**IX CONFERENCIA CIENTFICA INTERNACIONAL DESARROLLO AGROPECUARIO Y SOSTENIBILIDAD AGROCENTRO 2019**

**Título**

**EMPLEO DE GEOPROCESAMIENTO Y MAPAS DIGITALES PARA IDENTIFICAR LOS RIESGOS DE CONTAMINACIÓN DE LA CUENCA SUBTERRÁNEA SAGUA LA GRANDE**

***Title***

***EMPLOYMENT OF GEOPROCESSING AND DIGITAL MAPS TO IDENTIFY THE CONTAMINATION RISKS OF THE SAGUA LA GRANDE UNDERGROUND BASIN***

Isbel Díaz Hernández1, ElvisLópez Bravo2

1 Universidad Central Marta Abreu de las Villas, VC, Cuba, [idh@uclv.cu](mailto:idh@uclv.cu)

2 Universidad Central Marta Abreu de las Villas, VC, Cuba, [elvislb@uclv.edu.cu](mailto:elvislb@uclv.edu.cu)

**Resumen:** Los mapas de vulnerabilidad de los acuíferos permiten diferenciar las características naturales del medio geológico 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. En el presente trabajo se evalúa la vulnerabilidad natural y el riesgo de contaminación de la cuenca subterránea Sagua La Grande, ubicada al noroeste de la provincia de Villa Clara, Cuba, aplicando la metodología PATHS, la cual valora la vulnerabilidad natural de este acuífero y la incidencia de algunas actividades socioeconómicas que se desarrollan en los municipios que abarca la misma. Se logra generar a partir de un Sistema de Información Geográfica mapas temáticos sobre las variables estudiadas, así como los mapas de vulnerabilidad y riesgo de contaminación para esta cuenca a escala 1:25 000.

***Abstract:***

*Vulnerability maps of aquifers allow differentiating the natural characteristics of the geological environment to protect the aquifer from the action of multiple contaminants that can infiltrate from the surface associated with natural phenomena or human activity. In the present work, the natural vulnerability and risk of contamination of the Sagua La Grande underground basin, located northwest of the province of Villa Clara, Cuba, is evaluated, applying the PATHS methodology, which assesses the natural vulnerability of this aquifer and the incidence of some socio-economic activities that take place in the municipalities covered by it. It is possible to generate, from a Geographical Information System, thematic maps on the variables studied, as well as the vulnerability and contamination risk maps for this basin, at 1:25 000 scale.*

**Palabras Clave:** Vulnerabilidad, acuíferos, contaminación, geográfica.

***Keywords:*** *Vulnerability, aquifers, pollution, geographic.*

**1. Introducción**

La protección de los recursos hídricos es un tema que día a día cobra mayor importancia en el mundo, dada la gran problemática que representa para la humanidad la degradación de estos recursos y en especial, las cuencas subterráneas. Estas son "superficies terrestres definidas por límites naturales relacionados con la geología y geomorfología fundamentalmente, y donde tienen lugar procesos de flujo y de acumulación de masas de aguas subterráneas donde sus características dependen de las condiciones climáticas y geólogo - geomorfológicas regionales y locales" (González, 2000).

El manejo de los recursos hídricos y en especial el de las cuencas subterráneas sobre la base de la implementación de alternativas económicas, sociales y ambientalmente viables; representa una vía idónea no solo para aprovecharlas racionalmente, sino también, para asegurar una adecuada gestión de los riesgos por contaminación de las mismas. Estos riesgos aparecen como resultado de incorrectos manejo de residuales, inexistentes o deficientes sistemas de tratamiento, entre otros factores que constituyen elementos que inciden el nivel de vulnerabilidad ante esta amenaza.

El término “vulnerabilidad de los acuíferos a la contaminación” fue introducido por el hidrogeólogo francés J. Margat en la década del 60, basado en el hecho de que, en cierta medida, el medio físico protege al acuífero de los contaminantes que pueden infiltrarse desde la superficie. Desde entonces han surgido numerosas definiciones, calificaciones y metodologías sobre el mismo y en la actualidad continúan siendo los mapas de vulnerabilidad una útil herramienta para desarrollar estrategias de protección de las aguas subterráneas (Hemmati et al. 2014), (Hind, 2014) y (Amadi et al. 2014).

En el presente trabajo se asume que la vulnerabilidad es una propiedad intrínseca de cualquier acuífero debido a su sensibilidad ante los impactos naturales y antropogénicos. Esta conceptualización es vital en los trabajos de ordenamiento territorial y del uso del recurso agua, particularmente en lo que respecta a la preservación de la calidad del mismo. Se considera que la vulnerabilidad del acuífero se encuentra estrechamente relacionada con las características hidrogeológicas del acuífero, de los suelos y materiales geológicos que lo cubren. En esencia, el medio físico puede darle cierto grado de protección a los acuíferos al actuar de purificador del agua contaminada cuando se infiltra a través del suelo y de otros estratos de la zona no saturada, y cuando viaja a través del acuífero. El grado de atenuación que el ambiente físico pueda efectuar determina el potencial relativo con que el acuífero se contamina. En Cuba existe experiencia en la confección de mapas de vulnerabilidad de acuíferos a partir de los SIG. Estos son generados sobre la base de la información geológica, hidrogeológica, edafológica y meteorológica de los territorios, elementos indispensables para estimar y evaluar el nivel de riesgo por contaminación de los mismos. A partir de la década de los años noventa se han realizado varios estudios sobre el tema, de lo cual son exponentes Hernández y Carrillo (1992), Carrasco (2001), Jiménez (2009), entre muchos otros investigadores.

