Atti e Memorie della Commissione Grotte "E. Boegan"	Vol. 39	pp. 147-163	Trieste 2004

CARLOS RAFAEL ROSA SAAVEDRA, M. Sc. (*)
CARLOS DÍAZ GUANCHE, M. Sc. (*) - DÁMASO CÁCERES, Dr. Sc. (*)

LA ESTRUCTURA FISURAL Y EL DESARROLLO DEL KARST DE LA SIERRA DE VIÑALES, CUBA

RESUMEN

En la Sierra de Viñales se ha instalado parte de uno de los mayores sistemas cavernarios del archipiélago cubano: el Sistema "Palmarito-Novillo". Por las características físicas de las rocas de la Formación Guasasa, los procesos de karstificación en este macizo carbonatado del Occidente de Cuba han evolucionado a través de las complejas redes de fracturas que las afectan, las que se han originado durante las sucesivas fases tectónicas que han deformado las rocas y creado condiciones para el desarrollo del karst.

RIASSUNTO

TETTONICA E SVILUPPO DEL CARSISMO NELLA SIERRA DE VIÑALES, CUBA

La "Sierra de Viñales" ospita uno dei maggiori complessi sotterranei dell'arcipelago cubano: il sistema carsico "Palmarito-Novillo". In conseguenza delle specifiche caratteristiche delle rocce che costituiscono la "Formación Guasasa" i fenomeni carsici del massiccio calcareo, ubicato nella parte occidentale di Cuba, si sono sviluppati entro una complessa serie di fratture che attraversano i calcari. Queste fratture si sono originate durante fasi tettoniche successive creando le condizioni ideali per lo sviluppo delle cavità sotterranee.

SUMMARY

TECTONICS AND KARSTIC DEVELOPMENT OF SIERRA DE VIÑALES, CUBA

The "Sierra de Viñales" hosts one of the major cave systems of the Cuban archipelago: the "Palmarito-Novillo" system. Due to the physical characteristics of the "Formación Guasasa" rocks, the karst processes that concern this carbonate massif, located in Western Cuba, have developed through the complex set of fractures that affect them. These fractures originated during the successive tectonic phases that deformed the rocks and created the ideal condition for the development of karst phenomena.

(*) Miembros del Grupo Guaniguanico de la Sociedad Espeleológica de Cuba.

Introducción

La Sierra de Los Órganos ocupa la porción occidental de la Cordillera de Guaniguanico, cadena montañosa del norte de la provincia de Pinar del Río, Cuba.

En el sector central de la Sierra de Los Órganos, y a unos 25 Km. al norte de la ciudad de Pinar del Río se ubica el macizo kárstico de la Sierra de Viñales, donde se realizó un análisis de la influencia de la estructura geológica como condicionante fundamental del modelado kárstico de este macizo con típico relieve de karst cónico tropical que ha dado lugar a variados y complejos elementos morfológicos epigeos e hipogeos que incluye macroformas y microformas kársticas con predominio de las formas disolutivas.

En la Sierra de Viñales se ha instalado uno de los aparatos kársticos más grandes de la región: el Sistema Subterráneo "Palmarito-Novillo" con más de 50 Km. de galerías subterráneas, dieciocho de los cuales se encuentran en este macizo, y un conjunto excepcional de geoformas exokársticas. Este sistema cavernario se comenzó a explorar y topografiar en los años setenta por parte del Grupo Baracoa, y se retomó su estudio en el año de 1989 participando colegas españoles, ingleses y norteamericanos. Como resultado de estos trabajos, a los que, a pesar de todo, les faltó la sistematicidad necesaria, se exploraron y topografiaron unos 45 Km. de galerías, tanto en su nivel activo como en los niveles fósiles.

El fracturamiento de las rocas es el principal elemento de la estructura geológica que ha determinado el desarrollo morfológico y espacial del karst de la Sierra de Viñales.

