

Condicionantes estructurales y litológicas de los grandes sistemas kársticos de la Sierra de los Órganos, Pinar del Río, Cuba

C. Díaz Guanche⁽¹⁾, R. Ramírez Hernandez⁽¹⁾, H. Farfán Gonzalez⁽²⁾, E. Estévez Cruz⁽¹⁾,
A. Ordaz Hernández⁽³⁾, C. Aldana Vilas⁽⁴⁾

(1) Departamento de Geología, Facultad de Ciencias Técnicas, Universidad de Pinar del Río.
Calle Martí No 270 (final) Pinar del Río, Cuba, CP: 20100.

carlosdg@geo.upr.edu.cu

(2) Parque Nacional Viñales. Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medioambiente.
Centro de Visitantes. Carretera a Viñales, km 23. Pinar del Río, Cuba

hfarfan@pvnvinales.co.cu

(3) Facultad de Geografía, Universidad Autónoma del Estado de México, Paseo Universidad,
Ciudad Universitaria, C. P. 50110, Toluca de Lerdo, México

alexisordaz.1978@gmail.com

(4) ONG Italiana Cooperación para el Desarrollo de Países Emergentes (COSPE).

Calle 28. e/. 1^{ra} y 3^{ra}. Miramar. Playa. La Habana.

cuba.cospe@enet.cu

RESUMEN

El karst, fenómeno extremadamente complejo, responde a un conjunto de variables que condicionan su génesis y desarrollo. Entre estas condicionantes juegan un importante papel las características litológicas y tectónicas de un territorio. En Cuba, los territorios kársticos ocupan aproximadamente el 65% de la superficie, la Sierra de los Órganos, macizo montañoso que forma parte de la Cordillera de Guaniguanico, en el distrito geográfico pinareño, alberga varios de los mayores sistemas kársticos del archipiélago cubano. Con el objetivo de demostrar la relación entre el desarrollo espacial y morfológico de los sistemas kársticos subterráneos con la estructura geológica del territorio, partiendo de la premisa del control litoestratigráfico y tectónico casi absoluto del desarrollo espacial, morfológico y morfométrico de las redes cavernarias, se desarrollaron una serie de trabajos de medición de elementos estructurales y morfológicos, que permitieron arribar a la conclusión de que en la Sierra de los Órganos los procesos kársticos se desarrollan principalmente en calizas masivas, relativamente homogéneas, de espesores considerables, poco porosas y muy fracturadas. Estas formas kársticas están condicionadas por la existencia de uno o más planos de agrietamiento con una orientación general NE, NO, siendo las zonas de intercepción de planos de grietas los lugares donde existen mayores volúmenes de cavidades kársticas.

Palabras clave: condicionantes estructurales y litológicas, karst, Sierra de los Órganos, sistema kárstico

Structural and lithological conditioning of the large karst systems of the Sierra de los Órganos, Pinar del Río, Cuba

ABSTRACT

The karst, a complex phenomenon, is governed by a number of variables which dictate its genesis and evolution. Among these variables tectonic settings and lithology play the main role. In Cuba, approximately 65% of the territory is occupied by karst. The Sierra de los Órganos, part of Cordillera de Guaniguanico, has some of the largest karstic systems in the country. With the aim of demonstrating the relationship between the spatial and morphological development of the underground karstic systems and the geological structure and lithology of the area, several structural and morphological measurements and field observations have been made. These measurements and observations allowing us to conclude that the karstic processes take

place mainly in massive, relatively homogeneous and very thick limestone in the Sierra de los Órganos. Moreover, these rocks are characterized by both low porosity and a high degree of fracturing. These karstic forms are also conditioned by the existence of various fracturing systems with general NE-SW and NW-SE orientations. Interception of these fracturing systems provides, as expected, areas with the largest volumes of karstic cavities.

Key words: karst, karst systems, Sierra de los Órganos, structural and lithological conditioning

ABRIDGED ENGLISH VERSION

Introduction

Cuban geodiversity presents an extraordinary genetic, morphological and typological variety as a result of a very complex geology, besides several endogenous and exogenous landscape alteration and modeling processes. Karstic areas occupy 65% of the Cuban surface approximately. Pinar del Río province, the westernmost part of the island, has 70% of its surface characterized by karst (Moleiro et al, 2004). Different geographic zones form the province: Península de Guanahacabibes, Llanura Aluvial-Marina del Sur and Cordillera de Guaniguanico (Fig. 1).

Cordillera de Guaniguanico extends in a NE-SW direction and is divided into four subregions: Alturas de Pizarras del Norte, Alturas de Pizarras del Sur, Sierra del Rosario and Sierra de Los Órganos.

