

Aplicación del modelo DRASTIC en la cuenca del arroyo Las Conchas, Entre Ríos

SASAL, M.C.¹, WILSON, M.G.^{1,2}, SANTI, M.³, OSZUST, J.D.², SCHULZ, G.A.¹, PAUSICH, G.^{1,4}; BEDENDO, D.¹

RESUMEN

La demanda de la sociedad respecto al cuidado de la salud y del ambiente es cada vez mayor, requiriéndose la evaluación de potenciales impactos negativos producidos por las prácticas agropecuarias, entre ellos la contaminación de los recursos naturales por el uso de agroquímicos. El objetivo de este trabajo fue evaluar la vulnerabilidad general a la contaminación de un acuífero libre localizado en la cuenca agrícola del Arroyo Las Conchas (Entre Ríos), que posee una superficie de 2.156,6 Km² y alta densidad poblacional. Se utilizó el índice DRASTIC que se basa en la aplicación de siete parámetros hidrogeológicos, desarrollándose mapas para cada uno de ellos a partir del análisis de 82 fuentes de agua existentes en la cuenca y de la selección de 39 ubicadas en el acuífero libre. El acuífero libre se localiza superficialmente entre los 0,39 m y los 12 m y en presencia de suelos con buena capacidad de drenaje. La vulnerabilidad general a la contaminación fue moderada y presenta homogeneidad en la totalidad de la cuenca. La zona más vulnerable está situada en el extremo NE (próximo a María Grande), coincidente con zonas planas en el paisaje y de acumulación de agua, mientras que el área centro-sur presenta menor vulnerabilidad, coincidiendo con una zona de mayor profundidad del acuífero y de baja recarga. La información generada constituye una base para la gestión ambiental y el desarrollo de buenas prácticas agropecuarias.

Palabras clave: DRASTIC, vulnerabilidad, acuífero libre, contaminación.

ABSTRACT

The demand of society for health and environment care is increasing, and thus requires the evaluation of the potential negative impacts caused by agricultural practices, including pollution of natural resources by agrochemicals. The aim of this study was to assess the vulnerability to contamination of an unconfined aquifer located in the agricultural basin of the Arroyo Las Conchas (Entre Ríos), which has an area of 2156.6 km² and a high population density. To this end, we used the DRASTIC index, which is based on the application of seven hydrogeologic parameters, and developed maps for each of them from the analysis of 82 water sources located in the basin and the selection of 39 water sources located in the unconfined aquifer. The unconfined aquifer is developed superficially, between 0.39 m and 12 m depth, and its soil has good drainage. The vulnerability to pollution was moderate and presented homogeneity in the entire basin. The most vulnerable area is located in the extreme NE (next to María Grande), coinciding with flat areas in the landscape and water accumulation, while the central-south area presents less vulnerability, coinciding with a deeper area of the aquifer with low recharge. The information generated provides a basis for environmental management and development of good agricultural practices.

Keywords: DRASTIC, vulnerability, unconfined aquifer, pollution.

1 Grupo Recursos Naturales y Factores Abióticos - INTA EEA Paraná

2 FCA-UNER

3 Dirección de Hidráulica de Entre Ríos

4 FHUC-UNL

Recibido 29 de diciembre de 2010 // Aceptado 25 de abril de 2011 // Publicado online 15 de junio de 2011

INTRODUCCIÓN

Existe una creciente preocupación en la sociedad por la conservación de los recursos naturales y, en los últimos años, la agricultura es señalada como responsable de su degradación. Para atender la demanda social del cuidado de la salud y del ambiente resulta necesario generar y difundir información acerca del impacto de la agricultura sobre la calidad del agua.

La agricultura entrerriana se está tornando cada vez más especializada y homogénea. Sin embargo, el estudio de la contaminación por agroquímicos es incipiente. Se visualizan dos problemas que ponen en riesgo la calidad de las aguas debido al uso agrícola. Por un lado, el aporte difuso de las fugas de agroquímicos desde agrosistemas por lixiviación o escurrimiento. Por otro, el aporte puntual debido a malas prácticas agrícolas como la carga y el lavado de equipos aplicadores en cursos de agua superficiales, la acumulación de envases vacíos abandonados en el campo y las aplicaciones aéreas en grandes superficies, sin interrupción de la aplicación sobre cursos de agua superficial.

La evaluación de los potenciales impactos negativos debido a la implementación de prácticas agrícolas sobre el ambiente es compleja ya que deben contemplarse aspectos climáticos, edáficos, geomorfológicos, fisiográficos, hidrográficos y agroeconómicos. El estudio de los cambios en la calidad de agua por impacto de los agrosistemas así como la definición de soluciones o medidas de mitigación integralmente viables, requieren la comprensión del funcionamiento del agua dentro de la escala local a regional. Sólo será factible identificar y controlar impactos ambientales si se definen las características del flujo subterráneo y superficial en términos de su funcionamiento en el tiempo y el espacio.

