

Vulnerabilidad a la contaminación del acuífero norte de la provincia Ciego de Ávila

- MSc. Vania Mireya Vidal Olivera. e-mail: vania@cibacav.cu
Centro de Investigaciones de Bioalimentos (CIBA), Morón, Ciego de Ávila.
- MSc. Rafael González-Abreu Fernández e-mail: rafael@eahcav.hidro.cu
Empresa de Aprovechamiento Hidráulico, Ciego de Ávila
- MSc. Yamile Jiménez Peña. e-mail: yamile@cibacav.cu
- MSc. Levis Alioska Valdés González. e-mail: levis@cibacav.cu
- Lic. Marisleys Castro Carrillo. e-mail: marisleys@cibacav.cu
- MSc. Danay Rodríguez Ramos e-mail: especialistaambiental3@cibacav.cu
Centro de Investigaciones de Bioalimentos (CIBA), Morón, Ciego de Ávila.

RESUMEN

La cartografía de la vulnerabilidad a la contaminación de los acuíferos forma parte de las estrategias de protección de la calidad de las aguas subterráneas que drenan hacia el Gran Humedal del Norte de Ciego de Ávila desde la cuenca geológica Morón. Determinar el grado de vulnerabilidad a la contaminación por el método DRASTIC fue el objetivo de este trabajo que muestra que el 87,9 % del acuífero se valora de alta y muy alta vulnerabilidad, lo que indica la exposición de las aguas subterráneas a la contaminación procedente fundamentalmente del vertimiento de residuales con deficiente o ningún tratamiento, constituyendo este resultado, una herramienta en el proceso de toma de decisiones concernientes a la protección y el manejo de los recursos hídricos y en los planes de ordenamiento ambiental territorial.

Palabras clave: acuíferos, contaminación, protección, residuales, vulnerabilidad.

Vulnerability to contamination of North aquifer in Ciego de Ávila province

ABSTRACT

The cartography of the vulnerability to contamination of the aquifers is part of the strategies of protection of the quality of groundwaters draining toward the Great Swamp of the North of Ciego of Ávila from the Moron geological basin. To determine the vulnerability degree to contamination by means of the DRASTIC method was the objective of this work. It shows that 87,9% of the aquifer is valued as of high and very high vulnerability, which indicates the exposition of the groundwaters to contamination coming mainly from disposal of residual wastes with deficient or no treatment. This result is a convenient tool in the decision-making process concerning the protection and managing of water resources and in planning of territorial environmental classification.

Keywords: aquifers, contamination, protection, residual wastes, vulnerability

INTRODUCCIÓN

La importancia de las aguas subterráneas, tanto para el abastecimiento público como para el agro-industrial es incuestionable. El número de usuarios crece cada día como consecuencia de la rápida urbanización y de la expansión económica que experimentan los países, así como de las relativas ventajas que presenta el uso de este recurso en relación con el de las aguas superficiales. Pero si bien es absolutamente real la importancia que tienen las aguas subterráneas, no se le toma muchas veces en consideración para el mantenimiento de su calidad natural.

Pocos países del continente iberoamericano poseen algún tipo de política que asegure la protección de ese recurso contra la contaminación y la sobre-explotación, lo cual resulta agravado por el hecho de que en un acuífero seriamente contaminado nunca más podrá ser restablecida su calidad natural. Por eso debe tenerse muy en cuenta que para una administración ambientalmente segura de las aguas subterráneas, la mejor práctica es proteger el recurso antes de su contaminación (Hirata 2002).

La cartografía de la vulnerabilidad a la contaminación es una de las vías más adecuadas para preservar la calidad de las aguas subterráneas ya que posibilita diferenciar las características naturales del terreno, para proteger al acuífero, de la acción de múltiples contaminantes que pueden infiltrarse desde la superficie, asociados con fenómenos naturales o con la actividad del hombre (Valcarce y Rodríguez 2004).

Es una de las estrategias para la protección de los acuíferos, la más amplia, flexible y universalmente aplicable, permite promover y controlar las actividades agrícolas, industriales y urbanas sobre la base de la vulnerabilidad del acuífero a la contaminación. Su objetivo principal 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 (Hirata y Reboucas 1996).

Se han desarrollado diferentes técnicas para evaluar la vulnerabilidad natural o intrínseca de acuíferos entre las que se encuentran DRASTIC, GOD, SINTACS, EPI, AVI. Estos métodos evalúan la vulnerabilidad a una carga contaminante puesta en superficie (flujos verticales descendentes). 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.

En Cuba las aguas subterráneas se distribuyen en 167 cuencas, zonas y tramos hidrogeológicos importantes, totalizando un área acuífera efectiva de aproximadamente 37000 km² lo que equivale al 32 % del territorio nacional, es característico que casi todas las cuencas subterráneas son cársicas y en su mayoría libres y abiertas al mar, siendo su principal y casi única fuente de alimentación las precipitaciones, lo que indica la importancia de la correcta explotación, observación y protección.

Con este propósito se han aplicado, en diferentes regiones del país, las diferentes metodologías antes mencionadas, además de evaluar el índice de vulnerabilidad de los acuíferos por nuevos métodos como es el PATHS, que analiza las variables: precipitaciones, medio acuífero (profundidad del nivel freático, litología del acuífero), topografía (pendiente del terreno) y resistividad hidráulica del suelo, con adaptaciones a las condiciones cubanas, resultado que generó a escala nacional, el mapa de vulnerabilidad de las principales cuencas subterráneas (Valcarce y Rodríguez 2004).