**2. Metodología**

En la elaboración y redacción del presente trabajo se tuvo en cuenta la metodología PATHS, desarrollada por Valcarce y Rodríguez (Rodríguez et al. 2010) para evaluar la vulnerabilidad del acuífero. Esta metodología evalúa la vulnerabilidad natural de los acuíferos a partir del análisis de las siguientes variables: profundidad del agua subterránea y precipitaciones, acuífero (profundidad del nivel freático y litología), tectónica (presencia de fallas), topografía (pendiente del terreno) y conductividad hidráulica del suelo. En este caso se aplica un sistema de rangos ponderados a cada uno de las variables en análisis para calcular un índice denominado “PATHS” que resulta proporcional a la vulnerabilidad natural o intrínseca del acuífero. La tabla 1 resume las variables que se emplean en el cálculo de este índice de vulnerabilidad.

Tabla 1. Variables empleadas en el cálculo del índice PATHS

|  |  |
| --- | --- |
| ÍNDICE DE VULNERABILIDAD | VARIABLES EMPLEADAS |
| P | Profundidad del agua y Precipitaciones |
| A | Acuífero (Litología) |
| T | Tectónica y Pendiente Topográfica |
| H  S | Conductividad Hidráulica del Suelo |

Para lograr una caracterización más aproximada del riesgo a la contaminación del agua subterránea en cada municipio estudiado, se utilizó el esquema conceptual propuesto por Foster et al (2003). Este consiste en la interrelación de la vulnerabilidad del acuífero con la carga contaminante aplicada sobre el mismo desde la superficie. La figura 1 expresa la relación entre la vulnerabilidad natural del acuífero y la carga contaminante, lo cual permite establecer cualitativamente el riesgo de contaminación de las aguas subterráneas y cartografiar las áreas críticas que serán las que resulten presentando riesgos de contaminación altos o extremos.

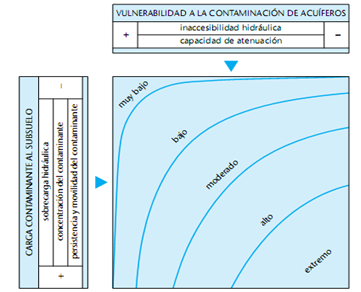


Fig. 1. Esquema conceptual del riesgo de contaminación del agua subterránea (Foster et al. 2003)

También se tuvo en cuenta la revisión sobre este tema desde diferentes fuentes bibliográficas, destacándose:

• El informe final del Diagnóstico ambiental Cuenca Sagua La Grande, elaborado por especialistas del Centro de Estudios y servicios ambientales de Villa Clara. (CESAM, 2012).

• Informes de PVR municipales elaborados por especialistas del Centro de Estudios y servicios ambientales de Villa Clara. (CESAM, 2012).

• Artículos científicos de la revista Ingeniería Hidráulica y Ambiental, Vol. XXXVII, No. 1, Enero - Abril de 2016.

• Guía técnica “Propuestas metodológicas para la protección del agua subterránea”. Parte B: Evaluación y control de los peligros de contaminación del agua subterránea.

• Base cartográfica de Villa Clara en soporte MapInfo a escala 1:25 000 y Mapa Hidrogeológico de Villa Clara a escala 1:100 000, Mapa de suelos de Cuba a escala 1:250 000.

**3. Resultados y discusión**

**3.1 Caracterización de la cuenca subterránea Sagua la Grande**

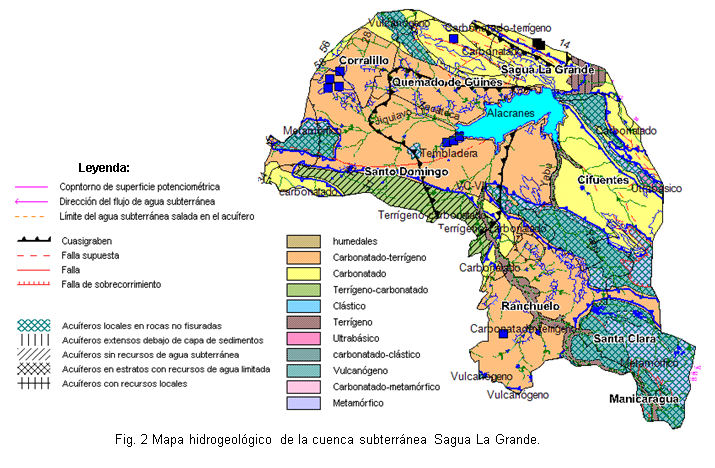
Las aguas subterráneas en el territorio corresponden a la cuenca y subcuencas del río Sagua la Grande, estas son libres: (al menos en el primer acuífero) y yacen a diferentes profundidades en dependencia de las propiedades de las rocas más predominantes: la porosidad, la fracturación y las particularidades del relieve (geomorfología). En la figura 2 se representa el mapa hidrogeológico de la zona de estudio, donde se pueden apreciar las características que la distinguen en este sentido.

Fig. 2. Mapa hidrogeológico de la cuenca subterránea Sagua La Grande.

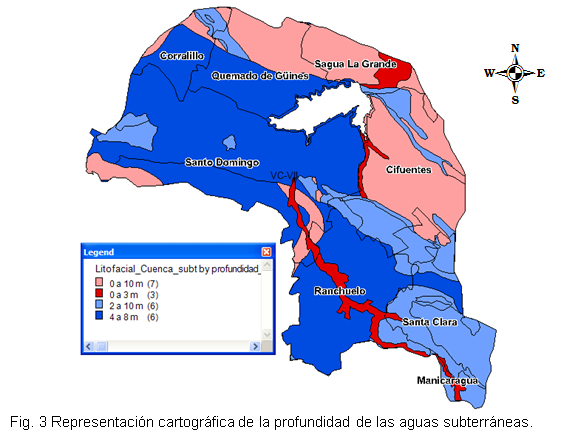
**3.2 Evaluación de las variables para la aplicación del índice PATHS**

Profundidad del agua

El nivel freático presenta variaciones en las diferentes estaciones del año, por lo que es recomendable considerar la profundidad del nivel superior de las aguas subterráneas en épocas del nivel más alto de las mismas. Mientras más profundo sea el nivel de las aguas subterráneas, mayor será el espesor de la zona no saturada y por tanto será mayor la capacidad de atenuación de los contaminantes. La metodología establece para el acuífero estudiado los rangos que aparecen en la tabla 3, asignándose a la totalidad de los municipios que abarca la cuenca peso diez (10), pues en todos los sectores según las estructuras litofaciales la profundidad de las aguas subterráneas no sobrepasan los 10 m, como se muestra en la figura 3.

