

Indicadores de sustentabilidad de los recursos hídricos subterráneos en el área central de la provincia de Santa Fe, Argentina

*Ofelia Tujchneider^{1,2}, Marcela Perez¹, Marta Paris¹, Mónica D'Elía¹,
Silvina Gualini¹ y Verónica Musacchio¹*

¹ Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas (UNL). Ciudad Universitaria. Ruta Nac. N° 168, Km 472,4 (3000) Santa Fe, Argentina.

² Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas.

Mail de contacto: maperez@fich1.unl.edu.ar

RESUMEN

El desarrollo de los indicadores de sustentabilidad de los recursos hídricos subterráneos es un proceso de aproximación científica, que presenta las distintas características de los sistemas de agua subterránea de manera simplificada y comprensible. Si bien su empleo es relativamente reciente, su apropiada selección proporciona un fundamento válido sobre el cual basar las acciones coordinadas en el proceso de explotación, planificación y gestión del recurso. En este trabajo se presenta la utilización de indicadores de sustentabilidad en un área de la provincia de Santa Fe, Argentina donde el recurso hídrico subterráneo es la única fuente de abastecimiento para satisfacer la demanda en los distintos usos. De los indicadores utilizados, los de explotación resultaron los más destacados, señalando que la recarga local no es suficiente para satisfacer la demanda actual en el área. La identificación de estos indicadores incorpora el alto valor agregado que ofrecen los mismos como medidas sintéticas de sustentabilidad de la explotación de las aguas subterráneas para la planificación del uso de las mismas.

Palabras clave: agua subterránea, indicadores, sustentabilidad, Santa Fe, Argentina.

ABSTRACT

The development of groundwater resources sustainability indicators is a process of scientific approach that presents the different characteristics of the groundwater systems in a simplified and understandable way. Although its use in such a system is relatively recent, their proper selection provides a valid basis to support coordinated actions in the process of operation, planning and resource management. This paper focuses on the use of sustainability indicators in an area of the Santa Fe province, Argentina, where groundwaters are the only source of supply to satisfy the demand for the various purposes. From the indicators used, the indicators of groundwater abstraction demonstrated that local recharge rate is not sufficient to meet the current demand in the area. Therefore, the identification of these indicators incorporates the high added value that they offer as a synthetic measures for the sustainability of groundwater exploitation.

Keywords: groundwater, indicators, sustainability, Santa Fe, Argentina.

Introducción

El área central de la provincia de Santa Fe constituye una de las principales regiones productivas de la provincia y el país, destacándose por su dinamismo tanto en el ámbito económico como socio-cultural.

En particular, el área de los departamentos Las Colonias y Castellanos (Figura 1) se caracteriza por una fuerte actividad agrícola-ganadera e industrial. La producción de cereales y oleaginosas presenta gran preponderancia en esta área; la que es complementada por industrias lácteas, cárnicas

y de curtidos fortalecidas por la presencia del sector ganadero. Se destacan, asimismo, los emprendimientos madereros, mueblerías finas, provisión de sistemas industriales y alimentarios.

La cabecera del Departamento Las Colonias, la ciudad de Esperanza, tiene una población de casi 42.000 habitantes (Censo 2010). En su distrito se asientan más de 300 establecimientos comerciales de diversos rubros. La buena calidad natural que presentan las aguas del sistema acuífero que subyace al área y la escasez de recursos hídricos superficiales aprovechables hacen que el agua

subterránea allí alojada sea explotada con exclusividad como fuente de abastecimiento.

A su vez, el agua proveniente de este sistema se exporta a la tercera localidad de la provincia y cabecera del Departamento Castellanos, la ciudad de Rafaela (92.245 habitantes).

