

EMPLEO DE LOS SIG PARA EL ESTUDIO DE LA VULNERABILIDAD NATURAL DEL ACUÍFERO CARSICO CUENCA SUR DE LA HABANA CUBA

MSc. Hazel Carrasco Pérez⁽¹⁾, Dr. Rosa María Valcarce⁽²⁾, MSc. Sigilfredo Jiménez Echevarría⁽³⁾.

(1) *Instituto de Geografía Tropical. Cuba.*

Calle 13 No. 409 e/ F y G, Vedado, CP 10 400, Telef: 832-8437. FAX: 662236.

E-mail: hazel@geotech.cu, hazcape@yahoo.es

(2) Instituto Superior Politécnico José Antonio Echevarría

(3) Geocuba I.C

RESUMEN

En la mayoría de los países del mundo, los recursos hídricos subterráneos proporcionan más de la mitad del agua de abastecimiento humano. El agua subterránea era considerada un recurso protegido contra la contaminación, pero ha quedado demostrado que los acuíferos pueden ser afectados por actividades antrópicas y la protección de los mismos constituye uno de los problemas más acuciantes para poder lograr el desarrollo sostenible de la sociedad.

En la actualidad, existen diversas herramientas computacionales que contribuyen en la realización de estudios sobre manejo integrado de los recursos naturales; entre ellas se destacan los Sistemas de Información Geográfica (SIG), los cuales permiten analizar la variabilidad espacial y temporal de los diferentes datos que conforman la información necesaria para llevar a cabo estudios de esta naturaleza.

La cartografía de vulnerabilidad de acuíferos, es una de las vías más adecuadas para preservar la calidad de las aguas subterráneas. Ella posibilita diferenciar las características naturales del terreno para proteger al acuífero de la acción de múltiples contaminantes que pueden infiltrarse desde la superficie, asociados a la actividad del hombre.

El trabajo que se presenta tiene como objetivo evaluar la vulnerabilidad natural del Tramo Güira-Quivicán, (Cuenca Sur de La Habana). Para ello se empleó la metodología desarrollada por Foster e Hirata (1988), modificada por Escolero (1992 a) y ajustada a las condiciones cubanas, soportada sobre tecnologías de avanzada como son los Sistemas de Información Geográficos (SIG) y la cartografía digital. Como resultado final se obtiene el mapa de vulnerabilidad, a escala 1: 100 000.

INTRODUCCIÓN

El agua es el disolvente universal, el medio en que se desarrollan todos los procesos vitales y uno de los recursos naturales más abundantes. A pesar de ello, la disponibilidad de agua para dar respuesta a la demanda impuesta por la sociedad actual es cada vez más limitada. Una de las causas que limitan su uso es el creciente deterioro de su calidad. La importancia de las aguas subterráneas es incuestionable.

Para ilustrar esta afirmación basta señalar que su explotación requiere de una pequeña infraestructura e inversiones muy modestas, en general presentan excelente calidad natural, están ampliamente distribuidas en regiones tropicales, son relativamente poco afectadas por períodos cortos de sequía, generalmente son la fuente de agua dulce más importante para muchas islas (González, 1997). Sin embargo, es frecuente no tomar en cuenta que para una administración ambientalmente segura, la mejor práctica es proteger este recurso de la contaminación, porque la descontaminación de un acuífero suele ser un proceso muy largo, costoso y a veces prácticamente irreversible (Llamas, 1999).

Una revisión de las estrategias de protección de la calidad de las aguas subterráneas a nivel mundial, revela la existencia de dos líneas básicas de acción: el establecimiento de Perímetros de Protección Sanitaria alrededor de pozos de abastecimiento público; y otra línea más amplia dirigida a la cartografía de la vulnerabilidad del acuífero a la contaminación (Hirata y Reboucas, 1999). El concepto de vulnerabilidad de acuíferos, aplicado a la contaminación antrópica, es una de las vías más adecuadas para preservar la calidad de los recursos hídricos subterráneos.

Al disponer del mapa de vulnerabilidad de un acuífero, es posible distinguir las características naturales del terreno para proteger al acuífero de contaminantes que pueden infiltrarse desde la superficie. Esto debe contribuir a realizar una ocupación del suelo ambientalmente responsable, lo que significa establecer una actividad humana en función de la capacidad del medio de atenuar la carga contaminante que la misma genera. Esta es la única forma de lograr realmente la convergencia de desarrollo humano y medio ambiente en lo que se ha denominado **desarrollo sustentable o sostenible**: “aquel que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades”.