En la provincia de Ciego de Ávila se estima que alrededor del 90 % del agua que se utiliza para la agricultura, la industria, el abasto humano y animal es proveniente del subsuelo, lo que se debe a la gran potencialidad y características hidrogeológicas de los acuíferos. Cuenta con dos grandes cuencas hidrogeológicas, separadas por un parteaguas central, al norte la cuenca Morón con 12 sectores hidrogeológicos y un recurso explotable de 577 hm³ y al sur la cuenca Ciego con tres sectores hidrogeológicos bien definidos y una zona no sectorizada, con un volumen explotable de 386 hm³, que suman un total de 963 hm³ como volumen explotable para la provincia, lo cual representa el 72 % con respecto al potencial total que es de 1336 hm³.

Prácticamente todo el recurso hídrico subterráneo que se encuentra en la cuenca Morón (norte), está relacionado con el Gran Humedal del Norte de Ciego de Ávila (GHNCA) y no solamente es importante la cantidad sino la calidad del agua que llega a este ecosistema y demás usuarios de la cuenca. Por eso el objetivo del trabajo consistió en realizar un mapa de vulnerabilidad a la contaminación del acuífero de este territorio, con el propósito de contribuir con las estrategias en la protección de la calidad de las aguas subterráneas.

DETERMINACIÓN DE LA VULNERABILIDAD A LA CONTAMINACIÓN DEL ACUÍFERO

Teniendo en cuenta la disponibilidad de información bibliográfica acerca del tema y la existencia de información geológica, edafológica e hidrogeológica necesaria de la cuenca norte de la provincia Ciego de Ávila, se utilizó la metodología DRASTIC, modelo empírico desarrollado por Aller et al. (1987) para la Environmental Protection Agency, EPA (Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos).

Es un método usado tanto para la cualificación como para la cartografía y se basa en la asignación de índices que van de 1 (mínima vulnerabilidad) a 10 (máxima vulnerabilidad), de acuerdo a las características y el comportamiento de las variables consideradas en el acrónimo DRASTIC:

- D: depth. Profundidad del agua subterránea.
- R: recharge. Recarga neta.
- A: aquifer. Litología del acuífero.
- S: soil. Tipo de suelo.
- T: topography. Topografía.
- I: impact. Naturaleza de la zona no saturada.
- C: hydraulic conductivity. Conductividad hidráulica del acuífero.

Además de la valoración de 1 a 10 que se da a cada parámetro, se pondera su influencia dentro de la evaluación de la vulnerabilidad mediante la asignación de pesos de 1 a 5 (tabla 1). Ambos índices se multiplican y se suman los siete resultados para obtener una valoración final según se indica en la ecuación (1).

$$V_{\text{DRASTIC}} = (D_r * D_w) + (R_r * R_w) + (A_r * A_w) + (S_r * S_w) + \dots + (T_r * T_w) + (I_r * I_w) + (C_r * C_w) \quad (1)$$

donde:

r: indica factor de clasificación o valoración.

w: indica factor de ponderación.

Tabla 1. Asignación de pesos por parámetros en el método DRASTIC

Parámetro	Peso
Profundidad del agua subterránea	5
Recarga neta	4
Litología del acuífero	3
Tipo de suelo	2
Topografía	1
Naturaleza de la zona no saturada	5
Conductividad hidráulica del acuífero	3

Los resultados pueden variar entre 23 (mínima) y 230 (máxima), ver tabla 2, aunque en la práctica este índice varía de 50 a 200.

Tabla 2. Grados de vulnerabilidad intrínseca

Grado de Vulnerabilidad	Valor DRASTIC
Muy bajo	23-64
Bajo	65-105
Moderado	106-146
Alto	147-187
Muy alto	188-230

Profundidad del agua subterránea

Las profundidades medias de un acuífero varían en dependencia de las circunstancias geológicas y climáticas de la zona. En la mayoría de los casos la profundidad varía con las circunstancias meteorológicas de las que depende la recarga de los acuíferos.

En la cuenca norte relacionada con el GHNCA esta variable oscila desde 0.2 - 22.0 m (figura 1), los mayores valores se observan en la parte alta y media de los sectores que bordean la zona occidental y montañosa de la provincia y la parte alta de la zona oriental. Las menores profundidades se observaron en el centro y parte baja de todos los sectores de la provincia, donde existen problemas de drenaje por la cercanía de las aguas freáticas.

Recarga neta

El agua del suelo se renueva en general por procesos activos de recarga desde la superficie. La renovación se produce lentamente cuando la comparamos con la de los depósitos superficiales, como los lagos y los cursos de agua. El agua de las precipitaciones (lluvia, nieve) puede tener distintos destinos una vez que alcanza el suelo: escorrentía superficial, evapotranspiración e infiltración. La proporción que se infiltra respecto al total de las precipitaciones depende de varios factores: La litología (la naturaleza del material geológico que aflora en la superficie), pendiente marcada y la presencia de vegetación densa, (Sánchez 2009).

La variable R (recarga), se determinó por la altura de la lámina infiltrada (W), expresada en la ecuación (2)

$$W = \mu * \Delta H \quad (2)$$

donde:

μ - coeficiente de almacenamiento adimensional

ΔH - altura de alimentación del acuífero (m) y esta ΔH viene dada por la ecuación (3).