El riesgo de contaminación del agua subterránea resulta de la interacción entre la vulnerabilidad a la contaminación de un acuífero y la carga de contaminantes que se le aplica (Foster *et al.* 1987). El aporte de contaminantes puede ser controlado o modificado, pero no así la vulnerabilidad del medio. El primer paso hacia la protección del agua subterránea es tomar conciencia de la escala y la seriedad del problema. La máxima prioridad debe ser dada en el sentido preventivo antes que correctivo (Reynoso *et al.* 2005). Se deberá entonces, cuantificar la vulnerabilidad de los acuíferos y acorde a esta información, tomar las medidas precautorias para evitar su contaminación (Foster *et al.* 1992; Foster e Hirata 1991).

Se han desarrollado numerosos métodos para evaluar la vulnerabilidad de acuíferos: estadísticos, de simulación y

superposición de mapas e índices, entre otros. Uno de los más empleados en la actualidad para estimar la vulnerabilidad general a la contaminación de los acuíferos libres es el Índice DRASTIC (ID), desarrollado por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (UESPA) (Aller *et al.* 1987). Este método fue aplicado en ese país y adoptado en Europa y Asia (Martínez *et al.*, 1998; Secunda *et al.*, 2001; Sharadghah, 2001; Thirumalaivasan *et al.* 2003). En la Argentina también se cuenta con antecedentes del uso de esta metodología (Auge, 2003). Reynoso *et al.* (2005) estimaron la vulnerabilidad del acuífero Pampeano a la contaminación en el norte de la provincia de Buenos Aires. También, Massone *et al.* (2007) evaluaron la vulnerabilidad de acuíferos libres en cuencas de llanura periserranas en Balcarce, provincia de Buenos Aires.

El objetivo del trabajo fue evaluar la vulnerabilidad a la contaminación de un acuífero libre en una cuenca agrícola. Se eligió la cuenca del arroyo Las Conchas en la provincia de Entre Ríos. Los niveles freáticos en la cuenca poseen caudales insuficientes para generar grandes extracciones pero resuelven en áreas rurales el agua necesaria para uso doméstico y abrevado de ganado, desconociéndose la continuidad de sus niveles.

MATERIALES Y MÉTODOS

Características del sitio de estudio

El área de estudio fue la cuenca del arroyo Las Conchas perteneciente al departamento Paraná (Entre Ríos). La superficie de la cuenca es de 2.156,6 Km² y tiene un perímetro de 207,6 Km. Presenta una geometría bastante regular que se aproxima a la forma circular. La cota máxima es de 100 m y la mínima de 13,5 m. La pendiente media de la cuenca es de 14,52 m/Km (Dirección de Hidráulica, 2003).

El departamento de Paraná posee clima templado húmedo de llanura, altamente favorable para la práctica de cultivos de cereales, oleaginosas y forrajeros de secano. La precipitación media anual es de 1000 mm. El régimen térmico es templado, y la temperatura media anual es 18,5°C y varía entre 25° C en enero y 12° C en julio, con una amplitud térmica de 13° C.

Uno de los paisajes fisiográficos más extensos y característicos lo constituye la peniplanicie, entendiéndose por tal una planicie con relieve suavemente ondulado a plano, que fue modelada por ciclos erosivos. La peniplanicie actual, en su mayor parte suavemente ondulada, está cubierta por materiales de origen eólico (loess) de moderado espesor, inte-

rumplido por la presencia de sedimentos coluvio-aluviales que actúan como relleno de los arroyos. Este material de origen eólico va perdiendo su influencia hacia el Este del departamento, donde el espesor disminuye significativamente con el consiguiente afloramiento de materiales subyacentes más antiguos y arcillosos, dando lugar a la presencia de suelos Vertisoles (Plan Mapa de Suelos, 1998).

Las lomadas o "cuchillas" constituyen el sector de mayor altura del departamento, con forma plana y algo aplanada. Son sectores estables desarrollados sobre sedimentos arcillosos de origen lacustre (Formación Hernandarias). El ambiente tiene un drenaje pobre debido a la poca pendiente y a la lenta permeabilidad de los suelos que lo componen. Los suelos predominantes en el departamento Paraná son Mollisoles (41%) y Vertisoles (36%), hallándose en menor proporción Alfisoles y Entisoles (Plan Mapa de Suelos, 1998).

La fig. 1 presenta el perfil hidrogeológico que contiene la cuenca del arroyo Las Conchas. Se observan los espesores de la cubierta cuaternaria (donde se encuentran alojados los niveles freáticos). Por debajo de esta cubierta cuaternaria, se ubican los acuíferos más explotados para consumo humano, riego e industria en la provincia de Entre Ríos que están alojados en las formaciones geológicas Ituzaingó (Plio Pleistoceno) y Paraná (Mioceno), (Santi y Sanguinetti, 2000).

Q= Cubierta Cuaternaria,

N2¹⁻² Formación Ituzaingó (Acuífero semiconfinado),

N1² Formación Paraná (Acuífero semiconfinado).

Para analizar la vulnerabilidad de los flujos de agua subterránea locales (nivel freático), se descartó utilizar bases de datos de perforaciones a mayor profundidad (en las formacio-

nes Paraná e Ituzaingó, ya que son acuíferos semiconfinados). La cubierta cuaternaria en Entre Ríos (formación Tezanos Pinto y formación Hernandarias, entre otras) contiene niveles freáticos, desconociéndose hasta el momento su continuidad. En pozos pre-existentes perforados en dicha cubierta, se realizaron las mediciones de la profundidad freática.

