integrada, las particularidades de los subsistemas natural y social. Mediante la modelación matemática hidrogeológica se formularon diversos escenarios de explotación. Ello ha permitido constatar la capacidad de respuesta del sistema ambiental ante distintas alternativas de gerenciamiento a la vez de definir un esquema de monitoreo a tiempo real.

Palabras claves: hidrogeología urbana - agua potable - planificación - modelación.

ABSTRACT

An action plan to sustainable groundwater management in the Esperanza district is presented in this work. Since more 70 years, the aquifer system is used as a resource and it is the basic material that supports the whole activities of the community. There is not, until this moment, other available supply source. Problems resulting by the current abstraction is presented, a chemical characteristics change in the water by focal areas of exploitation as well as an important piezometric level decrease are noted. The proposed management model was elaborated on the basis of system hydrogeological-environmental diagnostic. For this diagnostic, the particularities of the natural and social subsystems are evaluated under a integrated conception. Several exploitation scenario were formulated with hydrogeological mathematical modelling. This has permitted verify the environmental system response capacity against various management alternatives and also to define and monitoring framework in real time.

Keywords: urban hydrogeology – drinking water - planification - modelling

¹ Grupo de Investigaciones Geohidrológicas. Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas. Universidad Nacional del Litoral. Ciudad Universitaria. Casilla de Correo 217. (3000) Santa Fe – Argentina. TE/FAX: (0054)(342)(4575244)
email: gig@fich1.unl.edu.ar / pichy@fich.unl.edu.ar

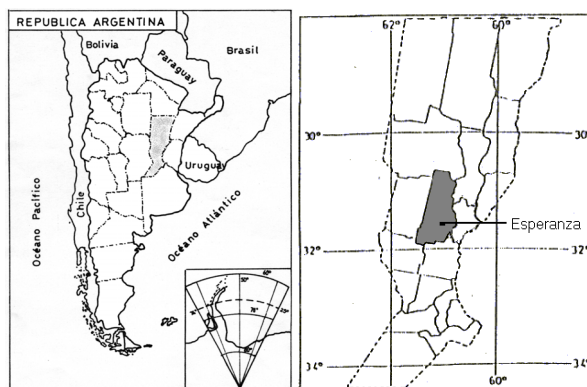
² Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas

INTRODUCCIÓN

La ciudad de Esperanza está ubicada en el Centro-Oeste de la provincia de Santa Fe, aproximadamente a 30km al Oeste de la capital

del estado provincial (Figura 1). El municipio cubre una superficie de 276km² con una población de 33.000 habitantes establecida principalmente en el área urbana (13km²).

Figura 1: Ubicación del área de estudio



Desde 1930 el sistema acuífero es utilizado como recurso y constituye el insumo básico que soporta todas las actividades de la comunidad. La economía regional se centra en una marcada actividad agrícola (producción de maíz, trigo, soja, sorgo y mijo; cría y pastoreo de animales para tambo) e industrial (madereras, cueriles, alimenticias, metalúrgicas, textiles, etc.).

La explotación del agua subterránea se encuentra concentrada en dos sectores: uno comprendido en el área urbana de la ciudad de Esperanza en el que operan 9 perforaciones y el otro, ubicado en el sector Oeste, en la zona rural, con 12 captaciones. Estas últimas alimentan un acueducto que desde 1980 abastece al distrito vecino de Rafaela, distante 40km al Oeste de Esperanza. La producción total es del orden de 20hm³/año. La explotación intensiva ha generado condiciones propicias para situaciones que evidencian la afectación del recurso.

Desde 1996, Esperanza y su zona de influencia son objeto de investigaciones que son llevadas adelante por el Grupo de Investigaciones Geohidrológicas de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas de la Universidad Nacional del Litoral. Estas investigaciones han permitido establecer las principales características cuali-cuantitativas del sistema hidrogeológico involucrado como así también profundizar en la conceptualización de algunos aspectos de la componente socioeconómica de esta región.

ENFOQUE METODOLÓGICO

La necesidad de disponer de recursos seguros en cantidad y calidad pone en evidencia la importancia de llevar adelante políticas que garanticen la protección de las aguas

subterráneas. Esto implica contar con una caracterización del sistema hídrico subterráneo acorde con la escala propuesta para el análisis y además realizar una evaluación y diagnóstico de las actividades socio-económicas (Paris M., et al., 1999).

La concreción de estas etapas permitirá definir líneas de actuación futuras considerando la situación presente -planificación-, orientar el gerenciamiento en horizontes futuros -gestión- y realizar un uso sostenible de las reservas hídricas preservando su condición de recurso -protección.

La protección vinculada a la correcta explotación del acuífero involucra acciones presentes mutuamente complementarias con el desarrollo económico. Estas acciones no son aisladas sino que deben ser producto de la gestión de los recursos hídricos subterráneos que las englobe. A su vez esta gestión debe estar contenida en la planificación hidrológica, que provee el marco general de planeamiento. Estos elementos: planificación-gestión-protección no son estancos, sino que por el contrario son interactuantes y dinámicos. Por ello no deben considerarse límites inamovibles y/o invariantes, sino que por el contrario este marco debe ser flexible y acorde a la evolución ambiental, planteado bajo una concepción holística que comprenda aspectos técnicos, sociales, económicos, políticos, administrativos, institucionales, etc. y fundamentalmente, adaptado a cada situación particular sin dejar de tener accesibilidad real.

