

Evaluación de peligrosidad de contaminación por pesticidas en la cuenca del río Quequén Grande, provincia de Buenos Aires

Sebastián Grondona¹², Sebastián Gavilán¹³, Héctor Massone¹ y Orlando Mauricio Quiroz Londoño¹²

¹ Instituto de Geología de Costas y del Cuaternario, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Nacional de Mar del Plata

² Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras (IIMyC), Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)

³ Comisión de Investigaciones Científicas (CIC)

Mail de contacto: sgrondona@mdp.edu.ar

RESUMEN

La cuenca del Río Quequén Grande está caracterizada por el predominio del cultivo de soja-girasol-trigo siendo el endosulfán uno de los principales agroquímicos utilizados. El acuífero en esta región constituye la principal fuente de abastecimiento de agua, por lo que es necesario desarrollar elementos que permitan lograr un uso sustentable de este recurso. El objetivo de este trabajo fue evaluar la peligrosidad de contaminación por pesticidas del Acuífero Pampeano, considerando las actividades que se desarrollan en esta cuenca. Se construyeron los mapas de vulnerabilidad (metodología DRASTIC-P) y el de carga contaminante (mapa de usos del suelo), obteniéndose de la combinación de ambos el mapa de peligrosidad de contaminación. El área de menor peligrosidad se asocia con la presencia del sistema de Tandilia, donde las actividades agrícolas-ganaderas son menos intensas. La zona con mayor peligrosidad se asocia con la parte baja, donde interaccionan niveles freáticos poco profundos y una intensa actividad agrícola.

Palabras clave: acuífero, peligrosidad, vulnerabilidad

ABSTRACT

Quequén Grande River watershed is characterized by the predominance of soybean-wheat-sunflower and endosulfan is one of the main chemicals used. The aquifer in this region is the main source of water supply, so it is necessary to develop tools to achieve a sustainable use of this resource. The aim of this study was to evaluate the hazard of contamination by pesticides of Pampean aquifer, considering the activities carried out in this watershed. Combining vulnerability maps (DRASTIC-P methodology) and contaminant load (land use map), a pollution hazard map was obtained. The less dangerous area was associated with the presence of Tandilia system where agricultural and livestock activities are restricted. The most dangerous area is associated with the lower part of the basin, where low groundwater levels and intense agricultural interact.

Keywords: aquifer, hazard, vulnerability

Introducción

Desde hace varias décadas, se considera el agua subterránea como un recurso limitado, debido a que en muchas zonas la utilización supera a la recarga natural, además de que la contaminación puede impedir o restringir su uso, por lo que es necesario la elaboración de herramientas para lograr un uso sustentable de este recurso estratégico. El acuífero Pampeano es la única fuente de abastecimiento de agua disponible en el sudeste de la provincia de Buenos Aires, donde la Cuenca del Río Quequén Grande (CRQG) es la más importante.

Las condiciones económico-políticas en las últimas décadas han favorecido un importante aumento del área cultivada, especialmente la dedicada a la soja, y con ello se incrementó también el uso de plaguicidas y fertilizantes (IPEN-RAP-AL 2008). Este cambio en el uso de la tierra puede generar costos ambientales y sociales indeseables (por ejemplo, afectando escurrimiento superficial y la disponibilidad y calidad del agua subterránea). Estudios realizados en esta zona han detectado la presencia de distintos contaminantes en el agua subterránea (Massone et al, 1998, González et al, 2012)

A partir de la evaluación de la peligrosidad de contaminación del acuífero se obtiene información necesaria y esencial para la protección y gestión de los recursos hídricos subterráneos, ya que identifica aquellas actividades humanas que tienen la mayor probabilidad de tener impactos negativos sobre el acuífero y así indica la priorización de las medidas de control y mitigación necesarias. El peligro de contaminación del agua subterránea es el resultado de la interacción entre la vulnerabilidad intrínseca del acuífero a la contaminación y la carga contaminante que pueden ocasionar diversas actividades humanas desarrolladas en la superficie (Foster et al., 2002).

El objetivo de este trabajo fue evaluar el peligro de contaminación del acuífero Pampeano, que constituye la principal fuente de abastecimiento para todos los usos en la Cuenca del Río Quequén Grande. Para ello, se evaluó la vulnerabilidad a la contaminación del acuífero, con la metodología DRASTIC-P y la Carga Contaminante Potencial a partir de un mapa de usos de suelo, construido sobre la base de análisis de imágenes satelitales.

