

# CUANTIFICACIÓN DEL VALOR GEOLÓGICO SEGÚN EL MÉTODO PROTEKARST. APLICACIÓN A LA RESERVA ECOLÓGICA LOMAS DE BANAÓ (CUBA)

Pablo Jiménez Gavilán <sup>(1)</sup>, Juan Aguilar Jiménez <sup>(2)</sup> y Francisco Carrasco Cantos <sup>(1,3)</sup>

<sup>(1)</sup> Departamento de Ecología y Geología de la Universidad de Málaga, 29071, Málaga, España. [pgavilan@uma.es](mailto:pgavilan@uma.es)

<sup>(2)</sup> Facultad de Ciencias de la Universidad de Málaga. 29071, Málaga, España. [juanti\\_1@hotmail.com](mailto:juanti_1@hotmail.com)

<sup>(3)</sup> Centro de Hidrogeología de la Universidad de Málaga (CEHIUMA), [fcarrasco@uma.es](mailto:fcarrasco@uma.es)

## Resumen

En este trabajo se indica la metodología para obtener la cuantificación relativa del valor geológico del karst, integrantes del método Protekarst. Se basa en la determinación de lugares de interés geológico, en la distribución espacial de la riqueza de elementos geológicos y la geomorfología kárstica. La integración de estos mapas en un SIG permite obtener la distribución del valor geológico del karst para determinar las zonas en las que es necesaria una mayor protección en base a este aspecto. La metodología se aplica a la Reserva Ecológica Lomas de Banao, al presentar características geológicas de interés y pretender su declaración como Parque Nacional.

**Palabras clave:** *Método Protekarst, Lomas de Banao, Valor geológico, Geodiversidad, Patrimonio geológico, Geomorfología kárstica.*

## QUANTIFICATION OF THE GEOLOGICAL VALUE OF THE LOMAS DE BANAÓ ECOLOGICAL RESERVE (CUBA), ACCORDING TO THE PROTEKARST METHOD

### Abstract

This present study indicates the methodology to obtain a relative quantification of the geological value of Karst, a component of the Protekarst method. The Protekarst method is based on determining places of geological interest, on the spatial distribution of geologically rich elements, and the karstic geomorphology present in the area. The combination and integration of these map layers in a GIS allows to obtain the spatial distribution of the geological value of Karst, to then determine the areas where greater protection is needed, based on this aspect. The methodology is applied to the Ecological Reserve "Lomas de Banao" due to this area presenting geological characteristics of interest and therefore battle for its declaration as a National Park.

**Key words:** *Protekarst Method, Lomas de Banao, Geological value, Geodiversity, Geological heritage, Karstic geomorphology.*

## 1. INTRODUCCIÓN

El karst constituye una parte significativa de nuestro patrimonio natural y cultural ya que posee importantes valores científicos (geológicos, hidrológicos e hidrogeológicos, biológicos, paisajísticos), patrimoniales y culturales (arqueología, arte rupestre, valores recreativos, educativos y deportivos) y económicos (agricultura, ganadería, explotación forestal y minera, extracción de áridos en canteras, turismo). Por todo ello, la protección del karst contribuye a la defensa global de la conservación de la geo y biodiversidad y, en general, de los valores patrimoniales en su sentido más amplio (Watson et al., 1997). De igual modo, cabe resaltar que el karst es un sistema muy frágil y susceptible ante los cambios y tiene baja capacidad de recuperación ante episodios de impacto y degradación ambiental, por ello presenta irreversibilidad ante modificaciones del medio y del paisaje (incluyendo muchos de los valores ya mencionados).

El término valor se entiende en este trabajo como cualidad que poseen algunas realidades, consideradas bienes, por lo cual son estimables. Los valores tienen polaridad en cuanto son positivos o negativos, y jerarquía en cuanto son superiores o inferiores. En este sentido, un valor puede cuantificarse, y por tanto se pueden visualizar las zonas con diferente valor mediante técnicas de cartografía. También se parte de la premisa de que las zonas con mayor valor son las que se deben priorizar en materia de protección, y por tanto de conservación.