En este sentido, la adopción de un enfoque holístico en la investigación, conlleva a la identificación y cuantificación de las variables que permitan definir al *sistema ambiental*. Así,

desde este punto de vista es posible distinguir dos grandes componentes para este sistema: el *subsistema natural* y el *subsistema social*. El sistema ambiental tiene una estructura definida por una red interconectada de cadenas causales, incluyendo las interrelaciones e interdependencias de las variables y los procesos que lo conforman. Dada la complejidad de esta estructura y el funcionamiento del sistema, la simplificación planteada a partir de su integración por subsistemas facilita su análisis (Tujchneider O., et al., 1995).

Esta consideración del sistema ambiental se toma como base conceptual para elaborar las propuestas que permitan mejorar el manejo y control de las explotaciones de aguas subterráneas desde una visión integrada y realista.

DESARROLLO

Investigaciones anteriores (Fili y Tujchneider, 1977; Tujchneider O., et al, 1998; Paris M., et al, 1999.; Paris M., et al, 1998) han permitido establecer las características principales del subsistema natural en estudio y del subsistema social involucrado.

De acuerdo a lo señalado precedentemente se incluyen a continuación las características más relevantes de las componentes del sistema ambiental.

Respecto del subsistema natural y a los fines de esta investigación se hace incapié en el estudio del sistema hidrogeológico involucrado.

Diagnóstico del estado del sistema hidrogeológico

Las características más relevantes de la zona en estudio están dadas por su pertenencia a la llanura Chaco-Pampeana, en la cual los reservorios de agua dulce se corresponden con geoformas que favorecen la infiltración y almacenamiento de aguas meteóricas.

El área de estudio comprende un sistema hidrológico de llanura, por lo que se evidencia el predominio de los movimientos verticales de agua en lo que hace a mecanismos de recarga y descarga, con transferencias horizontales menos significativas.

De acuerdo a los resultados del balance hídrico modular (para el período 1941-1976, con evapotranspiración potencial (ETP) estimada por el método de Thornthwaite-Matter), el área de Esperanza se encuentra en situación casi equilibrada. Los resultados obtenidos se resumen en:

Precipitación anual media (PP) = 930mm/año

Evapotranspiración real (ETR) = 890mm/año
(95% de PP)

Exceso (PP – ETR) = 40mm/año

Se ha estimado como primera aproximación un valor factible de infiltrar al acuífero de 24 mm/año.

Los suelos son de tipo argiudol con un horizonte B_{2t} que contiene un porcentaje de arcillas expansibles cercano al 60%. La presencia de arcilla puede dificultar la penetración del agua, aunque el atributo de expansible da lugar a la formación de grietas por contracción durante períodos secos; éstas pueden constituir vías de acceso preferencial de fluidos al subsuelo.

La columna hidrogeológica regional fue descrita por Filí y Tujchneider en 1977. La local comprende: un *basamento acuicludo* (arcillas), correspondiente al techo de la *Formación Paraná*; un *acuífero semiconfinado*, compuesto por arenas finas y medianas, pertenecientes a la *Formación Puelche*, de alrededor de 24m de espesor medio en el área de estudio; un *manto semiconfinante o acuitardo*, compuesto por limos y arcillas, con un espesor medio de aproximadamente 3m y, un *acuífero freático* compuesto por limos, arcillas y loess de la *Formación Pampa* de aproximadamente 15m de potencia.

El comportamiento hidráulico es de tipo multiunidad con la posibilidad de flujo descendente y ascendente a través del acuitardo en función de las relaciones hidráulicas. Consecuentemente la extracción de agua de las arenas que integran la Formación Puelche induce la recarga desde la Formación Pampa, vinculada directamente al arco meteórico del ciclo hidrológico y la afluencia lateral desde áreas circundantes del propio acuífero. La parte basal de esta última formación, de constitución más

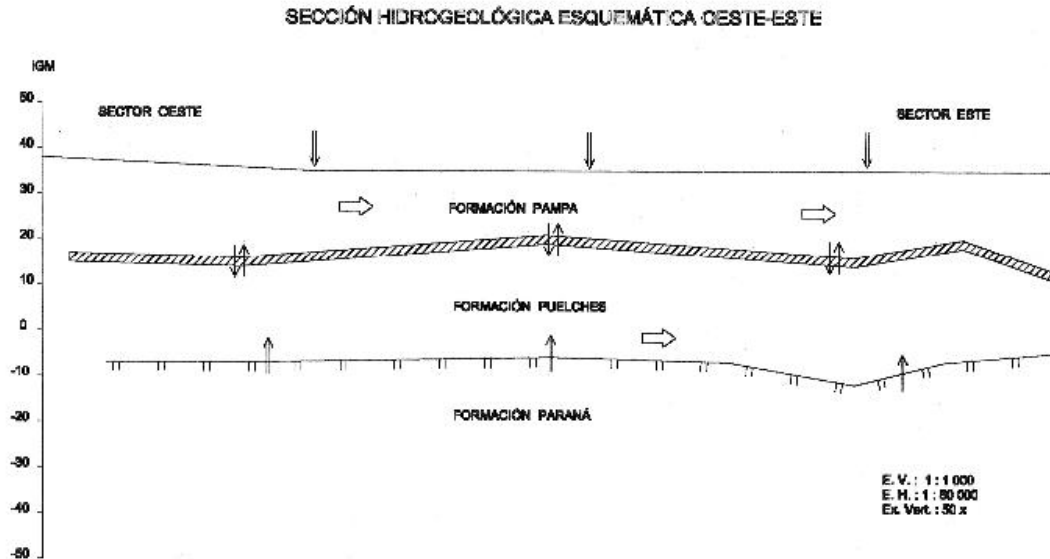
arcillosa y calcárea, actúa como acuitardo entre las dos unidades productivas, retardando la transferencia vertical. De igual modo si la extracción de agua del acuífero Puelche produce pérdidas de carga importantes y muy concentradas, se puede inducir el ascenso de agua proveniente de las capas acuíferas integrantes de la Formación Paraná. En la figura 2 se presenta en forma esquemática el modelo conceptual del funcionamiento del sistema.