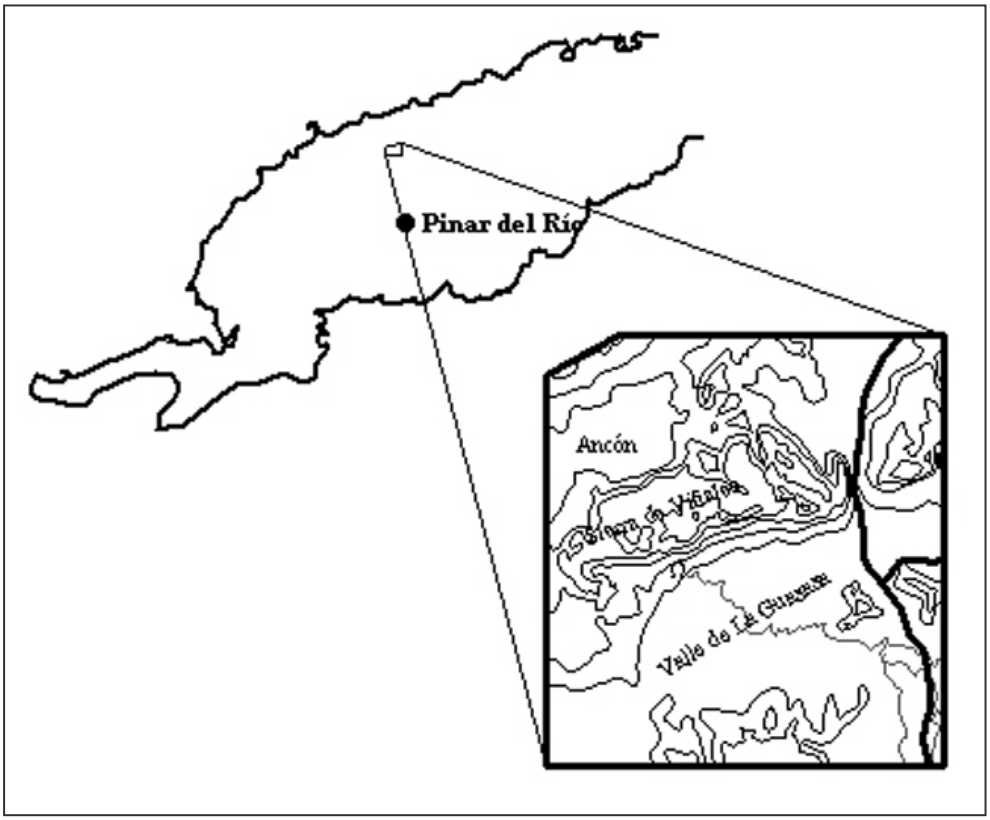

Figura 1 - Ubicación Geográfica (Escala 1:50 000 Reducida).

En este macizo carbonatado pueden distinguirse dos secuencias rocosas:

– *Secuencia Inferior:* Constituida por las calizas con intercalaciones de argilitas calcáreas jurásicas de la Fm. Jagua, bien estratificadas, muy agrietadas, plegadas y con escaso desarrollo del karst.

– *Secuencia Superior:* Formada por las calizas jurásicas del Miembro San Vicente de la Fm. Guasasa. Son calizas masivas, muy agrietadas, con porosidad menor del uno porciento y amplio desarrollo de los procesos y fenómenos kársticos. (*Figuras 2 y 3*)

El fracturamiento de este paquete calcáreo muestra cuatro direcciones o familias fundamentales: Noroeste (NW), Nortenoroeste (NNW), Noreste (NE) y Estenoreste (ENE). Las estructuras más comunes son las grietas híbridas, planos de sobrecorrimiento y fallas normales.