Área de estudio

La cuenca del CRQG ocupa un área de aproximadamente 10.000 km² (Figura 1) y se ubica entre las sierras de Tandilia (Teruggi y Kilmurray, 1975) y Ventania (Llambias y Prozzi, 1975). El relleno se conforma por sedimentos cenozoicos, principalmente arenosos y limosos de origen fluvio-eólico, que constituyen un acuífero multicapa no confinado conocido como Pampeano. Este es el más importante y el más explotado en el sudeste de la provincia de Buenos Aires, con un espesor que puede llegar a 290 m, determinado a partir de perforaciones en los alrededores de la ciudad de Necochea, donde se detectó a esa profundidad el basamento hidrogeológico de esta cuenca (Llambias y Prozzi, 1975).

La composición mineralógica del acuífero es mayoritariamente cuarzo, plagioclasas, feldespato potásico y cantidades variables de sílice amorfa en la forma de vidrio volcánico y en menos proporción micas, minerales opacos y carbonato de calcio (Teruggi, 1957). La recarga proviene de los excesos de precipitación por infiltración, y es del orden de 150 mm por año en promedio (Quiroz Londoño et al, 2012); la descarga es principalmente hacia cursos de agua superficiales. El río Quequén Grande constituye la principal descarga de agua

subterránea al Océano Atlántico (Martínez et al, 2007).

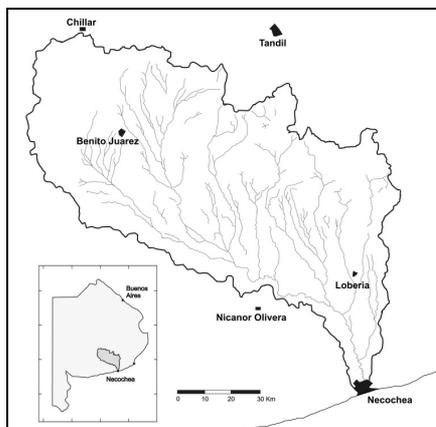


Figura 1. Mapa de la CRQG

El acuífero Pampeano presenta propiedades hidrogeológicas homogéneas, con pocas variaciones a lo largo de su perfil, con valores de conductividad hidráulica que oscilan entre 1 y 10 m/día y valores de porosidad efectiva de entre 5% y 10%. (Auge et al, 2004). La trasmisividad medida en ensayos de bombeos en la ciudad de Mar del Plata oscila entre 600 y 1200 m²/día (Bocanegra et al, 2001).

Los suelos predominantes en la cuenca del Río Quequén Grande son Argiudoles Típicos y Argiudoles Típicos Someros según la carta de suelos elaborada por el INTA para la provincia de Buenos Aires. Estos suelos son el resultado de la acción de un clima subhúmedo sobre materiales loésicos. Poseen un importante enriquecimiento de materia orgánica en el horizonte A y de arcillas en el B (INTA, 1989). Son en general suelos bien desarrollados y con buena distribución areal, presentan colores oscuros y elevados contenidos de materia orgánica y de nutrientes. Esta particularidad los define como los suelos más fértiles del país, por lo que son utilizados casi exclusivamente para la producción hortícola y agrícola extensiva (Alvarez et al, 2008).

Materiales y métodos

El término vulnerabilidad, aplicado al agua subterránea, representa la sensibilidad del acuífero a ser afectado por una carga contaminante liberada en la superficie. Es un concepto intrínseco a la naturaleza del propio acuífero y de las capas de roca y suelo que

conforman la zona no saturada (Foster et al., 1987). La carga contaminante depende de las actividades que se desarrollen y de los posibles contaminantes que estas pueden generar y liberar sobre la superficie del suelo.

Determinación de la vulnerabilidad del acuífero pampeano

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). En nuestro país se cuenta con numerosas referencias acerca del uso de esta metodología (Massone et al, 2007, Lima et al, 2011) que requiere de siete parámetros para su determinación, por lo que es más difícil de desarrollar que otras metodologías, pero el resultado obtenido es más cercano a la realidad. El proceso de evaluación de la vulnerabilidad se realizó en entorno de Sistemas de Información Geográfica (SIG) y consistió en tres etapas. En la primera se prepararon los mapas temáticos de base para cada variable a considerar y su posterior transformación a formato raster (resolución espacial de 90 x 90 metros). Posteriormente se asignaron los pesos y/o valores a cada capa de información según lo establecido por la metodología y finalmente se aplicó álgebra de mapas para obtener un mapa de vulnerabilidad final.

