

Análisis de Sensibilidad Ambiental en sistemas acuíferos fisurados de la cuenca del río Santa Lucía, Uruguay.

Jorge Montaña¹, Mario Hernandez², María del Carmen Alvez¹, Mauricio Montaña¹, Alvaro Califra³ y Marcos Bonjour¹

¹ Geoambiente SRL, Río Branco 1438 of. 101, Montevideo Uruguay.

² Universidad Nacional de La Plata (UNLP), La Plata (1900), Buenos Aires, Argentina

³ UDELAR, Facultad de Agronomía, Cátedra de Suelos, Montevideo, Uruguay

Mail de contacto: info@geoambiente-uruguay.com

RESUMEN

En Uruguay, los acuíferos fisurados representan casi el 68% de la superficie del País. En el sur, estos acuíferos están compuestos por rocas ígneas y metamórficas de edad precámbrica, cubiertos parcialmente por una delgada capa de depósitos superficiales que no superan los 10m de espesor, determinando una gran sensibilidad frente a potenciales contaminantes en zonas donde se emplaza una intensa actividad antrópica. En este caso se desarrolla un método de vulnerabilidad basado en la identificación de las zonas acuíferas y los diferentes amortiguadores físicos y químicos de los suelos que componen la cobertura rocosa. Estos datos integrados mediante herramientas SIG permiten analizar la información espacial representada en mapas temáticos. El resultado se presenta en una carta final de sensibilidad donde se separan diferentes zonas con variaciones en los grados de vulnerabilidad, la cual proporciona una herramienta de gran importancia para el ordenamiento territorial basado en la protección de los recursos hídricos

Palabras clave: acuífero, fisurado, sensibilidad ambiental, SIG

ABSTRACT

In Uruguay, fissured aquifers represent nearly 68% of the area of the country. In the south, these aquifers are composed of igneous and metamorphic rocks of Precambrian age, partially covered by a thin layer of surface deposits that do not exceed 10 m in thickness, determining a great sensitivity to potential contaminants, in zones where it is located intense human activity. In this case, we developed a Method of Sensitivity based on the different buffer zones and physical and chemical properties of the soil cover. These data were integrated using GIS tools to analyze spatial information represented in thematic maps. The result is presented in a final sensitivity map which separate different areas with varying degrees of vulnerability, which provides a very important tool for land use planning based on the protection of water resources

Keywords: aquifer, fissured, environmental sensitivity, GIS

Introducción

La cuenca del Río Santa Lucía, cubre en total una superficie de unos 14.000 km². Su principal curso de agua abastece a la ciudad de Montevideo y el Sur del país, lo que representa un 60% de la población del Uruguay. (Fig.1) En toda el área se concentran zonas productivas importantes pertenecientes principalmente a pequeños propietarios, tamberos, chacras y escasas industrias químicas.

Un 60% del área de la cuenca, aproximadamente unos 9.000 km², corresponde a acuíferos fisurados, con rocas pertenecientes al basamento cristalino, compuestas principalmente por rocas ígneas y metamórficas de edad Precámbrica, cubiertas parcialmente por suelos y depósitos sedimentarios correspondientes a la Formación Libertad.

Debido a la intensa actividad antrópica que se desarrolla en la zona, es factible que los potenciales contaminantes puedan acceder al acuífero a través del medio no saturado, o directamente en el caso que el acuífero esté cerca de la superficie, o debido al mal uso del recurso por medio de pozos mal diseñados y entubados.

La metodología de trabajo se basa en la integración de datos mediante la utilización de herramientas SIG. La caracterización de la sensibilidad ambiental se realiza considerando la vulnerabilidad del acuífero basada en la capacidad de amortiguación natural de la zona no saturada. Específicamente se definen amortiguadores edafológicos y geológicos basándose en la carta de suelos del Uruguay, y en una extensa base de datos de perforaciones para abastecimiento de agua de los pequeños

productores que permiten ajustar los espesores de las capas suprayacentes al basamento.

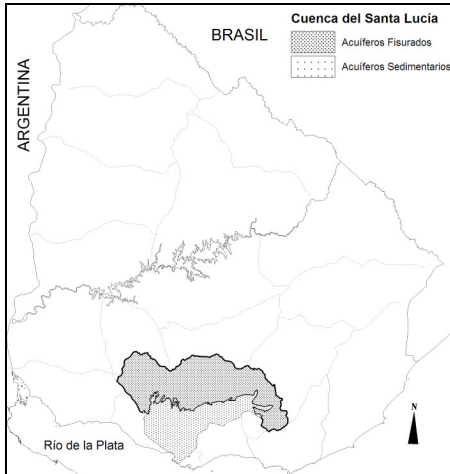


Fig. 1. Ubicación de la Cuenca del Río Santa Lucía.