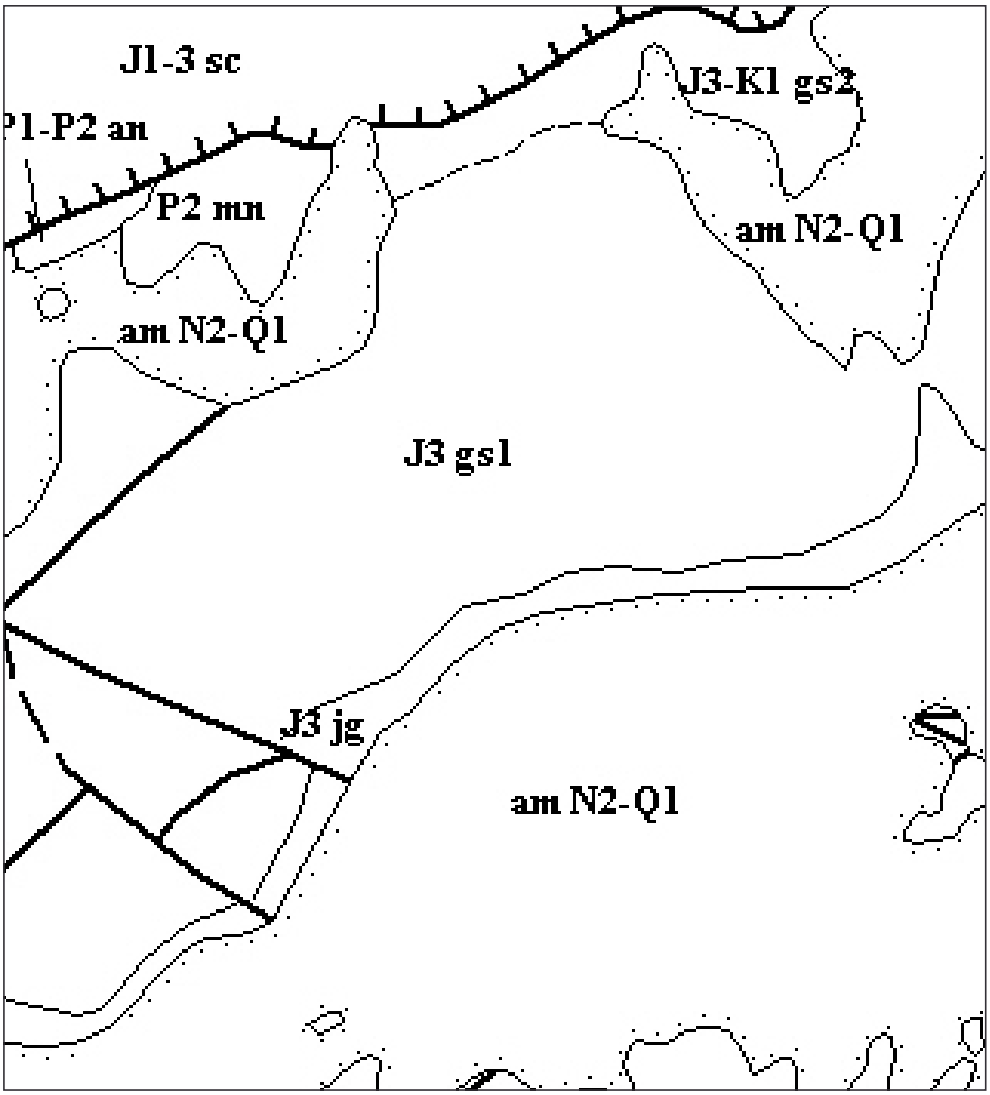

Figura 2 - Mapa Geológico Regional (Escala 1:50 000 Reducida).

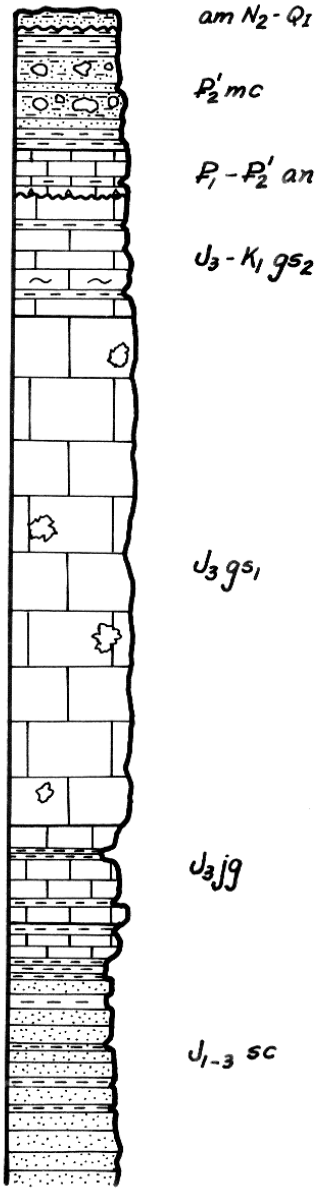

Figura 3 - Columna Estratigráfica Regional.
- *sc Fm.* San Cayetano.
- *jg Fm.* Jagua.
- gs_1 *Fm.* Guasasa Miembro San Vicente.
- gs_2 *Fm.* Guasasa Miembro El Americano.
- *an Fm.* Ancón.
- *mn Fm.* Manacas.
- *am Fm.* Guane.

El clima en la región es tropical húmedo, caracterizado por una temperatura media anual del aire que oscila entre 20 °C y 24 °C. Las precipitaciones alcanzan hasta los 1,800 mm en el periodo lluvioso (Mayo-Octubre), mientras que en el periodo seco no sobrepasan los 600 mm, definiéndose dos estaciones principales: Verano (Periodo lluvioso) e Invierno (Periodo seco). La humedad relativa media anual del aire oscila alrededor del 80%.