Esta metodología utiliza siete parámetros hidrogeológicos a los que se les da dos valoraciones: un peso relativo (5 a 1) según cuán importante sea su contribución a la contaminación y una escala (1 a 10) según el menor o mayor impacto sobre la vulnerabilidad. Los parámetros considerados son:

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

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

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

Posteriormente, los índices obtenidos se agrupan para obtener zonas de diferentes grados de vulnerabilidad, considerando que a mayor valor índice mayor vulnerabilidad. El rango de valores obtenidos en esta metodología varía entre 0 y 255, siguiéndose lo establecido por Vergara Florez (2009) para definir los rangos de vulnerabilidad del acuífero (Tabla 1).

Tabla 1. Rangos de vulnerabilidad del acuífero según los ID obtenidos

Puntaje	Grado de Vulnerabilidad
<120	Vulnerabilidad Muy baja
120-140	Vulnerabilidad Baja
140-160	Vulnerabilidad Moderada
160-180	Vulnerabilidad Alta
>180	Vulnerabilidad Muy Alta

Cuando se pretende considerar el impacto de algún contaminante en particular (nutriente, patógeno, pesticida, etc.) o en el marco de alguna actividad determinada (industrial, agrícola-ganadera, etc.) se debe determinar la vulnerabilidad específica (Auge, 2003). Así sucede con el método utilizado en este trabajo, DRASTIC-P, que considera la incidencia de las actividades agrícolas, en particular de los pesticidas. Es en realidad una modificación de los pesos del método original DRASTIC (Aller et al. 1987). Los factores a los cuales se les modifica el peso son: profundidad del nivel freático, tipo de suelo e impacto de la zona no saturada.

Determinación de la carga contaminante

La carga contaminante potencial se determinó a partir del mapa de usos del suelo de la CRQG, para cuya confección se utilizaron tres escenas Landsat-TM (órbita/fila: 224/86, 224/87 y 225/86) de tres fechas distintas cada una. Las fechas corresponden a períodos estacionales consecutivos (otoño/invierno-primavera/verano-otoño/invierno) ocurridos entre los años 2006 y 2007. Se aplicaron algoritmos de clasificación supervisada sobre las imágenes ya georreferenciadas que generaron mapas temáticos donde cada nivel digital (ND) corresponde a una clase espectral

distinta. El proceso comenzó con la selección de píxeles (áreas de entrenamiento) representativos de las clases de interés. Para eso, es necesario hacer una interpretación visual de la imagen teniendo un conocimiento previo del área de estudio. En la siguiente etapa (fase de asignación) los píxeles que están fuera de las áreas de entrenamiento se asignan a cada clase por la similitud estadística de sus ND. En esta etapa, las clases resultantes de la clasificación son de tipo espectral. Esto se debe a que corresponden a grupos de valores espectrales homogéneos, teniendo una reflectividad similar en las bandas consideradas y en la fecha de adquisición de la imagen (Chuvieco, 2002). El mapa obtenido luego de esta fase no fue el mapa final de uso del suelo, sino que es un mapa temático con categorías preliminares. Estas categorías son: "agua", "vegetación", "suelo descubierto" y "forestal". Las clases "arena" y "urbano" se determinaron con polígonos digitalizados manualmente ya que varían escasamente en el tiempo y, por su similitud espectral con otras clases, pueden confundir la asignación.

Para confeccionar el mapa final, se agregó la dimensión temporal desde un análisis multiestacional usando clasificadores en árbol (decision tree classifier, Chuvieco, 2002). Este análisis afecta principalmente a las cubiertas más dinámicas: los tipos de vegetación, teniendo en cuenta su variación fenológica anual (Tabla 2). Esta técnica consiste en discriminar secuencialmente cada categoría usando operadores lógicos condicionales (IF...THEN...) y operaciones matemáticas entre las clasificaciones de cada fecha que simulan la toma de decisiones que realizaría un intérprete (Richards, 1993). Para utilizar estos operadores es necesario confeccionar mapas booleanos que nos permitan interpretar fácilmente el resultado de la operación (ej. Vegetación=1, no vegetación=0). En las áreas donde se encuentra pastizal natural y pasturas (áreas de uso ganadero) se espera encontrar una cobertura similar en todas las estaciones quedando el operador de la siguiente manera.