$$\Delta H = \frac{(H_{Max} - H_{Min})}{2} \quad (3)$$

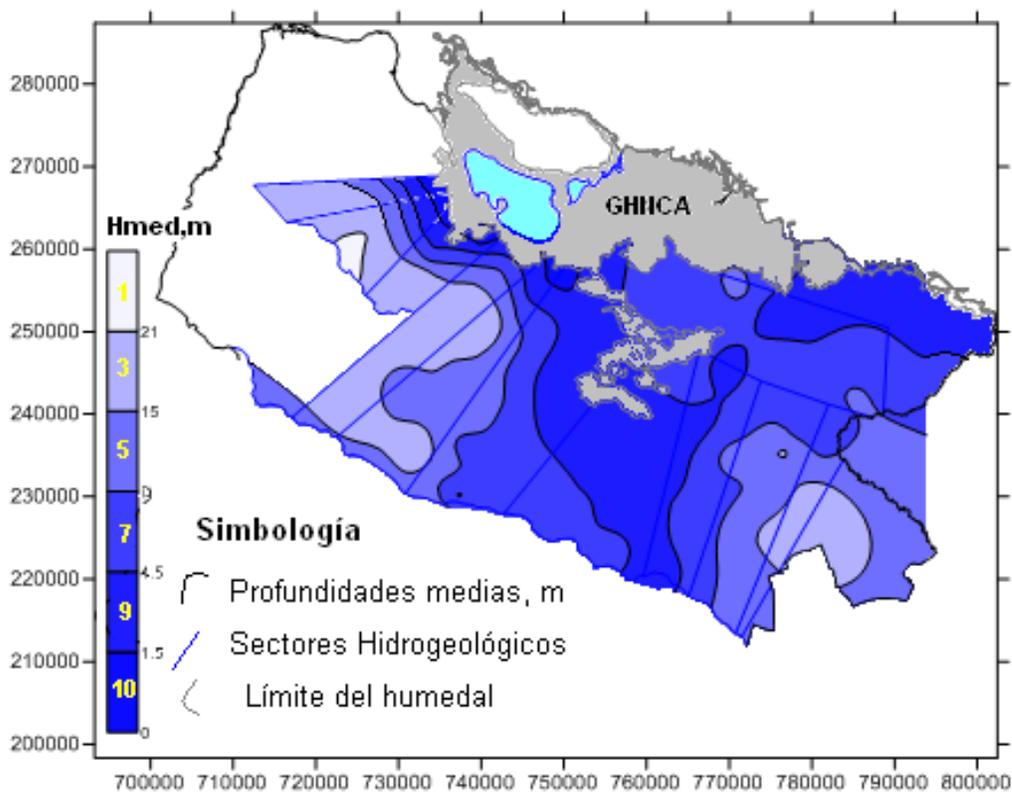


Figura 1. Profundidades medias del acuífero norte de Ciego de Ávila

El coeficiente de almacenamiento (μ) es adimensional, se refiere al volumen de agua que es capaz de liberar el acuífero al descender en una unidad el nivel piezométrico. Toma valores diferentes según el tipo de acuífero a partir de los resultados de aforos.

El mapa temático de la altura de la lámina infiltrada (W) o Recarga se obtuvo a través de la técnica de álgebra de mapas (figura 2), donde se muestra la multiplicación de la representación espacial del coeficiente de almacenamiento por la altura media de alimentación del acuífero.

Según las valoraciones del método DRASTIC a la variable Recarga, en este caso se muestra que aproximadamente el 70 % del área de la cuenca norte está representada por una altura de lámina infiltrada de más de 250 mm como media anual. Estas áreas corresponden por lo general a las zonas de alimentación y recarga en la mayoría de los sectores hidrogeológicos, coincidiendo en gran medida con la representación espacial de la variable Conductividad Hidráulica.

Litología del acuífero

La litología es la parte de la geología que estudia las rocas, especialmente en su tamaño de grano, el tamaño de las partículas y sus características físicas y químicas. Incluye también su composición, su textura, tipo de transporte así como su composición mineralógica, distribución espacial y material cementante (Meléndez y Fuster 1991). Las características de las rocas que componen cada formación litológica se realizó a través del mapa litológico de la provincia Ciego de Ávila (Iturralde-Vinent 1981) y se agruparon según la clasificación litológica del acuífero

dada por DRASTIC en su metodología con una valoración, para la formación del mapa temático (figura 3) de esta variable.