OBJETIVOS

Evaluar la vulnerabilidad natural del Tramo Güira-Quivicán, (Cuenca Sur de La Habana) a partir de los métodos GOD y AVI.

1. Conceptos fundamentales.

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.

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. En tal caso es definido el término **vulnerabilidad específica o integrada**.

En general, los mapas de vulnerabilidad deben ser vistos como una de las herramientas principales para el manejo del medio ambiente y pueden ser usados con tres propósitos fundamentales:

- En procesos de toma de decisión concernientes a la protección y manejo de los recursos hídricos subterráneos.
- Para identificar áreas susceptibles a la contaminación y decidir sobre las investigaciones y redes de monitoreo necesarias
- En planes informativos y educativos sobre la necesidad de proteger los acuíferos y evitar la contaminación del agua subterránea, insistiendo en que los acuíferos forman parte de un sistema ecológico interconectado que está siendo afectado por la actividad humana.

En la actualidad las limitaciones principales de los mapas de vulnerabilidad son las siguientes:

- Ausencia de datos representativos en calidad y cantidad, lo que puede impedir la construcción de los mapas a la escala necesaria.

Descripción incompleta o incorrecta de las características geológicas e hidrogeológicas del acuífero, lo cual es punto de partida para la construcción de los mapas de vulnerabilidad.

- Ausencia de una metodología general para la construcción de estos mapas. Muchos investigadores coinciden en cuáles son los parámetros a tener en cuenta para evaluar la vulnerabilidad de un acuífero, pero no en la metodología a aplicar para ello. Esto provoca que diferentes autores partiendo de los

mismos datos, puedan arribar a conclusiones diferentes. · Escasa experiencia en la validación y verificación de los mapas de vulnerabilidad a nivel mundial.

2. Características del área de estudio.

El acuífero Costera Sur está situado al sur de la Provincia de La Habana. Tiene un uso extensivo en la agricultura y en él se ubica una de las principales fuentes de abasto a Ciudad de La Habana, y a otras ciudades y pueblos enclavados en el territorio. En la zona de estudio se encuentran 11 pueblos, para una población de aproximadamente 60 000 habitantes. Los pueblos más grandes son: Güira de Melena, Quivicán, y Alquizar.

De acuerdo a estudios recientes, (López,1992); (Popov y López, 1998), esta cuenca ha sido dividida en cinco tramos hidrodinámicos. La zona estudiada pertenece al tramo Guira – Quivicán y abarca un área aproximada de 720 km², (Figura 1).

La zona de estudio es un área agrícola típica, cubierta de vegetación tropical. La temperatura promedio es de 24.4 grados centígrados con una humedad promedio de 82% y una velocidad promedio del viento de 4.9 KM/h.

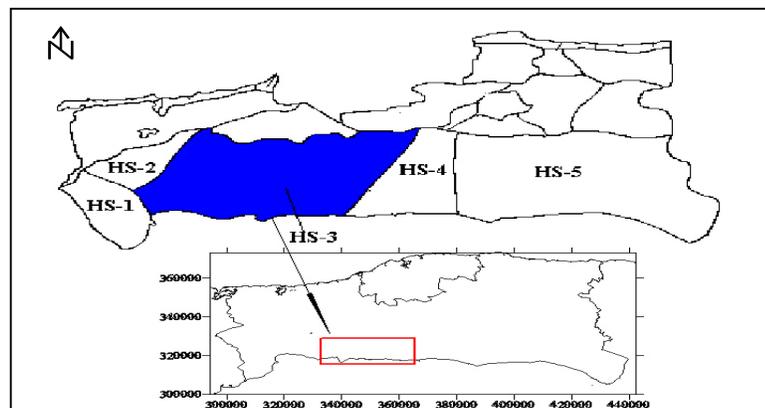


Fig. 1. Ubicación de la zona de estudio

La estratigrafía del área abarca desde el Oligoceno hasta el Cuaternario y está representada por 4 formaciones básicamente, las cuales expresan el desarrollo geológico de la región, marcado por la actuación de los movimientos tectónicos, neotectónicos y de los diferentes procesos exógenos niveladores del relieve. Estas formaciones son: **Formación Husillo (Hs).** - **Formación Cojímar (Cj).** - **Formación Güines (Gs)** y **Depósitos Palustres.**

Algunas características de la zona de estudio son:

Las aguas saladas en el tramo Artemisa Quivicán se encuentran a una distancia de la costa que varían entre 1 y 7 Km y ocupan un área de 166 km² . La profundidad de yacencia ha sido determinada por una amplia red de pozos de observación, en los que, durante 20 años, se realizan las mediciones sistemáticas de batimetría.