The Sierra de los Órganos is located between the 22° 44' 21.48" and 22° 09' 49.68" N and 83° 30' 51.12" and 84° 13' 06.96" W. It is limited to the N by Alturas de Pizarras del Norte, to the S by Alturas de Pizarras del Sur, to the E by San Diego river basin and to the W by the Guanahacabibes karstic plain. The most karstic forms of the island are located in the Sierra de los Órganos, such as for example: Gran Caverna de Santo Tomás (45 km), Palmarito-Novillo-Pan de Azúcar (29 km), Majaguas-Cantera (29 km) and Cueva Fuentes (19 km). 14 levels of cavities have been identified, from altitudes of + 350 m to + 40 m (Moleiro y Flores, 1997).

Methods

The work was divided in two stages: office and field work. All the geological models, according to plate tectonics, were reviewed in the first stage. The Jurassic system stratigraphic evolution model (Cobiella Reguera, 2009) has been adopted for Jurassic rocks. Cretaceous and Paleogene sequences have been described following the model by Martínez et al. (1994). Models by Cabrera (1998) and Denis Valle (1998) were adopted to explain Quaternary sequences.

The Sierra de los Órganos structural evolution was based on research by Piotrowska (1987), Martínez (1994), Gordon and Cáceres Govea (1997) and Cáceres Govea (1998). All these authors agree about the tectonic complexity of karstic mountain areas and the superposition of various deformation phases.

Aerial photo interpretation was the method used for lineament extraction, from which diagrams were constructed and the main regional faults were established and verified. Topographic studies of the whole karstic systems were also made. Some caves, at different depth levels, were selected and studies of dimensions, orientation, morphology and morphometry were carried out. During the field work stage, measurements of rock (attitudes) layers azimuth and dip, fracture and microfracture planes and lithological contacts between formations were measured. All this information allowed us to establish the relationship between the geological structure and the geofoms.

Study cases

Karst cannot occur without favourable structural conditions, as well as a three dimensional drainage network. According to Moleiro (2003) areas where fissures (bedding planes, faults, joints) intersect are the most favourable for karst development. It is also necessary to take into account the water residence time and chemical composition. Therefore, in areas where fissure intersection phenomena occur, such as rock collapse (Fig.6), these being areas favorable for the presence of collapsed dolines (Čar, 1982 in Šebela, 2001), which area common in the area.

The Sierra de Galeras, where the karstic system Constantino-Macagua is located, presents local structures with the same orientation as the regional structures. Here joint orientations and karst show a high

degree of coincidence. Main galleries develop in a NE, NW and N directions, following the direction of the regional faults.

In the Palmarito – Novillo – Pan de Azúcar and Ancón karstic systems, in the Sierra de Viñales, and El Jovero, Los Gonzáles in Sierra de San Vicente – Ancón, galleries with the largest extensions orientate in an N and N-NW directions. Tower karst in the Sierra del Medio, Díaz et al. (2013), cavities have NW-SE and NE-SW as main directions, with a second direction E-W. A close relationship between tectonic structure and the cave systems of Los Malagones (12 km), Los Tomasitos, Las Raíces and Los Menéndez exists in the Sierra del Medio, Figure 7.

In Sierra del Quemado, where the Gran Caverna de Santo Tomás (46 km of caves) is found, as part of the Sistema Subterráneo de la Sierra del Quemado (around 70 km), Rocamora (1998) and Ramírez et al. (2013), propose the existence of different directions of caves: NE, NW, all of them matching the rock fracturing directions. It is worth noting that Sierra del Quemado is a calcareous ridge with an axis deviation of 20°-25° with respect to the other calcareous ridges in the Sierra de Los Órganos.

In the Sierra de San Carlos, located to the south of the other ridges, Macle (1998), Flores and Flores (1998) have determined NE and NW predominant directions for the cave system. The cave system, conditioned by the main fracture directions, has originated the Sistema Cavernario Majagua-Canteras (29 km) (Fig. 9).

Introducción

La geodiversidad cubana presenta una extraordinaria variedad genética, morfológica y tipológica de rocas debido a la muy compleja geología del archipiélago, acompañada de disímiles procesos de alteración y modelaje por la acción de fuerzas endógenas y exógenas, lo que ha dado lugar a singulares formas del paisaje.

Para Cuba los territorios kársticos ocupan aproximadamente el 65% de la superficie, mientras que en el distrito geográfico de Pinar del Río, el más occidental del archipiélago, el 70% del área es kárstica (Molerio *et al.*, 2004). El territorio está dividido en diferentes regiones físico-geográficas: Península de Guanahacabibes, Llanura Aluvial-Marina del Sur y la Cordillera de Guaniguanico (Figura 1).

La Cordillera de Guaniguanico se extiende en dirección NE-SO y se subdivide en cuatro subregiones físico-geográficas con características bien diferenciadas: las Alturas de Pizarras del Norte, Alturas de Pizarras del Sur, la Sierra del Rosario y la Sierra de Los Órganos.

La Sierra de Los Órganos, ubicada entre los 22° 44' 21,48" y 22° 09' 49,68" N; y 83° 30' 51,12" y 84° 13' 06,96" O, limita al Norte con las Alturas de Pizarras del Norte; por el Sur contacta con las Alturas de Pizarras del Sur, separada de ellas por depresiones longitudinales (poljas de contacto); al Este, con la cuenca del río San Diego, que la separa de la Sierra del Rosario, mientras que al Oeste se extiende la llanura kárstica de Guanahacabibes, de la cual está separada por el istmo de La Fe – Cortés.