De las 82 fuentes de agua existentes en la cuenca del arroyo Las Conchas relevadas, se seleccionaron 39 pozos que extraen agua en la cubierta cuaternaria (fig. 2), descartándose los 41 restantes por encontrarse ubicados en el acuífero semiconfinado Ituzaingó/Paraná.

Parámetros del modelo DRASTIC

Para la determinación de la vulnerabilidad del acuífero libre se utilizó la metodología DRASTIC (Aller *et al.* 1987), a partir de la construcción de un índice (ID) basado en 7 parámetros hidrogeológicos mapeados cada uno por separado y superpuestos en uno de ID, que permite establecer las zonas de distinto grado de vulnerabilidad. Los parámetros son: Profundidad hasta el nivel de agua subterránea (D), Recarga neta (R); Material del acuífero (A); Suelo (S); Topografía (T); Impacto de la zona no saturada (I) y Conductividad hidráulica (C).

Cada uno de los 7 parámetros se valoró con respecto a los otros para determinar su importancia relativa expresada por un valor (peso) relativo, el cual varía entre 1 y 6 (tabla 1), respetando los valores propuestos en la metodología original (Aller *et al.*, 1987). El parámetro más importante para la vulnerabilidad tiene un peso de 6, en cambio el parámetro de menor importancia tiene un peso de 1. Los valores de vulnerabilidad general se observan en la tabla 2.

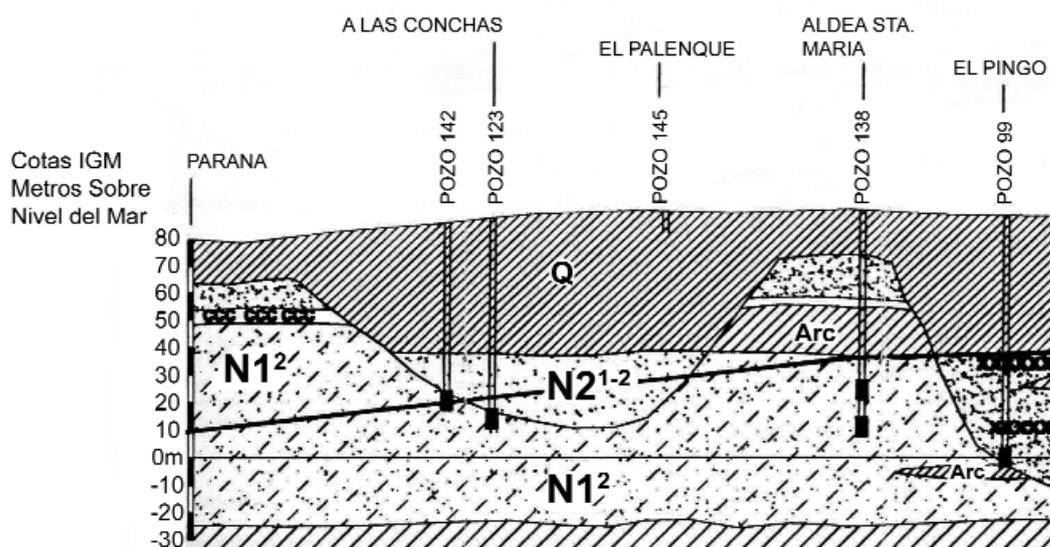


Figura 1. Perfil Hidrogeológico Paraná-El Pingo (Santi y Sanguinetti, 2000).