Aunque los sistemas kársticos están sometidos a unos procesos naturales de erosión originados por los agentes geológicos externos (procesos hídricos, eólicos o gravitacionales), los factores que favorecen el progreso de su deterioro y en ocasiones de su destrucción están relacionados directa o indirectamente con actividades antrópicas. Esto es porque todas las actividades que se desarrollan sobre el karst dan lugar a que este se encuentre sometido a diversas presiones (Drew y Hötzl, 1999) que pueden tener efectos adversos, como destrucción de formas externas y de cavidades, importantes modificaciones del paisaje, contaminación de aguas subterráneas y alteración de flujos o ciclos naturales de forma irreversible.

Algunas regiones kársticas están total o parcialmente protegidas al estar incluidas en áreas en las que se han definido distintas figuras de protección: Reservas de la Biosfera, Geoparques, Parques Nacionales, etc. Sin embargo, aún existen numerosas regiones kársticas sin figura de protección o bien en las que se protege exclusivamente su contenido arqueológico, o florístico y/o faunístico como es el caso que nos ocupa con la categoría de protección Reserva Ecológica (RE), además de Área de Importancia para la conservación de las Aves (IBAs).

Por todos estos motivos, se ha desarrollado el método Protekarst (Carrasco et al., 2014), basado en la realización de diferentes cartografías temáticas de los distintos valores característicos del karst que, una vez integradas, permiten obtener un mapa de las áreas que necesitan mayor protección. Por ello, se puede decir que el análisis espacial constituye el núcleo de la metodología aplicada.

El objetivo de esta comunicación es dar a conocer la metodología utilizada para la cuantificación relativa del valor geológico, mediante su aplicación en el área protegida Reserva Ecológica Lomas de Banao dentro del macizo rocoso Montañas de Guamuhaya.

## 2. METODOLOGÍA

La elección del valor geológico para contribuir a la obtención de cartografías de protección parte de que constituye la base del sistema físico, sobre la cual se desarrollan el resto de elementos físicos y socioeconómicos. Teniendo en cuenta la singularidad que presentan los sistemas kársticos, las variables que mejor pueden utilizarse para la cuantificación y distribución del valor geológico del karst son la riqueza geológica o geodiversidad, el desarrollo geomorfológico kárstico, y los lugares que puedan poseer algún interés geológico, tanto a nivel local y regional, como a nivel internacional, es decir su patrimonio geológico.

### 2.1 Cálculo del valor geológico

El *patrimonio geológico* constituye un patrimonio natural de interés intrínseco científico, cultural, estético, paisajístico y económico, que necesita ser preservado para las generaciones futuras; y siendo conscientes de que muchas áreas de importancia geológica serán degradadas si no son tenidas en cuenta en políticas de desarrollo y planificación.

El patrimonio geológico se calcula según la presencia de lugares de interés geológico (LIGs) de relevancia (Tabla 1), que existan o se propongan dentro de algún inventario de carácter oficial (mundiales e iberoamericanos, nacionales, regionales, y locales). Para la aplicación en la zona de estudio se han identificado varias áreas como lugares de interés geológico de relevancia local, al estar inventariados por el grupo SAMA (grupo provincial de espeleología de la Sociedad Espeleológica de Cuba) al poseer interés geológico y espeleológico.

Cuantificación de la variable Patrimonio geológico	Valor
Ausencia de LIGs	0
LIGs relevancia Local	3
LIGs relevancia Internacional, Nacional y Regional	5

Tabla 1. Criterios de valoración de la variable Patrimonio geológico.

La variable *geodiversidad* se define como la variedad de elementos geológicos, incluidas rocas, minerales, fósiles, suelos, formas de relieve, formaciones y unidades geológicas y paisajes que son el producto y registro de la evolución. Por tanto, la geodiversidad ilustra sobre la variedad geológica del lugar, mientras que el patrimonio geológico sobre el valor de los elementos presentes. Para poder cuantificar y comparar diferentes áreas dentro de un macizo kárstico, la cuantificación de la variable Geodiversidad se basa en el análisis de la diversidad litológica y los contactos mecánicos presentes. En el presente trabajo se ha utilizado la cartografía geológica del Instituto Cubano de Geodesia y Cartografía.

Este análisis consiste en dividir el macizo kárstico en cuadrículas de 1 x 1 km, y una vez superpuesto esto sobre el Mapa Geológico de Cuba a escala 1:25.000, calcular la cantidad de tipos de litologías y contactos mecánicos distintos (fallas y cabalgamientos) que hay por cuadrícula.

