

RIA, 34 (1): 85-99  
Abril 2005  
INTA, Argentina

ISSN edición impresa 0325-8718  
ISSN edición en línea 1669-2314

## VULNERABILIDAD DEL ACUÍFERO PAMPEANO A LA CONTAMINACIÓN EN EL NORTE DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES. APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DRASTIC

REYNOSO, L.; SASAL, C.; PORTELA, S.; ANDRIULO, A.<sup>1</sup>

### RESUMEN

La vulnerabilidad de los acuíferos a la contaminación es una propiedad intrínseca que determina su susceptibilidad a ser afectado adversamente por una carga contaminante. El método más utilizado para estimarla es el índice DRASTIC (ID), basado en la valoración de siete parámetros hidrogeológicos: profundidad hasta el nivel freático (D), recarga neta (R), material del acuífero (A), tipo de suelo (S), topografía (T), impacto de la zona no saturada (I) y conductividad hidráulica (C). Éste índice permite establecer zonas con distinto grado de vulnerabilidad y realizar mapas de vulnerabilidad. El objetivo de este trabajo fue evaluar la vulnerabilidad general a la contaminación del Acuífero Pampeano, en el N de la provincia de Buenos Aires, utilizando la metodología DRASTIC. El ID promedio obtenido para un período con precipitaciones similares al promedio histórico fue de 117, correspondiente a la clasificación de vulnerabilidad moderada. Se registraron valores extremos de 97 (20 km al N de la localidad de Pergamino) y 134 (entre las localidades de Junín y Chacabuco), que se clasificaron como de vulnerabilidad baja y moderada, respectivamente. Luego se analizó un período muy lluvioso (con precipitaciones anuales 50 % más elevadas que el promedio histórico) que produjo mayor recarga neta y elevó los niveles freáticos. Los valores de ID se elevaron ca. 54 %, pasando a vulnerabilidad moderada y alta, en Pergamino y Junín, respectivamente. La contribución del parámetro S a la vulnerabilidad cobra importancia

---

<sup>1</sup> INTA EEA Pergamino, ruta 32, km 4.5 (2700) Pergamino, Buenos Aires. Correo electrónico: andriulo@pergamino.inta.gov.ar

RIA, 34 (1): 85-99. Abril 2005. INTA, Argentina

hacia el sur de la región de estudio por la presencia de suelos más arenosos que, conjuntamente con su desarrollo en un ámbito geomorfológico endorreico y con una baja pendiente general, conllevan una recarga elevada y, por lo tanto, elevan el ID. Por consiguiente, en períodos muy lluviosos, y a igualdad de carga contaminante, la agricultura practicada sobre suelos arenosos aumenta el riesgo de contaminación del acuífero.

Palabras clave: acuífero pampeano – vulnerabilidad – contaminación – metodología DRASTIC – Norte de Buenos Aires

## SUMMARY

### VULNERABILITY OF THE PAMPEANO AQUIFER IN THE NORTH OF BUENOS AIRES PROVINCE USING DRASTIC METHODOLOGY

Aquifer vulnerability to contamination is an intrinsic property that determines its susceptibility to be adversely affected by a polluting load. The most frequently used method for its estimation is the DRASTIC index (DI), developed by the United States Agency of Environmental Protection (USEPA). It is based on the rating of seven hydrogeological parameters: depth to water table (D), net recharge (R), geological profile of the aquifer (A), soil type (S), topography (T), impact of the unsaturated zone (I) and hydraulic conductivity (C). This index allows to characterize areas according to their vulnerability and then map them. The objective of this work was to evaluate general vulnerability to contamination of the Pampeano aquifer in the North of Buenos Aires province, using the DRASTIC methodology. The mean DI value obtained for a period with average annual precipitation was of 117, corresponding to moderate vulnerability. The DI ranged between 97 (20 km North of Pergamino) to 134 (between Junín and Chacabuco), corresponding to low and moderate vulnerability, respectively. Then, a very rainy period was analyzed (50 % more rain than in average years) which produced high net recharge and raised the water table. The DI values for this period were 54% higher and vulnerability classification was moderate and high, in Pergamino and Junín, respectively. The contribution of the parameter S to vulnerability was more important in the South of the studied area due to the presence of sandy soils that, together with their development in an endorreic geomorphic environment and with a low general slope, have higher net recharge and, therefore, higher DI values. Thus, in very rainy periods, and with the same load of pollutant, the agriculture practiced in areas with sandy soils increases the risk of aquifer contamination.