Tabla 2. División por rango para la profundidad del agua subterránea (P)

|  |  |
| --- | --- |
| Profundidad del agua (m) | Peso |
| 0,5 - 10 | 10 |
| 10 - 20 | 6 |
| 20 - 30 | 1 |



Precipitaciones

En sentido general, 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. Sin embargo, elevados niveles de precipitaciones pueden mitigar el impacto del agente contaminante, ya sea disminuyendo su concentración y/o transportándolo hacia zonas alejadas en forma de flujo superficial.

Para los diferentes sectores de la cuenca se estudió la variación de la media de precipitación anual en el período comprendido entre los años 1995 y 2014. (Tabla 3)

|  |  |
| --- | --- |
| Precipitaciones (mm) | Peso |
| ≤ 1200 | 10 |
| 1201-1350 | 9 |
| 1351-1450 | 8 |
| 1451-1550 | 7 |
| 1551-1650 | 5 |

Tabla 3. División por rango de la variación de la precipitación anual promedio entre 1995 y 2014 (Pp)

El valor promedio de precipitación anual histórica en el territorio es de 1 347,6 mm, para lo cual se asigna un peso de 9.

Acuífero (Litología)

La litología es una variable muy importante porque los principales fenómenos de difusión y dispersión de los agentes contaminantes dependen de la granulometría, textura, fraccionamiento, porosidad y permeabilidad de las rocas donde se encuentra el acuífero. Estas características definen la capacidad del medio geológico para atenuar o restringir el transporte de los contaminantes por el acuífero. Las rocas que poseen mayor permeabilidad hacen más vulnerable al acuífero. En la tabla 4 se relacionan los rangos establecidas por dicha metodología para evaluar esta variable.

Tabla 4. División por rangos para la litología del acuífero (Lit).

|  |  |
| --- | --- |
| Litologías | Peso |
| carbonatadas cársicas, carbonatadas clásticas, clásticas, humedales | 10 |
| carbonatadas terrígenas | 8 |
| terrígenas carbonatadas | 6 |
| ultrabásicas | 3 |

Tectónica

La presencia de fallas en el medio geológico favorece el desarrollo de fracturas y puede provocar el incremento de la porosidad secundaria y la permeabilidad de las rocas disminuyendo la capacidad de atenuación de los contaminantes en la zona no saturada.

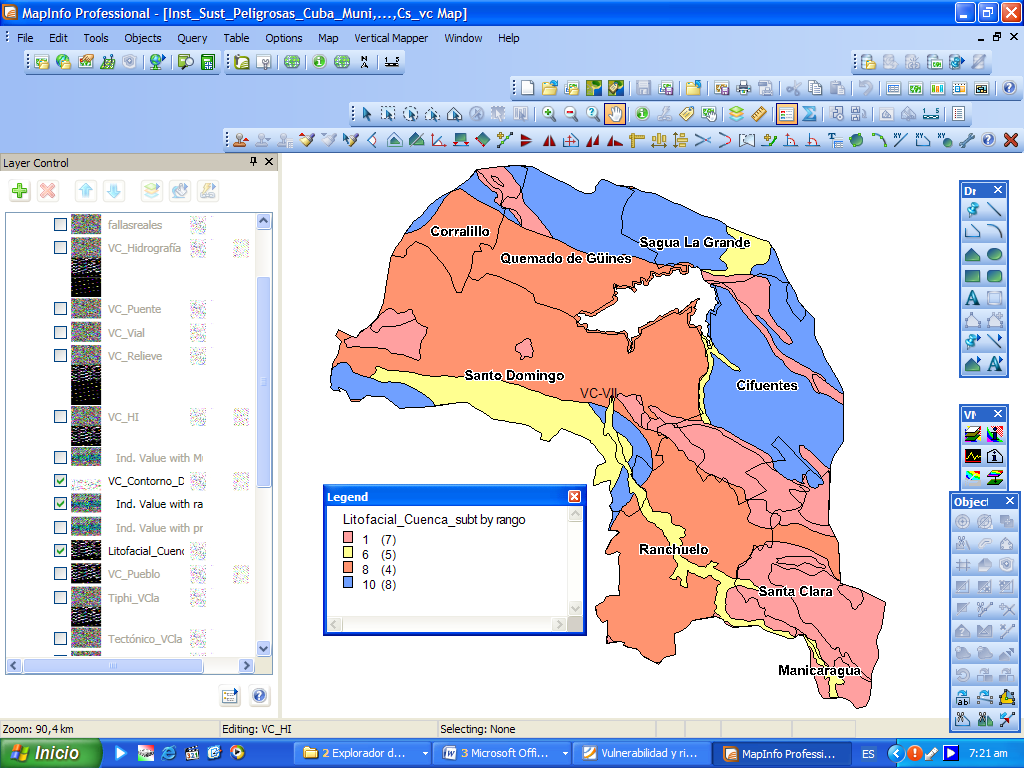


Fig. 4 Representación cartográfica del valor de los rangos para evaluar la litología del acuífero.



Tabla 5. División por rangos para la tectónica (T)

|  |  |
| --- | --- |
| Presencia de Fallas | Peso |
| zona con presencia de fallas | 5 |
| zona sin presencia de fallas | 0 |

En la figura 5 se representa la distribución geográfica de los elementos que tipifican la tectónica del territorio, destacándose los municipios Corralillo, Quemado de Güines, Sagua La Grande, Cifuentes, Santa Clara, aunque en el resto de los municipios también se evidencias estructuras tectónicas de menor importancia, asignándole a todo el territorio un peso de valor cinco (5).