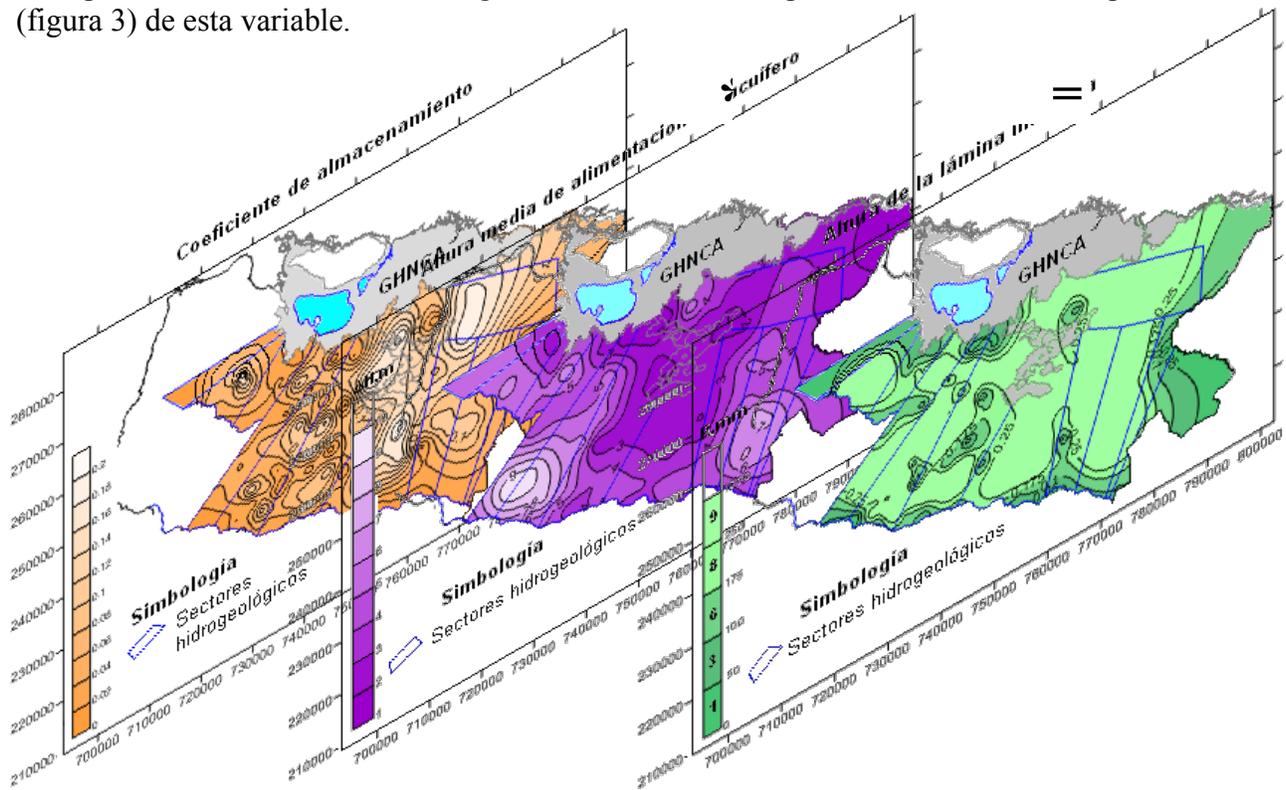


Figura 2. Mapas de coeficiente de almacenamiento, altura media de alimentación del acuífero y altura de la lámina infiltrada

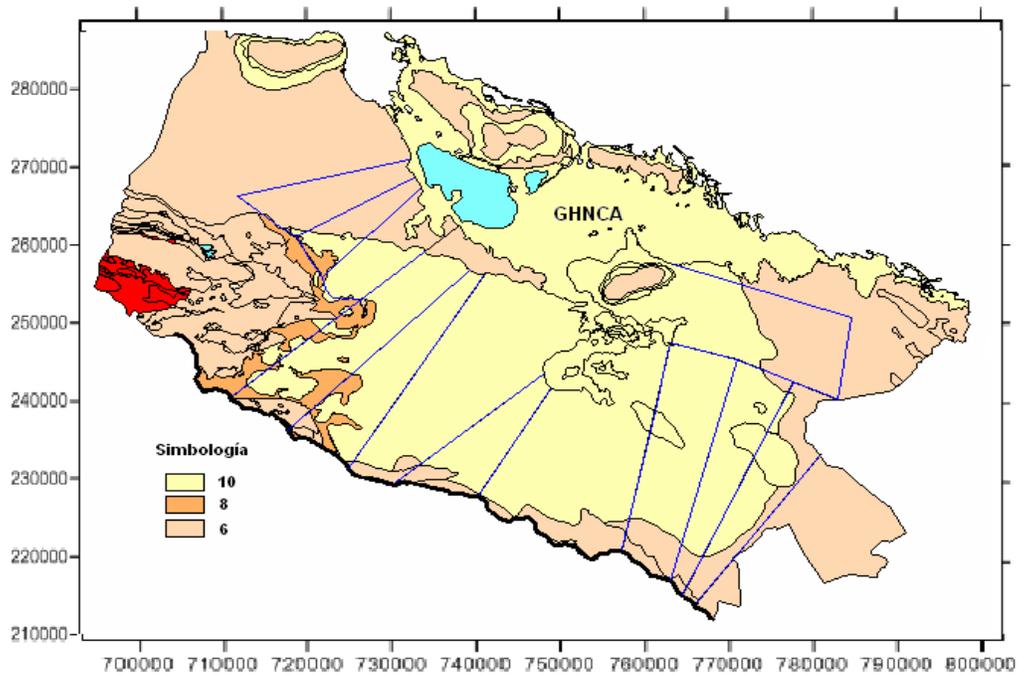


Figura 3. Valoración de la litología del acuífero norte de la provincia Ciego de Ávila

La zona amarilla clara está valorada dentro de la clasificación con 10 puntos, se extiende en un área de 2358,2 km², que representa el 72,3 % del total de la zona de estudio, ocupando en casi su totalidad los sectores hidrogeológicos del 3 al 12. Se encuentra representada por la formación Güines donde predominan las rocas calizas biotriticas, calizas dolomíticas, calizas biohémicas dolomitas y margas calcáreas, además de toda la zona del humedal conformada por los depósitos palustres. La zona valorada dentro de la clasificación con 8 puntos ocupa un área de 353,4 km², que representa el 10,8 % del área total, representada por la formación Paso Real conformadas por rocas con predominio de alternancias de calizas y margas, limos areno arcillosos y arcillas limosas. La zona valorada dentro de la clasificación 6 con un área de 549,51 km² representa el 16,8 % del área total. conformada por la formación Camacho, Punta Alegre, Vertiente, Villa Roja, Arabos, Arroyo Blanco y Jaimanitas donde predominan las rocas calizas arcillosas, calizas limosas, margas, arcillas illito- montmorilloníticas calcáreas, limolitas, areniscas calcáreas, calizas biotriticas, calizas arenosas, calizas biógenas, organógenas y calcarenitas.

Tipo de suelo

Se denomina suelo a la parte superficial de la corteza terrestre, biológicamente activa, que tiende a desarrollarse en la superficie de las rocas emergidas por la influencia de la intemperie y de los seres vivos (meteorización). Tiene gran importancia porque interviene en el ciclo del agua y los ciclos de los elementos y en él tiene lugar gran parte de las transformaciones de la energía y de la materia de todos los ecosistemas. La composición química y la estructura física del suelo en un lugar dado están determinadas por el tipo de material geológico del que se origina, por la cubierta vegetal, por la cantidad de tiempo en que ha actuado la meteorización, por la topografía y por los cambios artificiales resultantes de las actividades humanas (Cairo y Fundora 1994).