Key words: Pampeano aquifer – vulnerability – contamination – DRASTIC methodology – North of Buenos Aires province

86 Vulnerabilidad del Acuífero Pampeano a la contaminación en el Norte...

RIA, 34 (1): 85-99. Abril 2005. INTA, Argentina

## INTRODUCCIÓN

La principal fuente de agua potable para muchas regiones de nuestro país está constituida por las aguas subterráneas. Sin embargo, en muchos casos, éstas son destino de los residuos de naturaleza líquida, producto de la actividad del hombre. En las zonas agrícola-ganaderas puede generarse contaminación por la aplicación de fertilizantes y/o plaguicidas en exceso y por la descomposición de residuos orgánicos (USDA-SCS, 1992). El deterioro de los acuíferos puede ser irreversible, o su saneamiento extremadamente costoso (Foster e Hirata, 1991). Además, la percepción de la población acerca de este problema y/o la preocupación por la protección de las aguas subterráneas es escasa o nula.

El primer paso hacia la protección de las aguas subterráneas es tomar conciencia de la escala y de la seriedad del problema. Para ello es necesario cuantificar la propensión de los acuíferos a contaminarse, investigar cuáles son los factores que aumentan el riesgo de contaminación y, acorde a esta información, tomar medidas precautorias para evitar el problema de contaminación (Foster et al, 1992).

La vulnerabilidad general de un acuífero a la contaminación es una propiedad intrínseca que establece su susceptibilidad a ser afectado adversamente por una carga contaminante, independientemente de la presencia de contaminantes (Foster et al., 1987). Este concepto de vulnerabilidad general debe considerarse como una aproximación hacia la determinación de vulnerabilidad específica a algún contaminante en particular (nutriente, patógeno, pesticida, etc.) o en el marco de alguna actividad determinada (industrial, saneamiento doméstico, agrícola-ganadera, etc.) (Auge, 2003).

Uno de los métodos más empleados en la actualidad para estimar la vulnerabilidad de un acuífero a la contaminación, es el de índice DRASTIC, desarrollado por la Agencia de protección ambiental de E.E.U.U. (Aller et al., 1987). Este método, es uno de los más conocidos entre modelos similares utilizados para tal fin (Auge, 2003). Es muy utilizado en los EEUU y también fue adoptado en Europa (Lobo et al., 1997; Martínez et al., 1998; Secunda et al., 2001), Asia (Sharadghah, 2001; Thirummalaivasan et al. 2003) y Australia (Piscopo, 2001).

La información generada mediante este índice se refiere a la posibilidad de que un acuífero se contamine dadas sus características intrínsecas y no puede correlacionarse a predicciones acerca de su contaminación

RIA, 34 (1): 85-99. Abril 2005. INTA, Argentina

actual. Este último aspecto deberá determinarse por otro tipo de evaluaciones. Para considerar la vulnerabilidad específica de un área determinada de estudio, se debería contar con mediciones de carga de contaminantes en pozos de la región durante un período determinado (Thirumalaivasan et al. 2003).

En nuestro país se cuenta con escasas referencias acerca del uso de esta metodología (Natale et al., 2002). Al requerir de siete parámetros, se hace más difícil de desarrollar que otras metodologías como el Índice GOD que necesita sólo tres parámetros, pero la información que se obtiene del ID es más detallada (Auge, 2003). En el N de la provincia de Buenos Aires, el uso actual de la tierra es predominantemente agrícola, y algunos sectores bajos están dedicados a la ganadería. La rotación agrícola está constituida por soja, maíz, trigo y girasol. Desde mediados de la década de 1970, la agricultura pampeana creció significativamente, y este ritmo de crecimiento se acentuó, sobre todo, en los últimos 20 años. En este período mejoró la productividad de todos los cultivos y se registraron cosechas récord. Por otro lado, en las regiones de aptitud agrícola, la agricultura continua desplazó los sistemas de producción mixtos y cambió el régimen de tenencia de la tierra. El nuevo esquema de producción a partir de la década del 90 se caracteriza por grandes superficies bajo siembra directa continua y alta presión del cultivo de soja que han incrementado el uso de fertilizantes y plaguicidas.