De esta manera es posible estimar la amortiguación química (edafológica) en función de la capacidad de intercambio catiónico, y la física (geológica) a partir del tiempo de transferencia, influida por el espesor de los depósitos sedimentarios.

Metodología empleada

La metodología se fundamenta en los factores que inciden en la vulnerabilidad y son considerados para la caracterización de la sensibilidad ambiental en la cuenca y definen las características del medio no saturado y subsaturado.

- Suelos: Actúa uno de los principales factores regulador del grado de vulnerabilidad de los acuíferos en función de la amortiguación física, química y biológica.
- Zona no saturada: Refuerza la acción amortiguadora de los suelos y es esencial su rol en el caso que la cobertura edáfica sea nula o de escaso espesor.
- Zona saturada: Los acuíferos fisurados sin techo protector son altamente susceptibles a la contaminación.
- Recarga: Incide en la vulnerabilidad por ser el vehículo de los potenciales contaminantes.

Los suelos actúan como un medio de depuración natural y de reciclaje de las aguas. Los procesos de depuración más activos se dan en las primeras capas, correspondientes a los horizontes A y B.

La amortiguación química se presenta en función de la Capacidad de intercambio catiónico, lo que estará regulada por la proporción de materia orgánica y arcillas de tipo 2:1 (Illita, clorita, montmorillonita y vermiculita).

Caracterización del medio.

Los suelos predominantes en la zona de acuerdo a la Carta de Reconocimiento de suelos del Uruguay (MGAP, 1976) pertenecen al grupo de los Brunosoles (Argiudoles de acuerdo al Soil Taxonomy) correspondiente a las unidades San Gabriel – Guaycurú (SG-G), Isla Mala (IM), y Valle Aiguá (VA) (Fig.2).

Son suelos oscuros, con alto contenido de materia orgánica y texturas medias principalmente en los horizontes superficiales. Presentan una secuencia A-B₁-C, con un horizonte B generalmente argilúvico, (Argílico de acuerdo al Soil Taxonomy) de color oscuro.

Amortiguación química – Suelos

En la Tabla 1 se resume los datos referentes a la capacidad de campo expresada en mm, (cc-m) y a la conductividad hidráulica en flujo saturado en mm por hora (Chfs-mmh).

Tabla 1. Capacidad de campo y conductividad hidráulica de los principales grupos de suelos presentes en el área de estudio. ¹ Estimado a través de datos granulométricos y SPAW – Inédito, Califra, A.

Unidad	Agua cc-m	Chfs-mmh ¹
SG-G	90	4
IM	102	1
VA	90	1,2

Los argiudoles de estas Unidades, San Gabriel – Guaycurú (SG-G), Isla Mala (IM) y Valle Aiguá (VA) se caracterizan por una alta capacidad de intercambio catiónico, clasificándose como suelos con una amortiguación química edáfica de media a alta. (Montaña, 1999).