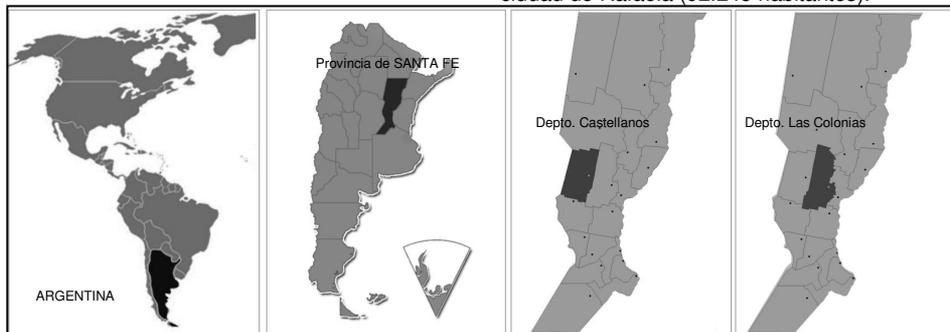


Figura 1 Ubicación de los Departamentos Castellanos y Las Colonias (Santa Fe, Argentina)

Dada la importancia del agua subterránea en la región, se propone en este trabajo aplicar una serie de indicadores de sustentabilidad con el fin de informar, de una manera clara y sencilla, la situación de las mismas en una zona donde se explota el recurso, fundamentalmente, para abastecimiento público. Se espera que los indicadores seleccionados contribuyan a la evaluación del manejo de estos recursos hídricos, al desarrollo de nuevas acciones y/o al establecimiento de planes y proyectos para su apropiada gestión.

Antecedentes

Investigaciones previas han permitido caracterizar al sistema acuífero que abastece a las ciudades de Esperanza y Rafaela y sus áreas circundantes (Figura 1), y constituyen la base del conocimiento para la aplicación de algunos de los indicadores de sustentabilidad propuestos por Vrba y Lipponen (2007).

Características generales del sistema acuífero

Las características geológicas e hidrogeológicas del área de estudio se conocen a través de los trabajos de Fili y Tujchneider (1977), Fili *et al.* (1999) y Tujchneider *et al.* (1998, 2000 y 2005b). Una esquematización con mayor detalle del funcionamiento de este sistema, en el área aledaña a la ciudad de Esperanza, corresponde a Paris *et al.* (2011).

De estos antecedentes se desprende que la columna hidrogeológica local (Figura 2) está conformada por: un manto acuícludo de origen marino, cuya porción cuspidal está compuesta

por arenas grises, arcillas arenosas y arcillas verdes (Fm. Paraná – Mioceno) cuyo techo se encuentra a aproximadamente cota -6; un acuífero semiconfinado, compuesto por arenas finas, medianas y gruesas de origen fluvial, de aproximadamente 24 m de espesor medio (Fm. Itzaingó – Plioceno); un manto acuitado discontinuo (Grupo Pampa – Pleistoceno) que presenta -en promedio- un espesor de 3 m y un acuífero freático compuesto por sedimentos finos de origen eólico, palustre y lacustre de aproximadamente 17 m de potencia (Grupo Pampa – Pleistoceno).

El conjunto presenta un comportamiento hidráulico de tipo multicapa. No obstante, el acuífero semiconfinado alojado en las arenas de origen fluvial constituye la principal unidad acuífera de la región. Se lo denomina informalmente “acuífero Puelche”. El acuífero libre, dados su rendimiento y calidad, se explota fundamentalmente para actividades agrícolas menores.

La ocurrencia de flujos verticales bidireccionales entre el acuífero libre y el semiconfinado es función de las relaciones de carga hidráulica imperantes (Tujchneider *et al.*, 2005a). La extracción de agua del acuífero semiconfinado no solo se da por la afluencia lateral del agua del propio acuífero en las proximidades de la perforación, sino que también se puede inducir el flujo desde el acuífero libre suprayacente y el ascenso de agua salada proveniente de los estratos de origen marino infrayacentes (arenas grises).

