



CARTOGRAFÍA DE LA VULNERABILIDAD DE ACUÍFEROS CUBANOS EMPLEANDO LA METODOLOGÍA EKV MODIFICADA

Rosa M. Valcarce , Willy Rodríguez

Instituto Superior Politécnico “José Antonio Echeverría”

RESUMEN

El desarrollo socio - económico de nuestro país necesita de una explotación ambientalmente segura de sus recursos naturales, y en este sentido, proteger las aguas subterráneas de la contaminación provocada por actividades domésticas, agrícolas e industriales, tiene importancia de primer orden.

En el presente trabajo se aplica la metodología EKV modificada para cartografiar la vulnerabilidad natural de los acuíferos cubanos a Escala 1:250 000, empleando los parámetros: profundidad del agua subterránea y permeabilidad del suelo. Se concluye que la metodología desarrollada, de fácil aplicación, es de mucha utilidad para apoyar políticas de protección de los acuíferos y que, aplicada a escalas más detalladas, es una importante herramienta para planificar un uso del suelo con mínimo impacto en la calidad de las aguas subterráneas.

ABSTRACT

The economic and social development of our country needs an environmental control of the exploitation of our natural resources, and in this sense, to protect the underground waters of the contamination caused by domestic, agricultural and industrial activities; this task has importance of first order.

In this work is applied the methodology EKV modified for mapping the natural vulnerability from the Cuban aquifers to Scale 1:250 000, using the parameters: depth of the underground water and permeability of the floor. We conclude that the developed methodology, of easy application, it is of a lot of utility to support political of protection of the aquifers and that, applied to detailed scales, it is an important tool to plan an use of the floor with minimum impact in the quality of the underground waters.

INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso natural imprescindible para la vida y para el desarrollo de la sociedad.

El agua de los océanos representa el 97% del volumen total de agua en el planeta; sólo aproximadamente el 3% del agua disponible en la Tierra es agua dulce. Del agua dulce el 79% está en los casquetes polares y sólo el 21% representa los recursos hídricos aprovechables, de los cuales el 20% es agua subterránea y el 1% es agua superficial (www.infoagua.org).

En el mundo hay por lo menos 1 500 millones de personas para quienes las aguas subterráneas constituyen la fuente principal de agua dulce. Sin embargo, en muchas regiones la sobreexplotación y la contaminación están amenazando estas fuentes de abasto y se hace imprescindible la protección de las mismas.

En Cuba, las aguas subterráneas ocupan el 31% del volumen total del agua que se consume anualmente para satisfacer necesidades de la actividad económica y social (CITMA, 2001). Estas estadísticas reflejan la importancia de proteger este recurso vital.

En los últimos años ha sido creciente la preocupación de la sociedad ante la degradación de la calidad de los recursos hídricos subterráneos. Cada vez existe mayor conciencia sobre la necesidad de desarrollar una gestión ambientalmente segura de las aguas subterráneas. Como resultado de esta situación, actualmente se generaliza el uso de técnicas para cartografiar la vulnerabilidad de acuíferos a la contaminación, como una herramienta de gran utilidad para



compatibilizar la carga contaminante generada por actividades antrópicas y la capacidad del medio acuífero para soportar la misma sin perjuicio de la calidad del agua subterránea.

El término **vulnerabilidad del agua subterránea a la contaminación**, fue introducido por el hidrogeólogo francés J. Margat a finales de la década del 60 (Margat, 1968), basado en el hecho real de que, en cierta medida, el medio físico protege al acuífero de contaminantes que pueden infiltrarse desde la superficie.

El objetivo principal de un mapa de vulnerabilidad, es la subdivisión del área en diferentes unidades homogéneas, a veces llamadas celdas o polígonos, que tienen diferentes niveles de vulnerabilidad. Sin embargo, esta diferenciación entre las celdas, solo muestra la vulnerabilidad relativa de unas áreas con respecto a otras, no representan valores absolutos.

Antes de intentar construir un mapa de vulnerabilidad, debe ser cuidadosamente definido y analizado el término **vulnerabilidad del agua subterránea**. En este trabajo se considera que vulnerabilidad es una **propiedad intrínseca de un sistema acuífero que depende de su sensibilidad a impactos naturales y/o antropogénicos** (Vrba y Zaporozec, 1994).

