

## AVANCES EN LA ESTIMACIÓN DE VULNERABILIDAD DE ACUÍFEROS A LA CONTAMINACIÓN POR AGROQUÍMICOS EN ENTRE RÍOS

Sasal M.C. <sup>1</sup>, Wilson M.G. <sup>1,2</sup>, Oszust J.D. <sup>2</sup>, Schulz G.A. <sup>1</sup>, Pausich G. <sup>1</sup> y Bedendo D. <sup>1</sup>  
<sup>1</sup>Grupo Recursos Naturales y Factores Abióticos - INTA EEA Paraná  
<sup>2</sup>FCA-UNER

Existe 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.

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 lado, el aporte puntual debido a malas prácticas agrícolas, como la carga y el lavado de equipos aplicadores en cursos de agua superficial, 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 de 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 del agua debidos a los agrosistemas,

así como la definición de soluciones o medidas de mitigación integralmente viables, requieren la comprensión del funcionamiento del agua dentro de las escalas 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 (Figura 1) es la interacción entre la vulnerabilidad a la contaminación de un acuífero y la carga de contaminantes que se le aplica (Foster et al., 2003). La carga contaminante se puede controlar o modificar, pero no la vulnerabilidad del medio. El primer paso hacia la protección del agua subterránea es tomar conciencia de la escala y seriedad del problema (Reynoso et al., 2005). La máxima prioridad debe ser dada en el sentido preventivo antes que correctivo. Se deberá entonces, cuantificar la vulnerabilidad de los acuíferos y acorde a esta información y tomar las medidas precautorias para evitar su contaminación. Así, en base a la información disponible en las áreas de producción se pretende determinar un índice de vulnerabilidad de acuíferos que podrá servir como una herramienta en la toma de decisiones para la protección del recurso agua subterránea.

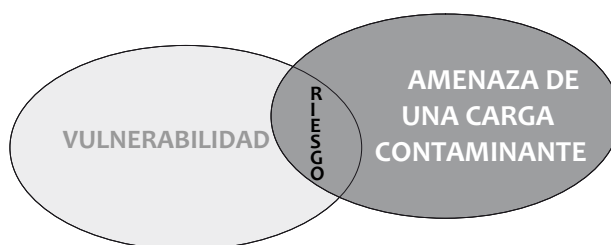


Figura 1. Esquema del concepto de riesgo de contaminación

## ¿qué es la vulnerabilidad de acuíferos a la contaminación?

La vulnerabilidad de un acuífero a la contaminación es una propiedad intrínseca del mismo, que determina la susceptibilidad a ser afectado adversamente por una carga contaminante. Es una tendencia que los contaminantes alcancen un determinado lugar, una vez introducidos en el sistema que se encuentra por encima del acuífero. No está necesariamente ligada al riesgo de contaminación, no depende de la calidad real del acuífero y no está ligada al uso actual o futuro (Foster *et al.*, 1987).

En ningún caso la vulnerabilidad será indicio de la contaminación que pueda tener el acuífero, éste puede resultar muy vulnerable pero no estar contaminado y en contrapartida, otro acuífero puede ser muy poco vulnerable y sin embargo estar contaminado. Es decir, que la vulnerabilidad no implica la ocurrencia de contaminantes. Cabe señalar aquí que el acuífero menos vulnerable también es el de más difícil saneamiento una vez contaminado (Foster e Hirata, 1991).

Se han desarrollado numerosos métodos para evaluar la vulnerabilidad de acuíferos: estadísticos, de simulación, superposición de mapas e índices, entre otros. Uno de los más empleados en la actualidad es el de Índice DRASTIC, desarrollado por

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

### Proyecto del Primer programa de Fortalecimiento de investigación y desarrollo y la Ciencia en la sociedad (ACTIER N° 19): "Vulnerabilidad de acuíferos a la contaminación por agroquímicos en Entre Ríos"

En octubre de 2009 inició el proyecto, de 1 año de duración, con el objetivo de evaluar uno de los componentes del riesgo de contaminación de acuíferos por agroquímicos: su vulnerabilidad general. Este proyecto prevé delimitar áreas de protección de acuíferos libres.