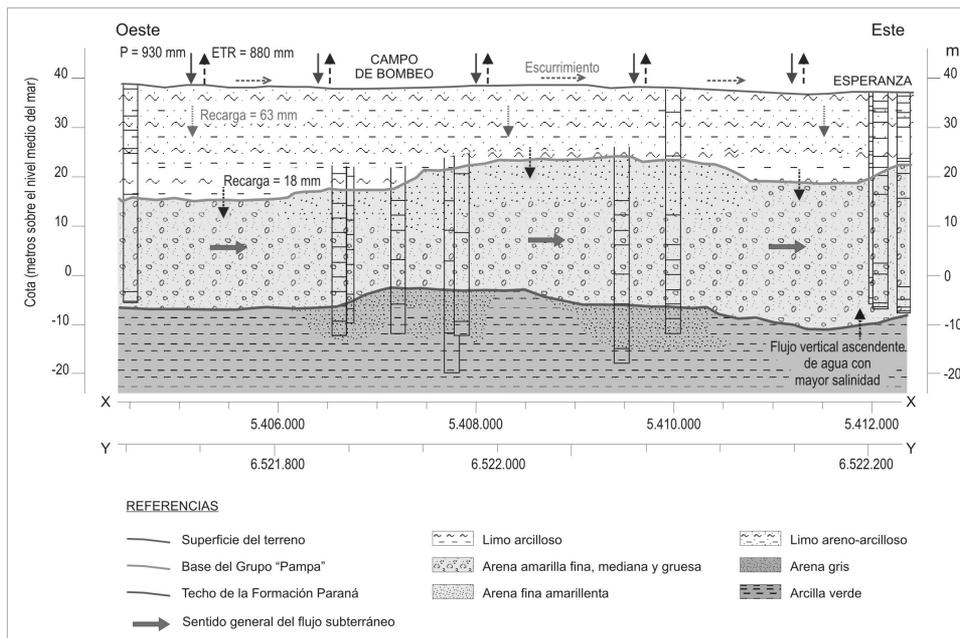


Figura 2 Perfil hidrogeológico esquemático

Recarga y potencialidades del acuífero

Investigaciones realizadas en el área de estudio tendientes a corroborar la procedencia del agua subterránea y estimar volúmenes de recarga, indican que la misma es de origen meteórico. En particular, el acuífero freático tiene posibilidad de ser recargado a partir de precipitaciones locales, ocurridas en los meses de verano y otoño. Por su parte, el acuífero semiconfinado aloja aguas "submodernas"; es decir, recargadas antes de la década del '50 (D'Elía *et al.*, 2007 y 2008).

Estimaciones de la recarga a ambas capas acuíferas, para el período 2002-2006, arrojan valores de 63 mm/año para la capa acuífera libre y de 18 mm/año para la capa semiconfinada subyacente (D'Elía *et al.*, 2007).

Para la estimación de la reserva se ha considerado un área rectangular que abarca la totalidad del campo de bombeo actual. Dada la singularidad constitutiva del sistema hidrogeológico bajo análisis (Tujchneider *et al.*, 2005b) y el carácter regional de la capa acuífera en explotación, sus extremos se dispusieron en función del radio de influencia de las perforaciones que integran el mismo. El área resultante fue de 20 Km².

La variación de cargas hidráulicas se evaluó para el período comprendido entre agosto de

2002 y abril del 2011. Se dispuso para ello de mediciones continuas de nivel de agua en dos pozos de monitoreo, PM5 y PM6, que registraban las oscilaciones en la capa acuífera libre y en la semiconfinada, respectivamente. Las variaciones oscilaron entre 3,82 y 9,72 m, para el acuífero libre, y entre 4 y 9,71 m para el semiconfinado (Figura 3).

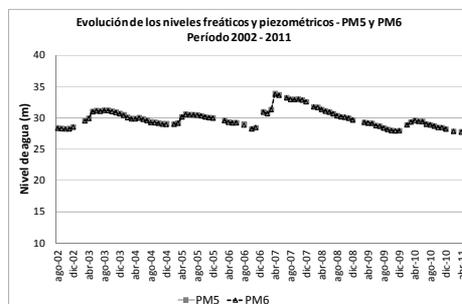


Figura 3 Niveles freático y piezométrico en los pozos de monitoreo

La evolución de los niveles que se observa en la Figura 3 indica una similitud para ambos puntos de control, lo que pone de manifiesto el comportamiento multicapa definido para este sistema.

De la conceptualización realizada, y las mediciones efectuadas en campo, el valor de reserva total estimada para el área es de 43,4 Mm³.

Demanda

De acuerdo al Censo 2010, la población de la ciudad de Esperanza es de 42082 habitantes. El 97 % de estos habitantes cuenta con servicio de agua potable (ASSA, Aguas Santafesinas S.A. –empresa prestataria del servicio- en su sitio institucional).