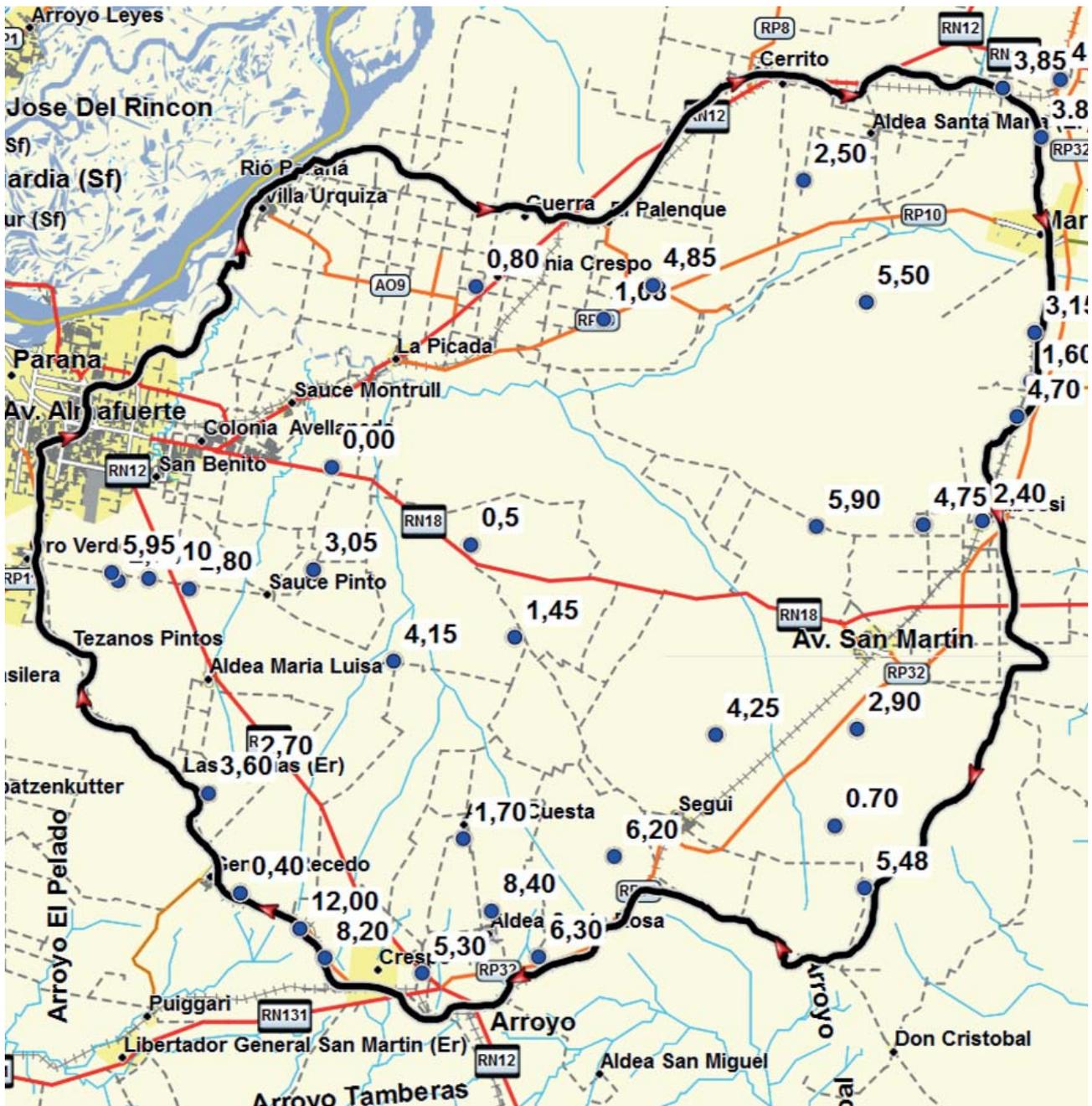


Figura 2. Pozos seleccionados y profundidad (m) del nivel freático en la Cuenca del Arroyo Las Conchas.

El parámetro D considera la profundidad hasta el nivel del agua subterránea. Los valores utilizados para la construcción de este parámetro se obtuvieron por mediciones de campo en pozos ya existentes. En cada sitio se realizó la medición del nivel freático con una sonda manual con señal acústica y luminosa, y se tomó una muestra de agua con un muestreador Van Dorn. Las muestras fueron acondicionadas para su análisis con una sonda multiparamétrica. Se analizó la concentración de nitrato, amonio, cloruro, sodio y pH, y conductividad eléctrica. Cada pozo fue georreferenciado con el objeto de tener la distribución geográfica.

El parámetro R representa la capacidad de recarga que tiene el acuífero. La escala de puntuación varió entre 1 y 9 para una variación de la recarga entre 0 y más de 25 cm año⁻¹. Para la determinación de los valores de recarga se realizó un balance hidrológico para cada punto. Los valores de precipitación se obtuvieron de las estaciones meteorológicas más cercanas, en tanto que para la estimación de la infiltración se utilizó el método de la curva número (método desarrollado por el USDA para la estimación de escurrimientos de pequeñas cuencas agropecuarias). Para ello, se tuvo en cuenta el orden de suelo presente en cada

Parámetros	Peso general
Profundidad hasta el nivel de agua subterránea (D)	6
Recarga neta (R)	4
Material del acuífero (A)	3
Suelo (S)	3
Topografía (T)	1
Impacto de la zona no saturada (I)	3
Conductividad hidráulica (C)	3

Tabla 1. Pesos relativos de los parámetros de DRASTIC.

Vulnerabilidad a la contaminación Índice DRASTIC	Descripción
23-79	Baja
80-99	
100-119	Moderada
120-139	
140-159	
160-179	Elevada
180-199	
200-226	

Tabla 2. Categorías de vulnerabilidad general a la contaminación.

punto, la cobertura del suelo y la humedad antecedente. La cobertura se estableció teniendo en cuenta si el punto se encontraba en una zona agrícola, ganadera con pastizal o pastura o ganadera bajo monte. En cuanto a la humedad antecedente, se tomó como criterio una humedad antecedente media (tipo II). Los valores de evapotranspiración utilizados fueron extraídos de una serie de 74 años de la estación meteorológica de la EEA Paraná. Se consideró que toda el agua que infiltra llega al acuífero (ya que se trata de un acuífero libre).

El parámetro **A** valora la litología que constituye al acuífero, considerándose que a mayor granulometría, mayor permeabilidad y, por lo tanto, un grado de vulnerabilidad más elevado. Para construir este parámetro se tomó como variable la constitución del material que dio origen a los suelos presentes en cada punto de muestreo, teniendo como valores extremos a los utilizados por Aller *et al.* (1987).