Es en la Sierra de los Órganos donde se localizan la mayoría de las formas kársticas más espectaculares del archipiélago, como son los sistemas subterráneos más extensos: Gran Caverna de Santo Tomás (45 km), Palmarito-Novillo-Pan de Azúcar (29 km),

Majaguas-Cantera (29 km) y Cueva Fuentes (19 km). En total se identifican hasta 14 niveles de cavernamiento, desde cotas + 350 m hasta + 40 m (Molerio y Flores, 1997).

Materiales y métodos

Los trabajos se dividieron en dos etapas: una de gabinete y otra de campo. En la primera, fueron revisados los modelos geológicos fundamentados en la Nueva Tectónica Global, que explican de un modo

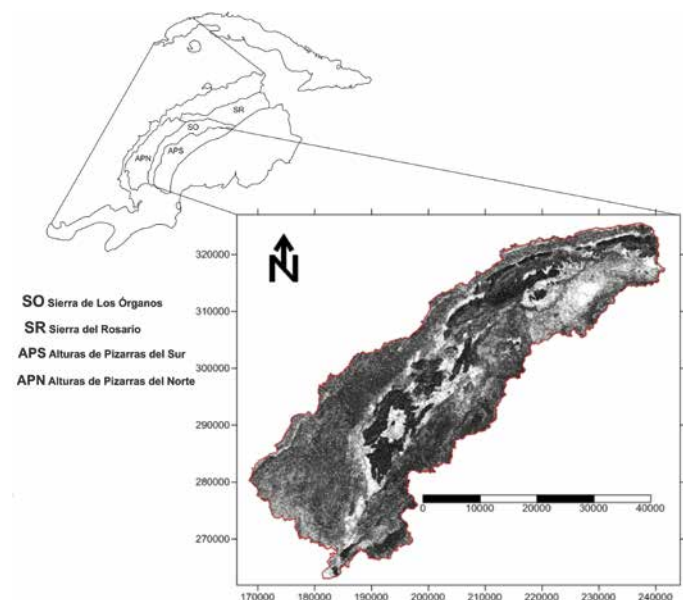


Figura 1. Sierra de los Órganos. En la tonalidad más oscura se destacan las sierras calcáreas y en la más clara los poljes que las rodean.

Figure 1. Sierra de los Órganos. Darker tones represent calcareous hills; lighter tones represent the poljes around the hills.

coherente la evolución del territorio. Esencialmente, para la zona se ha adoptado el esquema de la evolución estratigráfica del sistema Jurásico elaborado por Cobiella (2009) y para el resto de las secuencias Cretácicas y Paleogénicas el de Martínez *et al.* (1994). Para el sistema Cuaternario se han utilizado los esquemas de Cabrera (1998) y Denis (1998). La evolución estructural del macizo se basó en los trabajos de Piotrowska (1987), Martínez (1994), Gordon y Cáceres (1997) y Cáceres (1998), que coinciden en la complejidad tectónica de los macizos cársicos y la superposición de varias fases deformacionales.

El desciframiento de fotos aéreas permitió la elaboración de un esquema de alineamientos tectónicos a partir del cual se confeccionó el diagrama de roseta para determinar las principales direcciones de las estructuras disyuntivas de carácter regional.

Por otra parte, fueron obtenidas las topografías de los sistemas cavernarios del Catastro Espeleológico de la Provincia Pinar del Río. Se seleccionaron cuevas en diferentes niveles de cavernamiento realizándose estudios sobre las dimensiones y orientaciones, morfología y morfometría. Se obtuvieron los datos para la confección de diagramas y análisis estadísticos, El trabajo de campo se centró en la medición de elementos de yacencia de las fracturas y microfracturas y la delimitación de los contactos entre las formaciones geológicas presentes en el área, así como la caracterización de geoformas cársicas.

Toda la información fue procesada en su conjunto, estableciéndose las relaciones entre la estructura geológica y las geoformas.

Condicionantes litoestratigráficas

El corte estratigráfico de la región está compuesto por tres paquetes rocosos bien diferenciados que abarcan desde el Jurásico hasta el Eoceno: uno terrígeno en la base, otro carbonatado, seguido de otro terrígeno con carácter olistostrómico (Díaz, 1999).