La explotación del agua subterránea en el distrito Esperanza se realiza a través de un campo de bombeo cuyas perforaciones se encuentran mayormente ubicadas en una zona rural, al oeste de la ciudad. (Figura 4).

Este campo de bombeo está compuesto por 28 perforaciones que extraen, en promedio, entre 38 y 78 m³/h (periodo 2008-2011).

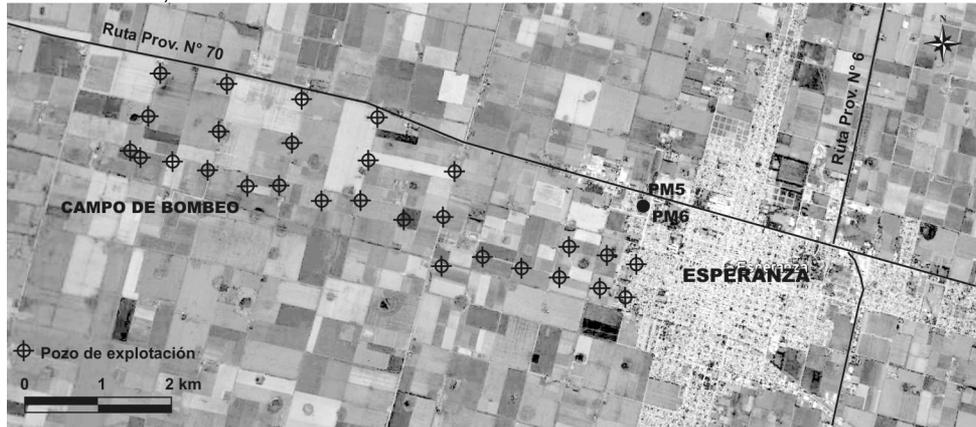


Figura 4 Ubicación de los pozos de bombeo

De acuerdo a lo informado por ASSA el volumen extraído del acuífero, en el año 2012, para abastecimiento fue de 13,86 Mm³.

Del total de perforaciones, 20 alimentan un acueducto con una capacidad máxima de conducción de 1080 m³/h, y que transporta el agua a la vecina localidad de Rafaela, situada a 50 km al oeste de Esperanza.

En particular, la ciudad de Esperanza es una ciudad que presenta un sostenido desarrollo social y económico. Muchas de sus industrias trascienden ampliamente el mercado local. De acuerdo a la información proporcionada por el CICAIE (Centro de Industria, Comercio y Afincados de Esperanza), a mayo de 2013, la ciudad de Esperanza cuenta con un número estimado de: 71 establecimientos industriales, 129 de servicio y 134 comercios.

En función del trazado de la red de agua potable, y la ubicación de los establecimientos industriales, la totalidad de estas empresas está ubicada dentro del radio del servicio de red de agua potable de ASSA (Figura 5).

No obstante ello, se tiene conocimiento que las industrias más importantes –de mayor

volumen de producción- poseen sus propias perforaciones. Sin embargo, se desconoce el volumen de agua subterránea empleado por las mismas en sus procesos productivos. Lo mismo ocurre con otras actividades económicas que se realizan en el área (por ejemplo: riego suplementario, bebida para ganado, otros).



Figura 5 Red de agua potable y ubicación de las industrias según CICAIE

Calidad natural del agua subterránea

En líneas generales, el agua alojada en el acuífero libre es utilizada para riego, abrevadero de ganado y consumo humano en el área rural. Su calidad es variable, y en algunas áreas se han evidenciado altos contenidos de nitratos (superiores a los 100 mg/l, D'Elía et al., 2012).

El agua alojada en el acuífero semiconfinado es bicarbonatada sódica, con contenidos salinos por debajo de los estándares establecidos en la normativa vigente (Ley 11.220). No obstante ello, en determinados períodos, esta capa acuífera ha evidenciado variaciones en su composición química debido, fundamentalmente, al régimen de explotación al que fue sometido y también al manejo de efluentes provenientes de la actividad industrial. Estas evidencias han sido estudiadas por Tujchneider *et al.*, 1998, 2005a, 2005b; Fili *et al.*, 1999; Paris *et al.*, 1998, 2011.