El parámetro **S** considera la capacidad que tiene un suelo de amortiguar el paso de un contaminante debido, básicamente, a dos factores: la actividad biológica y la textura del suelo. Por un lado, la capacidad de los organismos del suelo de metabolizar una carga contaminante y, por otro, la textura del suelo que regula la velocidad del pasaje de un contaminante. En este trabajo, la puntuación asignada a cada sitio se basó en la textura que posee el horizonte con mayor limitación al pasaje del agua (horizonte B textural). Se tuvo en

cuenta la profundidad de este horizonte, el contenido y tipo de arcilla presente. Si bien la textura de suelos varió entre arenosa a arcillosa, la mayoría de los puntos se ubicaron dentro de la última clase textural. El rango de variación de la puntuación asignada a cada textura por USEPA (1985) fue ampliado en base al tipo y cantidad de arcilla y profundidad del horizonte limitante. Los puntajes asignados variaron entre 3 y 9 para un contenido de arcilla que va desde el 30% a un 53%, respectivamente. La ecuación utilizada fue $S=0,1739 \times \text{contenido de arcilla (\%)} - 2,2174$. Cabe aclarar que la arcilla predominante en las series de suelos es del tipo expandible. Se realizó un corte del mapa de suelos a escala 1:100.000 para la generación de la capa S del ID. Además, se chequeó a campo el tipo de suelo con pala y barreno.

El parámetro **T** tiene en cuenta el grado de la pendiente del terreno en el sitio de muestreo. Supone que a un menor grado de pendiente la vulnerabilidad es mayor. Las pendientes se obtuvieron de las cartas topográficas IGM, escala 1:100.000. El parámetro **I** valora el efecto de los materiales existentes en la zona no saturada (desde el suelo hasta el nivel de agua). Como el acuífero es poco profundo se consideró a este parámetro equiparable al parámetro **A**. El parámetro **C** indica la conductividad hidráulica del acuífero. No se dispone de información de la conductividad del material del acuífero. Se utilizó una puntuación media de 5 equivalente a un rango de conductividad de $1,5 \cdot 10^{-2}$ a $5 \cdot 10^{-2}$ cm s⁻¹ (correspondiente a un material limo-arcilloso).

RESULTADOS y DISCUSIÓN

En la tabla 3 se presentan los valores máximos, mínimos y medios de los parámetros que caracterizan la calidad físico-química del agua subterránea en las 39 fuentes utilizadas para la aplicación del modelo. Si bien la calidad del agua no es parámetro del índice DRASTIC, esta información relevada de niveles freáticos puede ser considerada de referencia para la provincia de Entre Ríos. Los valores medios obtenidos están por debajo de los umbrales admitidos para agua de bebida humana por la Organización Mundial de la Salud. Esta información podría servir de línea de base para futuros trabajos de impacto ambiental de sistemas productivos agropecuarios, o de factibilidad para riego de cultivos y pasturas o para agua de bebida animal.

Vulnerabilidad del acuífero

La profundidad del nivel freático osciló entre valores de 0,39 m y los 12 m, con una profundidad media de 3,7 m. En general, toda la cuenca presenta niveles freáticos cercanos a la superficie, tomando el parámetro D valores entre 7 y 10 (fig. 3).

El índice DRASTIC en la cuenca del Arroyo Las Conchas se encontró entre 109 y 151, indicando que la vulnerabilidad general es moderada (fig. 4).

La vulnerabilidad general a la contaminación obtenida mediante el índice DRASTIC presentó homogeneidad en toda la cuenca. Esto se debió, por un lado, a la escala de trabajo utilizada y, por otro, a que no existieron diferencias muy marcadas en los parámetros que involucran tipos de suelo, conductividad hidráulica, recarga y topografía. Por ello, se subdividieron categorías de vulnerabilidad dentro del rango moderado y se generó un nuevo mapa para permitir la diferenciación de zonas dentro la cuenca (fig. 5).

En el área centro-sur (alrededor de las localidades Seguí y Crespo), el nivel freático presentó menor vulnerabilidad, coincidiendo con una zona de mayor profundidad del acuífero (fig. 3) y de baja recarga (fig. 6). La zona más vulnerable está situada en el extremo NE (próximo a María Grande), coincidente con zonas planas en el paisaje y de acumulación de agua (fig. 6). Los valores relativamente altos de recarga para precipitaciones de promedio histórico (15 a 18

	pH	O2 (mg l ⁻¹)	NO-3(mg l ⁻¹)	CE(μS cm ⁻¹)	Na+(mg l ⁻¹)	Cl- (mg l ⁻¹)
Máximo	8,5	7,0	95,10	2070	493	159
Mínimo	6,7	0,2	0,00	193	18	2
Media	7,8	5,5	8,70	1032	225	41

Tabla 3. Calidad físico-química del agua subterránea en las 39 fuentes utilizadas para la aplicación del modelo.