El objetivo del presente trabajo fue evaluar la vulnerabilidad general a la contaminación del Acuífero Pampeano, en el N de la provincia de Buenos Aires, utilizando la metodología DRASTIC, con la información disponible en esta área para un período climático. Además, se analizó la contribución relativa de cada uno de los parámetros que constituyen el índice.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Descripción del área:

El área de estudio concuerda con la región maicera tradicional del N de la provincia de Buenos Aires. Abarca 1.800.000 ha, entre los paralelos 33° 40' y 34° 40' de latitud S y los meridianos 60° y 61° 30' de longitud O. El relieve es suavemente ondulado con pendientes que no superan el 3%; en algunos sectores muy reducidos pueden llegar a 5% (Michelena et al., 1989). Los suelos son profundos pudiendo alcanzar los 2 m, sin limitacio-

88 Vulnerabilidad del Acuífero Pampeano a la contaminación en el Norte...

RIA, 34 (1): 85-99. Abril 2005. INTA, Argentina

nes en el perfil, lo que permite una alta retención de humedad. La textura es variable, en el E predominan los Argiudoles con horizontes B texturales con más del 35% de arcilla y un espesor superior a 0,50 m. Hacia el SO, se encuentran los Hapludoles, de textura media a gruesa, con menos arcilla y sin horizonte B textural (INTA, 1974).

El clima es templado, con temperaturas medias que oscilan entre 10 y 12° C en el invierno y 23 y 25 °C en el verano. La precipitación media anual varía desde 1000 mm en el E hasta 800 mm en el O (período 1941-1960); las estaciones más lluviosas son la primavera y el otoño. Generalmente, las lluvias otoño-invernales recargan los acuíferos mientras que las primavero-estivales se pierden por evapotranspiración.

La geología superficial de la región es uniforme, sólo alterada por algunos cortes de ríos y arroyos donde afloran distintas partes de la secuencia estratigráfica. No hay deformaciones tectónicas en el área (Santa Cruz, 1988). Los sedimentos Pampeanos, loess, están integrados por limos con fracciones subordinadas de arena y arcilla con frecuentes intercalaciones calcáreas en forma de nódulos blancos continuos (tosca) y tienen espesores de hasta 100 metros. También hay depósitos de arenas muy finas en el área de Junín, correspondiente a la formación Junín, compuesta de sedimentos limo arenosos a areno limosos (Santa Cruz y Silva Busso, 1999).

Descripción de la metodología DRASTIC:

La construcción del índice DRASTIC (ID) se basa en la determinación de siete parámetros hidrogeológicos a los que se les da dos valoraciones: un peso relativo (5 a 1) según sea más o menos importante en su contribución a la contaminación y una escala (1 a 10) según el menor o mayor impacto sobre la vulnerabilidad. Los parámetros son:

- 1- Profundidad hasta el nivel freático (D)
- 2- Recarga neta (R)
- 3- Material del acuífero (A)
- 4- Suelo (S)
- 5- Topografía (T)
- 6- Impacto de la zona no saturada (I)
- 7- Conductividad hidráulica (C)

Este índice de vulnerabilidad es igual a la sumatoria de los productos del peso (p) por el impacto (i) de cada parámetro:

REYNOSO, L.; SASAL, C.; PORTELA, S.; ANDRIULO, A.

89

RIA, 34 (1): 85-99. Abril 2005. INTA, Argentina

$$ID = DpDi + RpRi + ApAi + SpSi + TpTi + Ipli + CpCi$$

Se trabajó con mapas a escala 1:500000, trazando cuadrículas de 0,02 x 0,02 m, correspondientes a 100 km<sup>2</sup>, sobre las que se determinó el ID medio. Esta unidad de trabajo se utiliza en forma corriente tanto para modelos hidrogeológicos, como para la toma de decisiones en planificación del uso de la tierra y en manejo del agua subterránea (Secunda et al.,

Tabla 1. Parámetros DRASTIC con su peso relativo de importancia y los rangos encontrados en el área de estudio con sus correspondientes puntajes.

Parámetro	Peso Relativo	Rango	Puntaje
(D) Profundidad de la capa freática	5	(1,5- 3 m) a (3- 10,5 m)	9 a 7
(R) Recarga neta	4	(0- 5) a (5- 10) cm/año	1 a 3
(A) Material del acuífero	3	Franco a franco arcillo arenoso	3 a 6
(S) Suelo	2	Franco arenoso a franco arcilloso	7 a 3
(T) Topografía	1	0- 2 %	10
(I) Impacto de la zona no saturada	5	Franco arcillo arenoso (loess)	6
(C) Conductividad hidráulica	3	$-5 \times 10^{-3}$ a $5 \times 10^{-1}$ (cm/seg)	1

1998). Los valores utilizados se presentan en la Tabla 1 (Sharadghah, 2001; Thirumalaivasan et al., 2003).