La puntuación que se le asignará a cada cuadrícula del macizo kárstico se indica en la Tabla 2.

Cuantificación de la variable Geodiversidad	Valor
Un tipo de litología y/o contacto mecánico	0
2 tipos de litologías y/o contacto mecánico	1
3-4 tipos de litologías y/o contacto mecánico	2
5-6 tipos de litologías y/o contacto mecánico	3
7-8 tipos de litologías y/o contacto mecánico	4
Más de 8 tipos litologías y/o contacto mecánico	5

Tabla 2. Criterios de valoración de la variable Geodiversidad.

Teniendo en cuenta que muchos macizos kársticos presentan en detalle una diversidad muy notable de rasgos geológicos, se propone una tercera variable basada en la existencia y desarrollo de las formas kársticas. Dentro de la *geomorfología kárstica* podemos distinguir formas superficiales o exokársticas y subterráneas o endokársticas. Por tanto, esta variable se cuantifica en función de la presencia o ausencia de formas exokársticas y endokársticas y de su grado de desarrollo tal y como se indica en la tabla 3, de manera que para esta variable no existe valor cero, debido a que dicho valor daría a entender la total ausencia de formas kársticas, hecho poco razonable en estos medios, por lo que se puntúa como mínimo con un punto para formas no reconocibles o escasamente desarrolladas.

Cuantificación de la variable Geomorfología kárstica		Valor
Formas no reconocibles o escasamente desarrolladas		1
Formas exokársticas	Desarrolladas	3
	Muy desarrolladas	5
Formas endokársticas	Desarrolladas	3
	Muy desarrolladas	5

Tabla 3. Criterios de valoración de la variable Geomorfología kárstica.

El mapa de valoración de la variable Geomorfología kárstica se obtiene a partir de la superposición de los mapas de las formas endokársticas y las formas exokársticas, por lo que como resultado se obtendrá un mapa con valores comprendidos entre 1 y 10.

La información sobre la geomorfología kárstica se ha obtenido a partir de mapas geomorfológicos, mediante aplicaciones GIS que permiten la detección de depresiones (fundamentalmente dolinas y uvalas) utilizando los modelos digitales del terreno y, mediante jornadas de campo y fotointerpretación.

El valor geológico del macizo kárstico se determina por la suma ponderada de los valores de cada variable. La variable Patrimonio geológico se multiplica por 2 debido a su mayor contribución a la cuantificación de la geología del macizo kárstico:

$$\text{Valor Geológico} = 2 \times \text{Patrimonio geológico} + \text{Geodiversidad} + \text{Geomorfología kárstica}$$

Se obtiene un mapa con valores comprendidos entre 1 y 25 que se agrupan en cinco intervalos, tal y como se muestra en la tabla 4, lo que proporciona un mapa de valoración geológica con cinco clases, que irán desde 1 (valor geológico muy bajo) a 5 (valor geológico muy alto).

Valoración Geológica		
Rango	Valor	
1 - 5	1	Muy Bajo
5 - 10	2	Bajo
10 - 15	3	Moderado
15 - 20	4	Alto
20 - 25	5	Muy Alto

Tabla 4. Categorías de valor geológico definidas a partir de la puntuación obtenida como suma ponderada de las tres variables consideradas.

### 3. RESULTADOS

La Reserva Ecológica Lomas de Banao, con una superficie de 60,9 km<sup>2</sup>, está situada en el sureste de las Montañas de Sancti Spíritus (Figura 1), sector suroriental del macizo rocoso Montañas de Guamuhaya (conocido popularmente como Escambray), en la provincia de Sancti Spíritus. Está formada en su mayor parte por mármoles esquistosos y esquistos calcáreos de edad Jurásico superior-Cretácico inferior.

Todo el macizo se considera una unidad hidrogeológica diferenciada, la Unidad Hidrogeológica del Escambray, y constituye una zona acuífera por el grado de disolución y alteración de los materiales carbonáticos metamorfizados, y por el gran desarrollo de zonas de alteración en aquellos materiales de naturaleza más esquistosa, por tanto las abundantes fracturas y fisuras que presenta, ensanchadas por karstificación, permiten la infiltración, flujo y acumulación del agua subterránea.