La Agencia de Ciencia, Tecnología e Innovación de Entre Ríos, creada en diciembre de 2007 por Decreto N° 329 del Gobernador de la Provincia de Entre Ríos, responde a la necesidad de "Posicionar a Entre Ríos como una de las regiones del conocimiento en el ámbito regional y nacional a

la United Environmental Protection Agency, UESPA (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 adoptado en Europa y Asia (Martínez *et al.*, 1998; Secunda *et al.*, 1998; Sharadghah, 2001; Thirumalaivasan *et al.*, 2003). En nuestro país también se cuenta con antecedentes del uso de esta metodología. Reynoso *et al.* (2005) estimaron la vulnerabilidad del acuífero Pampeano a la contaminación para el norte de la provincia de Bs. As. Díaz *et al.* (2009) para los acuíferos Ituzaingó y Salto Chico, en la cuenca del Arroyo Feliciano. Massone *et al.* (2007) evaluaron la vulnerabilidad de acuíferos libres en cuencas de llanura periserranas en Balcarce, provincia de Bs. As.

Si bien la manera más adecuada de presentar la vulnerabilidad de acuíferos es en forma de mapas, es muy difícil contar con toda la información necesaria en todas las áreas a evaluar. Inevitablemente se debe simplificar y reducir a una lista de unos pocos parámetros que permitan explicar en un sentido práctico la vulnerabilidad (Foster *et al.*, 1992). La metodología de construcción del Índice DRASTIC (ID) se basa en la determinación de siete parámetros hidrogeológicos que pueden ser mapeados cada uno por separado, la superposición de estos siete mapas resultará en uno de ID, que permite establecer las zonas de distinto grado de vulnerabilidad (Aller *et al.*, 1987). Los parámetros son:

partir del fortalecimiento y desarrollo de la Ciencia, la Tecnología y la Innovación, como elementos básicos para la creación de riqueza, bienestar social y creatividad cultural, en todo el territorio provincial", eje fundamental de su Visión. Particularmente, el primer programa tuvo como objetivos específicos fortalecer la investigación y desarrollo, la formación de recursos humanos dedicados a actividades de investigación y la inserción de las actividades científico tecnológicas en la sociedad.

#### Actividades desarrolladas

Se realizó la búsqueda de antecedentes bibliográficos y de material antecedente. También, se realizaron reuniones con profesionales de distintas especialidades para obtener una visión interdisciplinaria. Para ello, se fortalecieron vinculaciones estratégicas con la Geol. María Santi de la Dirección

de Hidráulica de Entre Ríos, con el Coordinador Nacional de INTA del proyecto Desarrollo de conocimiento y tecnologías para mitigar la contaminación de suelo y agua por agroquímicos y residuos en producción agropecuaria intensiva, Dr. Adrián Andriulo, con profesionales de la Cátedra de Manejo y Conservación de Suelos del Departamento de Ingeniería Agrícola y Uso de la Tierra de la Facultad de Agronomía de la UBA, de la cátedra de Edafología de la Facultad de Ciencias agropecuarias de la UNER y de la Facultad de Ciencias de la Universidad de La Coruña, España.

En función de la investigación y de las consultas realizadas se corroboró que el modelo conceptual DRASTIC es apropiado para identificar áreas con menor o mayor vulnerabilidad a la contaminación de acuíferos libres. Particularmente, se destacó la importancia de utilizar este modelo para comparar la vulnerabilidad de acuíferos en Entre Ríos con otros sitios de la región pampeana que utilizan esta metodología.