Cada uno de los parámetros es volcado a un mapa por separado y la superposición de los siete mapas resulta en el mapa de ID, que permite visualizar las zonas de distinto grado de vulnerabilidad con distintos colores. En la Tabla 2 se presentan los rangos de vulnerabilidad normalmente utilizados (Sharadghah, 2001).

90 Vulnerabilidad del Acuífero Pampeano a la contaminación en el Norte...

RIA, 34 (1): 85-99. Abril 2005. INTA, Argentina

Tabla 2 - Distribución del índice DRASTIC en rangos de vulnerabilidad.

ID	Descripción
23 – 99	Vulnerabilidad baja a la contaminación
100 – 159	Vulnerabilidad moderada a la contaminación
160 – 230	Vulnerabilidad elevada a la contaminación

Información utilizada para la valoración:

a) Profundidad de la capa freática (D): se utilizaron datos de 79 pozos correspondientes a un relevamiento realizado en el año 1986, con el objetivo de evaluar la calidad y disponibilidad de agua para riego (Relancio et al., 1986).

b) Recarga Neta (R): se estimó como la diferencia entre el agua de lluvia y/o riego y lo que se pierde por evapotranspiración y escorrentía. Los datos de Balance Hídrico (precipitación, evapotranspiración según Thornthwite) fueron tomados de las Cartas de suelos de la República Argentina de INTA (1974). El escurrimiento superficial se calculó por el método de la Curva Número, para un tipo promedio de lluvias y para una situación promedio de uso de la tierra (SCS, 1964). Este método es una descripción de la infiltración; combina infiltración con pérdida inicial (intercepción y límite de almacenamiento) para la estimación del exceso de agua que puede aparecer como escurrimiento. Es el más utilizado en el campo de la Física de suelos y de la Hidrología (EPA, 1998).

c) Características litológicas de los acuíferos (A) y de la zona no saturada o vadosa (I): se obtuvieron del mismo trabajo que el punto a).

d) Suelo (S): las características de las distintas series de suelo, al igual que la pendiente (T) se tomaron de las Cartas de Suelos de la Rep. Arg. Hojas 3360-31 (INTA, 1974), 3360-32 (INTA, 1972), 3360-33 (INTA, 1973), 3560-1 (INTA-1974), 3560-2 (INTA, 1974), 3560-3 (INTA, 1974), 3560-7 (INTA, 1980) y 3560-9 (INTA, 1980). Se ponderó el puntaje individual en base a la textura y la profundidad de todos los horizontes, considerando la profundidad total del suelo.

e) Conductividad hidráulica (C): se tomó el valor de tabla del loess = 0,08 m/día (Timlin et al., 2003).

RIA, 34 (1): 85-99. Abril 2005. INTA, Argentina

Para comprobar cómo influyen en el valor de ID los cambios en los parámetros D y R, se tomaron los registros de precipitación y altura de capa freática del año 2001 de la unidad de experimentación y monitoreo de la contaminación del agua subterránea ubicada a 30 km al N de la EEA Pergamino del INTA y con ellos se calculó nuevamente el índice para la celda correspondiente al punto de muestreo. Lo mismo se realizó para un área cercana a la localidad de Junín.

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El índice DRASTIC promedio obtenido para la región N de la provincia de Bs. As. fue de 117, correspondiente a la clasificación de vulnerabilidad moderada (Figura 1). Este se obtuvo como la sumatoria del valor