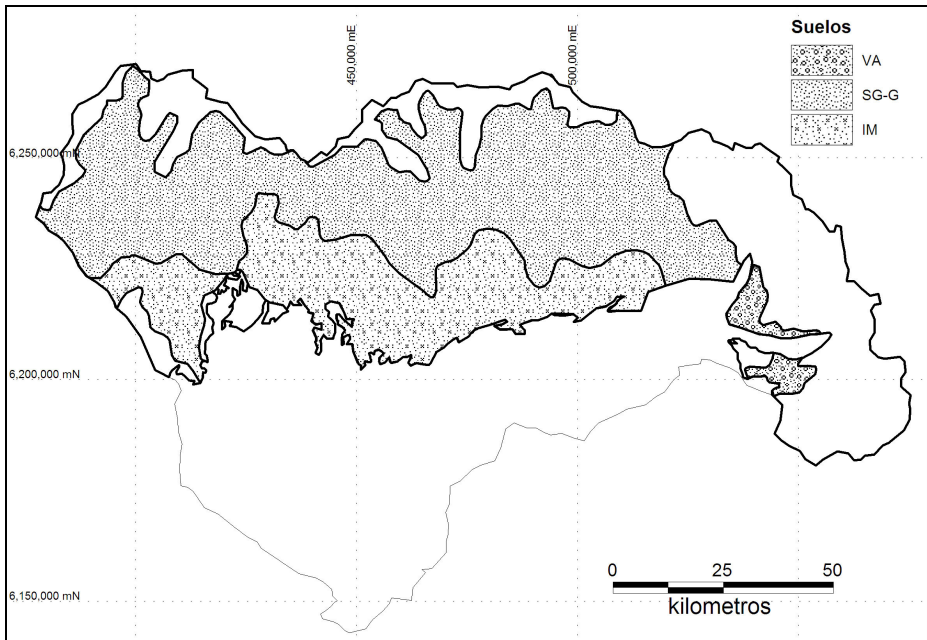


Fig.2. Clasificación de los suelos pertenecientes al área de estudio

Los niveles de acumulación de arcillas generalmente expansivas en el horizonte B, se expanden en condiciones de alta humedad generando barreras de muy baja permeabilidad, limitando e impidiendo muchas veces el pasaje de agua y por tanto de contaminantes hacia el subsuelo.

Este efecto se mide a través de la determinación del tiempo de tránsito. (Montaño, 1999), el cual para los brunosoles se establece en 71 días, (2,4 meses)

Amortiguación física - Geología

La cobertura sedimentaria del basamento cristalino corresponde a depósitos pertenecientes a la Formación Libertad (Pleistoceno Superior), correlacionable con limos pampeanos desarrollados en la llanura Chaco paranaense de Argentina. Son pelitas bien seleccionadas (loess) y mal seleccionadas (lodolitas) de tonalidades pardo a pardo rojizas con clastos dispersos en forma caótica en una matriz limo-arcillosa, siendo común la presencia de carbonato de calcio.

La permeabilidad media de la Formación Libertad es muy baja con velocidades de 0,012 m/día.

El tiempo de transferencia, se calcula en función de la permeabilidad media y el espesor de la formación.

Valores medios para la Formación Libertad (Montaño, 1999)

Espesor medio: 5-10

Espesor saturado: b – 2 m

Permeabilidad vertical k – 0,012 m/día

Gradiente hidráulico vertical: iv – 1

Aplicando Darcy, (Custodio y Llamas, 1983) se calcula la velocidad de transferencia aparente en 0,12 m/día, por lo que el tiempo de tránsito será:

$$Tt = \text{espesor} / \text{velocidad} = 0.6 \text{ días (14.4 hs)}$$

Para la determinación de los espesores de los sedimentos se contó con información de una base de datos de perforaciones para abastecimiento de agua, con un total de 123 registros de pozos distribuidos en la cuenca que captan agua del acuífero fisurado.

Los datos se encuentran georeferenciados, y proporcionan información acerca de la profundidad del pozo, nivel estático, nivel dinámico, caudal, y litologías atravesadas. Con estos datos se realizó un mapa de profundidad

del basamento. (Figura 3) y la elaboración de un mapa de rangos de espesor (Figura 4)

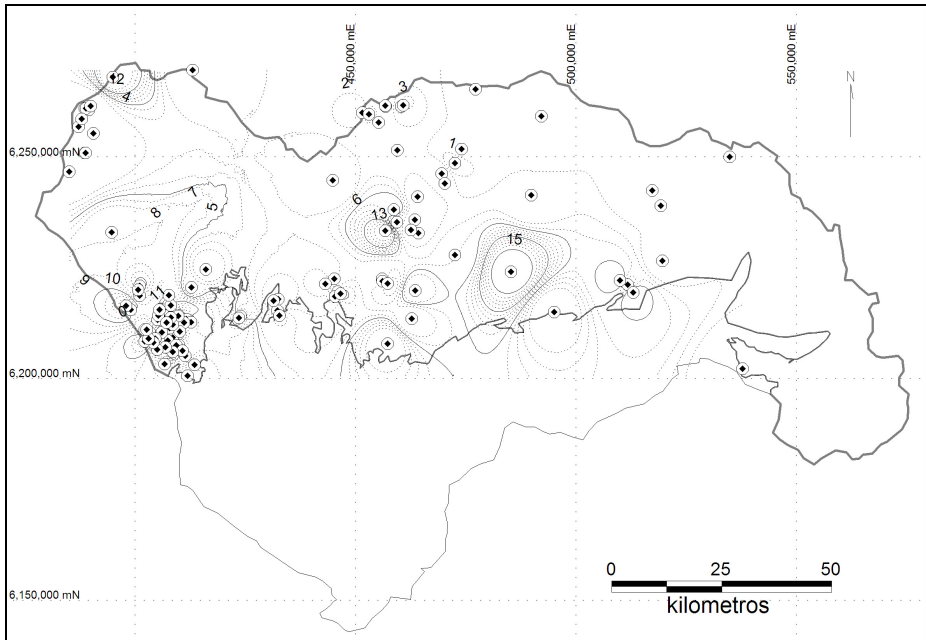


Fig.3. Profundidad del basamento cristalino y ubicación de las perforaciones estudiadas.