La superficie de la zona de difusión se extiende desde la cota cero, cerca de la franja costera, hasta las cotas absolutas de -30 a -40 m en la parte central, en forma de una anomalía que penetra 14 Km dentro del tramo. El espesor de la zona de difusión, obtenido por los resultados de carotaje en los pozos de observación, es bastante. Los parámetros hidrogeológicos de este acuífero han sido estudiados desde hace más de 50 años cuando comenzaron a ejecutarse los primeros proyectos para abasto, riego y uso industrial.

3. Problemas de contaminación de las aguas subterráneas en el área de estudio.

Durante las últimas décadas, la deposición de desechos sin tratamiento adecuado ha sido causa del deterioro de las aguas subterráneas, afectando la calidad del agua tanto para uso doméstico, agropecuario e industrial.

En el área se encuentran fuentes de contaminación puntuales, lineales, difusas y potenciales. Como fuentes puntuales de contaminación se identifican residuos de animales de granjas, basureros, tanques sépticos y fosa, vertederos de residuales industriales, tanques de almacenamiento de petróleo así como de productos químicos para la agricultura y la industria. Como fuentes lineales en el área se presentan tuberías conductoras de petróleo, aguas residuales y aguas albañales que presentan fugas. Como fuentes difusas aparece la aplicación de fertilizantes en la agricultura que provocan altas concentraciones en el suelo de cloruros, nitratos, calcio, amonios, nitratos, fósforos, sulfatos, potasio, magnesio, y manganeso.

MATERIALES Y METODOS

Metodología empleada para evaluar la vulnerabilidad natural del acuífero.

Teniendo en cuenta la base de datos disponible y después de un profundo análisis bibliográfico sobre metodologías desarrolladas para acometer estas investigaciones, se decidió aplicar la metodología GOD, desarrollada por Foster e Hirata (1988) pero considerando las modificaciones introducidas por Escolero (1992)

Esta metodología fue ajustada a las condiciones del acuífero bajo estudio y fue soportada sobre el Sistema de Información Geográfico ArcView. A continuación se explican los parámetros evaluados:

Periodo relativo de atraso para el acceso de contaminantes: Constituye uno de los aspectos más importantes, pues es aquí donde la zona no saturada ejerce su influencia. Es función de:

- Condición natural del acuífero: Puede presentar diferentes grados de confinamiento hasta llegar al tipo libre. Es claro que mientras mayor sea el nivel de confinamiento, más difícil será para el agente contaminante entrar en contacto con las aguas del subsuelo.
- Profundidad del nivel estático: En muchos casos se presentan fuertes variaciones de este, por lo que se sugiere considerar la profundidad del nivel superior de las aguas subterráneas en épocas de nivel más alto de las mismas. Mientras más profundo se

encuentre el nivel estático, mayor es el espesor de la zona no saturada y su capacidad de atenuación.

- Condiciones de explotación: La forma en que se realiza el aprovechamiento puede ocasionar la sobreexplotación local o general del acuífero originándose diferencias de presión hidrostática y fuertes gradientes hidráulicos, lo que culmina con la interconexión de acuíferos y la probable interconexión de agua contaminada de otros cuerpos de agua, como la intrusión de agua marina y la infiltración de aguas superficiales contaminadas.

- Conductividad hidráulica de la zona no saturada: Mientras menor sea ésta, más difícil será para el agente contaminante desplazarse hacia la zona saturada, constituyendo de esta manera un factor retardante en el proceso de contaminación.

Capacidad de reacción físico-química con respecto al contaminante: Este aspecto se refiere a la respuesta del medio hidrológico una vez que el agente contaminante ha ingresado al mismo. Es función de :

- Estratificación del medio acuífero: Mientras más estratificado sea el medio , más limitada estará la propagación del agente contaminante a toda la zona saturada estableciéndose direcciones preferenciales de propagación en función de la permeabilidad de los estratos acuíferos y del mismo flujo subterráneo.