Cabe tener presente que la capa semiconfinada se encuentra, inferiormente, en contacto directo con el acuífero alojado en sedimentos de origen marino. Por lo tanto, si en la zona de explotación, la extracción es superior a la afluencia horizontal y a la recarga vertical, el caudal se verá compensado por la afluencia de agua de los niveles inferiores de mayor salinidad.

Indicadores de sustentabilidad de agua subterránea

El desarrollo de los *indicadores de sustentabilidad* de aguas subterráneas es un proceso de aproximación científica que presenta distintas características de los sistemas geohidrológicos de manera simplificada y comprensible. Estos indicadores, que se basan en datos medibles u observables, son científicamente robustos y políticamente relevantes, ya que suministran información acerca del estado actual, las tendencias y los impactos probables sobre estos sistemas (Vrba y Lipponen, 2007). Desde el punto de vista de su funcionalidad, un indicador es un instrumento útil para medir variaciones y posibilitar comparaciones (Pernía et al., 2005).

La selección de los indicadores de sustentabilidad de aguas subterráneas para el área objeto de estudio, proporciona un fundamento válido sobre el cual basar las acciones coordinadas en el proceso de toma de decisiones, y evaluar sus efectos sobre este sistema. Se basan en los Indicadores de Sustentabilidad del Recurso Hídrico Subterráneo propuestos en Vrba y Lipponen,

(2007). En particular los considerados por Hirata et al. (2007) quienes, de acuerdo al rango de cada indicador definido, asignaron tres categorías (baja, intermedia y alta) relacionadas a la situación que cada uno de ellos refleja. La categoría baja está asociada a una situación de cierta comodidad, mientras que la alta con una situación problemática o de alerta.

Cabe destacar que los criterios más utilizados para la selección de un indicador son: que tenga validez científica (buen conocimiento del sistema que se estudia), representatividad, fiabilidad y relevancia, que sea sensible a los cambios que se produzcan (tanto del medio como de las actividades humanas relacionadas con él), predictivo (de modo de alertar situaciones no deseadas), comparable y comprensible, que tenga cobertura geográfica y buena relación costo-eficiencia y por último, que proponga metas a alcanzar comparables a la situación actual (MIMAN, 2000).

Indicadores de la importancia del agua subterránea

Son aquellos que hacen referencia a la importancia del suministro público de las aguas subterráneas y al grado de participación del agua subterránea en los distintos usos. Hirata et al. (en Vrba y Lipponen, 2007) plantean dos indicadores de importancia que definen de la siguiente manera:

Indicador 1 (I1), expresado en %

$$I1 = \frac{\text{Población servida con agua subterránea}}{\text{Población total}} * 100$$

Para el área de estudio este indicador es igual a 97,5 %. Lo que implica una alta dependencia respecto a la oferta pública de las aguas subterráneas.

Indicador 2 (I2), expresado en %

$$I2 = \frac{\text{Extracción total del agua subterránea [m}^3\text{/año]}}{\text{Total del recurso [m}^3\text{/año]}} * 100$$

Para el área de estudio se ha considerado como extracción total a la informada por la empresa prestataria del servicio para abastecimiento humano: 13,86 Mm³/año.

Como total del recurso, y dado la falta de recursos hídricos superficiales aprovechables en el área, se ha considerado, a la reserva reguladora interanual (27,35 Mm³/año).

Este indicador presenta un valor de 50,7 %, demostrando la alta demanda del agua subterránea en la región.

Indicadores de explotación del agua subterránea

Son aquellos que relacionan el recurso de aguas subterráneas al total de la población, la extracción al recurso disponible y a la recarga, y los niveles piezométricos medidos en un período de tiempo.

Indicador 3 (I3),

$$I3 = \frac{\text{Recurso de agua subterránea } \left(\frac{\text{litros}}{\text{día}}\right)}{\text{Población total}}$$

La cantidad de agua subterránea disponible en relación a la cantidad de habitantes del área que la utilizan se torna un factor importante para caracterizar el desarrollo económico y social de una región.

Si bien no existe en la actualidad un valor umbral para este indicador, en términos relativos, cuanto mayor sea I3, mejores posibilidades existen de utilizar el recurso para distintos propósitos.

Este indicador resulta significativo para tomadores de decisión ya que marca una situación de stress del recurso, y por lo tanto, posibles amenazas para el desarrollo económico a largo plazo.