Formación Pampa (Pleistoceno lacustre-palustre-eólico). Acuífero de mediano a bajo rendimiento. En la base arcilla y calcáreo constituye la cama semiconfinante del Puelche.

Formación Puelche (Plioceno fluvial). Acuífero de alto rendimiento.

Formación Paraná (Mioceno marino). Basamento hidrogeológico. Arcillas y arenas con agua salada.

Figura 2



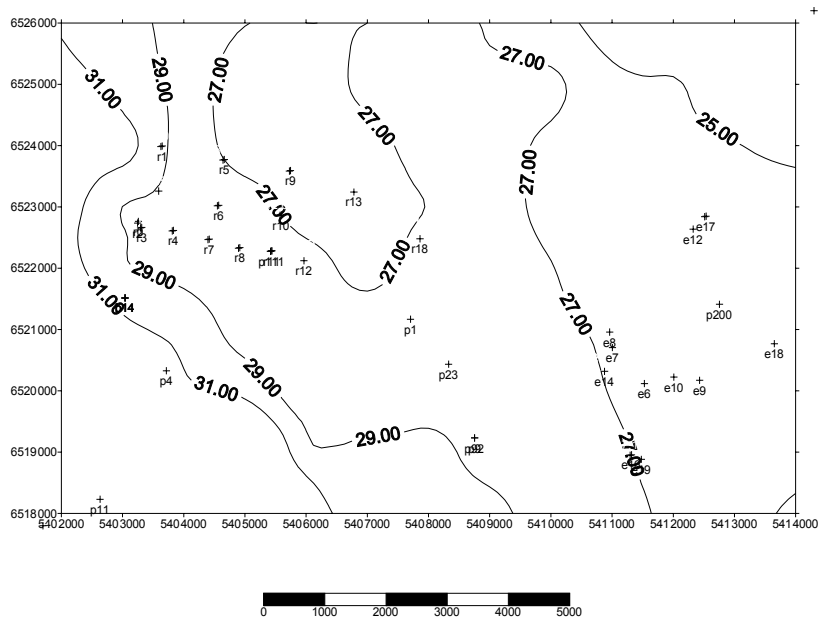
El sentido general del escurrimiento subterráneo es de Oeste a Este, con descarga en el Río Salado (Figura 3). El gradiente hidráulico es aproximadamente $2 \cdot 10^{-4}$. El valor promedio de transmisividad para el acuífero Puelche es de $T=600\text{m}^2/\text{día}$. Considerando el espesor acuífero promedio $e=24\text{m}$, la conductividad hidráulica estimada es de $K=25\text{m}/\text{día}$.

Se ha advertido un comportamiento diferencial en las características químicas del agua procedente de la zona Oeste (campo de bombeo a la ciudad de Rafaela) y el sector Este

(Ciudad de Esperanza). Para este último existe gran movilidad de la rama catiónica, con una amplia variación en los contenidos de sulfatos y cloruros.

En lo que respecta a metales pesados y elementos menores, se ha detectado, aunque dentro de los límites de potabilidad para consumo humano, la presencia de Cromo. Dado que este elemento no se encuentra naturalmente en el agua subterránea de la zona, cabe considerar que podría provenir de alguna de las actividades antrópicas que lo incluyen en sus procesos.

Figura 3



Sobre la base de las características hidroestratigráficas, piezométricas y edafológicas del área en consideración, se determinó el grado de vulnerabilidad del acuífero según el índice GOD (Foster e Hirata, 1991). El valor resultante para este índice es de 0,33, lo que significa que el sistema hídrico subterráneo en el área tiene una vulnerabilidad moderada. El dato así obtenido se adopta como representativo de las condiciones promedio generales para el Distrito Esperanza.

Características del subsistema social

Los rasgos más importantes de este subsistema se presentan sintéticamente continuación.

Actividad económica

La economía de la ciudad de Esperanza se centra en una marcada actividad agrícola e industrial. Los establecimientos industriales más importantes corresponden a los rubros madereras, cueriles, alimenticias, metalúrgicas, textiles, ladrillos, imprentas y editoriales. La Figura 4 presenta la ubicación de las principales industrias que, como puede verse, están emplazadas en la zona urbanizada.

FIGURA 4: UBICACIÓN DE LOS PRINCIPALES ESTABLECIMIENTOS INDUSTRIALES DE LA CIUDAD DE ESPERANZA.



Escala aproximada 1/35000

Existen 270 establecimientos agropecuarios que cubren 19000ha. Más de 9000ha están dedicadas a pastoreo de animales para tambo; la superficie restante se destina a sembrados. Esta última sufre modificaciones según el sistema de rotación de cultivos, a veces con algunas variantes condicionadas por el mercado. En general, el 47% de la actividad agrícola está dedicada a la producción de maíz, 21% trigo, 25% soja, 4% sorgo y 3% mijo.

INFRAESTRUCTURA SANITARIA

El servicio de cloacas cubre aproximadamente el 30% de la zona urbana mientras que el 70% cuenta con servicio público de agua potable. Desde el año 1997 la Municipalidad de Esperanza ha puesto en marcha un programa de tratamiento de residuos sólidos domiciliarios. Algunas industrias han incorporado a sus instalaciones plantas de tratamiento de efluentes. A partir de marzo de 1999 está en pleno funcionamiento la Planta de Tratamiento de Efluentes Industriales producto de un emprendimiento privado con la Municipalidad de Esperanza. El sólido

resultante del proceso se almacena en una depresión natural a cielo abierto y el efluente líquido pos-tratamiento se vierte al río Salado.