Partiendo de una metodología sencilla se obtuvo el nivel de correspondencia entre el desarrollo morfoespacial del karst, tanto subterráneo como superficial, y la estructura geológica del macizo. Se analizaron comparativamente tres variables principales: alineamientos tectónicos (a nivel mesoestructural), agrietamiento (microtectónica) y direcciones espaciales de las galerías subterráneas y ejes mayores de otras geoformas kársticas: dolinas y perforaciones cilindroideas. Se emplearon métodos propios de las investigaciones geológicas, tales como el desciframiento de fotos aéreas y las mediciones de elementos de yacencia de las estructuras. El procesamiento estadístico de los datos se realizó mediante los softwares Roseta, Net-88 y SPHERISTAT.

La estructura fisural

La mayoría de los materiales rocosos susceptibles de ser disueltos por el agua, presentan una red de fisuras interconectadas lo suficientemente densa como para que el agua pueda circular por ellas. Grietas de tamaños entre 10-25 micras ya permiten una lenta circulación de las aguas.

En investigaciones precedentes (Menichetti, 1990; López y Pulido, 1995; Ramos, 1997; Macle *et al*, 1998; Flores, 1998; y Rocamora,1998) se ha puesto en evidencia el condicionamiento estructural del desarrollo del karst subterráneo en macizos kársticos de Italia, España y la Sierra de Los Órganos, en Pinar del Río, Cuba. Estos autores han encontrado una elevada correlación entre las variables tectónicas del macizo y el desarrollo espacial del karst, a pesar de emplear diferentes métodos y procedimientos para obtener los resultados finales. En este estudio se demuestra,

cualitativamente, el control estructural del desarrollo de una parte del Sistema Cavernario Palmarito-Novillo y de la morfología exokárstica del macizo de la Sierra de Viñales.

De manera general, la estructura fisural del macizo de la Sierra de Viñales muestra direcciones predominantes entre el Noroeste y Noreste. Este macizo aparece con una orientación de su eje hacia N60°E.

En el diagrama de orientaciones de los alineamientos tectónicos aparecen cuatro sistemas o familias en pares perpendiculares entre si *(Figuras 4 y 5)*. Estos sistemas son:

- *Sistema I: N 75°-90°E (75°-90° de azimut)*. Dirección con una desviación de 15°-30° respecto al eje principal del macizo. Este sistema de tectoalineamientos tiene el mayor desarrollo lineal con 830 m por alineamiento y representan sólo el 15% del total analizado. Por su disposición espacial y longitud promedio, parecen coincidir con los planos de los sobrecorrimientos ocurridos en la Sierra de Los Órganos entre el Paleoceno y el Eoceno Inferior parte baja. Además aparecen distribuidos principalmente hacia el sector sur de la zona de estudio.
- *Sistema II: N5°-25°W (335°-355° de azimut)*. Dirección transversal al eje del macizo. Con 671 m como promedio por alineamiento, tienen una de las mayores frecuencias de ocurrencia: 29% de la muestra. Su origen puede relacionarse con dos de los principales eventos tectónicos en la historia geológica de la región: el emplazamiento de los mantos tectónicos desde el sureste, debido a los movimientos diferenciales ocurridos durante el arrastre tectónico, y la falla Pinar, representando entonces, estructuras de segundo orden de una fractura de Riedel. Algunos de estos alineamientos, más orientados al Norte, pueden relacionarse con estructuras recientes asociadas a esfuerzos compresivos de orientación Este-Oeste.
- *Sistema III: N25°-40°E (25°-40° de azimut)*. Dirección con una desviación de 20°-45° al norte respecto al eje longitudinal del macizo. Son los tectoalineamientos con menor desarrollo lineal, 526 m como promedio y representan el 22% de la muestra incluida en las direcciones principales. Por su dirección espacial, estos alineamientos parecen corresponderse también con los sistemas de fallas ortogonales de segundo orden de una fractura de Riedel.
- *Sistema IV: N50°-70°W (290°-310° de azimut)*. Sistema de alineamientos tectónicos dispuestos oblicuamente respecto al eje del macizo. Aparecen con una longitud promedio de 679 m por alineamiento y la mayor frecuencia de ocurrencia: el 34% de la muestra. Pueden relacionarse con estructuras sincrónicas o posteriores a los sobrecorrimientos o representar el par ortogonal de los tectoalineamientos del sistema III en estructuras de segundo orden de una fractura de Riedel, por la rotación horaria del máximo estrés compresivo desde la ocurrencia de los cabalgamientos y hasta el surgimiento de la falla Pinar (CÁCERES, 1998).

Los sistemas de tectoalineamientos orientados al Noroeste muestran un predominio notable en cuanto a la frecuencia de ocurrencia. Este hecho, entre otros, permite afirmar la existencia de estructuras superpuestas en esta orientación, correspondientes a diferentes fases tectónicas (CÁCERES, 1998).