Para el área de estudio, este indicador toma un valor de 555 L/día/hab. De acuerdo a la clasificación propuesta por Hirata et al. (2007), el I3 estaría mostrando una situación de stress moderada ($500 < I3 < 1500$ L/hab/día).

Indicador 4 (I4), expresado en %

$$I4 = \frac{\text{Extracción total del agua subterránea } [\text{m}^3/\text{año}]}{\text{Total del recurso hídrico subterráneo } [\text{m}^3/\text{año}]}$$

Este indicador estaría demostrando el grado de dependencia relativa del agua subterránea. Para el área considerada su valor es igual al I2.

Indicador 5 (I5), expresado en %

$$I5 = \frac{\text{Extracción total del agua subterránea } [\text{m}^3/\text{año}]}{\text{Recarga al sistema subterráneo } [\text{m}^3/\text{año}]}$$

Este indicador se refiere a la sustentabilidad del recurso de agua subterránea en función de las posibilidades de recarga local que se presentan en el área.

Los cálculos realizados para este indicador arrojan un valor de 4,85.

Al ser este indicador mayor que 1, se evidencia que las posibilidades de recarga local no son suficientes para mantener el equilibrio en este sistema.

Indicador 6 (I6)

Este indicador, que fue definido por Pernía et al. (2005) como un “índice de llenado”, fue adaptado a la información local disponible. Para este caso, se lo considerara como un valor que mide las oscilaciones del nivel de agua respecto a los valores extremos medidos durante un período de registro determinado. El período de registro, en lo posible, debe ser lo suficientemente amplio como para abarcar distintos tipos de eventos (período de lluvias, sequías, bombeos prolongados, etc.). Para el área de análisis, este indicador presenta una tendencia decreciente (Figura 6), coherente con el resultando obtenido para I5.

$$(I6_h)_i = \frac{NP_i - (NP_{\min})_i}{(NP_{\max})_i - (NP_{\min})_i}$$

NP, es el nivel piezométrico medido en el mes i

NP_{max}, es el nivel piezométrico máximo del periodo histórico considerado en el mes i

NP_{min}, es el nivel piezométrico mínimo del periodo histórico considerado en el mes i.

h, es el periodo histórico (años)

i, es la fecha (mes) en que se efectúa la medición

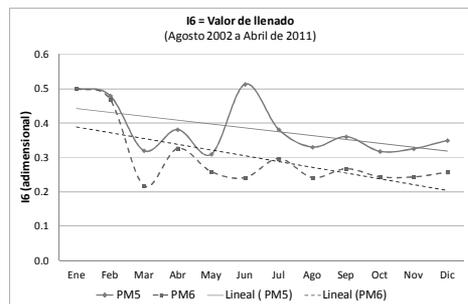


Figura 6 Distribución media mensual del I6 para el período agosto 2002 a abril de 2011

Indicadores de calidad del agua subterránea

Son aquellos que informan el estado actual y las tendencias espaciales y temporales de la calidad del agua, tanto con respecto a la existencia de áreas con problemas naturales de calidad como a la vulnerabilidad intrínseca de un acuífero o sistema acuífero.

Respecto a la calidad natural del agua alojada en el acuífero en explotación, no se han evidenciado problemas naturales de calidad del

agua (conforme a estándares para agua potable). Sólo en determinados períodos, en los que se reflejó el modo de explotación, existió la afluencia de agua de mayor salinidad de los niveles inferiores y aportes del nivel superior.

Para evidenciar en forma temprana el deterioro de los recursos hídricos por estos procesos, Paris et al. (2011) han propuesto el uso del seguimiento de cloruros, sulfatos, nitratos, calcio y conductividad eléctrica, definiendo niveles umbrales y de alerta para cada uno de ellos.

En relación a la vulnerabilidad, París et al. (2010) presentaron el mapa de vulnerabilidad a la contaminación de los recursos hídricos subterráneos en explotación en un sector de la cuenca inferior del río Salado (provincia de Santa Fe, Argentina), correspondiente a un área aledaña a la localidad de Esperanza y al área objeto de estudio. En función de ese trabajo se pudo determinar que, para profundidades medias a bajas del nivel de agua, la totalidad del área de estudio presenta un índice de vulnerabilidad medio. Mientras que para profundidades mínimas, el 50 % del área presenta un índice de vulnerabilidad alto.