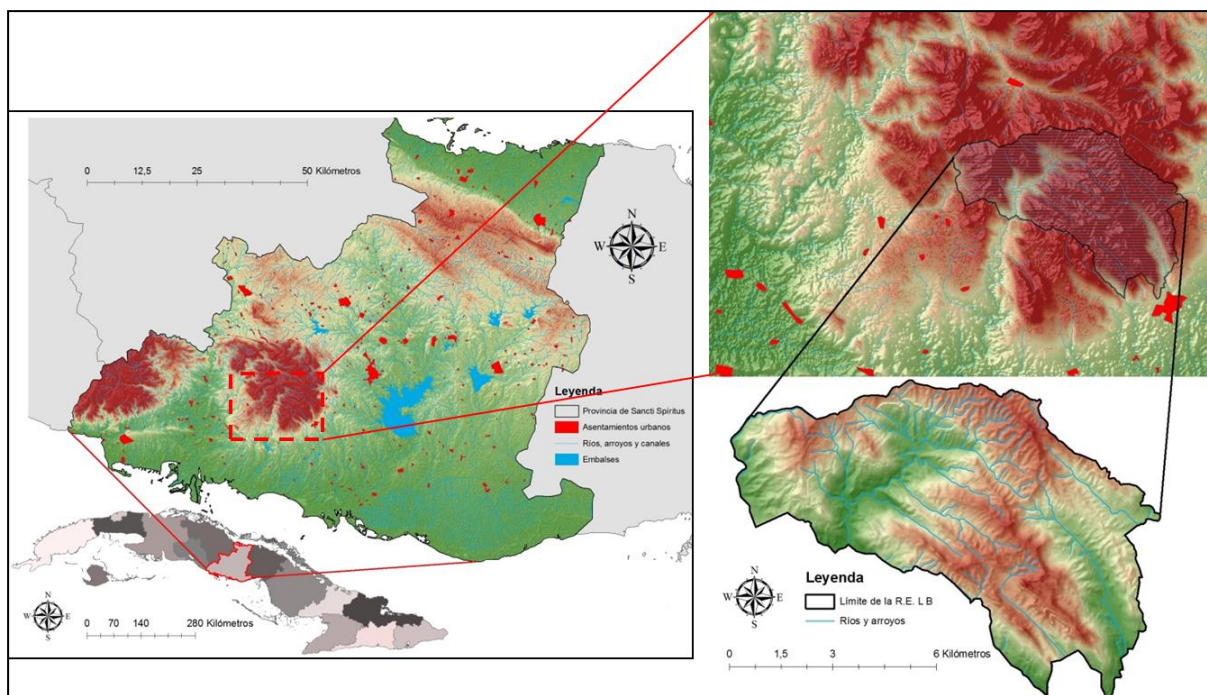


Figura 1. Situación geográfica de la Reserva Ecológica Lomas de Banao.

En la aplicación de la metodología para el cálculo del valor geológico a las R.E. Lomas de Banao, en concreto para la variable Patrimonio Geológico, se han delimitado como lugares de interés geológico de relevancia local, al estar inventariados por el grupo provincial de Espeleología de la Sociedad Espeleológica de Cuba (grupo SAMA), el sistema Caja de Agua (cueva Caja de Agua, Casualidad, La Güira y El Abuelo), cueva Las Mariposas, Los Leones y sumidero Hoyo de Plátano (Figura 2A).

Respecto a la variable Geodiversidad se aprecia como en casi la totalidad del área existe entre 3 y 6 tipos de litologías y/o contactos mecánicos por km<sup>2</sup> (Figura 2B), lo que pone de manifiesto la complejidad litológica de la zona, por los sucesivos procesos tectónicos acontecidos a lo largo de su historia geológica.