Se dividen en clases según sus características generales. La clasificación se suele basar en la morfología y la composición del suelo, con énfasis en las propiedades que se pueden ver, sentir o medir, por ejemplo, la profundidad, el color, la textura, la estructura y la composición química.

La valoración de los suelos se realizó a través del mapa de suelos de la provincia Ciego de Ávila (MINAGRI 2011) y se agruparon según la valoración dada por DRASTIC en su metodología (figura 4). Los suelos valorados con 10 puntos son los que tienen una resistencia hidráulica entre 2 – 6 y se localizan principalmente en suelos de Rendzina Roja, Pardos con Carbonatos y Rendzina Negra que son suelos poco profundos y con buen drenaje. En este caso ocuparon principalmente la zona de alimentación y recarga de los sectores hidrogeológicos CA- I – 3; 4 y 5, así como en áreas dispersas del resto de los sectores.

Los valorados con 6 puntos corresponden a suelos con resistencia hidráulica entre 1 – 2, donde predominan los suelos Fersialítico Pardo Rojizo, parte del Ferralítico Rojo, Ferralítico Cuarácítico Amarillo Rojizo Lixiviado, Fersialítico Rojo Parduzco Ferromagnesial.

Los valorados con 3 puntos correspondientes a los suelos con resistencia hidráulica entre 0,6 – 1 se observaron mayormente en suelos en una parte de los Ferralíticos Rojos, Ferralítico Amarillento, Ferralítico Cuarácítico Amarillo Lixiviado y por último los valores con 1 punto se observaron en los suelos con resistencia hidráulica entre 0,2 – 0,6 en los que clasificaron los suelos Oscuro Plástico no Gleyzado, Oscuro Plástico Gleyzoso, Oscuro Plástico Gleyzado y parte del Ferralítico Amarillento.

Topografía

En los terrenos con mayores pendientes, es mayor el potencial para la erosión, deslizamiento y la fuga rápida de aguas lluvias. Los relieves llanos con poca pendiente tienen menor potencial para

la erosión, el escurrimiento de las aguas pluviales es con menor velocidad por lo que son terrenos que facilitan más la alimentación de los acuíferos y a la vez están expuestos con mayor riesgo a la contaminación de las aguas subterráneas, tanto natural como por la actividad del hombre.

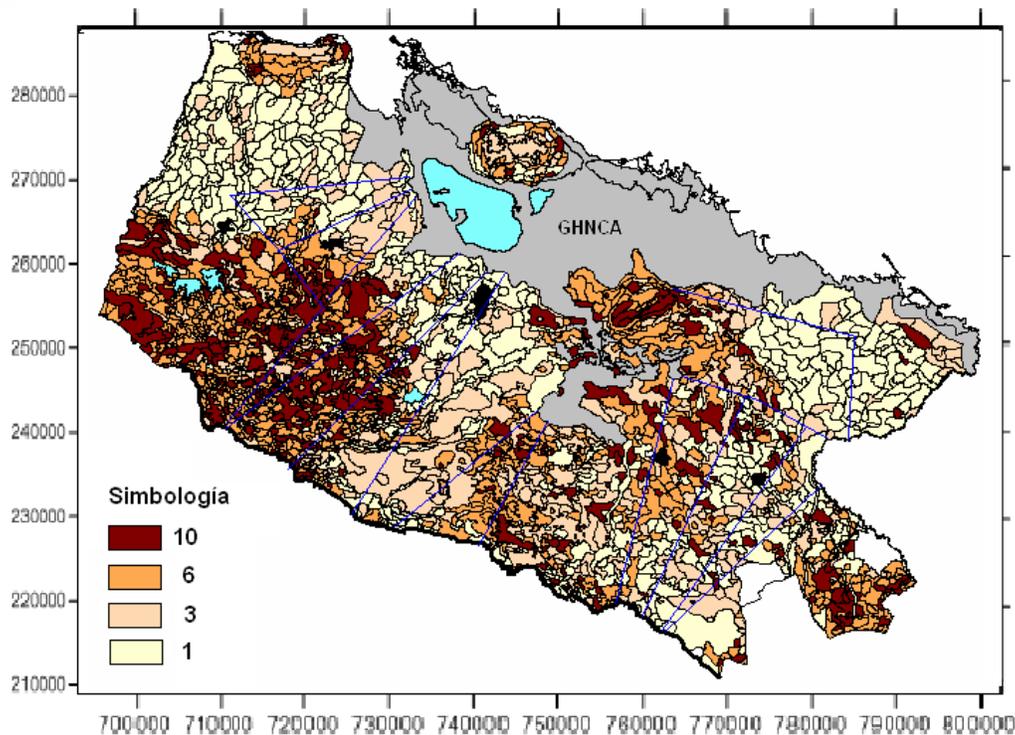


Figura 4. Valoración de los suelos de la cuenca norte de la provincia Ciego de Ávila

A partir del modelo digital del terreno de la provincia Ciego de Ávila se obtiene el mapa de pendientes (figura 5), donde se muestra que las pendientes no sobrepasan el 2 % en la zona donde se encuentra el acuífero relacionado con el GHNCA, por la clasificación de DRASTIC se valora toda la zona del acuífero con 10 puntos.

Naturaleza de la zona no saturada

La zona no saturada se encuentra enmarcada entre la superficie del suelo y el nivel freático, donde los poros están ocupados por aire y agua. Constituye uno de los principales mecanismos de introducción y propagación de la contaminación en el acuífero, cuyos ejemplos más típicos son los derivados de los sistemas de tratamiento de las aguas residuales domésticas y el embalsamiento superficial de residuos líquidos de diferentes procedencias.