Con la fragmentación del supercontinente Pangea se origina la separación de los continentes americanos y surge una cuenca oceánica de aguas profundas donde ocurre la acumulación de sedimentos terrígenos en ambientes deltáicos (Formación San Cayetano, Jurásico Inferior al Jurásico Superior Oxfordiano Medio), y carbonatados en rampas (Formación Jagua, Oxfordiano Medio-Superior), en bancos carbonatados (Miembro San Vicente de la Formación Guasasa, Oxfordiano Superior - Tithoniano Inferior) que transicionan a depósitos de talud (Miembro El Americano, de la Formación Guasasa, Tithoniano Superior) y en aguas profundas (Formación Guasasa

Miembros Tumbadero, Jurásico Superior Tithoniano - Cretácico Inferior Berriasiano y Tumbitas, Cretácico Inferior Valanginiano y Formación Pons, Cretácico Inferior Aptiano - Cretácico Superior Turoniano) sobre el Margen Continental Pasivo de la América del Norte.

En el Cretácico existe un hiatus que abarca desde el Maastrichtiano hasta el Campaniano Superior, el cual es observable en el registro sedimentario de las secuencias de la Sierra de Los Órganos. Las capas cenozoicas comienzan con los sedimentos carbonatados de aguas profundas de la Formación Ancón del Paleoceno Inferior al Eoceno Inferior basal.

Como resultado de deformaciones compresivas, a escala regional, se produce el sobrecorrimiento de grandes mantos tectónicos compuestos por las secuencias del Margen Continental Pasivo de la América del Norte, con la formación de escamas tectónicas y frecuentes traslados de sedimentos en forma caótica. Las formas kársticas más antiguas de la zona comienzan a desarrollarse al emerger la región y producirse el desgase de la cobertura terrígena, poniendo al descubierto los macizos calcáreos.

Hacia el Plioceno Superior continúa el desarrollo del karst, manteniéndose las condiciones fluviolacustres en las poljas como consecuencia de sucesivas transgresiones y regresiones marinas, vinculadas a los últimos periodos glaciales y a los movimientos neotectónicos regionales (Miembro Ensenada Grande (unidad no formal) de la Formación Guane, Plioceno Superior - Pleistoceno Inferior), condicionando la evolución del relieve hasta su forma actual, Tabla 1, donde continúan depositándose sedimentos aluviales, eluviales y kársticos coronando definitivamente el corte estratigráfico de la región (Peñalver *et al.*, 2001) (Figura 5).



Figura 2: Karst en planos de estratificación, de las calizas del Mb. Tumbitas de la Fm Guasasa. Laguna de Piedra, Viñales.

Figure 2: Karst in bedding planes of the Mb limestone. Tumbitas of the Guasasa Fm, Laguna de Piedra, Viñales.



Figura 3: Karst en calizas masivas del Mb San Vicente de la Fm Guasasa. Cueva de Los Portales, San Andrés de Caiguanabo.

Figure 3: Karst in massive limestone, San Vicente Mb, Guasasa Fm, Los Portales Cave, San Andrés de Caiguanabo.



Figura 4: Huellas de disolución fluvial-lagunar en karstolitos. Polje marginal de Quemados de Pineda. Detrás la sierra de Quemados.

Figure 4: Prints of fluvial-lagunar dissolution in karstolites. Quemados de Pineda marginal polje. Behind the Sierra de Quemados.

Formación	Miembros	Características	Tipo de cavernamiento predominante
San Cayetano		Intercalaciones de areniscas, lutitas, esquistos	No existe
Jagua		Calizas micríticas, finamente estratificadas, esquistos arcillo-margosos y lutitas calcáreas	Laberíntico poco desarrollado
Guasasa	San Vicente	Calizas masivas o de estratificación gruesa, con nódulos y lentes de pedernal oscuro.	Ramificado
	El Americano	Estratos finos de calizas dolomíticas, calizas microgranulares, arcillosas y laminares y lutitas de colores oscuros	Laberíntico poco desarrollado
	Tumbadero	Calizas micríticas y calcilutitas con intercalaciones de pedernal oscuro	Laberíntico poco desarrollado
	Tumbitas	Caliza microgranular clara, de estratificación gruesa, presentándose en ocasiones intercalaciones de calizas arcillosas	Laberíntico poco desarrollado
Pons	-	Calizas micríticas oscuras, bien estratificadas, con lentes y nódulos de pedernal gris - negro	Laberíntico poco desarrollado
Ancón	-	Calizas, calizas esquistosas, arcillosas, margas, brechas calcáreas con fragmentos de calizas y de pedernales	Laberíntico poco desarrollado
Manacas	-	Areniscas polimícticas, limolitas, argilitas, calcarenitas, pedernales, calizas, depósitos caóticos con intercalaciones de areniscas vulcanomícticas	No existe
Guane	Ensenada Grande	Sedimentos aluviales, eluviales, proluviales y kársticos	No existe

Tabla 1. Clasificación del endokarst atendiendo a las características litológicas.

Table 1: Classification of endokarst according to lithological characteristics.