Sistema de abastecimiento de agua potable

La ciudad de Esperanza cuenta con servicio de agua potables desde que en 1930 Obras Sanitarias de la Nación (OSN) construyó una red de distribución alimentada por tres pozos profundos que producían alrededor de 180m³/h (4320m³/día). Posteriormente, en 1940 se incorporaron dos pozos más, en 1969 otro, en 1974 dos y nueve en 1988. En la actualidad se contabilizan 19 perforaciones en el sector Este del área de trabajo. De ellas solamente 9 están en funcionamiento, como consecuencia de problemas vinculados al deterioro de la calidad del recurso principalmente debido al aumento de los contenidos de cloruros y/o nitratos.

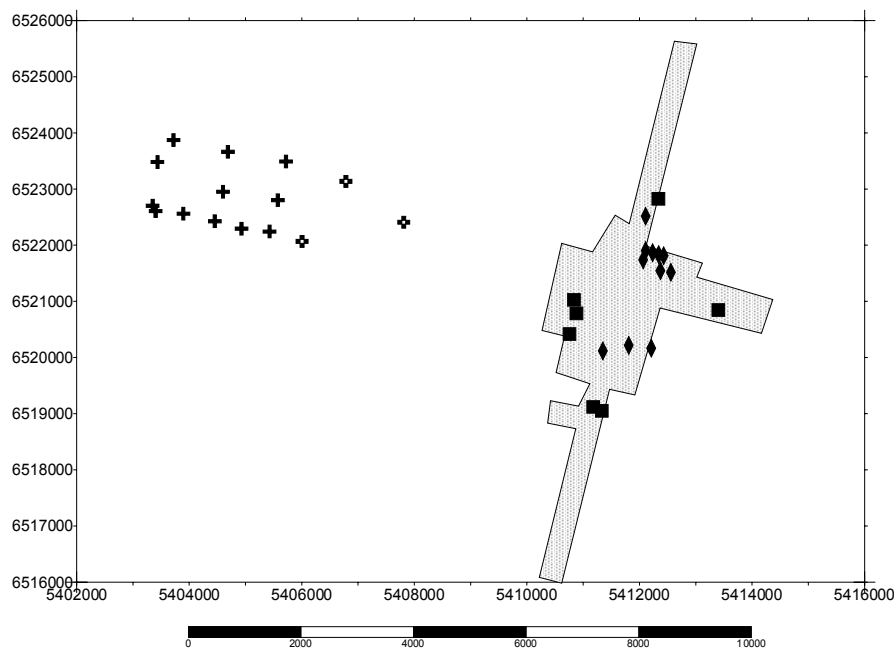
Casi simultáneamente, entre 1974 y 1980, se concretaron las obras de captación y conducción para la ciudad de Rafaela, ubicadas en el sector Oeste del área de estudio, aproximadamente a 4km de la zona urbana. Esto dio lugar a 15 perforaciones, de las cuales 13 están conectadas al acueducto que exporta el

fluído a la ciudad de Rafaela, las restantes no tienen habilitación municipal para su operación.

La Figura 5 presenta la ubicación de estos 33 pozos de abastecimiento de agua que, como

se dijo anteriormente, conforman el servicio de suministro de agua potable a las ciudades de Esperanza y Rafaela.

Figura 5: Ubicación de los pozos de abastecimiento de agua potable.



- + Pozos en servicio Ciudad de Esperanza
- ◆ Pozos fuera de servicio Ciudad de Esperanza
- ▲ Pozos en servicio Acueducto a Ciudad de Rafaela
- x Pozos no habilitados para el Acueducto a la Ciudad de Rafaela

La profundidad media de estas obras de captación es de aproximadamente 45m y el caudal de explotación promedio de 75m³/h (1800m³/día). La producción es del orden de los 10hm³/año en el sector Oeste y 5 hm³/año en el sector Este. Esta última no contempla los volúmenes resultantes de la explotación que se realiza con fines industriales (como parte de sus procesos productivos) y agropecuarios (riego complementario). De acuerdo con la información obtenida, la extracción de agua vinculada a estas actividades es aproximadamente 5 hm³/año.

PROPUESTA DE GESTIÓN - MODELO DE MANEJO INTEGRADO

El análisis conjunto de las características económicas anteriormente descritas, la infraestructura sanitaria, la localización de las obras de captación y el índice de vulnerabilidad del sistema hídrico subterráneo, entre otros, ponen en evidencia la existencia de un riesgo de afectación potencial del sistema de abastecimiento de agua potable.

Asimismo es indudable que:

- La necesidad de abastecimiento de agua potable a Esperanza y Rafaela demandan mayor cantidad y mejor calidad de agua.
- Hasta tanto no se disponga de otra fuente, estos requerimientos se deben satisfacer mediante la extracción de agua desde el acuífero Puelche.
- El recurso debe ser aprovechado con un esquema de gerenciamiento que garantice la sustentabilidad de la explotación.

Teniendo en cuenta las consideraciones hasta aquí presentadas se plantean algunas estrategias para mejorar la gestión del recurso en el área de estudio:

- La distribución de las captaciones debería tener una configuración espacial adecuada a las características del sistema ambiental. Investigaciones anteriores desarrolladas por el Grupo de Investigaciones Geohidrológicas permiten afirmar que la factibilidad de implementación de las zonas establecidas como perímetros de protección en los pozos de abastecimiento está fuertemente condicionada por su grado de compatibilidad con el subsistema social involucrado, dado

que: numerosos pozos de abastecimiento del sector Este (ciudad) se encuentran ubicados en una zona con infraestructura sanitaria deficiente y/o en la vecindad de importantes establecimientos industriales y de servicios y; en el sector Oeste (zona rural) no existe esquema alguno de ordenamiento que discrimine sobre las actividades que en él pueden tener lugar, ni sobre sus limitantes. Se señala entonces la necesidad de redefinir la ubicación de las captaciones que constituyen el servicio de abastecimiento de agua potable a la ciudad de Esperanza (sector Este) en sitios no comprometidos con actividades que pudieran configurar riesgo de afectación. Además el grado de deterioro de la calidad química del agua proveniente de algunos pozos de Esperanza exige dejar fuera de servicio estas perforaciones. Las condiciones hidrogeológicas del sistema en la zona rural son favorables para reformular esta redistribución.