Pendiente Topográfica

La topografía indica la posibilidad de que un agente contaminante tienda a movilizarse como escorrentía superficial o que, por el contrario, tienda a permanecer sobre el sitio; aumentando el tiempo disponible para que infiltre y pase a formar parte del agua subterránea. Se considera en esta metodología que a menor pendiente del terreno mayor vulnerabilidad del acuífero, y que las pendientes elevadas favorecen la escorrentía superficial y hacen que disminuya la infiltración de los contaminantes. La tabla 6 resume la división por rangos para esta variable.

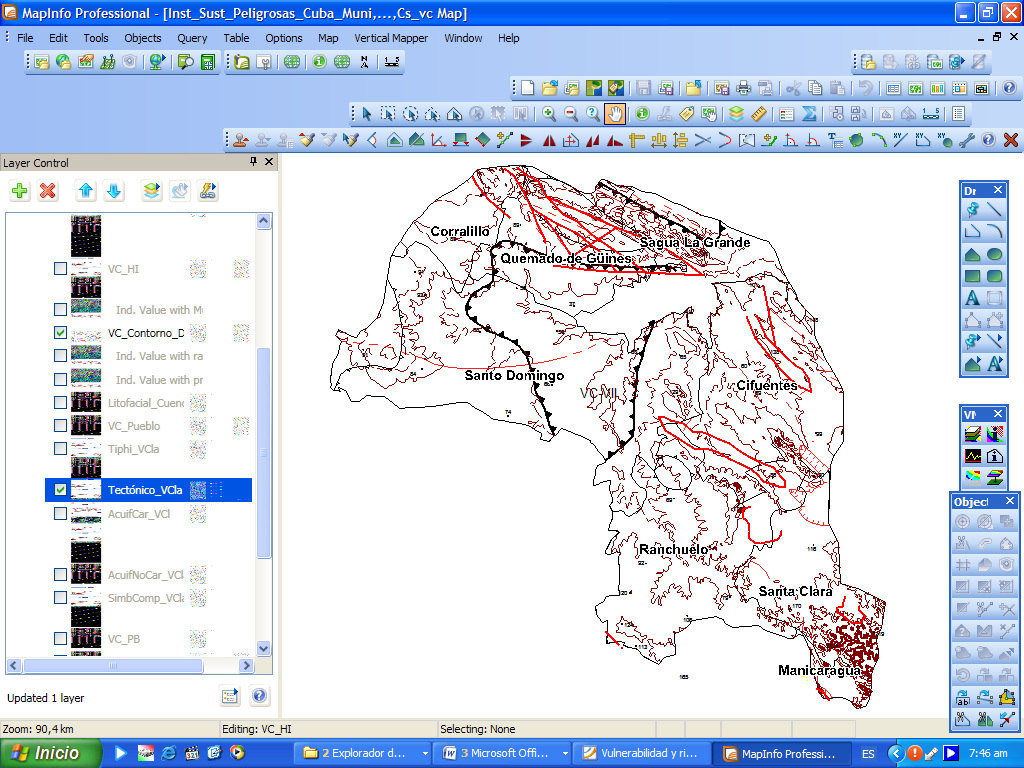
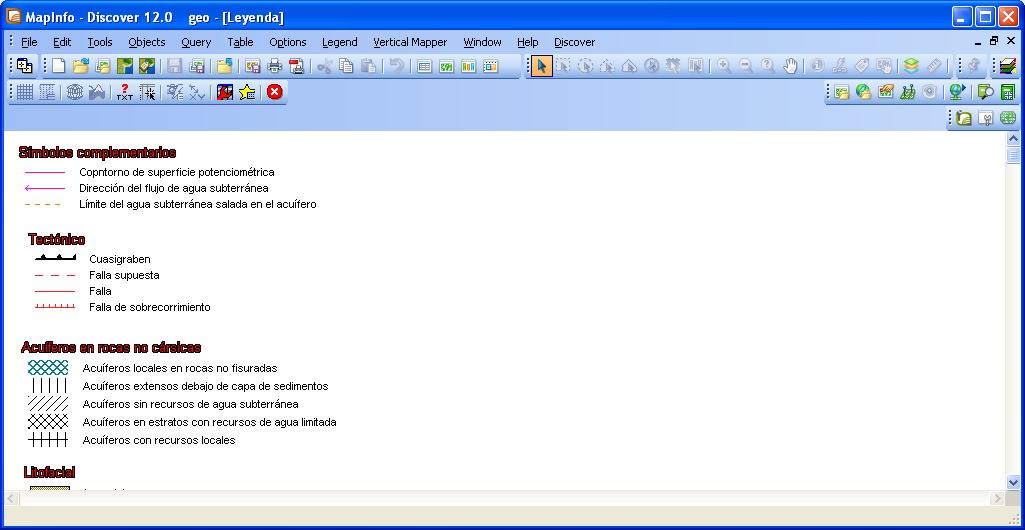


Fig. 5 Fallas existentes en el territorio.



**Leyenda:**



Tabla 6. División por rangos para la pendiente topográfica (PendTop)

|  |  |
| --- | --- |
| Pendiente topográfica (%) | Peso |
| ≤ 1 | 10 |
| 1,1 - 3 | 8 |
| 3,1 - 7 | 5 |
| 7,1 - 10 | 3 |
| 10,1 - 18 | 1 |

Como se puede apreciar en la figura 6, en el territorio de la cuenca predominan las zonas con pendiente topográfica de ≤ 1%. Se encuentran distribuidos geográficamente por municipio los valores de peso (10) en los municipios de Santo Domingo, Corralillo, Sagua La Grande y Cifuentes, en segundo lugar se destacan las zonas con peso de valor (8), correspondientes con los municipios Quemado de Güines y Ranchuelo y en el caso particular de Santa Clara se evidencia una marcada variabilidad de valores de porciento de pendiente, asumiendo un valor intermedio de peso (5). Es de destacar que en el municipio de Manicaragua se presentan los mayores valores de porciento de pendiente, entre los rangos con peso tres y uno (3) y (1), asumiendo el peso con valor (1).