Se consensó analizar la vulnerabilidad de los flujos de agua subterránea locales (nivel freático) y se descartó utilizar bases de datos de perforaciones a mayor profundidad (en las formaciones Paraná,

Ituzaingó y Salto Chico). Esto se debe, por un lado, a que el modelo elegido fue desarrollado para acuíferos libres y no para acuíferos semiconfinados, ya que los resultados obtenidos solo darían un grado de vulnerabilidad muy baja en toda la región. En efecto, Díaz et al. (2009) aplicaron la metodología en la cuenca del arroyo Feliciano e indican que las áreas de mayor vulnerabilidad a la contaminación se limitan solo a las cercanías de los cauces menores y el curso principal del Arroyo Feliciano, donde la profundidad al acuífero es mínima, mientras que en el resto de la cuenca, el efecto de protección que ejerce el espesor de los limos y arcillas de la Formación Hernandarias, disminuye el grado de vulnerabilidad de los acuíferos.

Por otro lado, la formación Hernandarias (Figura 1) posee acuíferos colgantes a poca profundidad (flujos locales) que permiten evaluar a corto plazo cambios en su calidad debidos al uso agrícola (Figura 2). Estos acuíferos libres y poco profundos no han sido relevados, es decir se desconoce su extensión areal y su profundidad. De estos acuíferos toman agua los pozos abiertos, viejos aljibes o denominados semisurgentes, muchos en uso actualmente para consumo humano o para bebida de animales.

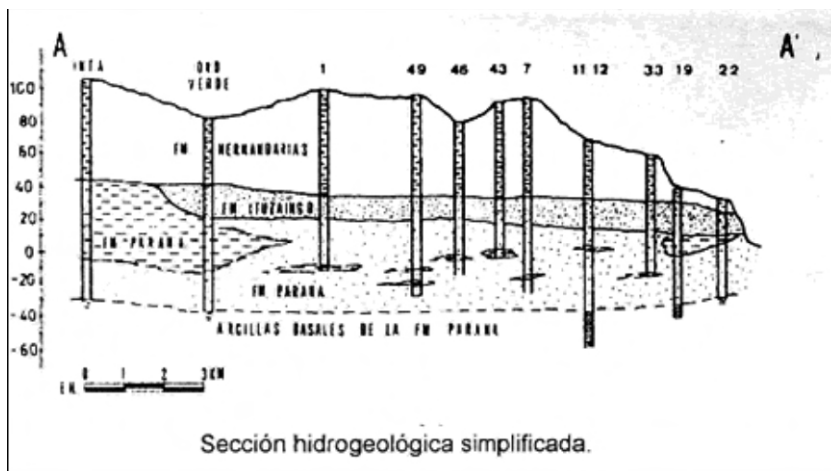


Figura 1. Sección hidrogeológica simplificada de la región.

Fuente: [www.mineria.gov.ar/.../irn/imagenes/entre8.gif](http://www.mineria.gov.ar/.../irn/imagenes/entre8.gif)

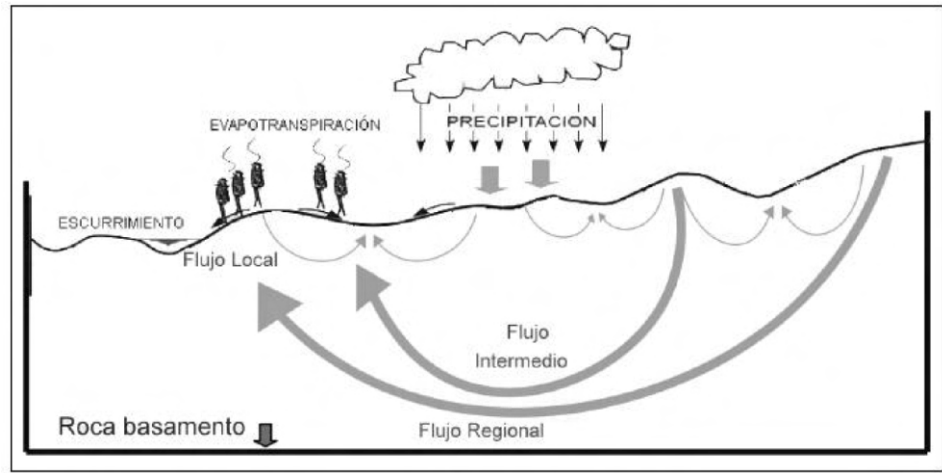


Figura 2. Esquema de flujos locales (freático), intermedios y regionales de agua subterránea. Fuente: adaptada de Tóth 2000 por Alconada *et al.*, 2009