IF (veg-fecha1*veg-fecha2*veg-fecha3=1)
THEN uso ganadero

Por lo tanto, si la multiplicación del ND de cada píxel de la categoría "vegetación" para las tres fechas analizadas da como resultado el

valor 1, entonces ese píxel ingresará en la clase "uso ganadero". Para el caso de la clase "uso agrícola" la regla de decisión será la siguiente:

IF (veg-fecha1*veg-fecha2*veg-fecha3=0)
THEN uso agrícola

Si un píxel de cualquiera de las imágenes de las diferentes fechas tiene un valor de 0 (No vegetación) la multiplicación dará como resultado 0 y este píxel será asignado a la clase "uso agrícola". De esta manera se confeccionan las clases finales cuyas categorías son: "agua", "uso ganadero", "uso agrícola", "arena" (medanos zona costera), "forestal" y "urbano".

Tabla 2. Estado fenológico de la vegetación en cada mes del año para la CRQG

	Trigo	Soja 1°	Soja 2°
Ene	ya cosechado	veg / floración	vegetativo
Feb	suelo descubierto	llenado de granos	veg / floración
Mar		madurez cosecha	llenado de granos
Abr		ya cosechado	madurez cosecha
May			ya cosechado
Jun		germ/emerg	suelo descubierto
Jul	vegetativo		
Ago			
Sep			
Oct	inicio florac.	germ/emerg	
Nov	llenado de granos	vegetativo	germ/emerg
Dic	madurez		vegetativo

Tabla 2. (Continuación)

	Girasol	Maíz	Pastizal natural	Pasturas
Ene	veg / floración	vegetativo	veg. seca	veg. seca
Feb	llenado de granos	veg / floración		
Mar	madurez cosecha	llenado de granos	rebrote especies de invierno (veg. verde)	vegetativo
Abr	ya cosechado	madurez cosecha		
May	suelo descubierto	ya cosechado		
Jun		suelo descubierto	veg. seca	
Jul				
Ago				
Sep			rebrote especies de verano (veg. Verde)	veg. muy vigorosa
Oct	germ/emerg			
Nov	vegetativo	germ/emerg		
Dic		vegetativo		

Posteriormente se le asignó a cada uno de estos usos del suelo un peso (1 a 6), cuyo valor dependió del impacto potencial, considerando que aquellos valores mayores son los que

tienen mayor probabilidad de impactar negativamente el recurso natural considerado.

Resultados y discusión

El mapa de vulnerabilidad del acuífero se construyó originalmente mediante el método DRASTIC, pero debido a la alta homogeneidad del mapa resultado y considerando que se está evaluando la peligrosidad de contaminación por pesticidas del acuífero, se consideró que lo correcto es trabajar con la metodología DRASTIC-P (Massone et al, 2007, Lima et al, 2011). El resultado fue un mapa con mayor heterogeneidad y zonas de distinta vulnerabilidad claramente demarcadas (Figura 2).

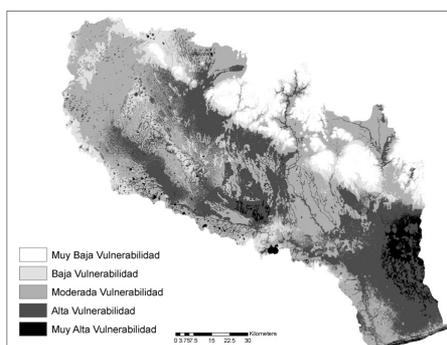


Figura 2. Mapa de Vulnerabilidad Específica a la contaminación por agroquímicos

El Índice DRASTIC resultante varió entre 97 y 197 para la CRQG, con un índice promedio de 135. Más del 40 % de la cuenca cae bajo la categoría de vulnerabilidad media (Tabla 3). Los sectores de menor vulnerabilidad se corresponden con la zona alta de la cuenca y las sierras de Tandilia, donde el nivel freático es más profundo. En cambio, las áreas más vulnerables se observan en la zona baja especialmente, donde los suelos tienen una textura más gruesa y el agua subterránea se encuentra a menor profundidad.