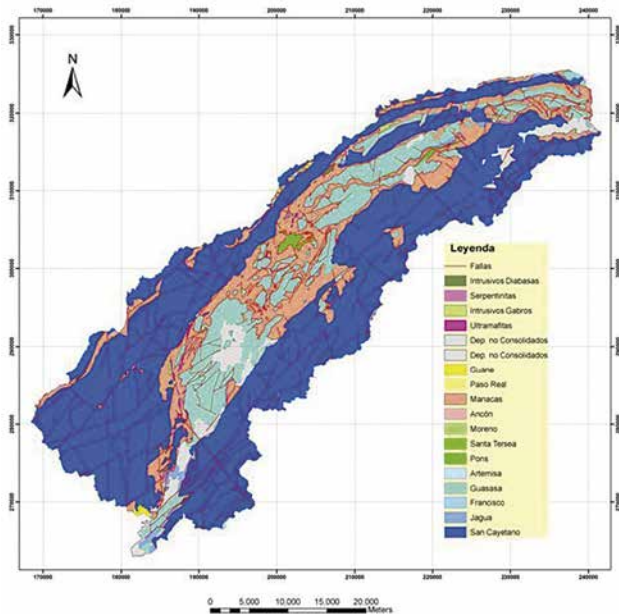


Figura 5. Mapa geológico del área (modificado del Mapa Geológico de la República de Cuba, Escala 1: 100 000, Instituto de Geología y Paleontología).

Figure 5: Geological map (modified from the Geological Map of the Cuban Republic, Scale 1: 100 000, Geology and Paleontology Institute).

Para la Sierra de los Órganos se ha observado, según la distribución de las formas kársticas y sus distintas morfologías, la existencia de un control litoestratigráfico. El escaso desarrollo de cuevas y otras formas subterráneas en rocas de la Formación Jagua y la mayor evolución de sistemas subterráneos en las calizas masivas la Formación Guasasa (Figura 3), así como la no existencia de manifestaciones del karst subterráneo en las rocas de las formaciones San Cayetano y Manacas, confirman el desarrollo diferenciado de las formas kársticas según las rocas sobre las que se instalen. (Tabla 1).

Condicionantes estructurales

En la región, la tectónica juega un papel más evidente en el control de las formas subterráneas del karst. La relación entre las variables alineamientos tectónicos, agrietamiento y orientación de geofomas kársticas es elevada, confirmándose la hipótesis de la tectónica como elemento geológico principal en el desarrollo espacial, morfológico y morfométrico del karst en este macizo. Los mayores grados de coincidencia entre estructuras tectónicas y galerías se encuentran en las direcciones NO y el NE.

De forma general todos los elementos estructurales medidos en el área (grietas de cizalla, híbridas, extensión y las fallas) tienen dos direcciones principales hacia el NE, $N40^{\circ}-50^{\circ}E$ y $N70^{\circ}-80^{\circ}E$, disponiéndose de forma paralela al eje principal del macizo, coincidiendo con la dirección general de los sobrecoimientos y $N310^{\circ}-300^{\circ}O$ en dirección perpendicular al eje principal del macizo, que parece relacionarse con movimientos diferenciales de los mantos durante los cabalgamientos o, en otros casos, ser estructuras recientes relacionadas con la rotación hacia el E del máximo estrés compresivo, según Cáceres (1998), Rosa (1999) y Díaz (1999).

Como característica general, los depósitos terrígenos sobrecoirieron al paquete carbonatado; todas las secuencias hasta aquí descritas tienen un carácter alóctono y fueron emplazadas tectónicamente desde el Sureste, quedando dispuestas en forma de un gran semiarco con direcciones que van desde el ESE-ONO, hacia la zona este, cambiando ligeramente a NE-SO y acentuándose hacia el SSO-NNE en la parte occidental del área.

La presencia de un potente paquete de calizas masivas ha influido decisivamente en la tectónica de estas unidades calcáreas, reaccionando como un cuerpo rígido sujeto a deformaciones disyuntivas en el límite inferior (contacto con la Formación Jagua) donde se observan, según Piotrowska (1987) y corroborado por Díaz (1999), plegamientos en las calizas finamente estratificadas de la Formación Jagua.

Casos de estudio

El desarrollo del karst necesita de una preparación estructural que determina la disposición de la red de drenaje tridimensional (cavernamiento) y todas sus formas asociadas, en función de la historia geológica del macizo. Teniendo en cuenta los preceptos de Molerio (2003), las áreas de intersección de fisuras (planos de estratificación, fallas, grietas), son las zonas más favorable para el desarrollo de las formas kársticas, dependiendo de la evolución geoquímica, las fuentes de aporte y el tiempo de residencia de las aguas del macizo. Por tanto, en estas áreas de intersección de varias superficies (zonas de intersección de fisuras), se encuentran las direcciones del cavernamiento (figura 6), y ocurren los procesos de colapso de galerías, y de acuerdo con Čar (1982 en Šebela, 2001), siendo especialmente favorables para el desarrollo de dolinas colapsadas, comunes en el karst del área.