Áreas piloto

Se establecieron 2 áreas pilotos en los departamentos Paraná y La Paz. La selección de los sitios de estudio respondió a situaciones de aptitud agrícola (Tasi y Bedendo, 2008) diferenciales (Figura 3). En Paraná se seleccionó la cuenca del arroyo Las

Conchas, predominantemente con uso agrícola. En el departamento La Paz se seleccionó la cuenca del arroyo Estacas, con tierras potencialmente aptas para la producción agrícola, con predominio de superficie de monte nativo con uso ganadero y con lotes con uso agrícola reciente.

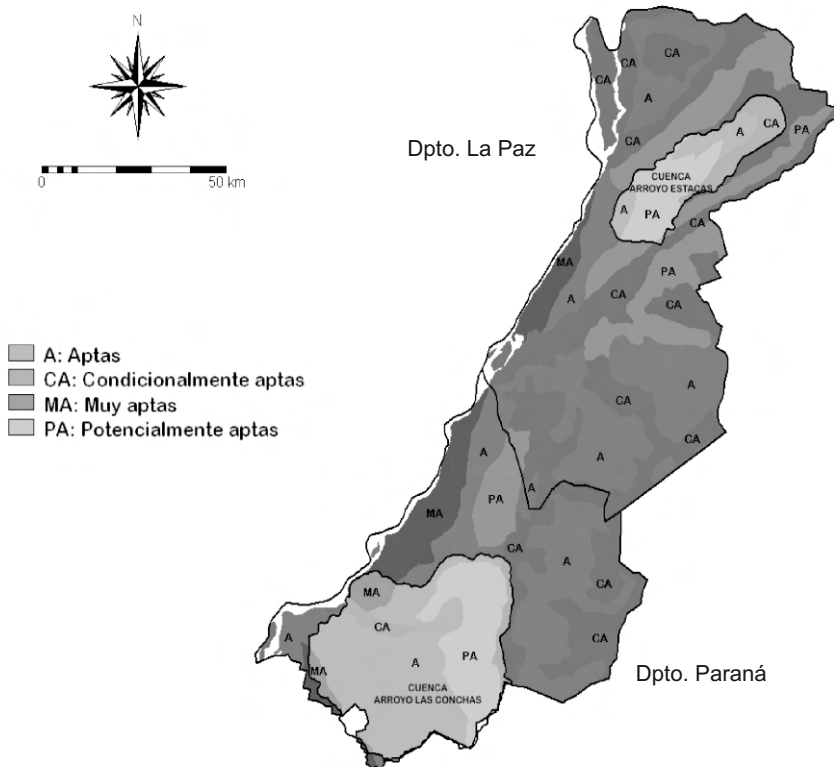


Figura 3. Mapa de aptitud de tierras para la agricultura para los departamentos La Paz y Paraná. En colores más claros se indican las dos áreas piloto: A<sup>o</sup> Las Conchas y A<sup>o</sup> Estacas.

Para la delimitación del área de aporte de la cuenca se trabajó con software Ilwis, trazando su límite por la divisoria de aguas. La superficie de la cuenca del arroyo Las Conchas es de 2.170.510 km<sup>2</sup> y tiene un perímetro de 207,2 km. Presenta una geometría bastante regular, es decir se aproxima a la forma circular. La cuenca del arroyo Estacas tiene una superficie de aproximadamente 73.000 ha.

A la fecha se ha completado el trabajo de campo para recolección de datos. En cada sitio se realizó la medición del nivel freático con una sonda

manual con señal acústica y luminosa (Figura 4). Se tomó una muestra de agua con un muestreador Van Dorn (Figura 5). Las muestras fueron acondicionadas para su análisis con una sonda multiparamétrica y para el envío a laboratorio para su análisis fisicoquímico con el propósito de adquirir información confiable rápidamente y además de tener un control de referencia adecuado con las mediciones de laboratorio, respectivamente. En cada sitio se hizo una comprobación del tipo y serie de suelo, con pala y barreno.