Indicador 7 (I7), expresado en %

Hirata et al. (en Vrba y Lipponen, 2007), definen al indicador de vulnerabilidad por la relación:

$$I7 = \frac{\text{Área total con alta vulnerabilidad [km}^2\text{]}}{\text{Área total considerada [km}^2\text{]}} * 100$$

De acuerdo a la expresión de I7, para el caso considerado, éste toma valores altos en el caso de profundidades mínimas del nivel de agua ($I7 > 10\%$), lo que estaría evidenciando una situación de alerta.

Conclusiones

La función principal de un indicador de sustentabilidad de los recursos hídricos subterráneos es la de condensar información referida a los mismos, simplificar la descripción del estado y las tendencias de su funcionamiento y servir como un instrumento útil para la comunicación.

Uno de los mayores retos al definir estos indicadores es, en primera instancia, el de disponer de un modelo conceptual hidrogeológico del área bajo análisis. La escala también es un atributo importante para el desarrollo e implementación de un indicador, ya que condiciona no solo la disponibilidad de información sino también la representatividad de

los mismos. Por lo que la información que se disponga y procese para definir estos indicadores debe ser la adecuada y debe ser cuidadosamente considerada.

Los indicadores seleccionados para el área analizada han permitido sintetizar la situación actual de los recursos hídricos subterráneos bajo diferentes aspectos: la importancia del agua subterránea en la región; la extracción que se está realizando de este recurso y la calidad natural del agua subterránea.

Con respecto a la importancia del recurso hídrico subterráneo en la región, los indicadores I1 e I2 corroboraron la alta dependencia y la alta demanda de este recurso.

No obstante, el escenario descripto para el I2 sugiere que el agua subterránea puede seguir utilizándose atendiendo a las restricciones económicas (caudal para otros usos) y condiciones ambientales (ecosistemas dependientes, conservación del flujo base).

Con respecto a los indicadores de explotación de las aguas subterráneas, los más destacados son I5 e I6. El primero de ellos (I5) señala que la recarga local no es suficiente para satisfacer la demanda actual en el área considerada. El I6, que fue calculado sobre datos medidos del sistema acuífero, manifiesta una tendencia decreciente para el período considerado. Ambos indicadores presentan resultados coherentes.

Los indicadores de calidad del agua subterránea advierten a los planificadores, políticos y tomadores de decisión, acerca de la sensibilidad de este sistema a sus condiciones naturales y régimen de explotación al que es sometido.

Los indicadores presentados en este trabajo son una primera aproximación sobre la cual seguir avanzando. Se debió afrontar el hecho de estimar con datos insuficientes. En futuras etapas se focalizará en las estimaciones que deberían realizarse para considerar las descargas del sistema (tanto naturales como antrópicas no registradas) y las entradas al mismo (flujos de retorno, afluencia lateral y vertical) más acotadas.

Agradecimientos

A la Universidad Nacional del Litoral por el financiamiento otorgado para la realización de esta investigación. A la empresa Aguas Santafesinas S.A. (ASSA), al Ente Regulador del Servicio Sanitario de la provincia de Santa Fe (ENRESS), y al Centro de Industria, Comercio y Afincados de Esperanza (CICAE) por la información proporcionada.