En cuanto a la Geomorfología Kárstica (Figura 2C), elaborada por reconocimiento de campo en función del grado de disolución y alteración de las lomas que afloran (tras las exposición de los duros materiales que la componen a la erosión) y las formaciones endokársticas que los espeleólogos me indicaban conocer como cuevas, galerías, sumideros y dolinas (no se apreciaban lapiazes), se pone de manifiesto la gran exposición a la erosión del afloramiento de estos materiales marmóreos, y se reconocen numerosas oquedades de gran tamaño incluso en las paredes verticales de las lomas. Esta erosión continua originada además por las características meteorológicas propias del clima tropical con efecto semicontinental, en el que las precipitaciones son de tipo convectivo, conforma todo un paisaje kárstico típico de materiales carbonáticos metamórficos, en donde a veces estas grandes oquedades no están interconectadas entre sí, pero cuando abundan los mármoles más calizos forman grandes cavidades, galerías y sumideros, como es el caso de la cueva Caja de Agua con más de 4 kilómetros de longitud, en donde las cavidades si están conectadas entre ellas.

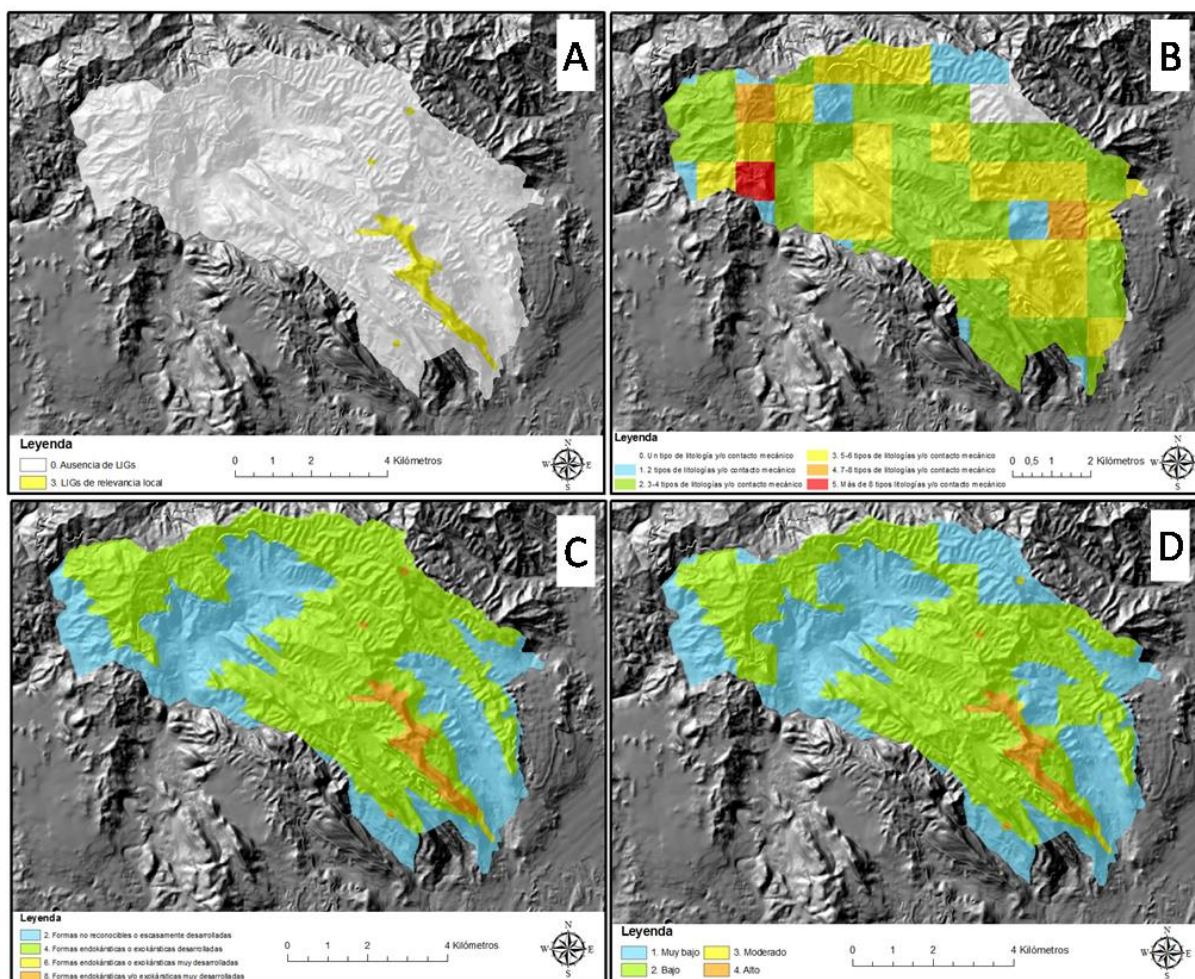


Figura 2. Aplicación de la metodología para el cálculo del valor geológico a las R.E. Lomas de Banao: A) Patrimonio Geológico, B) Geodiversidad, C) Geomorfología Kárstica, D) Cuantificación relativa del Valor Geológico.