Tabla 3. Distribución de la vulnerabilidad en la CRQG

Grado de Vulnerabilidad	Porcentaje del terreno (%)
Vulnerabilidad Muy baja	9.68
Vulnerabilidad Baja	11.87
Vulnerabilidad Moderada	43.46
Vulnerabilidad Alta	31.84
Vulnerabilidad Muy Alta	3.16

Se calcularon los valores promedio de cada uno de los parámetros y el porcentaje que cada uno de ellos representa con respecto al valor del índice promedio para el área considerada (Tabla 4). Puede observarse que el mayor aporte en el cálculo del índice esta dado por los parámetros D, R, A y S, pero como R prácticamente no varía en la cuenca y A es constante en toda ella, se puede asumir que los parámetros que más influyen en la vulnerabilidad del acuífero son D y S.

Tabla 4 ID promedio de cada parámetro y porcentaje que representan del total.

	Promedio	%
D	27	19.6
R	24	17.5
A	24	17.5
S	25	18.2
T	15	10.9
I	16	11.6
C	6	4.4

Con respecto al mapa de Carga Contaminante potencial (Figura 3), se establecieron las siguientes reglas: aquellas zonas en las cuales la actividad agrícola es predominante, la posible carga contaminante al acuífero, es la máxima. Para las zonas urbanizadas el potencial de contaminación es alto, relacionadas principalmente con fuentes de contaminación del tipo puntual (Blanchoud et al, 2004, Blanchoud et al, 2007). Otra importante fuente de carga contaminante está dada por las áreas de vegetación natural para uso ganadero, donde los pesticidas no son aplicados directamente, pero se estima que en aquellos lugares donde la aplicación es constante, estos pueden sufrir hasta un 90% de volatilización (Pimentel y Levitan, 1986), por lo que posteriormente el plaguicida puede sufrir deriva por acción de los vientos (Tabla 5).

Tabla 5. Pesos de los distintos usos del suelo

Uso del suelo	Carga Contaminante Potencial
Agrícola	6
Ganadero	5
Urbano	4
Arena	3
Forestal	2
Agua	1

Posteriormente, este mapa fue validado en campo, mediante la entrevista a informantes calificados, que confirmaron que los usos del

suelo identificados mediante el análisis de imágenes satelitales se aproxima a los presentes en la cuenca de estudio.

El mapa de peligrosidad de contaminación se realizó asignándole un peso a cada categoría de los mapas de vulnerabilidad y carga contaminante potencial y posteriormente multiplicando estos pesos pixel a pixel, obteniéndose una nueva valoración para cada pixel, que serán nuevamente clasificados en distintas categorías (Tabla 6). El mapa obtenido (Figura 4) indica cuáles zonas podrían ser afectadas en mayor medida y de manera más rápida por cargas contaminantes generadas en la superficie del terreno, en función de las características del medio en ese punto.

Este mapa resultado fue cotejado con mediciones puntuales de concentraciones del insecticida Endosulfan en pozos de agua subterránea en la CRQG durante el año 2009. No se observó una relación directa entre las mayores concentraciones del insecticida y las zonas de mayor peligrosidad, aunque para llegar a una conclusión más certera sería necesario realizar más análisis, ya que en esta oportunidad solo se efectuaron determinaciones en 18 muestras. Esto puede ser debido a que el modelo no tiene en cuenta el movimiento del agua subterránea ni las posibles interacciones entre el insecticida analizado y la matriz del suelo. Otro factor a tener en cuenta son las condiciones climáticas imperantes en el momento de la aplicación del insecticida, ya que

este llega más fácilmente al acuífero cuando ésta es previa a precipitaciones importantes.

Tabla 6. Rangos de peligrosidad de contaminación y su representación areal

Grado de Peligrosidad	Porcentaje del terreno (%)
Peligrosidad Muy baja	12.34
Peligrosidad Baja	22.05
Peligrosidad Moderada	39.28
Peligrosidad Alta	24.34
Peligrosidad Muy Alta	1.99