La Sierra de Galeras, donde se abre el sistema kárstico Constantino-Macagua, presenta estructuras

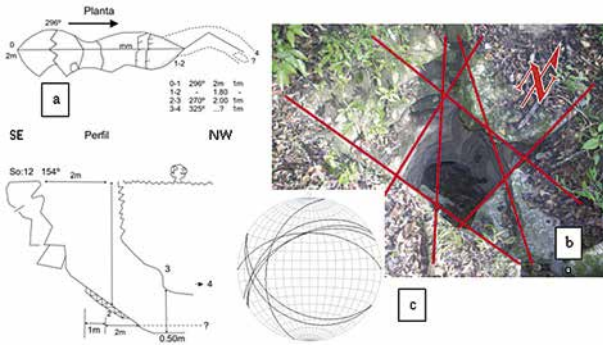


Figura 6: a) Planta y perfil de sumidero en calizas de la Fm Guasasa. Localidad Sierra del Medio. b) Las líneas sobre la foto indican las familias de grietas que controlan el desarrollo de la cavidad. zona de entrada donde coinciden varios planos de grietas, lo que la convierte en el punto más débil de la estructura. c) puntos de intersección de planos en la falsilla de Wulff.

Figure 6: a) Top view and profile of a limestone sink of Guasasa Fm. Locality: Sierra del Medio. b) Lines on the photo indicate fractures that control cavities. Zone where there are different fracture planes and where they intersect with each other making the structures weaker. c) Plane intersection points on a Wulff diagram.

locales orientadas de forma similar a las regionales, teniendo la orientación de la fracturación y karstificación un alto grado de similitud. Las galerías principales se desarrollan de forma preferencial hacia las direcciones NE, NO y N, coincidentes con grupos de fallas regionales.

En los sistemas kársticos Palmarito – Novillo – Pan de Azúcar y Ancón, en la Sierra de Viñales, y El Jovero y Los Gonzáles, en la Sierra de San Vicente - Ancón, las galerías con mayor desarrollo lineal se encuentran orientadas al N y al N-NO. En el karst en torres de la Sierra del Medio, Díaz *et al* (2013), obtienen como direcciones principales del cavernamiento NO -SE y NE-SO, con una dirección secundaria E-O y marcada vinculación entre el desarrollo del aparato kárstico, representado por los sistemas subterráneos Los Malagones (12 km), Los Tomasitos, Las Raíces y Los Menéndez, y la estructura tectónica del macizo (Figura 7).

Para la Sierra del Quemado, donde está enclavada la Gran Caverna de Santo Tomás (46 km de galerías), formando parte del Sistema Subterráneo de la Sierra del Quemado (unos 70 km de desarrollo subterráneo), Rocamora (1998) y Ramírez *et al*, (2013), plantean la existencia de varias direcciones principales del cavernamiento: NE, NO, las que coinciden en gran medida con la fracturación del macizo. Es significativo señalar que la Sierra del Quemado es un macizo calcáreo con una desviación de unos 20°-25° en su eje respecto al de otros macizos de la Sierra de Los Órganos (Figura 8).

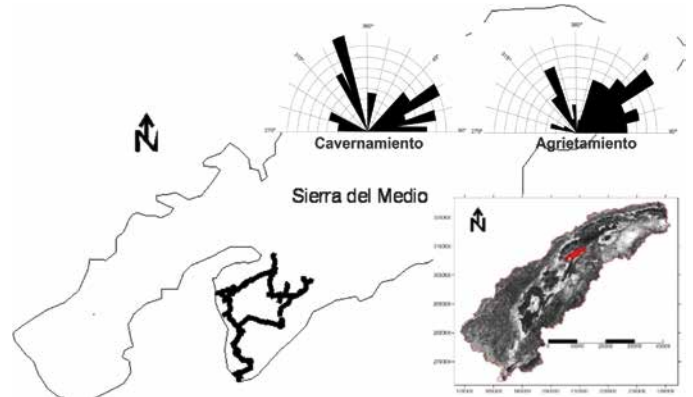


Figura 7: Sistema de cuevas de los Malagones en la Sierra del Medio. Diagramas de rosa de direcciones de las cuevas principales y dirección de fracturas.

Figure 7: Los Malagones Cave System, Sierra del Medio. Rose diagrams of main cave and fracture directions.