La combinación de los tres mapas anteriores permite obtener el valor geológico de las Lomas de Banao (Figura 2D) cuyo resultado global medio es Bajo.

Se observa que la distribución espacial del valor geológico, en este caso, está estrechamente relacionado con la geomorfología kárstica que presenta, lo que pone de manifiesto la importancia de los procesos de disolución que acontece sobre los materiales que afloran, así como la antigüedad de los mismos al tratarse de materiales duros, carbonáticos muy metamorfizados.

Por otro lado, al no encontrar ningún inventario oficial de interés geológico al respecto, solo se ha considerado el inventariado local de cuevas y sumideros del grupo Samá (Grupo Provincial de Espeleología), ya que dentro de esta especialidad si se le da interés reconocido por el mismo. Por ello, uno de los grandes inconvenientes es que, un área puede ser de interés geológico y no ser reconocido administrativamente como tal, lo que baja el valor geológico general de toda la zona (ya que esta variable es la que más peso adquiere en la ponderación). Es decir, por la sencilla razón de un reconocimiento administrativo sube muy elevadamente el valor geológico y viceversa.

#### 4. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

El presente trabajo se integra en una metodología que pretende aportar un avance en el campo de la cuantificación relativa y protección de la geodiversidad y biodiversidad en el karst, método Protekarst, donde se efectúa un planteamiento innovador que tiene en cuenta las particularidades del medio kárstico para protegerlo, mediante la valoración de sus características y componentes. Se ha procurado que la información necesaria para la cuantificación relativa de los diferentes valores del karst se pueda obtener en publicaciones y bases de datos públicas de distintos organismos, generalmente accesibles. En esta comunicación se ha abordado la metodología que permite efectuar la cuantificación relativa del valor geológico del karst, desde la perspectiva de contribuir a la protección del mismo.

Se ha aplicado, en primer lugar, como variable para establecer la cuantificación relativa del valor geológico, el patrimonio geológico, para resaltar aquellos lugares de interés geológico que puedan estar declarados o inventariados por algún organismo de carácter oficial. Este interés reside en los diferentes elementos geológicos. Sin embargo, la aplicación de esta variable tal y como recoge el método, puede presentar el inconveniente de que un área puede ser de interés geológico y no ser reconocido administrativamente como tal, lo que baja el valor geológico general de toda la zona. Para esta variable solo se ha cuantificado con valor medio una estrecha franja de dirección NW-SE y varios puntos distribuidos que coincide con las zonas en la que se ha reconocido como lugares de interés de relevancia local por el grupo espeleológico provincial Samá.

En segundo lugar, se ha utilizado la geodiversidad o riqueza de elementos geológicos en el espacio, para atender a la distribución de los distintos sustratos litológicos, y a cuantos tipos de litologías y/o contactos litológicos hay por unidad de superficie (píxeles de 1 km<sup>2</sup>) en base a la cartografía litológica de la zona. Este método para definir y representar la geodiversidad tiene el inconveniente de pixelar la cartografía obtenida, al establecer una unidad espacial de referencia sobre la que se estudia la riqueza geológica.

En tercer lugar, se ha seleccionado la geomorfología kárstica, para realzar la importancia de las estructuras geomorfológicas del modelado kárstico dentro de la cuantificación del valor geológico. Para ello, se ha elaborado una cartografía básica, en función del grado de disolución y alteración de los materiales expuestos a la erosión y las formaciones endokársticas que los espeleólogos me indicaron conocer y posicionar, en donde resalta la zona que más tiempo ha estado expuesta a los procesos geodinámicos externos y, la formación endokárstica Cueva Caja de Agua, estudiada por el grupo provincial de espeleología. Además, se aprecia como esta última variable influye bastante en la cuantificación del valor geológico, en parte debido a la baja categoría de la variable patrimonio geológico en este caso en cuestión, y como resalta la formación endokárstica Cueva Caja de Agua en las distintas cartografías y en definitiva el valor geológico.