Referencias

- D'Elía M., Tujchneider O., Paris M. y Pérez M. 2007. Evaluación de la recarga a los acuíferos en un sector del centro de la Provincia de Santa Fe. *V Congreso Argentino de Hidrogeología*. 479-488. Paraná, Entre Ríos, Argentina.
- D'Elía M., Tujchneider O., Paris M., Perez M. y Gervasio S. 2008. Groundwater recharge assessment using environmental tracing methods". *5th International Conference on Tracers and Tracing Methods - TRACER 5*. Tiradentes, Mina Gerais, Brasil.
- D'Elía M., Tujchneider O., Paris M., Perez M. & Pusineri G. 2012. Caso de Estudio: Acuífero de La Cuenca Baja del Río Salado, Argentina. *Acuíferos rurales en Latinoamérica. Metodologías de Análisis y Aplicación de Tecnologías para el Manejo Sostenible de Acuíferos en Zonas Rurales* L.Ribeiro, T. Betancur, M. D'Elía (editores).
- Fili M. y Tujchneider O. 1977. Características geohidrológicas del subsuelo de la Provincia de Santa Fe (Argentina). *Revista de la Asociación de Ciencias Naturales del Litoral* (8), 105-113.
- Fili M., Tujchneider O., Paris M., Pérez M., D'Elía M. 1999. Estudio del sistema de aguas subterráneas en el área de Esperanza-Humboldt y zona de influencia. *Servicio Especializado de Asistencia Técnica*. Informe Final.
- Hirata R., Vieira Suhogusof A., Fernandes A. 2007. Groundwater resources in the State of São Paulo, Brazil. En: *Groundwater resources sustainability indicators*. Series on Groundwater N° 14. 73-84.
- INDEC, 2010. Censo Nacional de Población y Vivienda
- MIMAM, 2000. Indicadores Ambientales. Una propuesta para España. Serie monografías. Ministerio de Medio Ambiente de España. I.S.B.N.:84-8320-098-8.
- Paris M., Tujchneider O., D'Elía M., Perez M. y Fili, M. 1998. Estudio de la interacción entre el sistema hídrico subterráneo y las actividades industriales en la Ciudad de Esperanza (Provincia de Santa Fe - República Argentina). Primera fase. *XVII Congreso Nacional del Agua y II Simposio de Recursos Hídricos del Cono Sur*. 80-89.
- Paris M., D'Elía, M., Pagliano M., Pusineri G., Gualini S., Tujchneider O. y Perez M. 2010. Mapa de vulnerabilidad a la contaminación de acuíferos en Esperanza (Santa Fe, Argentina). Consideración de su dinámica temporal. *X Congreso Latinoamericano de Hidrología Subterránea*. Ref. 10 Comisión T1. Caracas, Venezuela.
- Paris M., Tujchneider O., Pérez M. y D'Elía M. 2011. Identificación de indicadores de calidad del agua subterránea con métodos estadísticos multivariados. *VII Congreso Argentino de Hidrogeología y V Seminario Hispano-Latinoamericano Sobre Temas Actuales de la Hidrología Subterránea. Calidad y Contaminación de Agua Subterránea*. 268-275. Salta, Argentina,
- Pernía, J. M.; Lambán, L. J.; Molinero, A. 2005. Indicadores e índices sobre el estado cuantitativo de las aguas subterráneas en función del nivel piezométrico. Aplicación al acuífero de la Sierra de Estepa. *VI Simposio del Agua en Andalucía*. IGME. 843-853.
- Tujchneider O., Paris M., Fili M., D'Elía M., Perez M. 1998. Protección de aguas subterráneas. Caso de estudio: ciudad de Esperanza (República Argentina). Primera fase: Diagnóstico del sistema. *IV Congreso Latinoamericano de Hidrología Subterránea*. Vol. 2, 805-821. Montevideo, Uruguay.
- Tujchneider O., Paris M., D'Elía M., Perez M., Fili M. 2000. Modelo de gestión de los recursos hídricos subterráneos en el centro-oeste de la provincia de Santa Fe, Argentina. *1^{er} Joint World Congress on Groundwater. XI Congreso de ABAS y V Congreso de ALHSUD*. Trabajo completo en CD Rom. Fortaleza, Brasil.
- Tujchneider O., Perez M., Paris M., D'Elía M. 2005a. Deterioro de fuentes de agua subterránea por ascenso de agua salada. *IV Congreso Argentino de Hidrogeología y II Seminario Hispano - Latinoamericano sobre temas actuales de la Hidrología Subterránea*. Tomo II. 217-226. Río Cuarto, Córdoba, Argentina.
- Tujchneider O., Paris M., Perez M., D'Elía M. 2005b. Singularidad constitutiva de sistemas geohidrológicos de llanura y gestión de los recursos hídricos subterráneos. *Revista Latino-Americana de Hidrogeología*. (5): 117-121.
- Vrba J., Lipponen A. 2007. *Groundwater resources sustainability indicators*. UNESCO, IAEA, IAH. IHP-VI, Series on Groundwater N° 14.