- Litología del acuífero: Los fenómenos de difusión y de dispersión de los agentes contaminantes dependen de la granulometría, textura, fraccionamiento, etc, de las rocas.

- Conductividad hidráulica del medio acuífero ó Transmisividad: Define patrones de dispersión y de difusión de los contaminantes, pero también puede influir en el tiempo de contacto, permitiendo el desarrollo de procesos químicos entre el agua contaminada y la matriz del acuífero. A mayor Transmisividad, mayor vulnerabilidad del acuífero.

Potencial general de dilución del medio hidrogeológico: Es importante considerar el efecto de agentes externos al medio hidrogeológico en sí y que de alguna manera influyen en el amortiguamiento. Está en función de:

- Dimensión más corta del acuífero: Sucede generalmente en la dirección normal al flujo subterráneo y permite evaluar cualitativamente el potencial de dilución del medio acuífero, en el caso de ser éste de dimensiones muy pequeñas, con una sola descarga puntual sería suficiente para dañar toda la zona de explotación, no así en caso de acuíferos de grandes dimensiones.

- Precipitación pluvial: En zonas donde la precipitación es baja, la acción solvente del agua provoca que grandes cantidades de sales sean transportadas hasta la zona saturada, contaminando de esta manera las aguas del subsuelo hasta limitar su utilización. Una precipitación alta puede aminorar el impacto del agente contaminante, ya sea diluyéndolo o transportándolo en forma de flujo superficial

· Origen de la recarga: Mientras más directa sea la recarga, más fácil es la renovación del agua subterránea y mayores posibilidades tiene para reducir el agente contaminante. Una recarga proveniente de zonas muy alejadas tardará mucho en manifestarse en la zona contaminada y en el caso extremo de que ésta sea nula, pocas posibilidades quedan para disminuir, por dilución o por renovación, el impacto del agente contaminante.

Según esta metodología se asignan valores por rangos a cada uno de los aspectos mencionados anteriormente en los incisos **a), b), y c)** para un valor máximo de **cuatro, tres y tres puntos respectivamente**. La puntuación correspondiente para cada parámetro se presenta en la Tabla No. 1

Paralelo a esto se proponen dos escalas para tipificar la vulnerabilidad del acuífero: la primera los clasifica en mínima, baja, moderada y máxima; la segunda propone una escala de colores que permite llegar a una semaforización del acuífero (Figura 2). Esta representación de los resultados facilita considerar, revisar o autorizar el emplazamiento de contaminantes, sean estos industriales, agrícolas, públicos, urbanos, etc, para el adecuado ordenamiento del territorio.

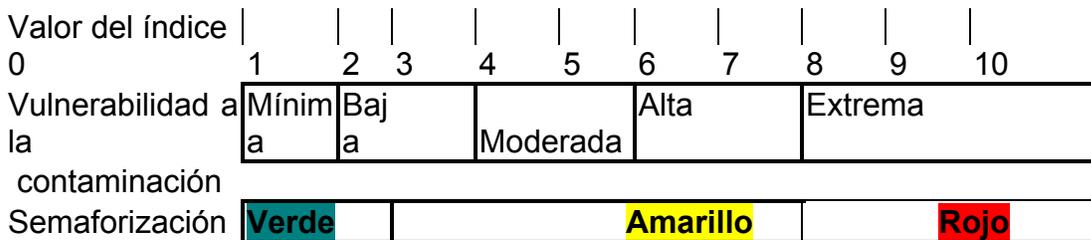


Figura 2. Escala de vulnerabilidad según la metodología aplicada.

RESULTADOS

Para el área de estudio fueron introducidas las siguientes modificaciones a la metodología.

Profundidad del nivel estático:

Teniendo en cuenta las condiciones hidrogeológicas de Cuba, donde en pocos acuíferos los niveles superan los 30.0 m, se realizaron las modificaciones que se reflejan en la Tabla No. 2.

Rango de variación del nivel estático (NE-m)	Valores asignados
>30	0.3
20- 30	0.6
10-20	0.7
5-10	0.8
3-5	0.9
<3	1

Tabla No. 2: Valores asignados al NE en el área de estudio.

Período relativo de retraso con respecto al contaminante.