El medio no saturado, además de ser el soporte de la vegetación y de otras muchas actividades humanas, tiene también gran importancia desde el punto de vista hidrológico, ya que en él tienen lugar los procesos de infiltración, evaporación, erosión, recarga subterránea, atenuación y transporte de contaminantes líquidos y gaseosos en dependencia de la granulometría del material.

La descripción litológica de las calas existentes en la cuenca norte de la provincia permitió la zonificación de la zona no saturada (figura 6), según la valoración por el método empleado.

La zona roja se valora con el puntaje más alto (10), por ser la zona de descarga y afloramiento del acuífero, teniendo en cuenta la relación aguas subterráneas-humedal y viceversa, las zonas naranja con puntaje (9) se identificó con presencia de calizas cársticas y metamórficas principalmente en los sectores CA-I-7; 8; 9 y 12 próximo al humedal. La mayor área corresponde a la zona compuesta por Carbonatadas terrígenas con puntaje de (8), ocupando aproximadamente

el 70 % del acuífero que alimenta al GHNCA. Las áreas en gris claro corresponden a las zonas compuestas por carbonatadas terrígenas con componente arcilloso (7) que se observó principalmente en los Sectores hidrogeológicos CA-I-1, en la parte alta del CA-I 5; 6; 9; 10; 11 y parte de 12.

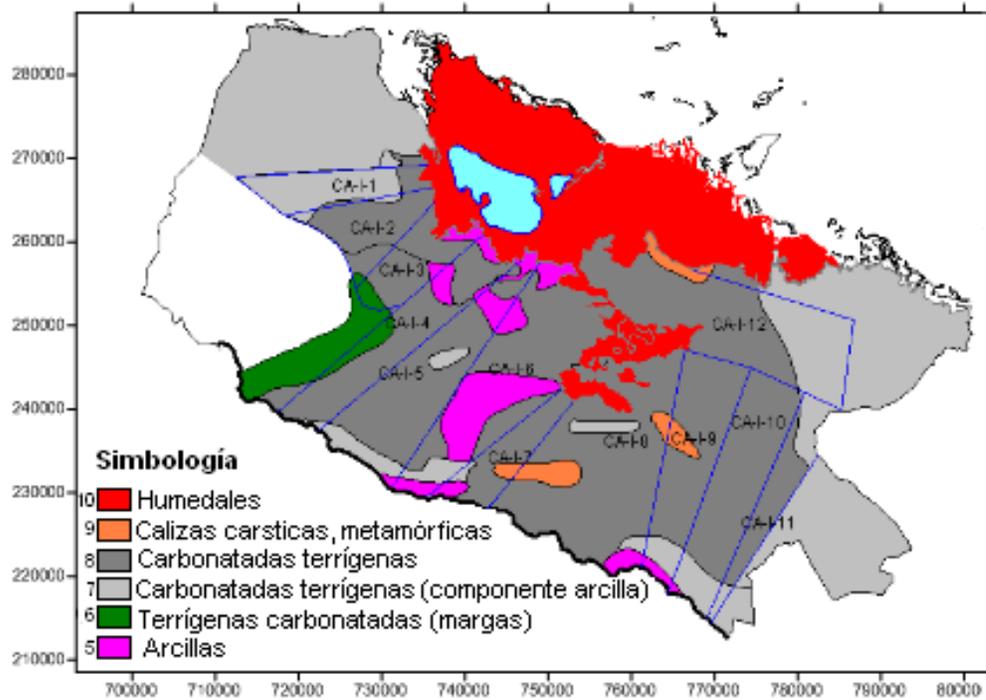


Figura 5. Mapa de pendiente del terreno

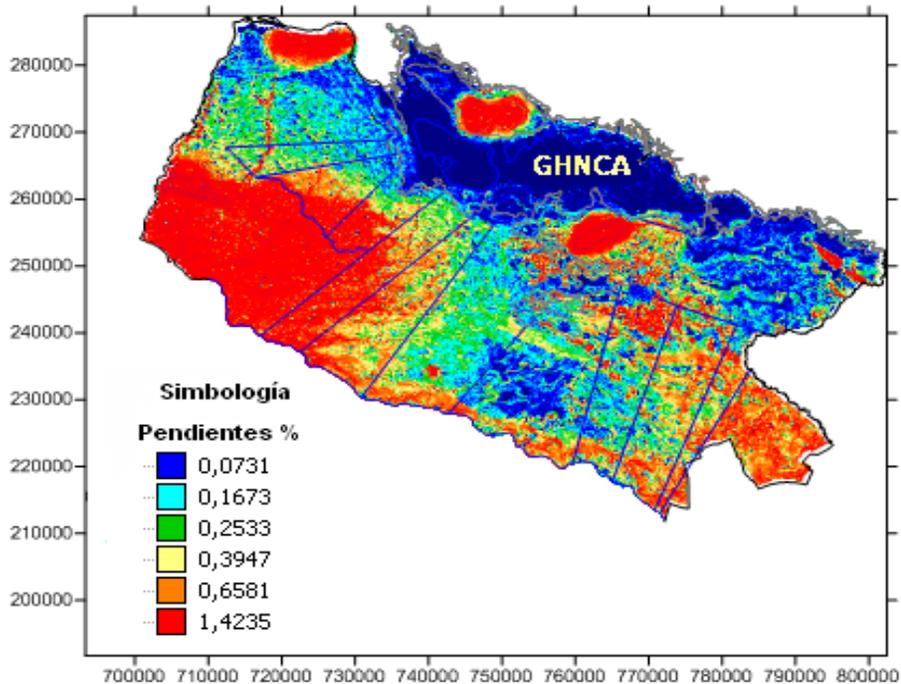


Figura 6. Mapa sobre la litología de la zona no saturada

Las carbonatadas terrígenas con presencia de margas se observaron en áreas del sector CA-I- 3 y 4. Las áreas con mayores componentes de arcilla (5) se muestran en los sectores CA-I- 3; 4 y 5 próximos al humedal donde se ha observado por parte de los especialistas de Recursos Hidráulicos que monitorean las aguas subterráneas, tendencias de confinamiento del acuífero a causa de las características hidrogeológicas de estas rocas en la zona de descarga.