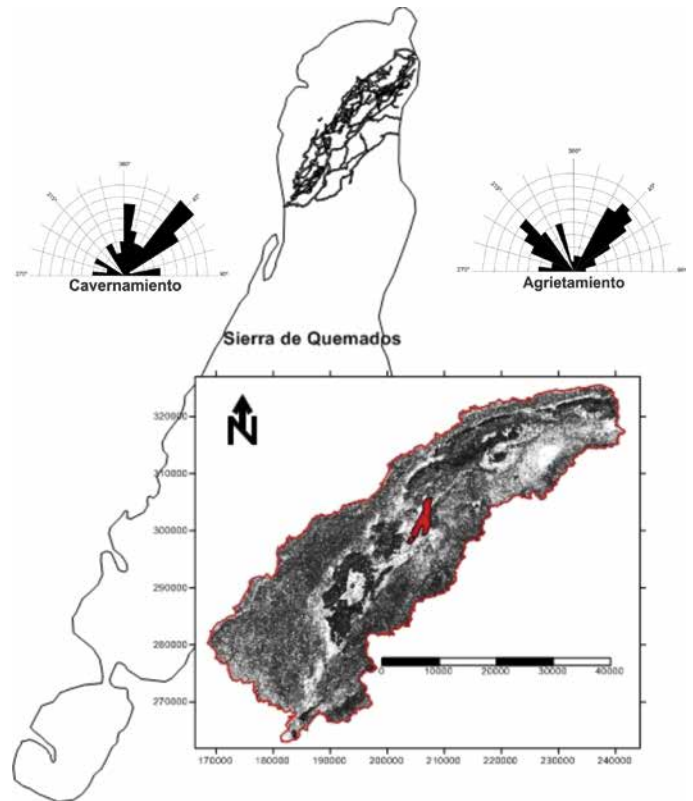


Figura 8: Big Cave of Santo Tomás, parte del Sistema karsticos de la Sierra de Quemados. Diagramas de rosa de direcciones de las cuevas principales y dirección de las fracturas.

Figure 8: Gran Caverna de Santo Tomás, part of Sierra de Quemados karstic system. Rose Diagrams of cave directions and fractures

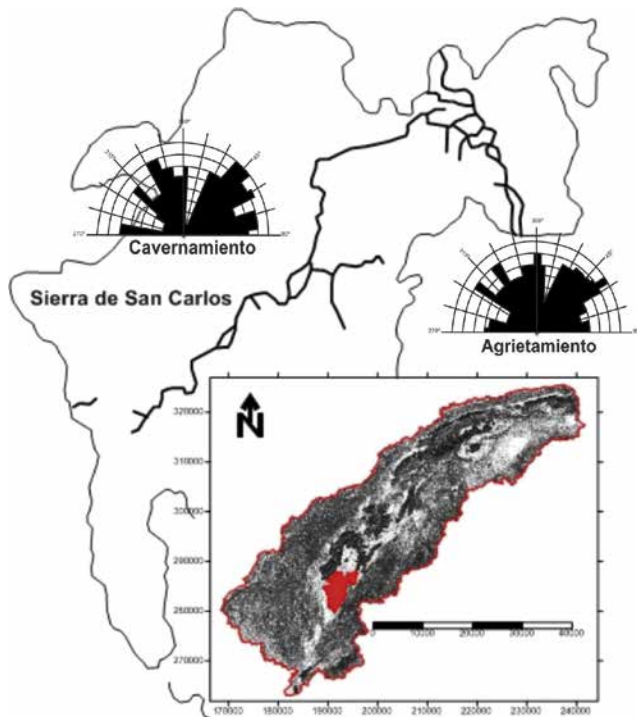


Figura 9: Sistema kárstico de Majagua – Canteras en la Sierra de San Carlos. Diagramas de rosa de direcciones de las cuevas y dirección de las fracturas.

Figure 9: Karstic system Majagua – Canteras, Sierra de San Carlos. Rose Diagrams of cave directions and fractures.

En la Sierra de San Carlos, con una posición más meridional con respecto al resto de los macizos calcáreos, Macle (1998), Flores y Flores (1998) han determinado dos direcciones predominantes para las galerías: NE y NW, siendo estas galerías condicionadas por las líneas principales de fracturas, lo que ha dado origen al Sistema Cavernario Majagua-Canteras (29 km) (Figura 9).

Conclusiones

1. En la Sierra de los Órganos los procesos kársticos se desarrollan principalmente en calizas masivas, relativamente homogéneas, de espesores considerables, poco porosas y muy fracturadas. Estas formas kársticas están condicionadas por la existencia de uno o más planos de agrietamiento, siendo las zonas de intercepción de planos de grietas los lugares donde existen mayores volúmenes de cavidades kársticas.
2. Las direcciones del cavernamiento se manifiestan con una orientación general NE, NW, vinculando la dirección principal con grietas longitudinales

a los ejes de los macizos calcáreos, coincidiendo con la dirección general de los mantos de sobrecorrimientos ocurridos en la Sierra de Los Órganos. Las direcciones secundarias pueden relacionarse con los movimientos diferenciales ocurridos durante el arrastre tectónico, representando estructuras de segundo orden. Algunos de estos accidentes, más orientados al N pueden relacionarse con estructuras recientes asociadas a esfuerzos compresivos de orientación E - O.