Condición del Acuífero	valor asignado
Ninguno	0
Artesano confinado	0,1
Confinado	0,2
Semiconfinado	0,4
No confinado cubierto	0,6
No confinado	1

Prof. Nivel Estático (m)

>100	0,4
50-100	0,5
20-50	0,6
10-20	0,7
5-10	0,8
2-5	0,9
<2	1

Condición de Explotación

Subexplotado	0,3
Equilibrio	0,5
Sobreexplot. Local	0,7
Sobreexplot. Total	1

Conduc. Hid. Zona no sat. (m/sq)

<10E-11	0,2
10E-11--10E-6	0,5
10E-6--10E-2	0,6
10E-2--10E-1	0,8
>10E-1	1

Valor Total 1= \sum (valor asignado)

Capacidad para retención y reacción físico-química con respecto al contaminante
Estratificación del Medio Acuífero

Muy estratificado	0,5
Medianamente estratificado	0,7
No homogéneo	1

Litología del acuífero

Litología del acuífero	valor asignado
Suelos residuales	0,4
Arcillas, Lutitas, turba	0,5
Limonitas, Toba volcánica	0,6
Areniscas	0,7
Calizas	0,8
Calcarenitas	0,9
Calizas consolidadas	1

Conductividad Hidráulica del Medio Acuífero (m/seg)

<10E-11	0,2
10E-11--10E-6	0,4
10E-6--10E-2	0,6
10E-2--10E-1	0,8
>10E-1	1

Valor Total 2= \sum (valor asignado)

Potencial general de dilución del medio hidrogeológico

Dimensión más corta del acuífero (Km)

Dimensión más corta del acuífero (Km)	valor asignado
>100	0,3
50-100	0,5
10-50	0,7
3-10	0,8
1-3	0,9
<1	1

Precipitación pluvial media anual (mm)

>2000	0,4
1000-2000	0,5
600-1000	0,7
300-600	0,8
100-300	0,9
>100	1

Recarga proveniente

Cuerpos de agua superficial	0,4
Infiltración directa de la precipitación pluvial	0,6
zonas de recarga alejadas o topográficamente más altas	0,8
Aguas comnatas	1

Valor Total 3= \sum (valor asignado)

Valor del índice de vulnerabilidad =
Valor 1 + Valor 2 + Valor 3

Tabla No. 1. Parámetros y grado de sensibilidad del acuífero a la contaminación. (Foster e Hirata, 1988)

· Conductividad Hidráulica de la zona no saturada:

Debido a la limitación existente para obtener este parámetro a partir de trabajos de campo, se tuvo en cuenta la caracterización de la conductividad hidráulica (m/días) realizada en Custodio y Llamas (1986), en las secciones 5 y 8, para diferentes tipos de suelos. Se consultó el Mapa de Suelos del área de estudio (Grisett, 2000) y se modificó la metodología de Foster e Hirata (1988) como se muestra en la Tabla No. 3

Tipo de suelo	Rango de variación de la CH de la zona no saturada	Valores asignados
Arena y carso desnudo	$10^0 - 10^{-2}$	1
Suelos ferralíticos rojos	$10^{-2} - 10^{-4}$	0.8
Loam, limos, turbas	$10^{-4} - 10^{-5}$	0.6
Arcillas compactadas	$10^{-5} - 10^{-7}$	0.4
Gleys	$< 10^{-7}$	0.2

Tabla No. 3: Valores asignados por razón de variación de la conductividad hidráulica en la zona no saturada en el área de estudio.

· Transmisividad (T: m²/días)

Fue utilizado este parámetro en sustitución de la conductividad hidráulica empleada por Foster e Hirata (1991), por ser la transmisividad una variable de más fácil obtención a través de pruebas de bombeo, y ser además, directamente proporcional a la conductividad. En este caso, y adaptándolo a las condiciones del área se definieron intervalos de variación y valores por rangos que aparecen en la Tabla No. 4.