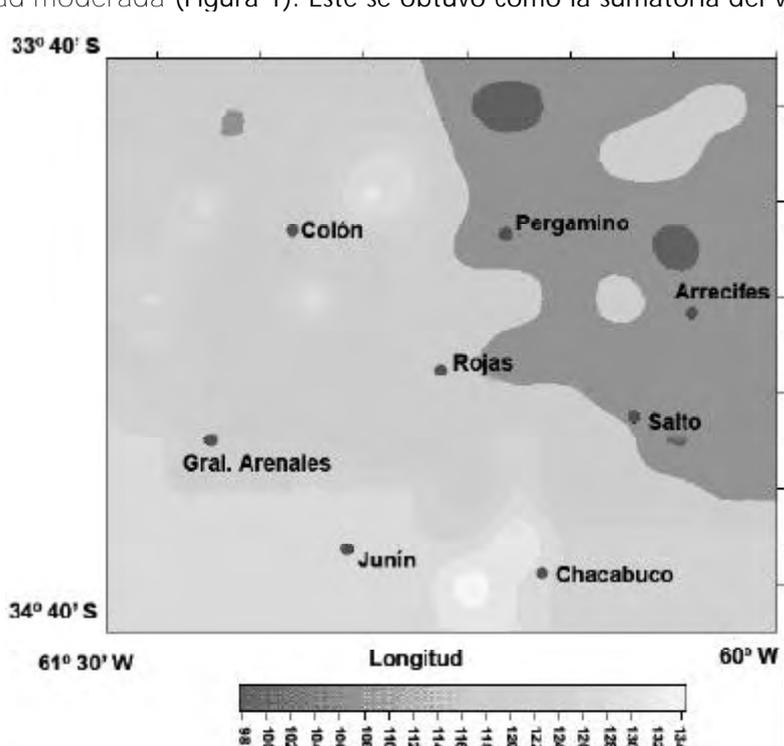


Figura 1. Mapa de vulnerabilidad general para el área

92 Vulnerabilidad del Acuífero Pampeano a la contaminación en el Norte...

RIA, 34 (1): 85-99. Abril 2005. INTA, Argentina

promedio de todas las celdas en que fue dividida el área de estudio para cada uno de los parámetros (Figura 2). Foster et al. (1987) trabajando con el índice GOD, que tiene en cuenta las características genéticas del ambiente hidrogeológico, obtuvieron un resultado similar de vulnerabilidad, para un área mucho más amplia que abarcó parte de Argentina, Paraguay y Brasil.

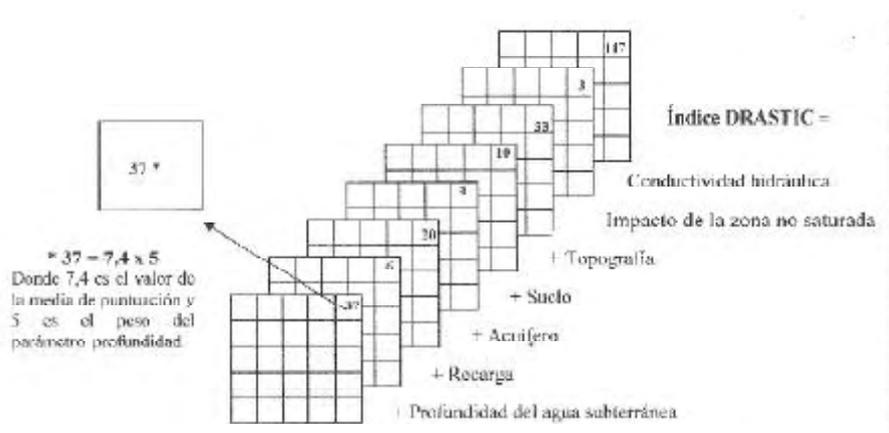


Figura 2. Valor promedio de todas las celdas del área de estudio para cada uno de los parámetros del índice DRASTIC.

Se registraron valores extremos de ID en dos de las 182 celdas en que se dividió el mapa de la región. Éstos fueron de 97 (a 20 km al N de la ciudad de Pergamino) y 135 (entre las localidades de Junín y Chacabuco), clasificándose como de vulnerabilidad baja y moderada, respectivamente. En toda el área y para el período estudiado no se registraron valores de vulnerabilidad alta (Figura 1). En general, los sitios de vulnerabilidad baja están ubicados dentro de la pampa ondulada alta y los de vulnerabilidad moderada a alta dentro de la pampa ondulada baja y en tránsito hacia la pampa arenosa.

En la Tabla 3 se presentan los valores promedio de cada parámetro y el porcentaje que cada uno de ellos representa con respecto al valor del ID medio para el área completa. Los parámetros A, T, I y C representaron el 56 % del ID. Pueden considerarse como los más estables, ya que no son factibles de modificar a mediano o largo plazo.

RIA, 34 (1): 85-99. Abril 2005. INTA, Argentina

Tabla 3. Índice DRASTIC medio para el área, valor promedio de cada parámetro y porcentaje que representan del puntaje general.