- Se considera conveniente aumentar el número de perforaciones reduciendo los caudales unitarios de extracción con un espaciamiento entre perforaciones no menor de 500m.
- La proyección de los requerimientos a 20 años manteniendo un régimen de bombeo acorde a las restricciones técnicas inherentes a la prestación del servicio contempla la extracción de caudales no

mayores 1200 m³/día a razón de 20 horas diarias de funcionamiento.

Con estas consideraciones el estudio de la evolución del sistema se realizó mediante la implementación de un modelo matemático hidrogeológico basado en el modelo conceptual anteriormente descrito.

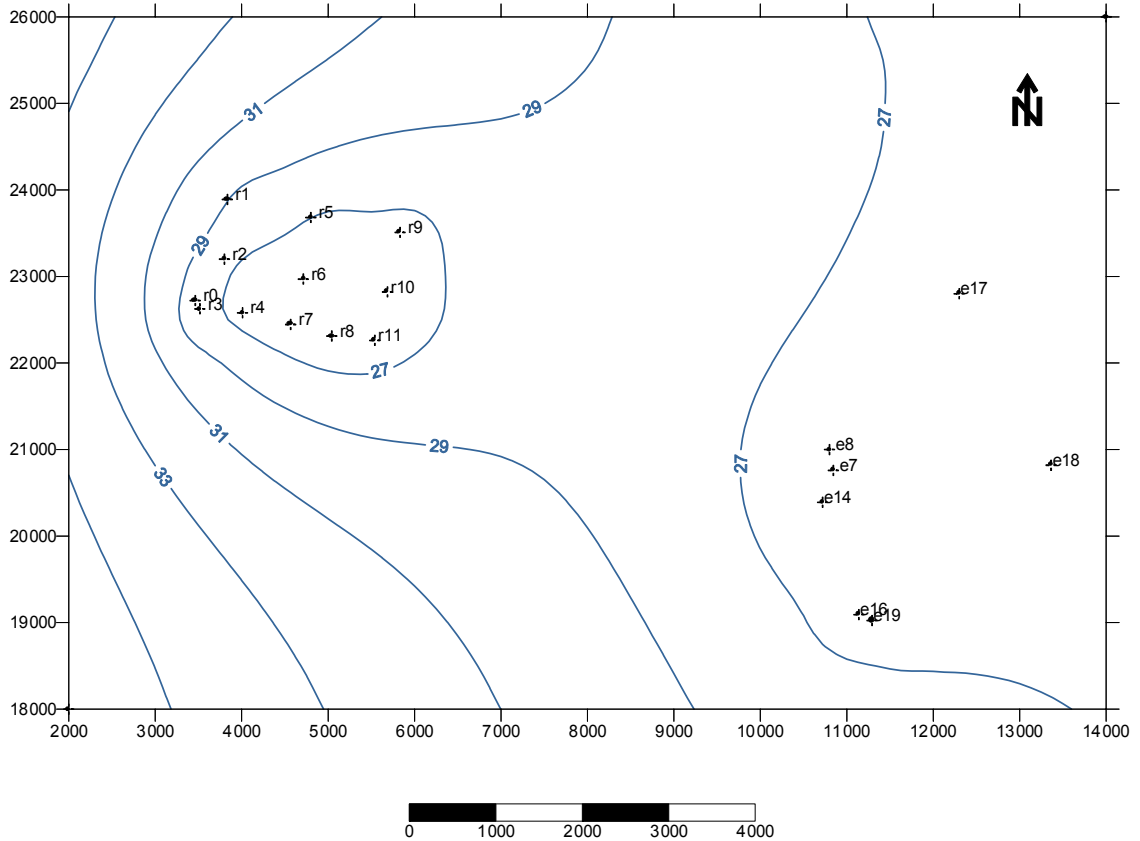
Fue utilizado el código Visual Modflow v.2.7.1. (Guiguer y Franz, 1998) discretizando el área en elementos rectangulares de 200, 250 y 500m de lado. El sistema acuífero se consideró dividido en tres capas: un acuífero libre (Formación Pampa), un manto semiconfinante y un acuífero confinado (Formación Puelche) cuyos espesores se obtuvieron de los perfiles de perforaciones analizadas en el área. Los parámetros hidrogeológicos (conductividad hidráulica, coeficiente de almacenamiento, porosidad) se consideraron constantes en toda la zona modelada, sus valores fueron especificados en función de los resultados obtenidos del ensayo de bombeo realizado a los fines de este estudio.

Las entradas y salidas del sistema son: aportes verticales y laterales, cursos de agua, extracciones, descargas laterales.

Se consideró como punto de partida para la prognosis de niveles la piezometría ilustrada en la Figura 3, correspondiente al estadio registrado en marzo de 1999.

El resultado de la modelación matemática en régimen permanente se muestra en la Figura 6.