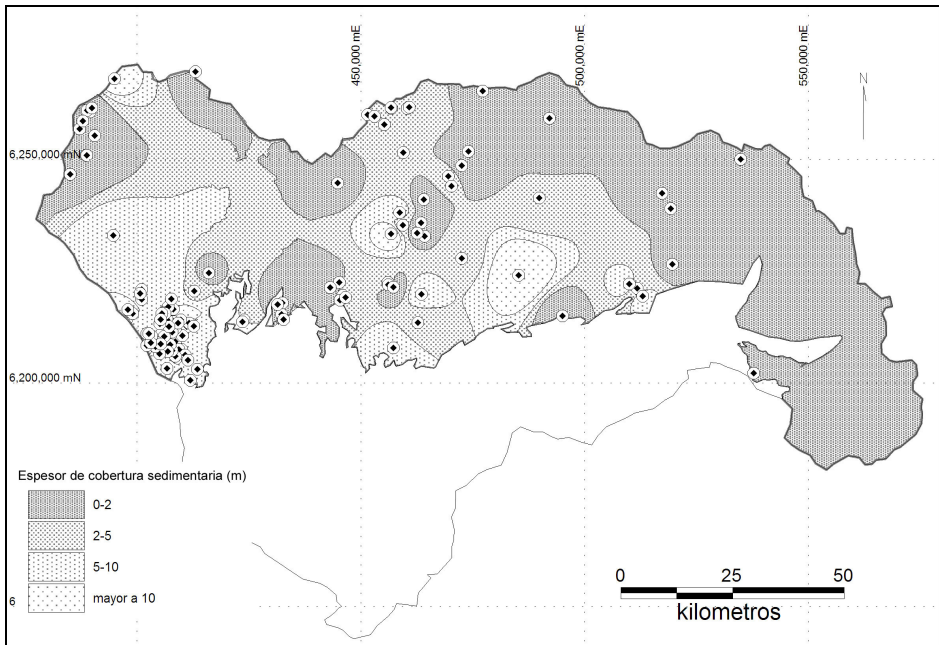


Fig. 4. Espesores de la cobertura sedimentaria.

Matriz de vulnerabilidad.

A través de los datos estudiados es posible determinar una matriz de vulnerabilidad asignándole un índice en función de la capacidad de amortiguación de los factores considerados.

El valor de la C.I.C. (Capacidad de intercambio catiónico) no se considera en la matriz de cálculo ya que las tres unidades de suelo (IM, VA, SG-G) corresponden al mismo grupo de suelos, Brunosoles, y sus valores son semejantes.

Tabla 2. Índice de vulnerabilidad en función del espesor sedimentario

Espesor sedimentario (m)	Índice de vulnerabilidad
0-2	0 (MUY ALTA)
2-5	0,5 (ALTA)
5-10	1 (MEDIA)
Mayor a 10	1,5 (BAJA)

Tabla 5. Matriz de sensibilidad

Coef.¹. Coeficiente de vulnerabilidad en función de la conductividad hidráulica en flujo saturado.

Coef.². Coeficiente de vulnerabilidad en función del espesor de la cobertura sedimentaria.

Brunosol	VA (Valle Aiguá)				SG-G (San Gabriel - Guaycurú)				IM (Isla Mala)			
Coef. ¹	0,5				0				0,5			
Espesor sed	0-2	2-5	5-10	≥10	0-2	2-5	5-10	≥10	0-2	2-5	5-10	≥10
Coef. ²	0	0,5	1	1,5	0	0,5	1	1,5	0	0,5	1	1,5
Índice	0,5	1	1,5	2	0	0,5	1	1,5	0,5	1	1,5	2
Sensibilidad	Muy Alta	Alta	Media	Baja	Muy Alta	Muy Alta	Alta	Media	Muy Alta	Alta	Media	Baja

El mapa de sensibilidad ambiental comprende 4 escalas de valores, determinados a partir de la matriz de sensibilidad. Los resultados obtenidos permiten observar que un 60% del área estudiada correspondiente a los acuíferos fisurados pertenecientes a la cuenca del Río

Tabla 3. Índice de vulnerabilidad en función de la unidad de suelo y la conductividad hidráulica en flujo saturado, medido en milímetros por hora. (Chfs – mmh).