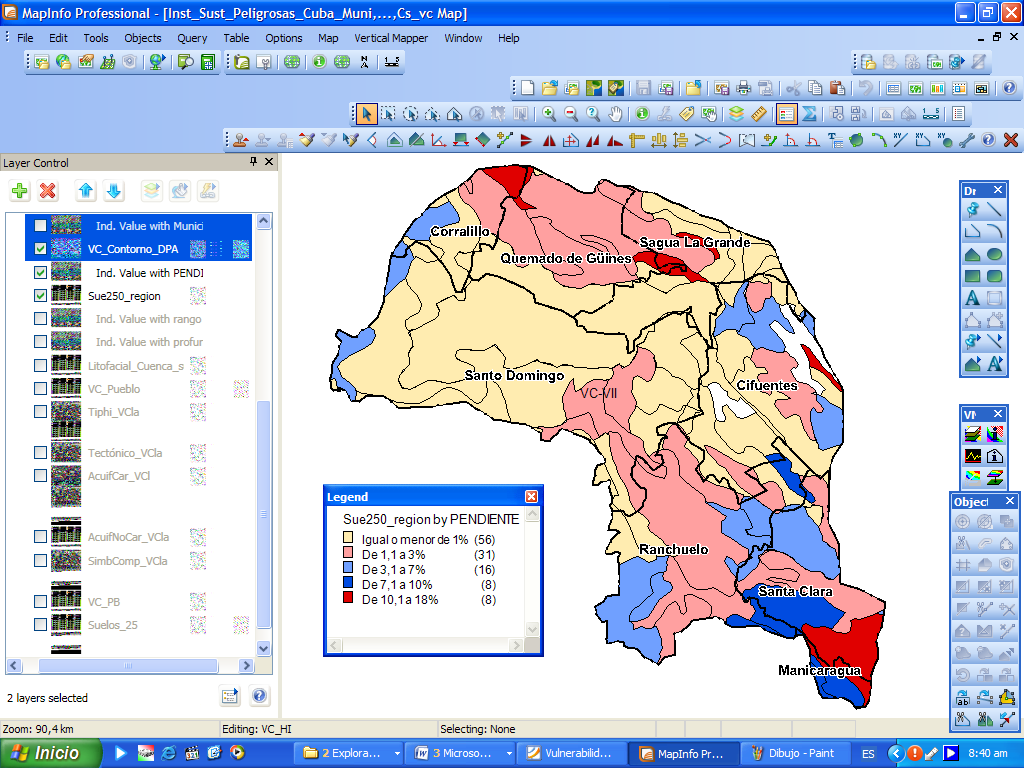


Fig. 6 Valores de pendiente.



Conductividad Hidráulica del Suelo

El suelo tiene una importante función en la atenuación de los contaminantes que se depositan en la superficie de los acuíferos. Las propiedades de los suelos más importantes en este sentido incluyen la textura, estructura, contenido de materia orgánica, tipos de minerales arcillosos, permeabilidad y otros (Heredia y Fernández, 2008). Lo importante es identificar un parámetro capaz de cuantificar la resistencia que hace el suelo a la infiltración de contaminantes y por ello la metodología propuesta considera la conductividad hidráulica del suelo, la cual indica el tiempo aproximado que demora el flujo por unidad de gradiente de carga, en atravesar verticalmente varias capas de sedimentos. A mayor conductividad hidráulica del suelo, mayor vulnerabilidad del acuífero que lo subyace.

A partir del mapa de suelos de Cuba a escala 1:250 000, donde se relaciona la clasificación de 1975 y la correlación de la base de datos de la Clasificación Genética de los Suelos de cuba (Hernández et al., 1999), se pudo establecer valores que permiten estimar la conductividad hidráulica (expresada en m/día) para diferentes tipos de suelos según su textura, fue posible reclasificar el mapa de suelos según los rangos mostrados en la tabla 7.

Como resultado del geoprocesamiento de los datos de la textura del suelo en el territorio que abarca la cuenca, se generó el mapa de evaluación de la conductividad hidráulica de los mismos, demostrándose en la figura 7.

Tabla 7. División por rangos para la conductividad hidráulica de los suelos (HS)

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Textura del suelo | HS (m/días) | Peso |
| arena y carso desnudo | 100 -10-2 | 10 |
| loams, limos, turbas | 10-4 - 10-5 | 7 |
| arcillas compactas | 10-5 - 10-7 | 4 |
| gleys | < 10-7 | 1 |

Donde el mayor área de la cuenca está representada por el rango de valores (10-4 - 10-5), con un peso valor (7), correspondiente a los suelos con textura loams, limos y turbas, predominantes en el municipio Santo Domingo, Coralillo, Cifuentes, Santa Clara y el extremo norte de Manicaragua. El segundo rango de valores en importancia es (10-5 - 10-7), con un peso valor (4), coincidente con suelos compuestos por arcillas compactas, con predominio en los municipios Quemado de Güines, Ranchuelo y Sagua La Grande.