Figura 6



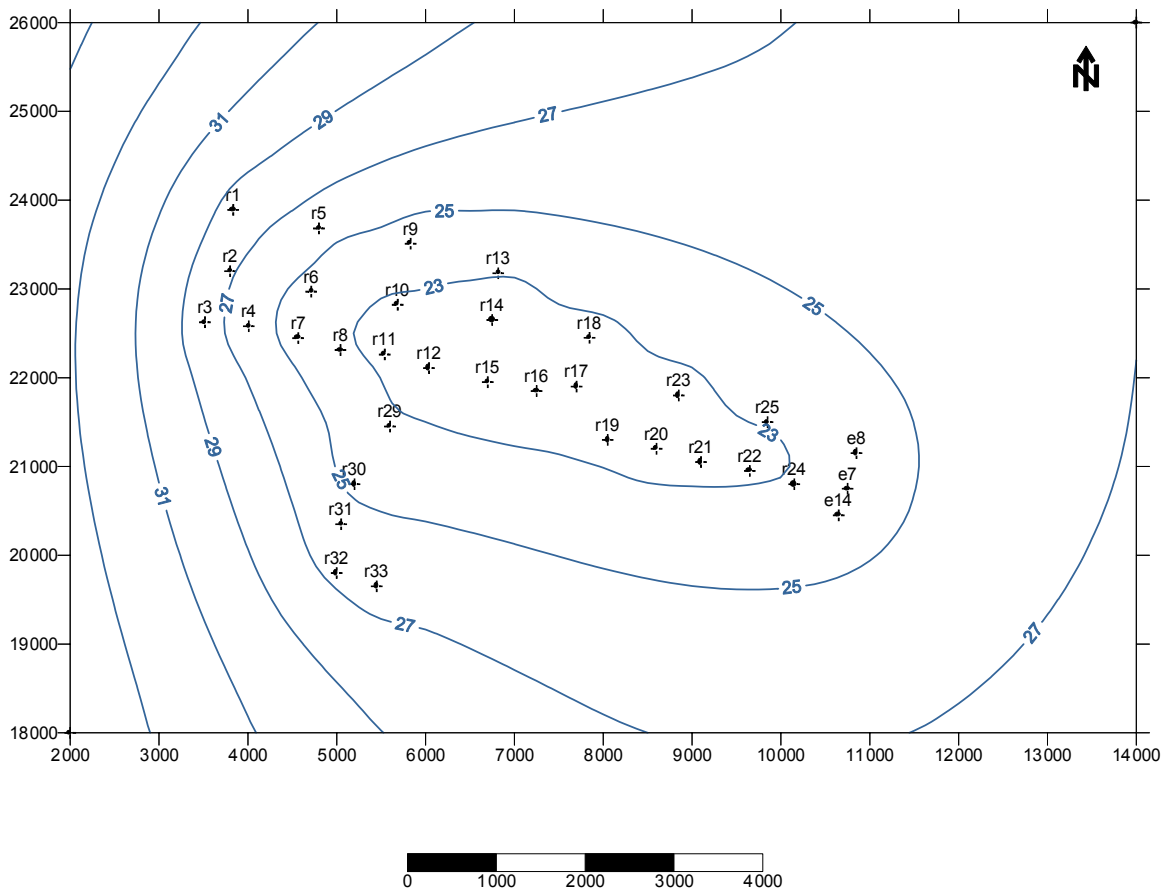
Con esta representación matemática del sistema se procedió a simular escenarios de explotación del mismo dando lugar a diferentes alternativas de gestión para los 20 años de proyección de la

demanda. Las Figuras 7, 8 y 9 presentan las configuraciones de la piezometría con los esquemas de gerenciamiento propuestos.

Alternativa A

Perforaciones	Año	Caudal por perforación	En servicio	Salen	Ingresan
R0 a R11	1	1200 m ³ /día	⊗		
E7, E8, E14, E16 a E19	1	1200 m ³ /día	⊗		
E16 a E19	2	1200 m ³ /día		⊗	
R0	2	1200 m ³ /día		⊗	
R1 a R11	2	1200 m ³ /día	⊗		
R12 a R28	2	1200 m ³ /día			⊗
R29 a R33	6	1200 m ³ /día			⊗