Índice General para la región NO de la provincia de Buenos Aires = 117							
	D	R	A	S	T	I	C
Promedio	37,0	6,3	19,7	8,0	10,0	32,9	3,0
% del Total	31,6 %	5,4 %	16,8 %	6,9 %	8,5 %	28,1 %	2,6 %

El parámetro S sólo representa un 6,9 % del puntaje total medio para toda el área. Sin embargo, su contribución a la vulnerabilidad cobra importancia fundamentalmente hacia el sur por la presencia de suelos más arenosos que, conjuntamente con su desarrollo en un ámbito hidrogeomorfológico endorreico y con una baja pendiente general, conllevan un aumento de la recarga y, por lo tanto, elevan los valores de ID. Esto puede visualizarse en la Tabla 4 cuando se comparan las dos celdas de valores extremos de ID (97 y 134), ubicadas en los partidos de Pergamino y Junín, respectivamente. El parámetro S aumenta 1 punto, pero R aumenta 8 puntos, al pasar de un Argiudol a un Hapludol. En las zonas ubicadas entre Chacabuco y Junín, donde los movimientos verticales de agua predominan sobre los horizontales, existen formaciones medanosas que acentúan esta condición por ubicarse perpendicularmente a las pendientes zonales.

Tabla 4. Valores de índice DRASTIC calculados para las dos celdas con menor y mayor vulnerabilidad del acuífero en Pergamino y Junín, respectivamente.

Valores del índice DRASTIC para dos celdas ocupadas por Argiudoles (partido de Pergamino) y Hapludoles (partido de Junín)								
	D	R	A	S	T	I	C	ID
Pergamino	25	4	18	7	10	30	3	97
Junín	45	12	21	8	10	35	3	134

Los cambios en el suelo inducidos por el manejo no han sido contemplados. Los cambios en la profundidad de los horizontes, como por ejemplo la desaparición de horizontes superficiales por erosión o aparición de horizontes subsuperficiales endurecidos deberían cambiar los valores del

RIA, 34 (1): 85-99. Abril 2005. INTA, Argentina

parámetro S. En algunos trabajos se propone incorporar un parámetro extra al ID que represente al tipo de actividad que realiza el hombre (Secunda et al., 1998).

La suma de los parámetros D y R representa el 32,8 % de la puntuación total. Éstos constituyen los parámetros más susceptibles de modificarse por las condiciones climáticas en el mediano plazo. La recarga neta depende directamente del balance hídrico, pero también está influenciada por la actividad del hombre. En el presente trabajo el ID fue obtenido con datos de balance hídrico de un período de veinte años (1941-1960) y con profundidades de capa freática tomados en 1986. En el período 1980-1986 las precipitaciones concordaron con los registros históricos. En los últimos años, el régimen de precipitaciones ha aumentado sensiblemente en toda el área y, en la mayoría de los casos, la profundidad de la capa freática ha disminuido en forma notoria. Más allá de la magnitud del exceso anual, es aún más importante para el ascenso de los niveles freáticos, la cantidad de años consecutivos en que se presentaron dichos excedentes. Ello produce un efecto acumulativo en los volúmenes de agua almacenados en el acuífero. Como el tiempo de recuperación de su capacidad de almacenamiento es mayor que la sucesión de estos períodos lluviosos, el sistema físico se encuentra con mayor cantidad de agua acumulada al inicio de una nueva situación de lluvias, las que sin ser de extrema magnitud generan una superposición de efectos y el sistema entra rápidamente en niveles freáticos muy someros o en estado de inundación (Paoli y Giacosa, 2003).

Al comparar los registros históricos con datos pluviométricos del año 2001, se observa que un sector perteneciente a la pampa ondulada alta - incluido dentro de una red de avenamiento con capacidad para evacuar los excedentes hídricos durante períodos con precipitaciones normales - que presentaba vulnerabilidad baja (ID = 97), puede elevar sensiblemente su vulnerabilidad debido a ascensos importantes de la freática. La vulnerabilidad se acercó al límite de vulnerabilidad alta, registrando un valor de 149 (Tabla 5).

También en el área cercana a la localidad de Junín se obtuvieron resultados similares con respecto al aumento en la vulnerabilidad. En 2002, en esta zona, la profundidad de la freática estuvo entre 0,3 y 1,3 m, muy cercana a la superficie, y las precipitaciones anuales promedio alcanzaron los 1705 mm. Esta situación elevó el ID de 135 hasta 164, es decir la

RIA, 34 (1): 85-99. Abril 2005. INTA, Argentina

Tabla 5. Registros de dos años contrastantes de precipitación media anual, recarga neta y profundidad de la napa freática, con su correspondiente valoración para el ID.