Referencias

- Cabrera, M. 1998. *Geología del Cuaternario de la región Norcentral del archipiélago cubano*. Memorias III Congreso de Geología y Minería. Tomo I. PP. 78-81. Editorial C.N.D.I.G. La Habana.
- Cáceres, D. 1998. *Diferentes fases deformacionales en la porción más meridional de la Sierra de los Órganos*. Memorias III Congreso de Geología y Minería. Tomo I. PP. 89-92. Editorial C.N.D.I.G. La Habana.
- Cobiella, J. 2009. Reconstrucción palinspástica del paleomargen mesozoico de América del Norte en Cuba occidental y el sudeste del Golfo de México. Implicaciones para la evolución de SE del Golfo de México. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 25 (3), 382-401.
- Denis, R. 1998. Algunas consideraciones sobre el Cuaternario de Cuba Occidental. Memorias III Congreso de Geología y Minería. Tomo I. pp. 180-182. Editorial C.N.D.I.G. La Habana.
- Díaz, C. 1999. Geología y Geomorfología del carso en la sierra de Ancón - San Vicente. Tesis en opción al título de Master en Ciencias. Departamento de Geología. Universidad de Pinar del Río (inédito) 45 pp.
- Flores, E y Flores, L. 1998. Evolución y desarrollo tridimensional de la Cueva de los Gigantes, Sistema Cavernario Majagua-Canteras. Memorias III Congreso de Geología y Minería. Tomo I. pp 244-247. Editorial C.N.D.I.G. La Habana.
- Gordon, M. R., Cáceres Govea, D. 1997. *Cenozoic tectonic history of the North America-Caribbean plate boundary zone in western Cuba*. En: Journal of Geophysical research, Vol. 102, Number B5. pp. 10,005-10,082. American Geophysical Union.
- Hatten, C. W. 1957. *Geologic Report on Sierra de Los Órganos*. CNFG: La Habana.
- Jakucs, L. 1977. *Morphogenetics of karst regions. Variants of Karst evolution*. Ed. Akadémiai Kiadó. Budapest. 284 pp.
- Macle, J 1998. Análisis estadísticos de los datos orientados en el estudio de la influencia ejercida por los elementos estructurales sobre el carso de la Sierra de San Carlos. Memorias III Congreso de Geología y Minería. Tomo II. PP. 134-137. Editorial C.N.D.I.G. La Habana.
- Martínez, D. 1994. Informe sobre la generalización del mapa geológica del occidente de Cuba a escala 1:100 000. O.T.R.M. Pinar del Río.

- Martínez, D.; Fernández De Lara, R.; Peláez, R.; Vázquez, M.; Barrios, E.; Valido, A.; Reinoso, R.; Chang, J. C.; Fernández, O.; Denis, R.; Gómez, L.; García, D.; Gil, S.; Pérez, D. H.; Reyes, R.; Valdivia, M.; Núñez, R.; Pérez, R.; Piz Langs, J. 1991. Informe Sobre los resultados del Levantamiento Geológico y Prospección Preliminar a Escala 1:50 000 Pinar- Habana. Centro Nacional Fondo Geológico, Ministerio Industria Básica, La Habana (Inédito).
- Molerio, L. F. y Flores E. 1997. Paleoclimas y Paleocarsos: los Niveles de Cavernamiento y la Variabilidad del Clima Tropical en el Golfo de México y el Caribe in/D.M. Arellano, M.A. Gómez-Martín & I. Antigüedad (Eds.): Investigaciones Hidrogeológicas en Cuba. Eibar, País Vasco: 225-232
- Molerio, L. 2003. Modelo del desarrollo de cavernas y conductos cársticos, Memorias V Congreso de Geología y Minería, La Habana, 2003.
- Peñalver, L.L.; Cabrera, M.; Trujillo, H; Morales, H; Fundora, M; Pérez Lazo, J; Molerio, L; Guerra, M; Pedroso, I. 2001. Evolución paleoclimática y paleogeográfica de Cuba durante el Cuaternario. IV Congreso de Geología y Minería. Memorias Geomin 2001, LaHabana, Marzo 19-23:GQGC 74- GQGC 83
- Piotrowska, K. 1987. "Las estructuras de nappes en la Sierra de los Órganos", En: Puszczólkowski, A. (Ed.). Contribución a la geología de la provincia de Pinar del Río, Edit. Cient. Técnica, C. Habana, pp.85-156.
- Ramírez, R., Díaz, C., Morales, G.C., Farfán, H., Cáceres, D. 2013. Morfoestructuras vs estructura geológica en la Sierra de Santo Tomás – Quemado. Memorias X Congreso Cubano de Geología. V Convención de Ciencias de la Tierra. Sociedad Cubana de Geología. La Habana. Cuba. ISSN 2307-499X.
- Rocamora, E. 1998. La fotointerpretación digital en regiones cársticas: Caso de estudio Sierra del Quemado, Cuba. Memorias III Congreso de Geología y Minería. Tomo I. pp. 614-617. Editorial C.N.D.I.G. La Habana.
- Šebela, S. 2001. Collapse dolines and passages of Postojnska Jama Cave System. Proceedings 13th International Congress of Speleology.129-133. Brasil.
- Vermunt, L. W. J. 1937. *Geology of the province of Pinar del Río, Cuba. Geog. Geol. Mededdel., Utrecht, Phys. Geol. Reeks*, 13:1-60.

Recibido: febrero 2015

Revisado: marzo 2015

Aceptado: abril 2015

Publicado: marzo 2016