Conductividad hidráulica del acuífero

La conductividad hidráulica es la capacidad que tiene la roca de dejar pasar agua a través de ella, representa la velocidad promedio del flujo subterráneo a través del medio poroso, por lo que se encuentra en función de las propiedades del medio por donde fluye y del fluido (Espinosa 2004). Los aforos realizados en los pozos existentes en la cuenca norte de la provincia permitieron el cálculo de la conductividad hidráulica y como resultado se presenta su comportamiento espacial (figura 7).

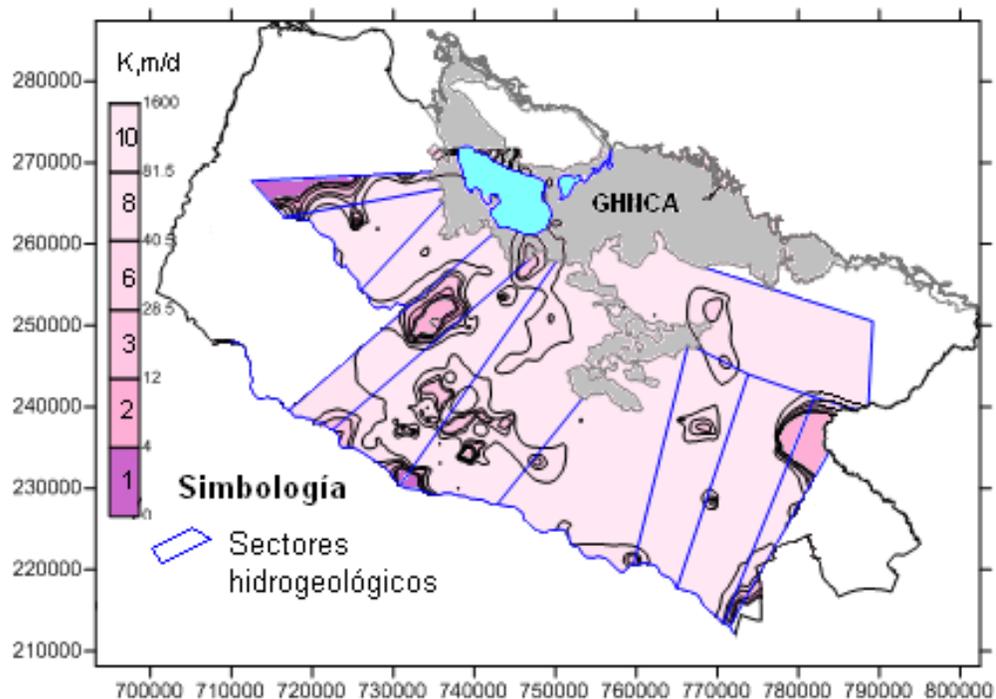


Figura 7. Mapa de conductividad hidráulica

Esta variable muestra una variación desde 0,1 hasta 1600 m/día. Aproximadamente el 80 % del territorio se valora según la metodología de DRASTIC con los mayores valores (10 y 8), es donde la roca es más porosa y por tanto la velocidad del flujo subterráneo es mayor. Estas áreas coinciden con las de mayor explotación en la zona de alimentación, recarga y descarga, donde se encuentran ubicados grandes extensiones de cultivos varios, caña de azúcar e importantes fuentes de abasto a la población.

Mapa de Vulnerabilidad

Como resultado de la expresión (1) se obtiene la valoración del grado de vulnerabilidad por los sectores hidrogeológicos relacionados con el Gran Humedal del Norte de Ciego de Ávila y su representación cartográfica a través del mapa de Vulnerabilidad a la contaminación (figura 8).

De los grados de vulnerabilidad según los valores resultados de la metodología DRASTIC solamente el MUY BAJO no se refleja en el acuífero estudiado. El resto de las valoraciones se distribuyen de la siguiente forma:

- Baja Vulnerabilidad: está representada por una pequeña área (0.7 % del total) en la zona de alimentación del sector CA-I-1, próxima a la zona montañosa donde el acuífero es pobre y profundo.
- Moderada: Esta zona la ocupa el 11.3 % del área total del acuífero, se observa mayormente en el sector CA-I-1; 4; 6 y 11 en las zonas de alimentación y recarga, en los sectores CA-I 8; 9 y 10 solamente en la zona de recarga.
- Alta: Es la zona más extensa, ocupa un 66.7 % del área total del acuífero estudiado. Está representado de forma parcial y casi total en todos los sectores de la cuenca norte.
- Muy Alta: Este grado de vulnerabilidad está fuertemente representado con el 21.2 % del área total, en los sectores CA-I-6; 7; 8; 9 y 12 en las zonas de alimentación, recarga y descarga del acuífero en el humedal, donde la profundidad de las aguas subterráneas es menor, menores pendientes y la litología del acuífero formada por las rocas calizas con altas conductividades hidráulicas.