Para el análisis del agrietamiento se dividieron las estructuras medidas según diferentes criterios:

- *Ubicación en la escama tectónica:* Se diferenciaron las grietas por su ubicación en la parte baja, media o alta de la escama.
- *Ubicación formacional de las grietas:* Según afectaran a las rocas de la Fm. Jagua o de la Fm. Guasasa.
- *Por su tipo genético:* En grietas de cizalla, híbridas o de extensión.

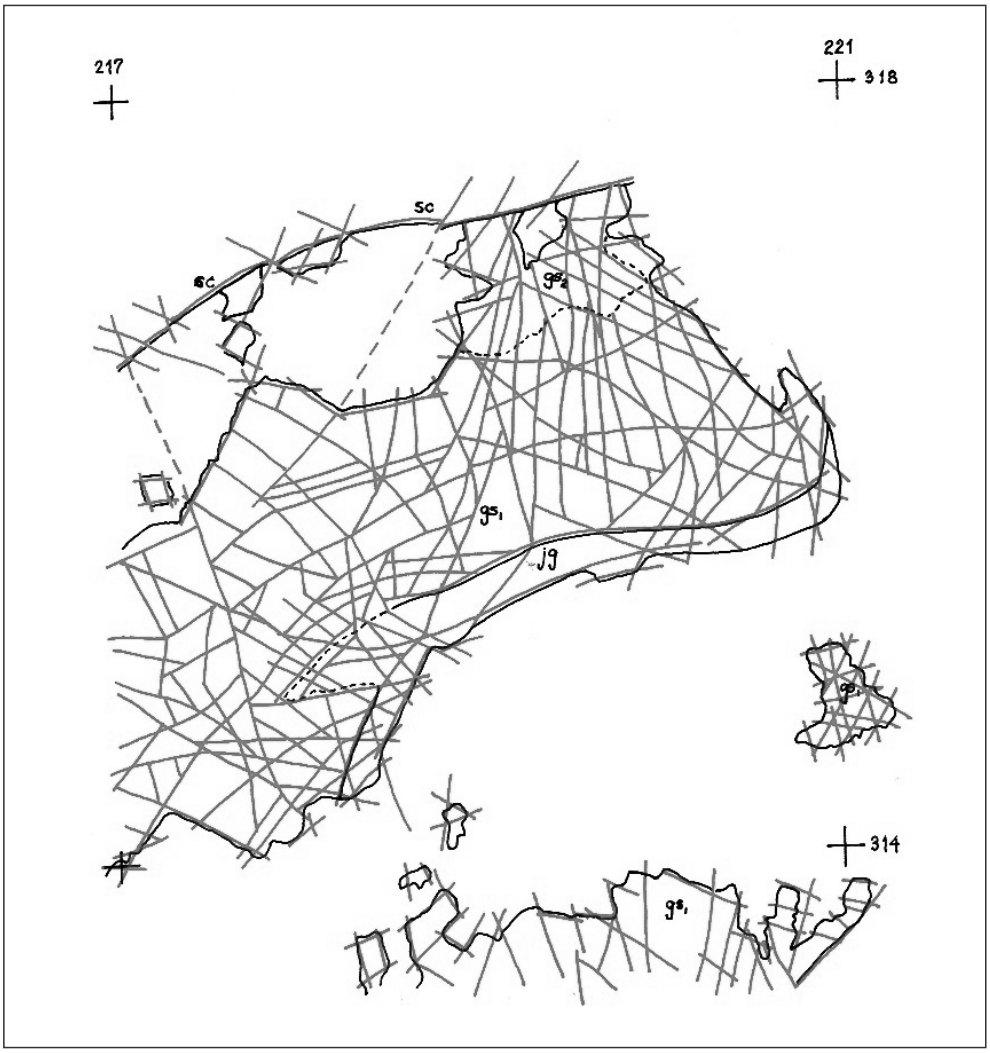

Figura 4 - Esquema de Alineamientos Tectónicos de la Sierra de Viñales.

El agrietamiento general del macizo tiene orientaciones principales al Noroeste (N30°-35°W) y al Noreste (N35°-40°E), con predominio de la orientación Noroeste.

En la parte baja de la escama, situada por la vertiente sur del macizo, abarcando la Fm. Jagua y parte de la Fm. Guasasa, la orientación principal del agrietamiento es al Noroeste (N20°-25°W), mientras que en las partes media y alta la tendencia en la orientación de las grietas es al Noreste (N40°E) y al Estenoreste (N70°-80°E), respectivamente, observándose una rotación horaria en la orientación de estas estructuras desde la parte baja hacia la parte alta de la escama.