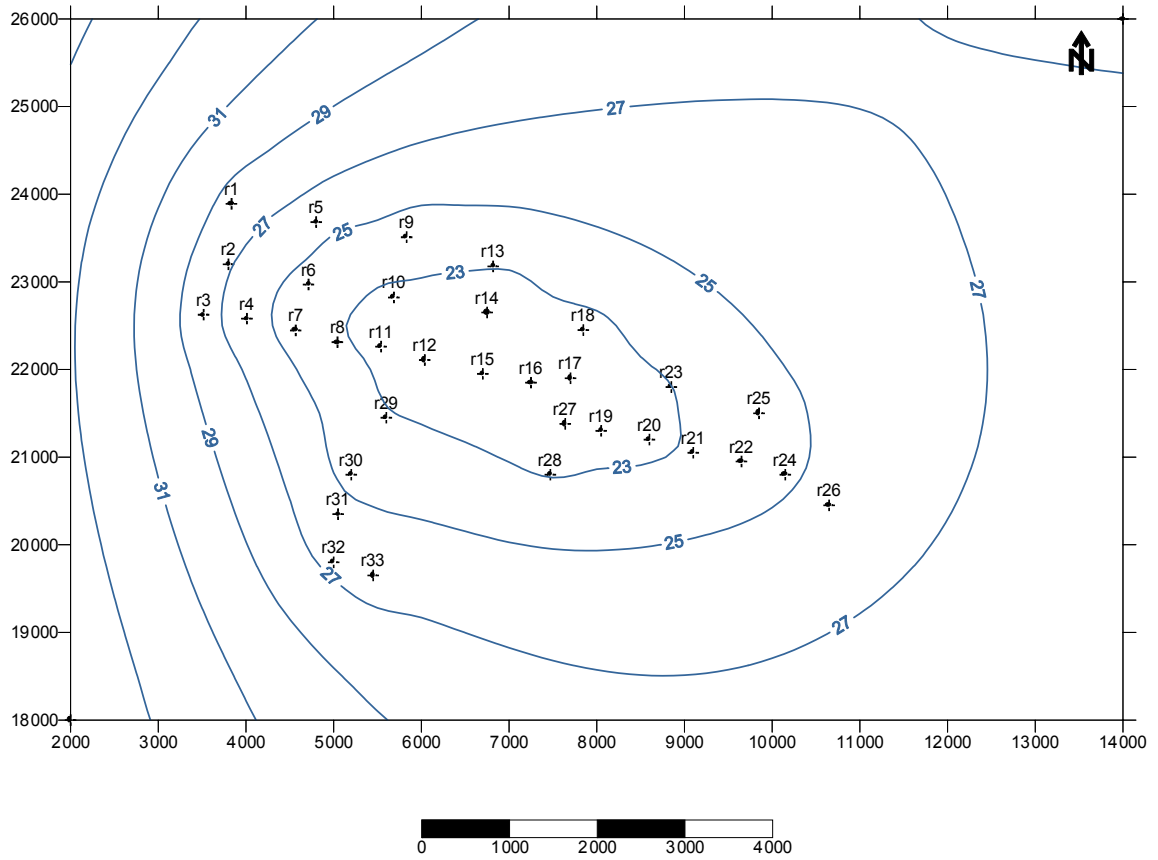
Figura 7



Alternativa B

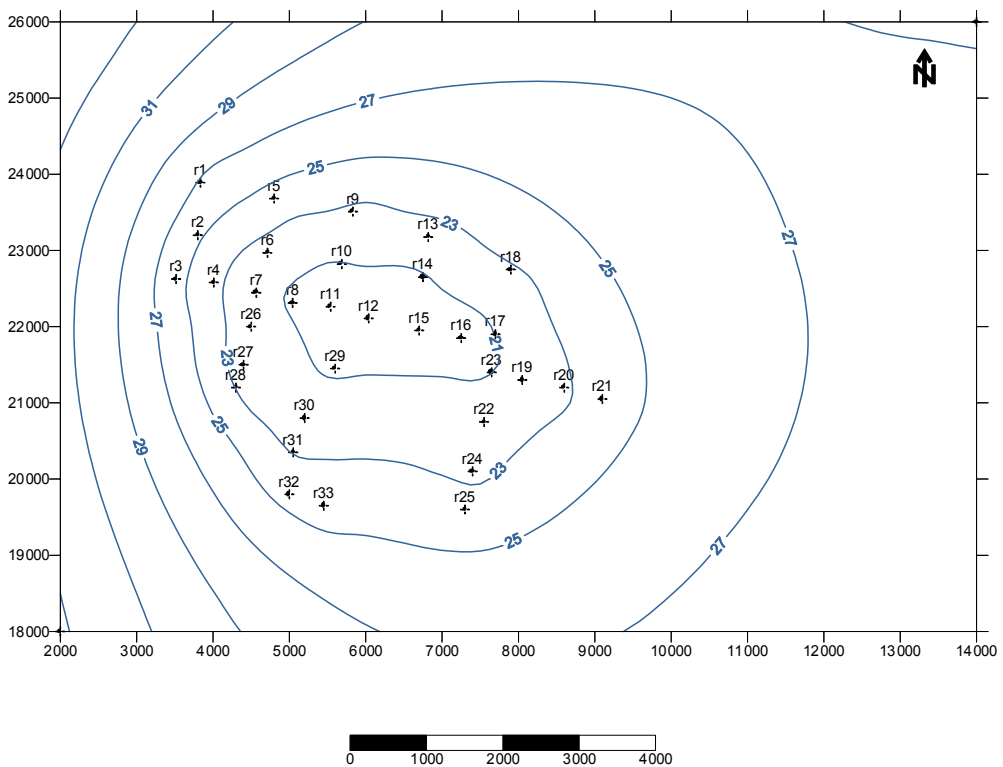
Perforaciones	Año	Caudal por perforación	En servicio	Salen	Ingresan
R0 a R11	1	1200 m ³ /día	⊖		
E7, E8, E14, E16 a E19	1	1200 m ³ /día	⊖		
E7, E8, E14, E16 a E19	2	1200 m ³ /día		⊖	
R0	2	1200 m ³ /día		⊖	
R1 a R11	2	1200 m ³ /día	⊖		
R12 a R28	2	1200 m ³ /día			⊖
R29 a R33	6	1200 m ³ /día			⊖

Figura 8



Alternativa C (idem Alternativa B, pero con distinta ubicación)

Figura 9



El análisis integrado de este material permite evaluar las modificaciones que se producirían en función del tiempo. En todos los casos el estado hidrodinámico no presenta situaciones que puedan considerarse de riesgo para la preservación del recurso. Esto se debe a que, a ese régimen de explotación la afluencia vertical y horizontal de agua llega a un estado de casi equilibrio con las extracciones, bajo condiciones climáticas medias, es decir sin eventos extremos.

Esto ha permitido constatar que el sistema acuífero admite la posibilidad de satisfacer la demanda actual y futura siempre que su aprovechamiento se realice con racionalidad, respetando el gerenciamiento propuesto en este modelo de manejo integrado.