## 5. CONCLUSIONES

El procedimiento para el cálculo del valor geológico de la Reserva Ecológica Lomas de Banao, establecido en el método Protekarst (Carrasco et al., 2014), ha resultado ser coherente con las características geológicas del sistema. En donde se pone de manifiesto la distribución de la diversidad litológica de este complejo de Guamuhaya y resaltan las zonas de cuevas y sumideros, además de los materiales con mayor antigüedad y exposición a los procesos erosivos, que en definitiva se convierten en zonas vulnerables a proteger, al no olvidar el fuerte papel que juega dicho aspecto en el movimiento, distribución y almacenado del agua subterránea, cuestión importante en un marco de gestión integrada frente a los posibles escenarios de cambio climático.

## 5. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo es una contribución al Proyecto de “Estudio y mejora de la planificación y Gestión de los Recursos Hídricos en la cuenca del río Zaza (Cuba). Definición de políticas y estrategias de adaptación a los futuros impactos del cambio climático global (ESGEREHIZA)” del Programa de Voluntariado en Cooperación Internacional para el Desarrollo de la Universidad de Málaga (2015/2016). Se agradece también a la Unión Europea y a la Agencia de Obras Públicas de la Junta de Andalucía la financiación del proyecto “Protekarst” dentro del “Programa Operativo FEDER de Andalucía 2011-2013”. Por último un agradecimiento especial a los investigadores Osmany Ceballos Melendres (Universidad de Sancti Spíritus) y Samuel Alarcón Acá (Universidad de Málaga), así como a las diferentes entidades de Sancti Spíritus (Cuba), por el apoyo y la aportación de información relativa al trabajo.

## 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Carrasco, F. -Inv. Ppal- (2014). *Desarrollo de una metodología para la protección de las regiones kársticas en relación con las infraestructuras y otras actividades antrópicas. Memoria proyecto G-G13000/IDIM*, Junta de Andalucía-Universidad de Málaga, 6 tomos.
- Drew, D. & Hötzl, H. (1999). *Karst Hydrogeology and Human Activities. Impacts, consequences and implications*. Ed. Balkema, 322 p.
- Empresa Nacional para la Protección de la Flora y la Fauna (MINAGRI). *Plan de Manejo de la Reserva Ecológica Lomas de Banao 2016-2020*. Sancti Spíritus. Cuba.
- European Commission (1995). *Karst groundwater protection. Final Report COST Action 65*, Bruselas. 446 p.
- European Commission (2003). *Vulnerability and Risk Mapping for the Protection of Carbonate (Karst) Aquifers. Cost Action 620*.
- Ford, D.C. & Williams, P.W. (2007). *Karst Hydrogeology and Geomorphology*. Wiley, Chichester (Reino Unido). 562 p.

- García, D. & Torres, A. (1997). Sistema Paleógeno. En Furrázola, G. & Núñez, K. (eds.), Estudios sobre Geología de Cuba, pp.115-140. La Habana: Centro Nacional de Información Geológica.
- García-Casco, A., Bosch, D., Guillot, S., Lardeaux, J. M., Millán, G., Monié, P., Scheider, J. & Torres-Roldán, R. L. (2004). Origin and evolution of the Escambray Massif (Central Cuba): an example of HP/LP rocks exhumed during intraoceanic subduction. *Journal of Metamorphic Geology*, vol. 22, pp. 227-247.
- Iturralde-Vinent, M. A. (1998). Sinopsis de la Constitución Geológica de Cuba. *Acta Geológica Hispánica*, vol. 33 (1-4), pp. 9-56.
- Iturralde-Vinent, M. A. (2009). Geología de Cuba para todos. La Habana: Editorial Científico-Técnica, Instituto del Libro, 150 p.
- Trémols, A.J. & Rodríguez, J.G. (1999). Instituto de suelos. *Sección de Cartografía Digital de Información Geográfica*. Ciudad de la Habana.
- Watson, J., Hamilton-Smith, E., Gillieson, D. y Kiernan, K ( Eds.), 1997. *Guidelines for caves and karst protection*, IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, UK, 65 pp.
- White, W.B. (1988). Geomorphology and hydrology of karst terrains. Oxford Univ. Press, Nueva York (EEUU). 464 p.