En el diagrama de contorno confeccionado para las grietas que afectan a las rocas de la Fm. Jagua se puede distinguir el predominio de la dirección Noroeste (N50°W) de estas estructuras, lo que se observa también en la rosadiagrama, donde se aprecian cinco familias o sistemas de grietas: *(Figura 6)*

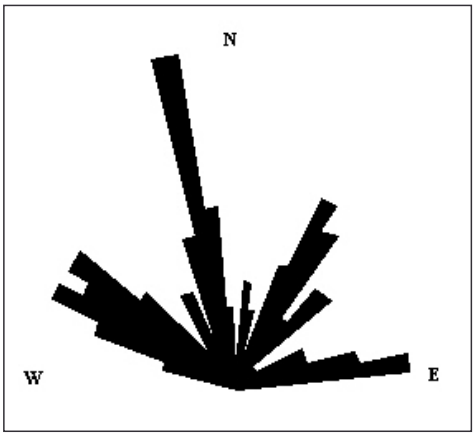

Figura 5 - Diagrama de distribución espacial de los alineamientos tectónicos de la Sierra de Viñales.

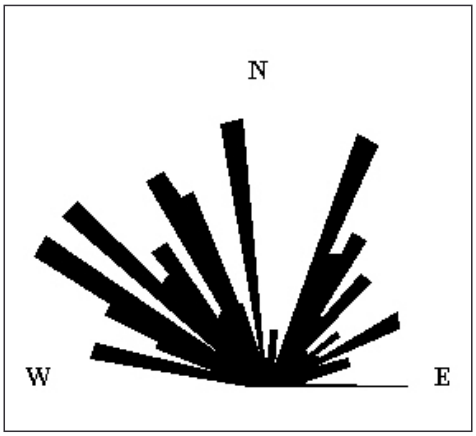

Figura 6 - Diagrama de Roseta para el agrietamiento de la Formación Jagua en la Sierra de Viñales.

- Sistema I: N45°-60°W (300°-315° de azimut)
- Sistema II: N20°-30°W (330°-340° de azimut)
- Sistema III: N75°-80°W (280°-285° de azimut)
- Sistema IV: N 5°-10°W (350°-355° de azimut)
- Sistema V: N20°-35°E (20°- 35° de azimut)

El agrietamiento que afecta a las rocas de la Fm. Guasasa se orienta principalmente al Noreste (N70°E) y Noroeste (N50°W) con predominio de la componente Noreste. En el diagrama de roseta correspondiente se observan cinco sistemas o familias de grietas: *(Figura 7)*

- Sistema I: N60°-85°E (60°- 85° de azimut)
- Sistema II: N20°-35°E (20°- 35° de azimut)
- Sistema III: N45°-60°W (300°-315° de azimut)
- Sistema IV: N70°-85°W (275°-290° de azimut)
- Sistema V: N 5°-20°W (340°-355° de azimut)

En la comparación de estos dos diagramas se destaca que los dos patrones de agrietamiento son similares, predominando las grietas híbridas. *(Fotos 1 y 2)*

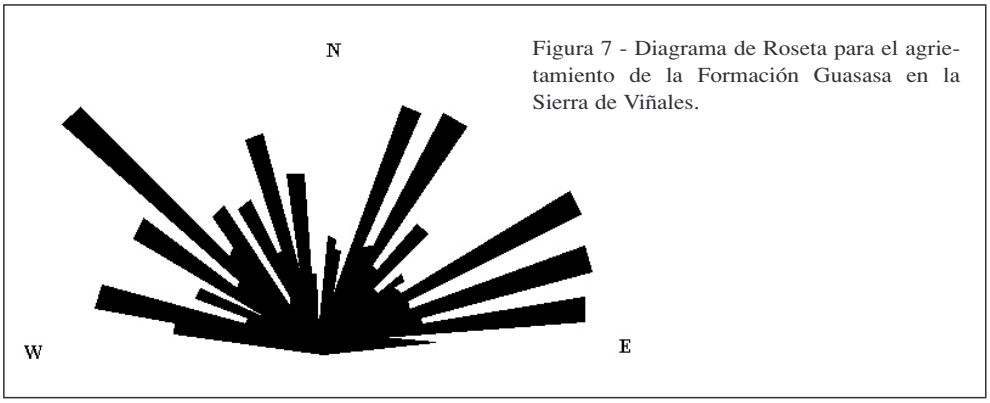

Figura 7 - Diagrama de Roseta para el agrietamiento de la Formación Guasasa en la Sierra de Viñales.