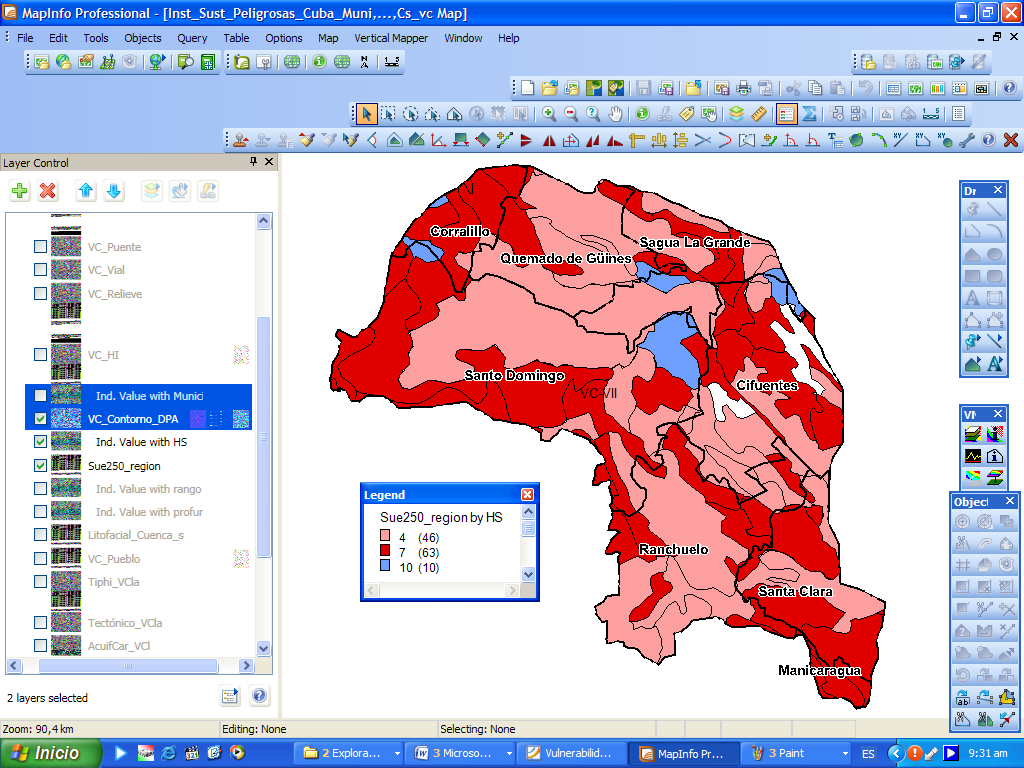




Fig. 7 Representación cartográfica de los valores del peso de la conductividad hidráulica de los suelos según su textura.

Fue necesario utilizar un modelo geoespacial para integrar las variables ya descritas y calcular el índice PATHS, que es proporcional al grado de vulnerabilidad a la contaminación del acuífero. Toda la información fue procesada en el sistema MapInfo y el geoprocesamiento de las variables fue realizado haciendo uso de las herramientas con las que cuenta este sistema. Fueron creados en formato ráster los mapas temáticos de: profundidad del nivel freático, precipitación media anual, litología del acuífero, zonas con presencia de fallas, pendiente topográfica y conductividad hidráulica de los suelos.

Cada uno de estos mapas fue reclasificado según los rangos ya definidos y fueron ponderados con sus pesos correspondientes. Finalmente se procedió a sumar estos mapas temáticos para calcular el índice PATHS como:

PATHS = 5P + 4Pp + 3Lit + T + PendTop + 5HS

Analizando la variabilidad del índice PATHS y la clasificación de vulnerabilidad ante dichos valores (Tabla 8), se generó un mapa de la vulnerabilidad del acuífero ante la contaminación, representándose estos índices y su calificación en cada celda del mapa correspondiente al área que ocupa la cuenca subterránea en los ocho municipios de la provincia Villa Clara (Fig. 8).

Tabla 8. Clasificación de la vulnerabilidad del acuífero según el índice PATHS

|  |  |
| --- | --- |
| PATHS | Vulnerabilidad |
| < 100 | baja |
| 101-120 | moderada |
| 121-140 | alta |
| >140 | extrema |

En la tabla 9 se muestra el resultado de los cálculos del índice PATHS para cada variable por los ocho municipios que abarca la cuenca.

Tabla 8. Resultados del Cálculo del índice PATHS para clasificar la vulnerabilidad

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Municipio | P | Pp | Lit | T | PendTop | HS | PATHS | Vulnerabilidad |
| Santo Domingo | 10 | 9 | 8 | 5 | 10 | 7 | 160 | extrema |
| Coralillo | 10 | 9 | 8 | 5 | 10 | 7 | 160 | extrema |
| Quemado de Güines | 10 | 9 | 8 | 5 | 8 | 4 | 143 | extrema |
| Sagua La Grande | 10 | 9 | 10 | 5 | 10 | 4 | 151 | extrema |
| Cifuentes | 10 | 9 | 10 | 5 | 10 | 7 | 166 | extrema |
| Santa Clara | 10 | 9 | 1 | 5 | 5 | 7 | 134 | alta |
| Ranchuelo | 10 | 9 | 8 | 5 | 8 | 4 | 143 | extrema |
| Manicaragua | 10 | 9 | 1 | 5 | 1 | 7 | 130 | alta |