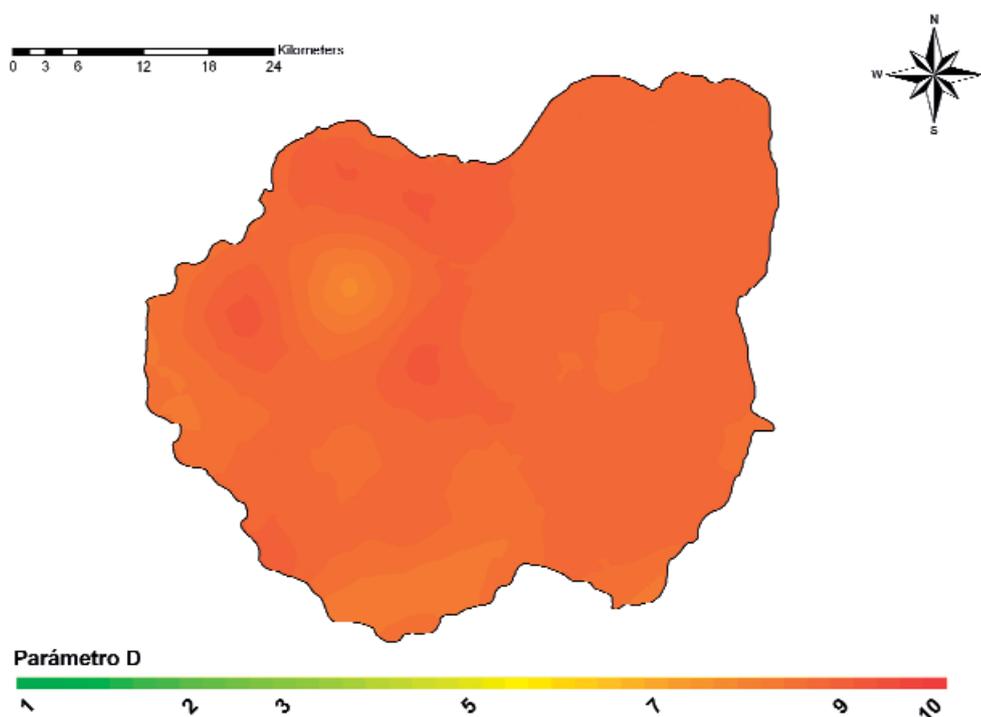


Figura 3. Parámetro D (profundidad freática) del índice DRASTIC en la cuenca del arroyo Las Conchas.

cm año⁻¹) estuvieron asociados a la presencia de montes y lagunas. El parámetro S (fig. 7) fue variable en sentido E-O debido al cambio en los tipos de suelo predominantes. Al Este, Alfisoles y al Oeste, sobre la costa del río Paraná, Molisoles. Estas variaciones no estuvieron estrechamente asociadas con los niveles de vulnerabilidad debido al moderado peso del parámetro S en el Índice DRASTIC.

CONSIDERACIONES FINALES

Los resultados permitieron identificar, en mapas, zonas con distinto grado de vulnerabilidad a la contaminación del acuífero libre en la cuenca del arroyo Las Conchas. En tal sentido, la utilización del modelo DRASTIC para la evaluación de la vulnerabilidad general a la contaminación requirió

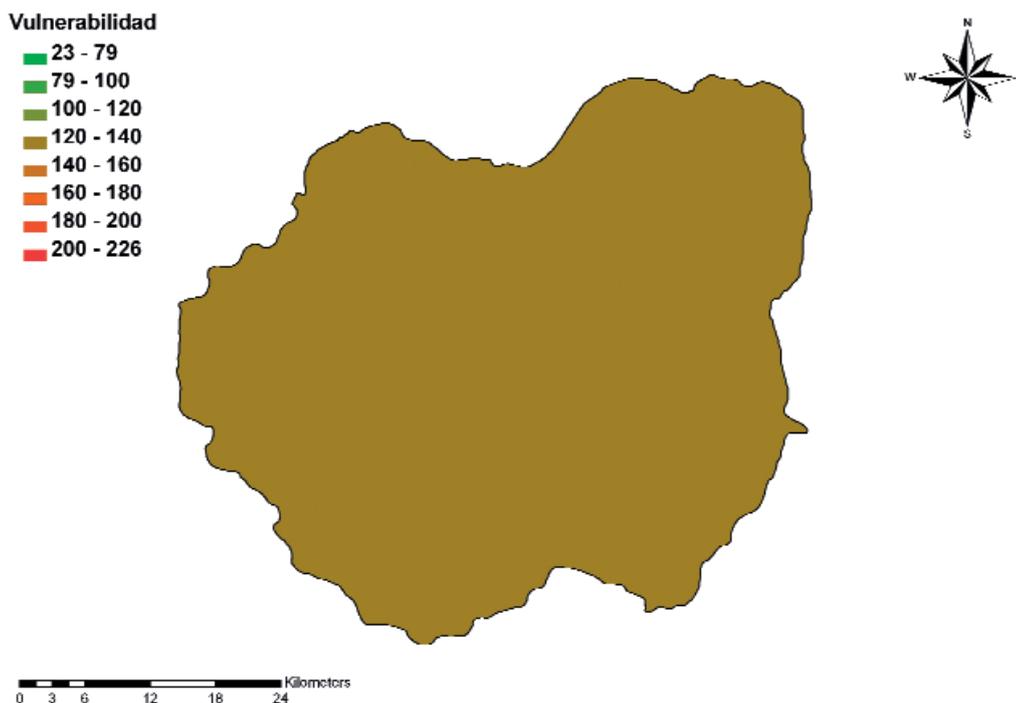


Figura 4. Índice DRASTIC de vulnerabilidad en la cuenca del arroyo Las Conchas



Figura 5. Categorías dentro del Índice DRASTIC de vulnerabilidad moderada en la cuenca del arroyo Las Conchas.