Foto 1 - Agrietamento en el contacto entre los formaciones Jagua y Guasasa.

Foto 2 - Grietas hibridas en la Fm Guasasa.

La estratificación media (10-20 cm de espesor) de las rocas de la Fm. Jagua ha favorecido el desarrollo de estructuras plicativas muy complicadas y de diferentes tamaños, desde escala centimétrica hasta métrica, algunas afectadas por fallas de carácter local. Se observan varios tipos de pliegues: en caja, isométricos, continuos, tumbados, y otros; con vergencia predominante al Noroeste, indicadores también de esfuerzos compresivos en esa dirección. *(Foto 3)*

La yacencia general de las rocas es hacia el Noroeste y Nortenoroeste, entre 300° y 340°, con una inclinación que sólo supera los 40° por deformaciones tectónicas locales.

Por algunos elementos observados en el campo, tales como la no continuidad de las estructuras que afectan a las rocas de la Fm. Jagua en el paquete calizo masivo sobreyacente del Mb. San Vicente y en general las diferencias en el estilo tectónico a ambos lados del contacto formacional, indican las modificaciones locales y de carácter tectónico sufridas por éste, por desplazamientos internos dentro de la propia escama.

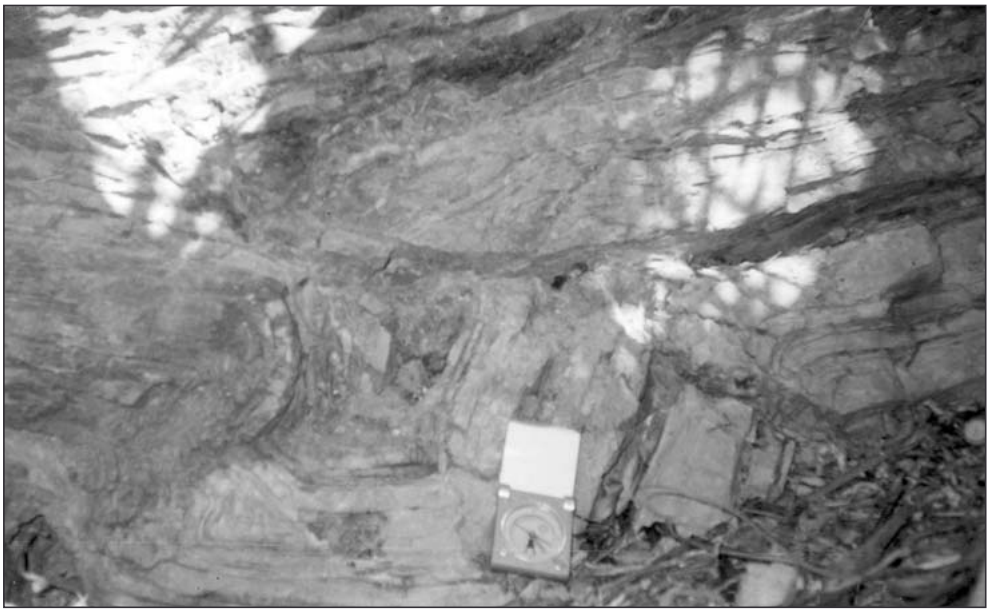

Foto 3 - Plegamiento en la Fm. Jagua.

Otras deformaciones disyuntivas interesantes se observan en las formaciones secundarias dentro de las cuevas. Algunas de éstas aparecen fracturadas y desplazadas con orientación Norte-Sur de las estructuras y buzamiento al Este indicando la acción de esfuerzos recientes de orientación Este-Oeste. Esta orientación de esfuerzos coincide con la obtenida por Cáceres en zonas de las Alturas de Pizarras del Sur (CÁCERES, *Comunicación personal*).

El desarrollo espacial del karst

El análisis de las direcciones del cavernamiento se realizó con datos de los niveles actuales del Sistema Cavernario Palmarito, en sus sectores Norte y Sur, y algunos de sus niveles fósiles: Niveles superiores conectados con el actual cauce subterráneo del río Palmarito, Cuevas del Paso a Ancón, Cueva de Marilú y Cueva de Los Santos, con un total de unos 9.5 Km. de galerías subterráneas, todas de origen fluvial. También se analizan las direcciones espaciales de desarrollo de algunas exoformas kársticas: Dolinas y perforaciones cilindroideas.

Es significativo señalar que, por la edad relativa del comienzo de los procesos de karstificación en la zona, que se sitúa hacia el Mioceno Inferior o Medio, la mayor parte de la red de fracturas que hoy afecta el macizo ya se había originado, y sólo por la acción de la tectónica cuaternaria se han formado nuevas fracturas en el intervalo Nortenoroeste-Nortenoreste.