Año	Precipitación anual (mm)	Recarga (cm/año)	Puntaje R	Prof. de napa (m)	Puntaje D	ID
1985	946	4,03	1*4 = 4	11,10	5*5 = 25	97
2001	1505	74,13	9*4 = 36	3,36	9*5 = 45	149

vulnerabilidad llegó a la categoría de alta. Por lo tanto, en los años muy lluviosos donde se producen ascensos de napa importantes que aumentan la vulnerabilidad del acuífero, la actividad agrícola generaría mayores riesgos de contaminación. A igualdad de carga contaminante, la agricultura practicada en suelos arenosos, bajo el ambiente hidrogeológico del extremo sur de la región estudiada, eleva mucho más el riesgo de contaminación del acuífero. Esta zona ya ha sido señalada como de muy elevado riesgo hídrico ante eventos hidrológicos extremos y en la actualidad presenta valores elevados de nitrato de origen agrícola en las aguas subterráneas (Hernández et al. 2003).

El alcance de la evaluación de la vulnerabilidad general o intrínseca de los acuíferos sirve para la planificación regional del uso sustentable de los recursos suelo y agua. Si además se agregara el estudio de la carga contaminante se podría obtener un mapa de riesgo de la contaminación.

## CONCLUSIONES

- A nivel regional, la vulnerabilidad a la contaminación del Acuífero Pampeano para años con precipitaciones promedio es moderada.
- Los parámetros más influyentes en la variación de la vulnerabilidad son la profundidad de la capa freática y la recarga.
- El índice DRASTIC resultó sensible para captar cambios de mediano plazo como variaciones en el régimen hídrico o alteraciones en el nivel freático.
- En los años muy lluviosos donde se producen ascensos importantes de la capa freática, la vulnerabilidad del acuífero aumenta y, por lo tanto, la actividad agrícola generaría mayores riesgos de contaminación.

96 Vulnerabilidad del Acuífero Pampeano a la contaminación en el Norte...

RIA, 34 (1): 85-99. Abril 2005. INTA, Argentina

## AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer al señor Roberto Longinotti de la Liga Agrícola Ganadera de Agustín Roca por el suministro de la información de su registro de precipitaciones y niveles freáticos locales.

Este trabajo ha sido financiado por el proyecto nacional de INTA N° 522-203 y por el proyecto PICT N° 08054 del FONCyT.

## BIBLIOGRAFÍA

- Aller L.; T Bennet; J. H. Lher and R. J. Petty. 1987. DRASTIC. A standardized system for evaluating groundwater pollution potencial using hydrogeologic setting. U.S. EPA Report 600/2-87-035 Ada, Oklahoma.
- Auge, M. 2003. Vulnerabilidad de Acuíferos. E-book. (<http://www.tierra.rediris.es/hidrored/ebooks/vulnerabilidad.htm>).
- EPA. 1998. Estimation of infiltration rate in the vadose zone: application of selected mathematical models. Volumen II. EPA/600/R-87/128b, February 98. United States Environmental Protection Agency.
- Foster, S. y R. Hirata. 1991. Determinación del Riesgo Ambiental de Aguas subterráneas, una metodología basada en los datos existentes. En el marco de las Terceras Jornadas de Actualización en Hidrología Subterránea. Huerta Grande, Córdoba, marzo de 1994. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS).
- Foster, S.; B. Adams; M. Morales y S. Tenjo. 1992. Estrategias para la Protección de Aguas Subterráneas, guía para su implementación. pp.1-91. Terceras Jornadas de Actualización en Hidrología Subterránea. Huerta Grande, Córdoba, marzo de 1994. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS).
- Foster, S.; M. Ventura y R. Hirata. 1987. Contaminación de las Aguas subterráneas, un enfoque ejecutivo de la situación en América Latina y el Caribe en relación con el suministro de agua potable. En el marco de las Terceras Jornadas de Actualización en Hidrología Subterránea. Huerta Grande, Córdoba. 1994. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS), Lima, Perú.
- Hernández M. A., González, N.; Cabral, M. G.; Jiménez J. E.; y Hurtado, M. 2003. Importancia de la caracterización física del riesgo hídrico en la llanura húmeda. En: «Inundaciones en la región pampeana» (eds.: Maiola O. C.; Gabellone N. A. y Hernández M. A.), EDULP, La Plata, 274 p.
- Lobo-Ferreira, J. P. and M. M. Oliveira. 1997. DRASTIC Groundwater vulnerability