Figura 4. Sonda manual de nivel freático con señal acústica y luminosa.



Figura 5. Muestreador de agua Van Dorn.

En este momento se está trabajando en el análisis de la información relevada y en la generación de los mapas para cada una de las cuencas, correspondientes a cada uno de los parámetros y a los que se integra toda la información, asignando zonas de diferente nivel de vulnerabilidad. También se prevé realizar mapas de vulnerabilidad específica a nitrógeno.

### Consideraciones finales

El abordaje de una nueva metodología como el modelo DRASTIC exigió la capacitación del equipo de trabajo, la preparación de nuevos protocolos de muestreo, la adquisición de equipamiento específico y la vinculación interinstitucional e interdisciplinaria.



Los resultados del proyecto ACTIER "Vulnerabilidad de acuíferos a la contaminación por agroquímicos en Entre Ríos" permitirán identificar en mapas, zonas de distinto grado de vulnerabilidad a la contaminación de acuíferos libres y poco profundos en dos cuencas representativas. Los resultados de este proyecto 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.

## Bibliografía

- ALCONADA M., BUSSONI A., ROSA R. y J.J. CARRILLO RIVERA 2009. El bio-drenaje para el control del exceso hídrico en Pampa Arenosa, Buenos Aires, Argentina. *Invest. Geog.* N° 68, México.
- ALLER L., BENNET T., LHER J.H. 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>).
- DÍAZ E.L., ROMERO E.C., BOSCHETTI N.G. y O.C. DUARTE. 2009. Vulnerabilidad del agua subterránea en la cuenca del Arroyo Feliciano. Entre Ríos. Argentina. *Boletín Geológico y Minero* 120(4):533-542.
- FOSTER S. y R. HIRATA. 1991. Determinación del riesgo de contaminación de aguas subterráneas. Una metodología basada en datos existentes. Lima. CEPIS: 81 p.
- FOSTER S., ADAMS B., MORALES M. y S. TENJO. 1992. Groundwater protection policy: a guide to requirements. CEPIS Tech. Report. (WHO-PAHO-CEPIS), Lima.
- FOSTER S., VENTURA M. 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. Lima, CEPIS.
- FOSTER S., HIRATA R., GOMES D., D'ELIA M. y M. PARIS. 2003. Protección de la Calidad del Agua Subterránea: guía para empresas de agua, autoridades municipales y agencias ambientales. Mundi-Prensa, Banco Mundial. 124 p.
- MARTÍNEZ M., DELGADO P. 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. Valencia IH-GE. p 413-420.
- MASSONE H., QUIROZ LONDOÑO M., TOMAS M. y A. FERRANTE 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.
- REYNOSO L., SASAL M.C., PORTELA S. y A.E. ANDRIULO. 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.
- SECUNDA S., COLLIN M.L. and A.J. MOLLOUL 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.
- TASI H. y D. BEDENDO. 2008. Aptitud Agrícola de las Tierras de la Provincia de Entre Ríos (2 edición). Proyecto Regional Agrícola. Ediciones INTA – Centro Regional Entre Ríos. INTA EEA Paraná. Serie Extensión n 47, 24 p.
- THIRUMALAIVASAN D., KARMEGAM M. and K. VENUGOPAL. 2003. AHP-DRASTIC: software for specific aquifer vulnerability assessment using DRASTIC model and GIS. *Environmental Modelling & Software* 18:645-656.

## Participantes del proyecto:

Ing. Agr. (MSc) María Carolina SASAL  
 Ing. Agr. (Dr.) Marcelo G. WILSON  
 Sr. Guillermo SCHULZ  
 Tco. José D. OSZUST  
 Topocart. Gloria PAUSICH  
 Lic. Edaf. (MSc.) Dante BEDENDO  
 Sr. Carlos V. ACOSTA  
 Sr. Carlos HASENAUER  
 ASESORA: Geol. María SANTI