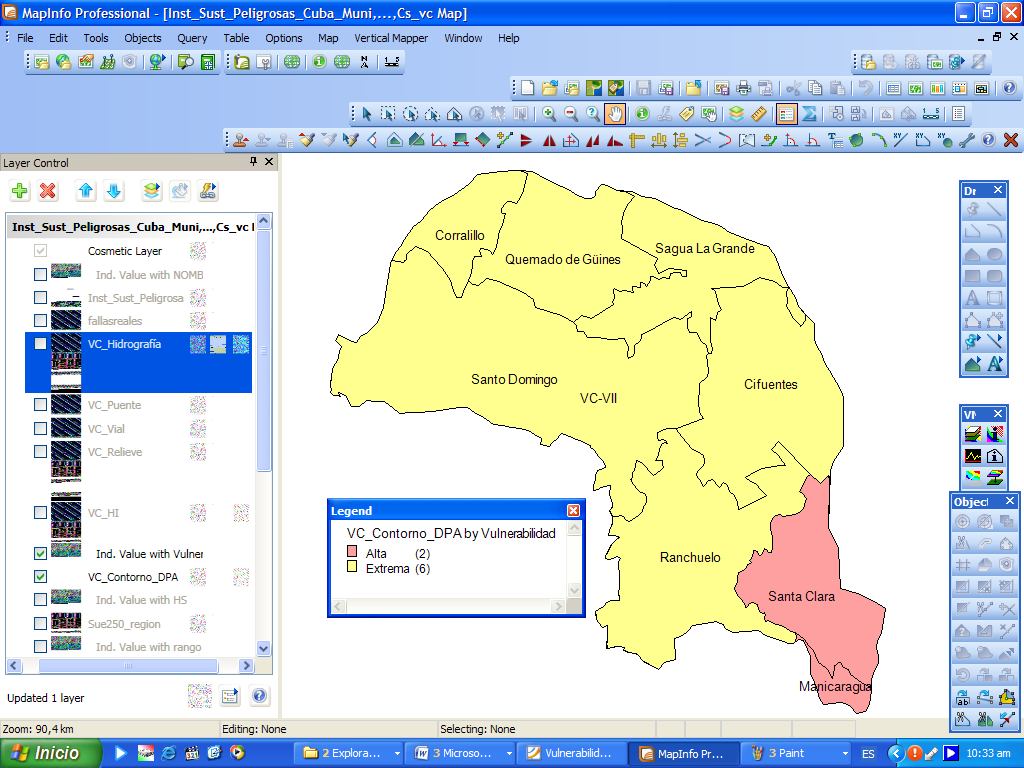




Fig. 8 Representación cartográfica de la vulnerabilidad de la cuenca subterránea Sagua La Grande según el índice de PATHS.

Superponiendo el mapa de vulnerabilidad natural del acuífero con la ubicación y caracterización de fuentes puntuales de contaminación en la región estudiada (figura 9), fue posible definir cualitativamente y representar las zonas de mayor riesgo a la contaminación (figura 10). Este mapa de riesgo de contaminación es el resultado de analizar la relación entre la carga contaminante de estas fuentes y la vulnerabilidad natural de la cuenca, expresada conceptualmente en la figura 1. Las zonas de mayor riesgo de contaminación se corresponden con niveles de vulnerabilidad alto sobre las cuales se ubican áreas densamente pobladas y de mayor desarrollo industrial, con presencia de centrales eléctricas, centrales azucareros, refinerías, granjas porcinas, industrias de alimentos.

Fig. 9 Principales focos contaminantes de la cuenca subterránea Sagua la Grande.

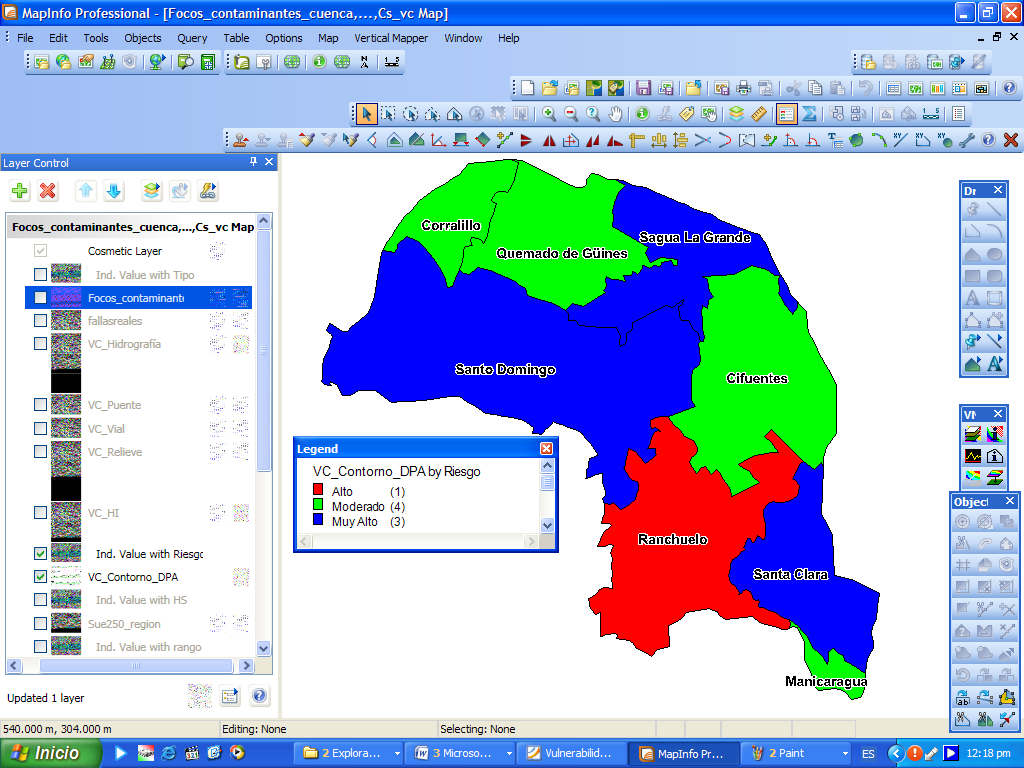
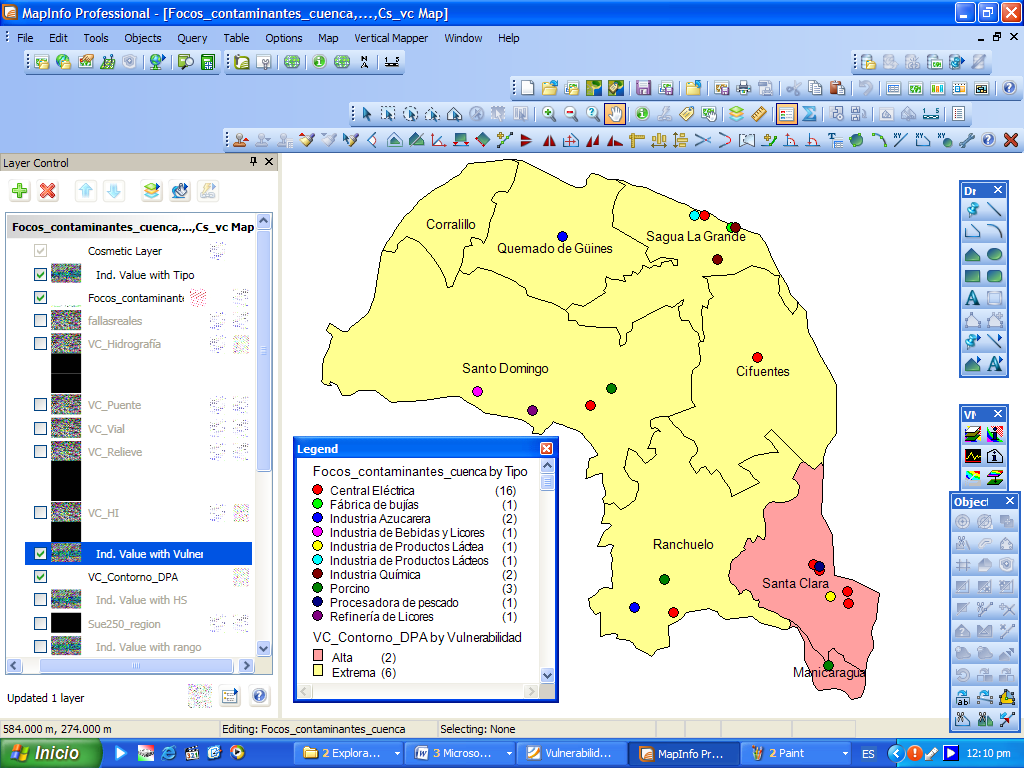