Unidad	Chfs-mmh	Índice de vulnerabilidad
VA	1,2	0,5 (MEDIA)
SG-G	4	0 (ALTA)
IM	1	0,5 (MEDIA)

Estos resultados se integran en una matriz que clasifica diferentes rangos de sensibilidad.

Tabla 4. Sensibilidad ambiental

Coefficiente	Sensibilidad
0-0,5	MUY ALTA
1	ALTA
1,5	MEDIA
2	BAJA

Santa Lucía, se clasifica como zona de muy alta sensibilidad ambiental, un 23% como zona alta, 14% media, y solamente un 3% a sensibilidad baja.

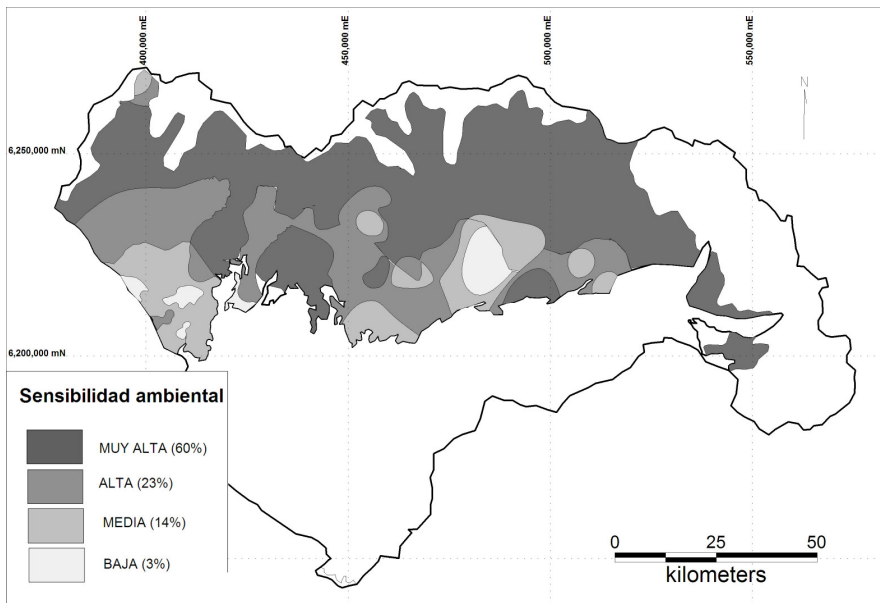


Fig. 5. Mapa de sensibilidad ambiental

Conclusiones y recomendaciones.

En el presente trabajo se ha desarrollado una metodología de caracterización de la sensibilidad ambiental de los acuíferos fisurados a partir de la vulnerabilidad de acuíferos en función de los parámetros de atenuación natural de la zona no saturada y subsaturada.

El mapa de sensibilidad ambiental comprende 4 escalas de valores, determinados a partir de la matriz de sensibilidad. De los resultados obtenidos se observa que solo un 3% del área estudiada (223 km²) corresponde a zonas de baja sensibilidad ambiental, un 14% (885 km²) a zonas de sensibilidad media, 23% (1454 km²) a zonas de sensibilidad alta, y el 60% (3852 km²) a zonas de muy alta sensibilidad ambiental.

Esta información es útil a la hora de determinar la implantación de actividades potencialmente contaminantes como lo son la ubicación de los tambos y feedlot característicos de la zona.

Se destaca la importancia de la Cuenca del Río Santa Lucía, ya que la misma abastece a más de un 60% de la población del Uruguay. Los acuíferos fisurados representan un poco más de la mitad del área de la cuenca y un 83% de los mismos está situado en zonas de alta a muy alta sensibilidad por lo que es necesario el

desarrollo de una legislación que contemple la protección dentro del área, y se implemente un monitoreo permanente para evaluar su estado, y que permita corregir y mejorar las condiciones de la cuenca

Referencias

- Custodio, E. y Llamas M. R. 1983. *Hidrología subterránea*. Ed. Omega. Barcelona.
- MGAP, 1976. Carta de reconocimiento de suelos del Uruguay.
- Montaño Xavier, J, 1999. Caracterización y vulnerabilidad de sistemas hidrogeológicos discontinuos, Cuenca del Arroyo Carrasco, Montevideo, Uruguay. *Tesis doctoral, Universidad de Buenos Aires*.
- SPAW – Soil – Air – Plant - Water Field & Pond Hydrology Version 6.02 75 Keith Saxton, *USDA Agricultural Research Service, Washington State University*.