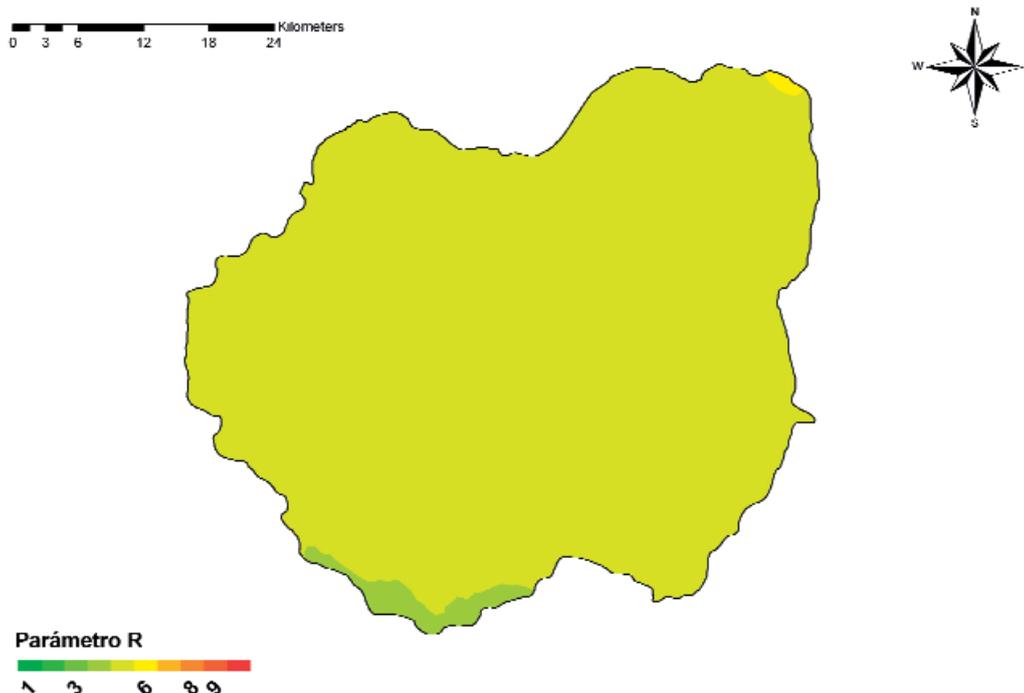


Figura 6. Parámetro R (recarga del acuífero) del Índice DRASTIC en la cuenca del arroyo Las Conchas.

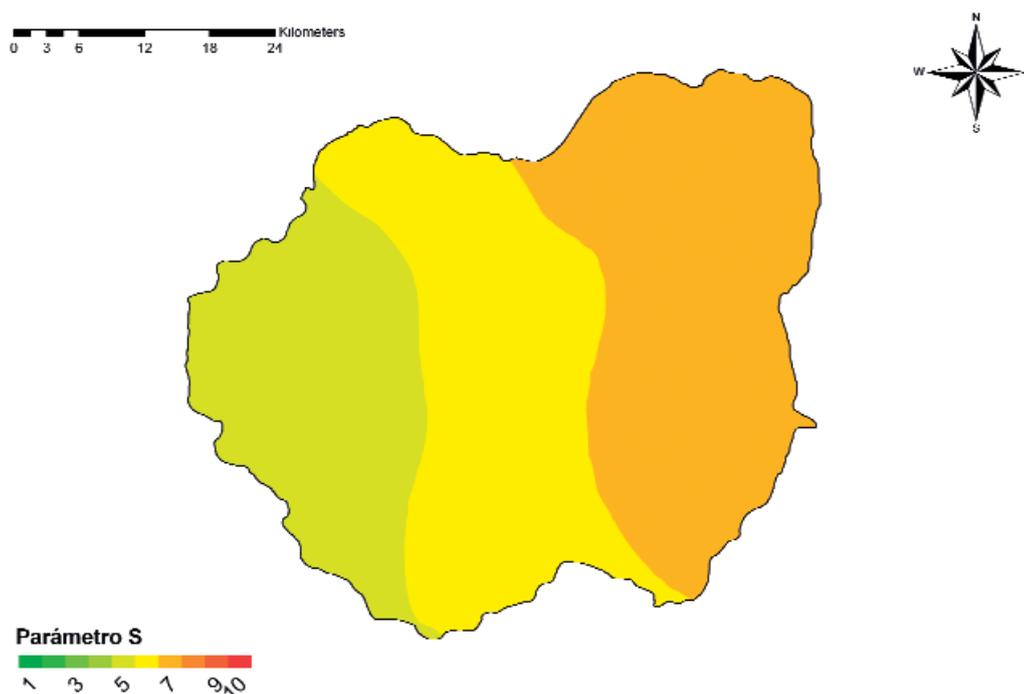


Figura 7. Parámetro S (suelo) del Índice DRASTIC en la cuenca del arroyo Las Conchas.

la adecuación de sus parámetros a las características particulares de Entre Ríos. De esta manera, la metodología se encuentra disponible y adecuada para ser aplicada en otras cuencas de interés.