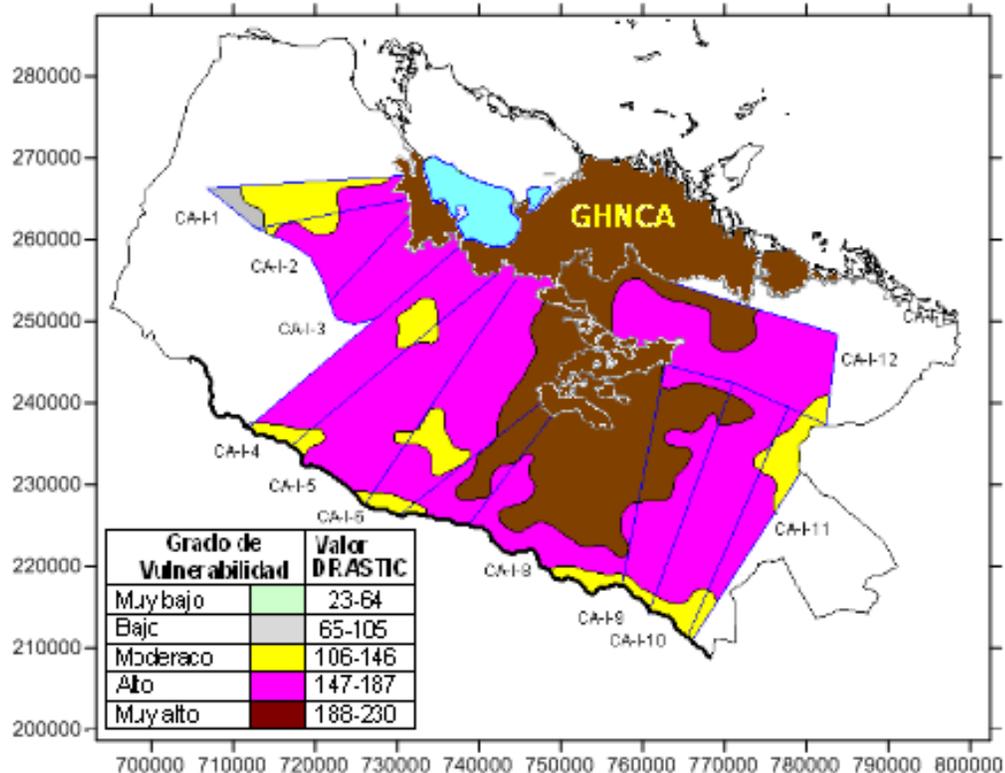


Figura 8. Mapa de Vulnerabilidad a la contaminación del acuífero relacionado con el Gran Humedal del Norte Ciego de Ávila

CONCLUSIONES

1. El mapa de vulnerabilidad a la contaminación combina varios mapas temáticos correspondientes a los parámetros que intervienen en el método DRASTIC que dependen fundamentalmente de la confiabilidad y actualización de los datos relacionados con cada variable.

2. Los grados de vulnerabilidad alto y muy alto en un área de 87,9 % en relación con la total, indican la exposición del acuífero, a partir de sus características naturales, a la contaminación de las aguas subterráneas.
3. El mapa de Vulnerabilidad a la contaminación constituye una herramienta en el proceso de toma de decisiones concernientes a la protección y el manejo de los recursos hídricos subterráneos, así como en los planes de ordenamiento ambiental, si se tienen en cuenta todos los problemas de vertimiento de residuales con insuficiente tratamiento que se realizan actualmente en el territorio, que pudieran impactar sobre el medio ambiente y específicamente en la salud humana, la biodiversidad y el buen desarrollo de los ecosistemas circundantes.
4. Se recomienda a partir de estas conclusiones, cumplir e incrementar el programa de monitoreo de calidad de las aguas y determinar las zonas de protección sanitarias a fuentes de abasto, la evaluación y control de los peligros de contaminación en la zona de estudio.

REFERENCIAS

- Aller L., Bennet T., Lehr J., Petty R., and Hackett G.** (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.
- Cairo P. y Fundora O.** (1994). "Edafología". Editorial Pueblo y Educación. La Habana
- Espinosa C.** (2004). "Propiedades físicas del agua subterránea y acuíferos II. CI51J Hidráulica de Aguas Subterráneas y Su Aprovechamiento", Universidad de Chile, extraído de <http://www.cec.uchile.cl/~ci51j/txt/Apuntes/Tema04.pdf> en **Noviembre del 2012**.
- Hirata R.** (2002). "Carga contaminante y peligro a las aguas subterráneas". Revista Latinoamericana de Hidrogeología, vol. 2, no. 2, pp 81-90. Curitiba, Brasil.
- Hirata R. y Reboucas A.** (1996). "La protección de los recursos hídricos subterráneos: Una visión integrada, basada en perímetros de protección de pozos y vulnerabilidad de acuíferos". Editorial Omega. Barcelona, España.
- Iturralde-Vinent M.** (1981). "Geología del territorio Ciego de Ávila-Camagüey-Las Tunas. Resultados de las investigaciones y levantamiento geológico a escala 1:250000". Academia de Ciencias de Cuba y Bulgaria. Mapas. (Inédito). Oficina Nacional de Recursos Minerales del Ministerio de Industria Básica, La Habana.
- Meléndez B. y Fuster J.M.** (1991). "Geología. Geología general". Editorial Paraninfo. Madrid.
- MINAGRI** (2011). "Principales características de los suelos de la provincia Ciego de Ávila", Informe de Investigación, Dirección de Suelos, Ministerio de la Agricultura. Ciego de Ávila
- Sánchez F.J.** (2009). "Flujo en medios porosos: ley de Darcy" Departamento de Geología. Universidad de Salamanca, España, extraído de <http://Web.Usual.es/javisan/hidro> en **Marzo del 2012**.
- Valcarce R. M y Rodríguez W.** (2004). "Vulnerabilidad a la contaminación de las aguas subterráneas en los acuíferos cubanos". IV Seminario-taller. Protección de acuíferos frente a la contaminación: protección de la calidad del agua, Lima, Perú.