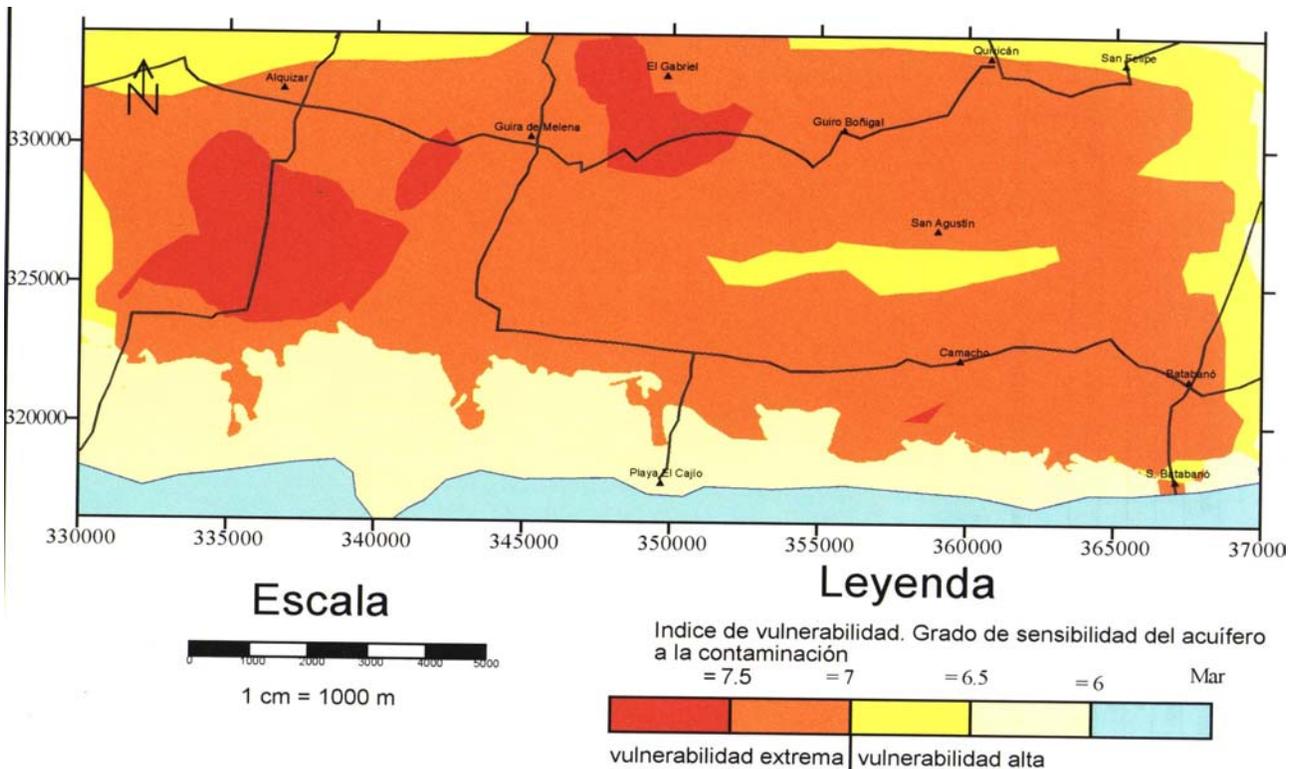
Rango de variación de la Transmisividad del acuífero (m ² /día)	Valores asignados
> 20 000	1
10 000 - 20 000	0.8
5 000 - 10 000	0.6
1 000 - 5 000	0.4
< 1000	0.2

Tabla No. 4: Valores asignados por rangos de variación de la Transmisividad del acuífero.

1. Se realizaron operaciones aritméticas, (suma de los parámetros), obteniéndose el Mapa de Vulnerabilidad.
2. De modo general, la Figura. 3 muestra los pasos seguidos para conformar el Mapa de la Vulnerabilidad Natural.

En el área de estudio se asignaron valores a cada uno de los parámetros que intervienen en la evaluación de la vulnerabilidad según la metodología ya explicada y se obtuvo el mapa de vulnerabilidad a escala 1:100 000 que se presenta en la figura 4. En este mapa se definen dos zonas: la de alta vulnerabilidad, con índice de vulnerabilidad entre 6 y 7 que ocupa un área de del 31%, y la de vulnerabilidad extrema, con valores de este índice superiores a 7 y que abarca el 69% del área estudiada. En términos generales se puede decir que el acuífero presenta una vulnerabilidad elevada. Se destaca que el Acueducto Cuenca Sur, ubicado al Norte en la porción central, se encuentra en una zona de vulnerabilidad extrema, debido a la sobreexplotación local del acuífero que aquí se produce.

Se destacan también dos zonas con índice de vulnerabilidad superior a 7, que coinciden con zonas de alta transmisividad del acuífero y valores disminuidos del nivel freático.