No obstante, debe destacarse que se distingue más de un tipo de vulnerabilidad del agua subterránea. El concepto anterior se refiere a la **vulnerabilidad intrínseca o natural**, la cual es una función de las características hidrogeológicas del acuífero, de los suelos y materiales geológicos que lo cubren. Además de estas propiedades intrínsecas, pueden ser considerados los efectos potenciales de determinados contaminantes, en detrimento (en espacio y tiempo), del uso presente y futuro de las aguas subterráneas.

O sea, científicamente es más coherente evaluar la vulnerabilidad a cada clase de contaminantes, (nutrientes, patógenos, metales pesados, etc) o a cada grupo de actividades contaminantes (agrícolas, industriales, etc), pero en general, no existe información suficiente para alcanzar este ideal. Por otra parte, ello obligaría a consultar un atlas de vulnerabilidad para cada zona, lo cual podría no tener mucho uso práctico. Es por ello que a nivel mundial ha tenido gran desarrollo los sistemas generalizados de clasificación de vulnerabilidad de acuíferos, que evalúan la llamada **vulnerabilidad intrínseca, natural o integrada**.

Se han desarrollado diferentes técnicas para evaluar la vulnerabilidad natural de acuíferos. Las más conocidas son: DRASTIC (Aller et al 1987), GOD (Foster & Hirata 1988), SINTACS (Civita, 1990), AVI (Van Stempvoort, 1994), Ekv (Auge, 1995)

DRASTIC, SINTACS y GOD, evalúan la vulnerabilidad del acuífero dividiendo el mismo en celdas o polígonos, para los cuales calculan un índice de vulnerabilidad a partir de un sistema por rangos ponderados. O sea, estos métodos definen rangos para cada uno de los parámetros que emplean y además asignan un peso en función de la importancia relativa de dicho parámetro. La suma de estos rangos ponderados permite obtener un índice que refleja la vulnerabilidad de cada celda o polígono del acuífero. A mayor valor de este índice, mayor es la sensibilidad del acuífero a la contaminación.

El método AVI, calcula la resistencia hidráulica vertical total de las capas que sobreyacen al acuífero, dividiendo el espesor de cada capa entre su conductividad hidráulica vertical. La suma de estos cocientes es precisamente el índice AVI, el cual expresa la resistencia hidráulica que ofrece el medio que protege al acuífero y es inversamente proporcional a la vulnerabilidad del mismo.

La metodología desarrollada por Auge (1995), considera que la vulnerabilidad es un concepto relativo que se refiere al grado de protección natural de un acuífero a la contaminación. Para los acuíferos libres desarrolla una clasificación basada en la profundidad del nivel freático (E) y en la permeabilidad vertical de la zona no saturada (Kv). Ambos valores se suman brindando un índice



final con extremos entre 2 y 10. Para valores entre 2 y 4 se clasifica la vulnerabilidad como baja, entre 5 y 7 media y entre 8 y 10 alta.

Los Sistemas de Información Geográfica constituyen herramientas muy útiles y efectivas para la aplicación de estas metodologías y se reportan no pocos trabajos en la literatura internacional en este sentido (Taco y Galarrazaga, 2002).

La tarea técnica planteada a esta investigación fue:

Obtener un mapa de vulnerabilidad de las principales cuencas subterráneas de Cuba, a escala 1:250 000, que constituya punto de partida para decidir sobre investigaciones y redes de monitoreo a escalas más detalladas y dictar políticas de control a las actividades agrícolas, industriales y urbanas.

METODOLOGÍA

A partir de la revisión bibliográfica realizada y de la información edafológica e hidrogeológica disponible, fue desarrollada la metodología que a continuación se describe y que se ha denominado EKv modificada.

a) Información disponible.

Para el desarrollo de la investigación se contó con la siguiente información para todo el territorio nacional:

- Mapa Hidrogeológico Escala 1:250 000 (Flores, et. al., 2000)
- Mapa de Suelos Escala 1:500 000 (Griset, 2000)

b) Variables empleadas.

- ✓ Profundidad del agua (E)

Criterio de selección: Mientras más profundo se encuentre el nivel freático, mayor es el espesor de la zona no saturada y su capacidad de atenuar la carga contaminante.