Fig. 10 Mapa de riesgo de contaminación de la cuenca subterránea Sagua La Grande.

**4. Conclusiones**

Los mapas de vulnerabilidad de acuíferos permiten evaluar la protección que brinda el medio geológico a la contaminación del agua subterránea y cualquier metodología que se emplee para ello será de mayor o menor confiabilidad en dependencia de la cantidad y calidad de la información disponible. La metodología PATHS desarrollada en Cuba con el apoyo de los Sistemas de Información Geográfica, constituye una alternativa para cartografiar la vulnerabilidad natural de los acuíferos en condiciones de la escasa información hidrogeológica disponible. El acuífero estudiado presentan alta y extrema vulnerabilidad natural en los municipios que abarca y las zonas de alto riesgo a la contaminación coinciden con lugares de mayor desarrollo urbano, industria y agroindustrial como es el caso de los municipios de Santa Clara, Santo Domingo y Sagua La Grande.

**5. Referencias bibliográficas**

1. FOSTER S., HIRATA R., GÓMES D., D’ELIA M. Y PARIS M. (2003). “Protección de la calidad del agua subterránea, guía para empresas de agua, autoridades municipales y agencias ambientales”. World Bank, pp. 17-58. Washington. Hemmati F., Sajadi Z. and Jamshidi A. R. (2014).
2. “Assessment of groundwater vulnerability in the Borazjan aquifer of Bushehr, south of Iran, using GIS technique”, Indian Journal of Fundamental and Applied Life Sciences, vol. 4, pp. 415-425, ISSN 2231-6345 (online), Centre for Info Bio Technology (CIBTech), India, extraído de http://www.cibtech.org/ sp.ed/jls/2014/03/jls.htm en septiembre 2014.
3. HEREDIA O. Y FERNÁNDEZ A. (2008). “Importancia de las propiedades de los suelos en la determinación del riesgo de contaminación de acuíferos”. Revista Suelo, vol. 26, no. 2, pp. 131-140, ISSN 1850-2067 (on-line), Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo, Santa Fé, Argentina.
4. HERNÁNDEZ R. Y CARRILLO E. (1992). “Evaluación de las condiciones de la cuenca Almendares (Vento) que propician la protección de sus aguas contra la contaminación”. Informe Técnico, Dirección Provincial de Recursos Hidráulicos, INRH, La Habana.
5. HIND M. A. (2014). “New groundwater vulnerability index for the main aquifers in central catchment area in Jordan and validation of the results using NO3 concentrations maps”. World Environment, vol. 4, no. 1, pp. 22-32, ISSN 2163-1573, ISSN 2163-1581 (on line), Scientific & Academic Publishing, California, USA, extraído de http://www.journal.sapub.org/env en septiembre 2014.
6. JIMÉNEZ F. (2002). Manejo de Cuencas y Prevención de Desastres. Curso Corto. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza CATIE. Managua Nicaragua.
7. JIMÉNEZ R. R. (2009). “Estudio de la vulnerabilidad natural de la región acuífera noreste de Villa Clara”. Tesis de Maestría en Geofísica Aplicada, Facultad de Ingeniería Civil, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría (Cujae), La Habana.
8. NOA, A. (2013). Manejo Integral de la Subcuenca Yabú – Maguaraya perteneciente a la Cuenca Sagua la Grande. Tesis en opción al Título de Máster en Ciencias. Inédito.
9. PANEQUE J., FUENTES, E., MESA A. Y ECHEMENDÍA A. (1991). “El Mapa Nacional de Suelos Escala 1:25000”. Instituto de Suelos, Ministerio de la Agricultura, Cuba.
10. RAMOS H. Y BURGOS M. (2006). “Actualización del Mapa Hidrogeológico Provincial de Villa Clara”. Informe técnico, Empresa de Investigaciones y Proyectos Hidráulicos, Villa Clara, Cuba.
11. RODRÍGUEZ W., SACASAS C., VALCARCE R. M., VEGA M., HERNÁNDEZ O., FEBLES D. Y RODRÍGUEZ J. (2010). “Por una coexistencia responsable con los peligros naturales”. Premio de Estudios Iberoamericanos en el Área Científico-Técnica, Ed. Universidad Internacional de Andalucía, ISBN: 978-84-7993-204-6, España.