La cuenca presenta localización superficial del acuífero libre y suelos con buena capacidad de drenaje por su composición granulométrica. Su uso actual es predominantemente

agrícola. Por ello, podría presentar elevado riesgo de contaminación por agroquímicos. Dicho riesgo toma relevancia al ser una cuenca con una densidad poblacional alta, con localidades importantes como Viale, Crespo, Villa Urquiza, Seguí y María Grande.

No se identificaron zonas de alta vulnerabilidad en la cuenca evaluada. Los niveles freáticos presentan mode-

rada susceptibilidad intrínseca a ser afectados por la contaminación; aunque se destaca que el valor de vulnerabilidad general obtenido es independiente de la presencia actual de contaminantes. Actualmente se está evaluando el riesgo de contaminación o vulnerabilidad específica para nitrógeno en esta cuenca, midiendo la variación espacio temporal de nitrato para identificar zonas relativamente más vulnerables y con mayores concentraciones de nitrato en la capa freática.

Este trabajo constituye el primer estudio de vulnerabilidad de acuíferos libres reportado en Entre Ríos. Estos resultados contribuirán a la planificación regional del uso sustentable de los recursos suelo y agua, y se constituirán en una base de gestión ambiental, así como una importante herramienta para el ordenamiento territorial.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado por la Agencia de Ciencia, Tecnología e Innovación de Entre Ríos, y por los Proyectos INTA PR ERIOS-630021, PE AEGA-221631 y PE PNECO-093012.

Agradecemos al Dr. Hugo Tasi por su colaboración y sus sugerencias.

BIBLIOGRAFÍA

- ALLER, L.; BENNET, T.; LHER, J. H.; PETTY, R.J. 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>)
- DIRECCIÓN DE HIDRÁULICA, PROVINCIA DE ENTRE RÍOS. 2003. Sistema de Información geográfica de los recursos hídricos de Entre Ríos (en CD).
- FOSTER, S.; HIRATA, R. 1991. Determinación del Riesgo Ambiental de aguas subterráneas, una metodología basada en los datos existentes. Anales 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.; ADAMS, B.; MORALES, M. TENJO, S. 1992. Estrategias para la Protección de Aguas Subterráneas, guía para su implementación. CEPIS/PAHO. Lima, Perú. pp.1-91.
- FOSTER, S.; VENTURA, M.; HIRATA, R. 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. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS), Lima, Perú.
- MARTÍNEZ, M.; DELGADO, P.; FABREGAT, V. 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. Valencia IH-GE. pp. 413-420.
- MASSONE, H.; QUIROZ LONDOÑO, M.; TOMAS, M.; FERRANTE, A. 2007. Evaluación de vulnerabilidad de acuíferos libres en cuencas de llanura Periserranas. Estudio de caso: Balcarce, provincia de Buenos Aires. V Congreso Argentino de Hidrogeología (CONGHIDRO 2007), 16 al 19 de octubre, Paraná.
- PLAN MAPA DE SUELOS, CONVENIO INTA-GOBIERNO DE ENTRE RÍOS. (1998). Carta de Suelos de la República Argentina, Departamento Paraná, Provincia de Entre Ríos. Acuerdo Complementario del Convenio INTA-Gobierno de Entre Ríos, EEA Paraná, Serie Relevamiento de Recursos Naturales N.º 17, 114 pp.
- REYNOSO, L.; SASAL, M.C.; PORTELA, S.; ANDRIULO, A. 2005. Vulnerabilidad del acuífero pampeano a la contaminación en el norte de la provincia de Buenos Aires. Aplicación de la metodología DRASTIC. RIA 34, 1, 85-99.
- SANTI, M.; SANGUINETTI, J. 2000. "Estudio de aguas subterráneas Etapa III". Dirección de Hidráulica. Entre Ríos. Consejo Federal de Inversiones.
- SECUNDA, S.; COLLIN, M.L.; MOLLOUL, A.J. 1998. Groundwater vulnerability assessment using a composite model combining DRASTIC with extensive agricultural land use in Israel's Sharon region. J. Environ. Manag. 54, 39-57.
- SHARADQHAH, S. 2001. Evaluación del riesgo de contaminación de las aguas subterráneas en Jordania. Aplicación del modelo DRASTIC. Trabajo de Investigación, Universitat Politècnica de Valencia. pp
- THIRUMALAIVASAN, D.; KARMEGAM, M.; VENUGOPAL, K. 2003. AHP-DRASTIC: software for specific aquifer vulnerability assessment using DRASTIC model and GIS. Environmental Modelling & Software 18: 645-656.