- ✓ Permeabilidad del suelo (Kv)

Criterio de selección: Este parámetro cuantifica la resistencia que hace el suelo a la infiltración de un contaminante, y de esta forma expresa la inaccesibilidad hidráulica al acuífero.

Tabla I.- División por rangos de cada uno de estos parámetros:

Profundidad del agua (en metros)	Rango
0 – 10	5
10-30	3
>30	1

Permeabilidad del suelo	Rango
suelos excesivamente permeables	5
suelos bien permeables	4
suelos permeables	3

suelos de mala permeabilidad	2
suelos de muy mala permeabilidad	1

El índice Ekv es calculado sumando los parámetros E y Kv, obteniéndose valores entre 2 y 10 como se muestra en la siguiente matriz:

Tabla II.- Matriz

Kv	1	6	4	2
	2	7	5	3
	3	8	6	4
	4	9	7	5
	5	10	8	6
		5	3	1
		E		

La vulnerabilidad en cada zona fue clasificada a partir de los valores del índice Ekv modificado, como se muestra a continuación:

Ekv modificada	Vulnerabilidad
entre 2 y 4	Baja
Entre 5 y 7	Media
Entre 8 y 10	Alta

c) Empleo del Sistema de Información Geográfica

Toda la información fue representada en el sistema ArcView y el procesamiento de la misma fue realizado haciendo uso de las ventajas de este sistema.

Fueron creados los mapas de profundidad del nivel frático y permeabilidad de los suelos en formato raster. Cada uno de estos mapas fue reclasificado según los rangos ya explicados. Finalmente se procedió a sumar estos mapas temáticos para calcular el índice Ekv modificado.

RESULTADOS

La figura 1 presenta el Mapa de Vulnerabilidad de Acuíferos obtenido para el territorio nacional a través de esta metodología.

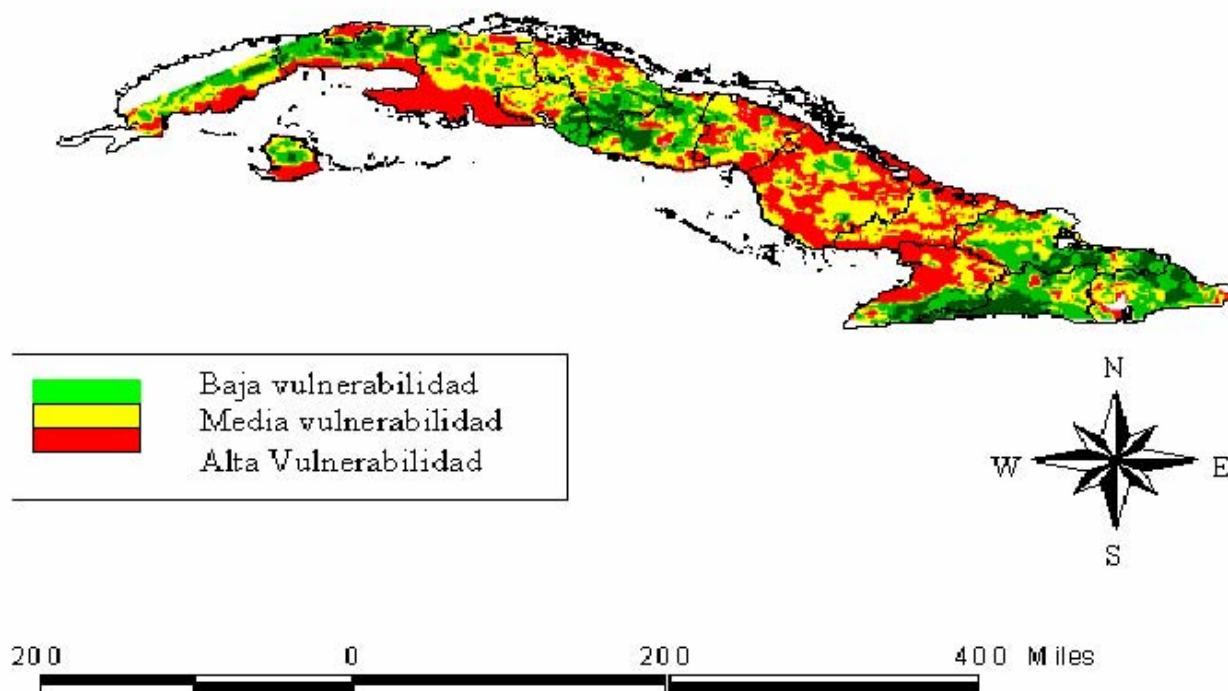


Figura 1.- Mapa de vulnerabilidad de acuíferos cubanos según índice Ekv modificado.