RIA, 34 (1): 85-99. Abril 2005. INTA, Argentina

- mapping of Portugal in «Groundwater: An Endangered Resource», Proceeding of Theme C (pp. 132-137) of the 27th Congress of the International Association for Hydraulic Research, held in San Francisco, USA, Aug. 10-15-97.
- Martínez, M.; P. Delgado y V. Fabregat. 1998. Aplicación del Método DRASTIC para la evaluación del riesgo de afección a las aguas subterráneas por una obra lineal. Jornadas sobre la contaminación de aguas subterráneas: un problema pendiente. pp. 413-420. Valencia IH-GE.
- Michelena, R. O.; C. B. Irurtia; F. A. Vavruska; R. Mon y A. Pittaluga. 1989. Degradación de suelos en el Norte de la Región Pampeana. Publicación técnica N° 6. INTA.
- Natale O.E. ; H. Allevalo, M. A. Marzocca y S. Silvestre. 2002. Evaluación de factores de riesgo debidos a plaguicidas en el medio ambiente rural. [www.sertox.com.ar/es/info/apuntes/2005/0202/05.pdf](http://www.sertox.com.ar/es/info/apuntes/2005/0202/05.pdf) .
- Paoli C. y Giacosa R. 2003. Características hidrológicas de la llanura pampeana central oeste (áreas de derrames del río Quinto y arroyos del sur de Córdoba). En: «Inundaciones en la región pampeana» (eds.: Maiola O. C.; Gabellone N. A. y Hernández M. A.), EDULP, La Plata, 274 p.
- Piscopo, G. 2001. Groundwater vulnerability map explanatory notes-MacIntyre Catchment. NSW Department of Land and water Conservation. ISBN 0 7347 5193 1. 13 pp
- Relancio, R. C.; C. H. Manavella y J. C. Maciel. 1987. Estudio de la factibilidad técnico económica del riego complementario del maíz en la región pampeana. Convenio INCyTH – IICA.
- Santa Cruz, J. N. 1988. Caracterización del Recurso Hídrico subterráneo con miras al Riego complementario en la Región NNE –maicera típica- de la provincia de Buenos Aires. Documento de trabajo N° 15. Convenio SAGyP- IICA.
- Santa Cruz J. N. y A. Silva Busso. 1999. Escenario Hidrogeológico General de los principales Acuíferos de la Llanura Pampeana y Mesopotamia Septentrional Argentina. II Congreso Argentino de Hidrogeología y IV Seminario Hispano Argentino sobre temas actuales en hidrología subterránea, Actas Tomo I, p 461-473, Tucumán, Argentina.
- SCS – Soil Conservation Service. 1964. Engineering Handbook. Section 4: Hydrology, U.S. Dept. Agr. Supplement, Washington.
- Secunda, S; M. L. Collin and A. J. Molloul. 1998. Groundwater vulnerability assessment using a composite model combining DRASTIC with extensive agricultural land use in Israel's Sharon region. Journal of Environmental Management 54, 39-57 Article N° ev980221.
- Sharadghah S. 2001. Evaluación del riesgo de contaminación de las aguas subterráneas en Jordania. Aplicación del modelo DRASTIC. Trabajo de Investigación, Universitat Politècnica de Valencia.

98 Vulnerabilidad del Acuífero Pampeano a la contaminación en el Norte...

RIA, 34 (1): 85-99. Abril 2005. INTA, Argentina

Thirumalaivasan, D.; M. Karmegam and K. Venugopal. 2003. AHP-DRASTIC: software for specific aquifer vulnerability assessment using DRASTIC model and GIS. *Environmental Modelling & Software* 18: 645-656.

Timlin, D.; J. Sterr; R. Cady and T. Nicholson. 2003. Comparing Groundwater Recharge Using Advanced Monitoring Techniques and Models. NUREG/CR-6836. USDA.

USDA-Soil Conservation Service. 1992. Agricultural Waste Management Field Handbook. (210-AWMFH, 4/92) (651-0108) Agricultural Impacts on the use of water.

Original recibido el 25 de agosto de 2004