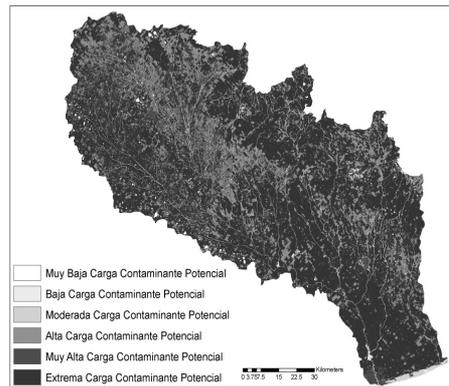


Figura 3. Mapa de Carga Contaminante

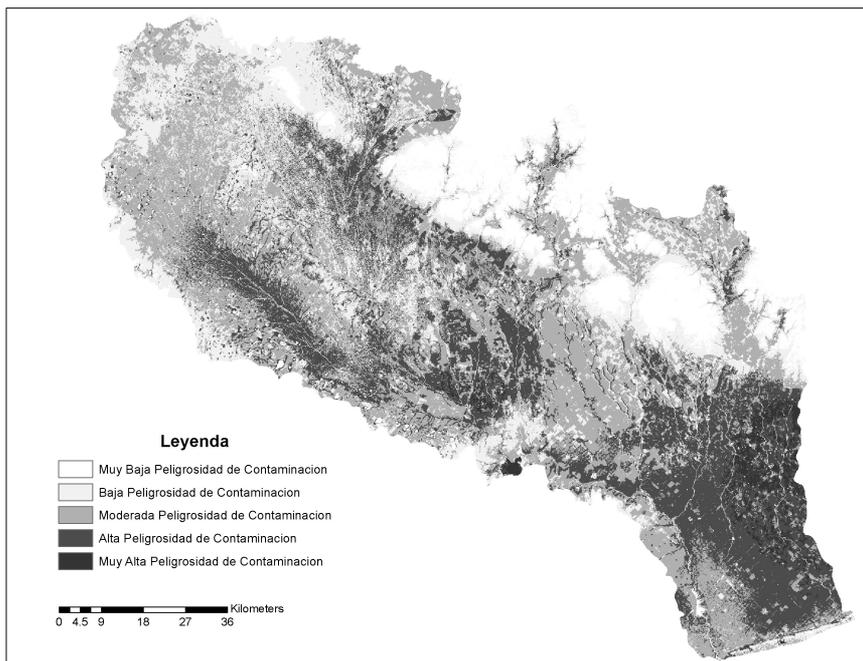


Figura 4. Mapa de Peligrosidad de Contaminación del Acuífero Pampeano

Conclusiones

De la combinación de ambos mapas de obtuvo un mapa final de peligrosidad de contaminación del acuífero, en el que se observa que el 25% de la superficie posee una peligrosidad baja, el 39% moderada y aproximadamente el 25% una peligrosidad alta. El área de menor peligrosidad se asocia con la presencia del sistema serrano de Tandilia, donde las actividades agrícolas-ganaderas están restringidas y el acuífero a una profundidad mayor. La zona con mayor peligrosidad coincide aproximadamente con la parte baja de la cuenca, donde interaccionan menores niveles freáticos y una intensa actividad agrícola y con los cauces de los principales cursos de agua.

En base a este mapa se pueden realizar los primeros pasos en la Gestión del Riesgo de Contaminación del Acuífero Pampeano, definiendo áreas en las cuales deben restringirse o prohibirse ciertas actividades e implementar acciones de seguimiento y de prevención de la contaminación. Sin embargo, en el momento de toma de decisiones debe

considerarse que el mapa final está resuelto a escala regional, por lo que la información brindada tiene una precisión asociada a esta escala; por lo tanto estudios de detalle serán necesarios para trabajar a otra escala.

Referencias

- Aller, L., Bennet, T., Lher, J.H. y 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.
- Alvarez, M.F., Osterrieth, M.L., Bernava Laborde, V. y Monti, L. 2008. Estabilidad, morfología y rugosidad de agregados de Argiudoles Típicos sometidos a distintos usos: su rol como indicadores de la calidad física de suelos de la provincia de Buenos Aires, Argentina. *Ciencias del Suelo* 26 (2): 115-129.
- Auge, M. 2003. *Vulnerabilidad de acuíferos. Conceptos y métodos*. Ebook: 1-38. RedIRIS Red Académica y Científica de España en Internet. <http://tierra.rediris.es/hidrored/ebooks/vulnerabilidad.html>