CONCLUSIONES

Se ha presentado una aplicación SIG para evaluar la vulnerabilidad de acuíferos en todo el territorio nacional a escala 1:250000, que tiene gran valor desde el punto de vista metodológico y práctico.

Metodológicamente esta aplicación demuestra la posibilidad de confeccionar mapas como éste a escalas mas detalladas siempre y cuando se cuente con la información necesaria. Al mismo tiempo se demuestra las facilidades que brinda un sistema de información geográfica para resolver esta tarea.

Desde el punto de vista práctico, el resultado obtenido constituye punto de partida para:

- ✓ evaluar el peligro de contaminación de las aguas subterráneas.
- ✓ dictar políticas de control a las actividades agrícolas, industriales y urbanas.
- ✓ decidir sobre investigaciones y redes de monitoreo a escalas más detalladas.

RECOMENDACIONES

Desarrollar estudios de vulnerabilidad de acuíferos a escalas mas detalladas (1:100000 a 1:25000 y mayores), con el objetivo de contribuir eficientemente en toma de decisiones sobre uso del suelo y diseñar programas de protección de las aguas subterráneas.

BIBLIOGRAFÍA



- Aller, L., T. Bennet, J. Lehr, Petty, R., y G. Hackett, 1987: DRASTIC: A Standardized System for Evaluating Groundwater Pollution Potential Using Hydrogeologic Setting. National Water Well Association. Dublin Ohio. EPA, Oklahoma. USA, EPA-600/2-87-035.
- Auge, M. 1995: Primer Curso de Posgrado de Hidrogeología Ambiental. UBA 1-65. Buenos Aires, 1995.
- Auge, M. 2004: Vulnerabilidad de Acuíferos. Revista Latinoamericana de Hidrogeología, n4, p.85 – 103, 2004
- CITMA, 2001: Situación ambiental cubana 2001. ISBN 959 246 039 6. Ciudad de La Habana, Cuba.
- Civita, M., 1990: Assessment of aquifer vulnerability to contamination. "Protezione e Gestione delle Acque Sotterranee Metodologie, Technologie e Obbietivi". Marano sul Panaro, v-3, p. 39-86
- Foster, S y R. Hirata, (1988): Determinación de riesgos de contaminación de aguas subterráneas. CEPIS, Lima, Perú.
- GEOCUBA, 2000: Mapa del relieve topográfico de Cuba a escala 1:250000
- Griset, J., J. A. A. Hernández, J. Rosario, N. Ferrer, et. Al. 2000: Suelos 500000. Una aplicación SIG para los servicios técnicos, la investigación y la docencia especializada. Memorias de Geomática 2002. Ciudad de La Habana, Cuba.
- Instituto de Meteorología, 2000: Datos de Precipitaciones en Cuba período 1995 2000, www.met.in.cu
- Margat, J., 1968: Groundwater vulnerability to contamination. BRGM, 68 sgl 198, HYD, Orleans, France.
- Taco, G. Y R. Galarrazaga (2002): Aportación de los sistemas de información geográficos a la protección de acuíferos. Uso de un sistema de información geográfico para determinar la vulnerabilidad de un acuífero andino de origen volcánico. Escuela Politécnica Nacional, Dpto de Ciclas del Agua, Quito, Ecuador.
- Van Stempvoort, D. Ewert, L. Wassenaar, 1994: AVI: A method for groundwater protection mapping in the Prairie, Provinces of Canada. Saskatchewan.
- Vrba y Zaparozec, 1994: Guidbook on Mapping Groundwater Vulnerability International Association of Hydrogeologists. Vol. 16. ISBN 3-922705-97-9.