El modelo de gestión presentado incluye además su complementación con:

- Un sistema permanente de monitoreo del sistema en explotación diseñado sobre la base del conocimiento del contexto hidrogeológico. Esto permitirá realizar un seguimiento de las variables y relaciones que definen el funcionamiento del sistema, detectar situaciones comprometidas, estimar el tiempo requerido para tomar decisiones preventivas y/o correctivas.
- Delimitar espacial y temporalmente las áreas de protección para los pozos de abastecimiento sobre la base del modelo matemático hidrogeológico desarrollado.
- Establecer pautas técnicas y legales que garanticen la efectividad de los perímetros de protección de pozos de abastecimiento y reglamenten las extracciones particulares.
- Generar acciones articuladas con la comunidad de modo de lograr una progresiva y responsable participación de los actores sociales involucrados.
- Considerar la utilización de aguas subterráneas por explotación local y de aguas superficiales por importación mediante acueducto como una alternativa a mediano y

largo plazo que permita satisfacer los requerimientos de agua potable para la región, evaluando *a priori* las modificaciones que se generarían con las aportaciones alóctonas, a fin de mantener el equilibrio dinámico del sistema ambiental.

CONCLUSIONES

Los estudios realizados han permitido caracterizar, conceptualizar y representar matemáticamente al sistema hidrogeológico Pampeano-Puelche, establecer su estado hidrodinámico e hidroquímico actual.

Sobre esta base se efectuó la prognosis de su respuesta ante distintos escenarios de funcionamiento que garantizan un régimen de explotación equilibrado sin evidenciar efectos hidrodinámicos que puedan significar riesgo de deterioro del recurso.

Se considera indispensable la prosecución de estas investigaciones a fin de profundizar en el conocimiento de las características químicas, físicas y bacteriológicas del sistema acuífero, teniendo en cuenta la variada gama de actividades que la región soporta.

El modelo de manejo aquí presentado constituye una herramienta para: la adopción de políticas de protección del sistema acuífero en explotación, la definición de estrategias de gestión de los recursos hídricos subterráneos y el análisis de objetivos que conduzcan a la planificación hidrológica acorde a la disponibilidad hídrica de la región.

DEDICATORIA

Las autoras de este trabajo dedican esta contribución a la memoria del Lic. Mario Felipe FILI, creador y director del Grupo de Investigaciones Geohidrológicas, cuya labor en enseñanza, investigación y formación de recursos humanos ha sido y es de excelencia reconocida en el ámbito nacional e internacional.

BIBLIOGRAFÍA

- FILI, M. y TUJCHNEIDER, O. Características geohidrológicas del subsuelo de la Provincia de Santa Fe (Argentina). **Revista de la Asociación de Ciencias Naturales del Litoral** ISSN 0325-2809. Número 8, pp. 105-113. 1977.
- FOSTER S. & HIRATA R. **Determinación del Riesgo de Contaminación de Aguas Subterráneas, una metodología basada en datos existentes**. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. Organización Panamericana de la Salud (CEPIS), 81 pp. 1991.
- GUIGUER NILSON & THOMAS FRANZ. **Visual Modflow, User's manual**. Waterloo hydrogeologic. 1998.
- PARIS, M., TUJCHNEIDER, O., PEREZ, M., D'ELIA, M. y FILI, M. El conocimiento del sistema hidrogeológico y desarrollo sustentable de una región. Area de Caso: Ciudad de Esperanza

- (Provincia de Santa Fe – República Argentina). In: Simposio sobre Planificación, gestión y economía de los Recursos Hídricos. **Actas**, Santa Rosa, La Pampa, Argentina, pp. 197-199. 1998.
- PARIS, M., TUJCHNEIDER, O., D'ELIA, M., PEREZ, M. y FILI, M. Estudio de la interacción entre el sistema hídrico subterráneo y las actividades industriales de la ciudad de Esperanza (Provincia de Santa Fe, Argentina). Primera fase. In: 17° Congreso Nacional del Agua y 2° Simposio de Recursos Hídricos del Cono Sur. **Anales**, Santa Fe, Argentina, 1998. Tomo 3, pp. 80-89. ISBN 987-508-025-X.
- PARIS M.; O. TUJCHNEIDER; M. D'ELIA y M. PEREZ. Hidrogeología Urbana: Protección de pozos de abastecimiento en la gestión de los recursos hídricos subterráneos. *Hidrología Subterránea. Serie Correlación Geológica* nro. 13: 153-160. ISBN 1514-4186. 1999.
- TUJCHNEIDER, O., FILI, M., PEREZ, M., PARIS, M., D'ELIA, M. Potencialidades y limitaciones del subsistema natural para la toma de decisiones territoriales en la Provincia de Santa Fe. In: Primera Reunión Nacional de Geología Ambiental y Ordenación del Territorio. **Actas**, Río Cuarto, Córdoba, Argentina, tomo 2, pp. 401-421. 1995.
- TUJCHNEIDER, O., PARIS, M., FILI, M., D'ELIA, M., PEREZ, M. Protección de las aguas subterráneas. Caso de estudio: Ciudad de Esperanza (República Argentina). Primera Fase: Diagnóstico del sistema. In: 4° Congreso Latinoamericano de Hidrología Subterránea. **Memorias**, Montevideo, Uruguay, volumen 2, pp. 805-82. 1998.

AGRADECIMIENTOS

Los autores de este trabajo manifiestan su agradecimiento a: la Municipalidad de la Ciudad de Esperanza, a la empresa Aguas Provinciales de Santa Fe, actual concesionario del servicio de agua y cloacas, al Ente Regulador del Servicio Sanitario de la Provincia de Santa Fe, al Centro Industrial, Comercial y Afincados de Esperanza por la información suministrada y; al Proyecto 03-38 *Estudio de diagnóstico del sistema de drenaje urbano de la Ciudad de Esperanza – Provincia de Santa Fe*, de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas (U.N.L.) por el material fotocartográfico proporcionado, y a la Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas de la Universidad Nacional del Litoral por el apoyo recibido.