- Auge, M.P., Hirata, R. y López Vera, F. 2004. *Vulnerabilidad a la Contaminación por Nitratos del Acuífero Puelche en La Plata Argentina*. E-book: 1-187. FCEN UBA. www.gl.fcen.uba.ar/Hidrogeología/auge/libros.htm Buenos Aires.
- Blanchoud, H., Farrugia, F. y Mouchel, J.M. 2004. Pesticide uses and transfers in urbanised catchments, *Chemosphere*, Volume 55, Issue 6, 905-913.
- Blanchoud, H., Moreau-Guigon, E., Farrugia, F., Chevreuil M. y Mouchel, J.M. 2007. Contribution by urban and agricultural pesticide uses to water contamination at the scale of the Marne watershed, *Science of The Total Environment*, Volume 375, Issues 1-3, 168-179.
- Bocanegra, E., Massone, H., Martínez, D., Civit, E. y Farenga, M. 2001. Groundwater contamination: risk management and assessment for landfills in Mar del Plata, Argentina. *Environmental Geology*, Vol. 40 (6): 732-741.
- Chuvieco, E. 2002. Teledetección ambiental, la observación de la tierra desde el espacio. 1ª edición. Barcelona. Ed. Ariel Ciencia.
- Foster, S.; Ventura, M. y 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. En el marco de las *Terceras Jornadas de Actualización en Hidrología Subterránea*. Huerta Grande, Córdoba.
- Foster, S, Hirata, R., Gomes, D., D'Elia, M. y Paris, M. 2002. *Protección de la Calidad del Agua Subterránea*. GW-MATE-UNESCO-Banco Mundial. 115 pp.
- Gonzalez, M., Miglioranza, K.S.B., Shimabukuro, V.M., Quiroz Londoño, O.M., Martínez D.E., Aizpun, J.E y Moreno, V.J. 2012. Surface and groundwater pollution by organochlorine compounds in a typical soybean system from the south Pampa, Argentina *Environmental Earth Science* Special Issue 65 (2): 481-491.
- INTA-Castelar.1989.*Descripción de Cartas de Suelo Prov. Bs. As.* Esc.1:500.000.525 pp.
- IPEN-RAP-AL, 2008. El endosulfán y sus alternativas en América Latina. International POPs Elimination Network (IPEN), *Red de Acción en Plaguicidas y sus Alternativas para América Latina (RAP-AL)*. Volumen I. Fernando Bejarano, Coordinador. Disponibles en http://caata.org/publicaciones_-_alternativas_a_plaguicidas.html. Consultado el 25/3/2012.
- Llambías, E. y Prozzi, C.R. 1975. Ventania. En Geología de la Provincia de Buenos Aires, 6º *Congreso Geológico Argentino*, Relatorio 79-101, Buenos Aires.
- Lima, M.L., Zelaya, K., Massone, H. 2011. Groundwater vulnerability assessment combining the drasticand dyna-clue model in the Argentine Pampas. *Environmental Management*. Volume 47, Number 5, 828-839.
- Martínez, D.E., Quiroz Londoño, O.M., Dapeña, C., Massone H.E., Ferrante, A. y Bocanegra E. 2007 Aportes al modelo hidrogeológico conceptual de la cuenca del río Quequén Grande provincia de Buenos Aires. V *Congreso Argentino de Hidrogeología Actas*, 262-271.
- Massone, H.E., Martínez, D.E., Cionchi, J.L y Bocanegra, E.M. 1998. Suburban Areas in Developing Countries and its Relation with Groundwater Pollution. Mar del Plata (Argentina) as a Study Case. *Environmental Management*, Springer International, Vol 22 (2): 245-254.
- Massone, H., Quiroz Londoño, M., Tomas, M. y 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*, 16 al 19 de octubre, Paraná.
- Pimentel, D. y Levitan, L. 1986. Pesticides: Amounts of applied and amounts reaching pests. *Biogeosciences*, 36: 86-91
- Quiroz Londoño O.M., Martínez D.E., y Massone H.E. 2012. Evaluación comparativa de métodos de cálculo de recarga en ambientes de llanura. La llanura interserrana bonaerense (Argentina), como caso de estudio. *Revista DYNA* (Journal of th school of mine). Vol 171, 239-247.
- Richards, J.A. 1993. *Remote Sensing Digital Image Analysis, An Introduction*, 2ª edición, Berlín. Ed. Springer-Verlang.
- Teruggi, M. 1957. The nature and origin of argentine loess. *Journal of Sedimentary Petrology*, vol. 27 (3): 322-332.
- Teruggi, M.E. y Kilmurray, J.O. 1975. Tandilia. En Relatorio Geología de la provincia de Buenos Aires, 6 *Congreso Geológico Argentino*, 55-77
- Vergara Flórez, V., Gutiérrez Ribon, G. y Flórez Ramos, H. 2009. Evaluación de la vulnerabilidad del acuífero Morroa a contaminación por plaguicidas aplicando la metodología DRASTIC. *Ingeniería y Desarrollo* [online]. N.26 ISSN 0122-3461.