CONCLUSIONES

1. A partir de la información disponible y de los software existentes en Cuba, ha sido posible evaluar la vulnerabilidad natural del Tramo Guira-Quivicán, en la Cuenca Sur de La Habana, a escala 1: 100 000, según el modelo GOD modificado.
2. En general, el acuífero presenta vulnerabilidad natural elevada. Se destaca una zona de vulnerabilidad extrema, que ocupa el 69 % del área, donde el índice de

vulnerabilidad calculado es superior a 7; y una zona de alta vulnerabilidad que ocupa el 31 % del área con valores de índice de vulnerabilidad entre 6 y 7.

RECOMENDACIONES

1. Diseñar y desarrollar una investigación que permita validar el mapa de vulnerabilidad natural obtenido.
2. Repetir esta investigación en el área pero incorporando otros parámetros de gran importancia en el estudio de acuíferos cársicos como por ejemplo: el relieve cársico y la presencia de formas que facilitan la percolación de contaminantes, la intensidad de la carsificación y el fracturamiento, etc
3. Realizar estudios similares en otros sectores de la Cuenca Sur de La Habana y en otros acuíferos del país, y si fuera posible, a escalas más detalladas, para contribuir a una administración ambientalmente segura de las aguas subterráneas en Cuba.
4. Obtener Mapas de Vulnerabilidad a partir de otras metodologías más sencillas y que empleen menos parámetros.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Aronoff, S. (1989): Geographic information systems. A management perspective. WDL Publications, Ottawa, Canadá . 244 pág 2. Bosque, J.(1992): Sistemas de Información Geográfica. Ediciones Rialp, SA, Madrid. España. 449 pág. 3. Custodio, E. y Llamas, R. (1986): Hidrología subterránea. 2da Edición. Editorial Omega. Barcelona. España. 230 pág. . Escolero, O. (1992): Metodología para evaluar la vulnerabilidad en un acuífero a la contaminación. Comisión Nacional del Agua. México. 30 pág5.
2. Foster, S. e Hirata, R. (1988): Determinación del riesgo de contaminación de aguas subterráneas, CEPIS, Lima. Perú. 89 pág. 6. González, A. (1997): Equilibrio medioambiental: caso particular sobre las implicaciones de las aguas subterráneas. Curso Avanzado sobre Contaminación de Aguas Subterráneas. Monitoreo, Evaluación, Recuperación. Volumen 2. Pinar del Río, Cuba (pág. 3-271 – 3-274).
3. Griset, J. (2000): Aplicación para la planificación, inventario y gestión de la producción agropecuaria y de los recursos naturales , la docencia, la investigación y los servicios técnicos agropecuarios (Geomática 2000). Cuba
4. . Hirata, R. y Reboucas, A. (1999): La protección de los recursos hídricos subterráneos: una visión integrada, basada en perímetros de protección de pozos y vulnerabilidad de acuíferos. Boletín Geólogo Minero. Volumen 110. Número 4. Instituto Tecnológico Geominero de España. ITGE-IAH-UNESCO. Pág 79-92
5. . Hirata, R. y Reboucas, A. (1999): La protección de los recursos hídricos subterráneos: una visión integrada, basada en perímetros de protección de pozos y

vulnerabilidad de acuíferos. Boletín Geólogo Minero. Volumen 110. Número 4. Instituto Tecnológico Geominero de España. ITGE-IAH-UNESCO. Pág 79-92

6. . Jiménez, S. et al, (1999): Análisis del efecto del Dique Sur Habana en el Acuífero Costera Sur y su entorno. Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos. Cuba.
7. . Llamas, S. (1999): La inserción de las aguas subterráneas en los sistemas de gestión integrada. Boletín Geólogo minero. Volumen 110. Número 4. Instituto Tecnológico Geominero de España. ITGE-IAH-UNESCO. pág 9-25
8. . López, I.(1992): Esquema Regional. Tomo hidrogeológico de los Recursos Hidráulicos de las aguas subterráneas de La Habana. Circulación restringida EIPHH.INRH. Cuba
9. . Margat, J. (1968): Ground water vulnerability to contamination.BRGM, 68 sgl 198, HYD, Orleans, France. 14. Popov, V. y López, E. (1998): Informe sobre la hidrogeología de los recursos de las aguas subterráneas. Situación actual. Archivo. INRH. Cuba
- 10.. Valcarce, R. (1998): Evaluación de parámetros hidrogeológicos empleando un complejo mínimo de registros geofísicos de pozo. Tesis presentada en opción al Grado Científico de Doctor en Ciencias Técnicas. ISPJAE, Ciudad de La Habana, Cuba