El diagrama de las direcciones del cavernamiento para el sector Sur del Sistema Cavernario Palmarito (Galerías activas con funcionamiento hídrico permanente y galerías semiactivas con funcionamiento temporal) muestra cuatro direcciones preferenciales en el desarrollo espacial de estas geoformas. En estas direcciones aparece sólo el 67% de la muestra estudiada del sistema (Alrededor de 6.0 Km.). *(Figura 8)*

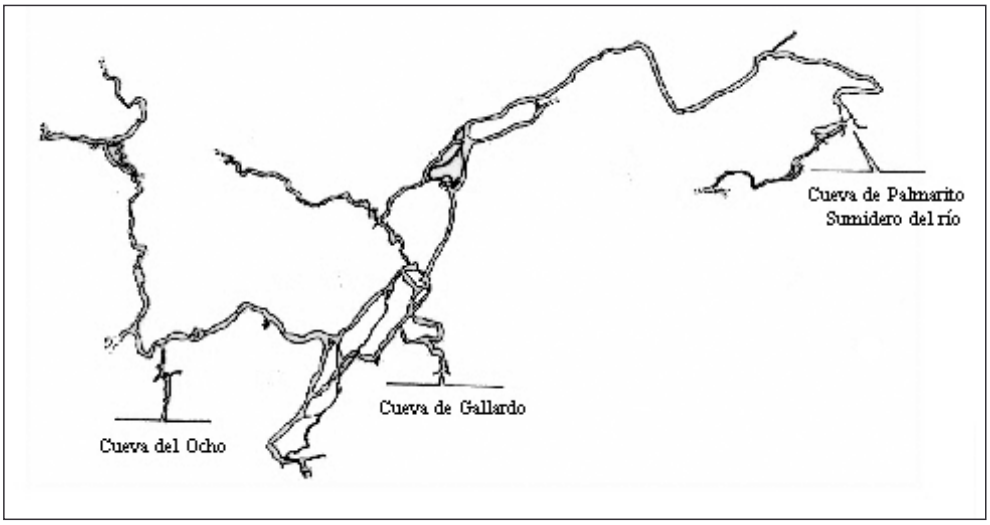

Figura 8 - Sector sur del Sistema Cavernario Palmarito-Novillo.(Escala 1:10 000 Reducida).

Sistemas	Orientación	Longitud Total (m)	Longitud Promedio (m)	Frecuencia (%)
I	N55°-70°E	2120.0	78.0	29
II	N20°-40°E	1395.0	87.0	17
III	N10°-45°W	1335.0	53.0	26.5
IV	N60°-90°W	1195.0	46.0	27.5
Totales	**Noreste**	**3 515.0**	**81.7**	**45.7**
	Noroeste	**530.0**	**49.6**	**54.2**

Tabla 1 - Sistema cavernario palmarito (sector sur).

Como se puede observar, las galerías orientadas al Noreste tienen el mayor desarrollo lineal, pero son menos frecuentes que las orientadas con dirección Noroeste. No obstante, las galerías más frecuentes y evolucionadas en este sector son las que se orientan al Estenoreste.

Los niveles fósiles del sector Sur se orientan predominantemente al Noroeste (N45°-60°W). En este análisis se estudiaron alrededor de 0.7 Km. de las Cuevas del Paso a Ancón y de Marilú y Los Santos. Los resultados se muestran en las siguientes tablas:

Sistemas	Orientación	Longitud Total (m)	Longitud Promedio (m)	Frecuencia (%)
I	N45°-60°W	113.0	16.0	33.5
II	N70°-85°W	86.0	14.0	28.5
III	N65°-70°E	67.0	11.0	28.5
IV	N45°-50°E	55.0	27.5	9.5
Totales	**Noroeste**	**199.0**	**15.3**	**61.9**
	Noreste	**122.0**	**15.2**	**38.1**

Tabla 2 - Cuevas del paso a ancón.

Sistemas	Orientación	Longitud Total (m)	Longitud Promedio (m)	Frecuencia (%)
I	N70°-90°E	205.0	41.0	31.2
II	N20°-40°E	87.0	21.7	25.0
III	N45°-65°W	81.0	11.5	43.7
Totales	**Noreste**	**292.0**	**32.5**	**56.2**
	Noroeste	**81.0**	**11.5**	**43.7**

Tabla 3 - Cuevas de marilú y los santos.

Para las Cuevas del Paso a Ancón es evidente el predominio de las orientaciones Noroeste, tanto en longitudes como en frecuencia. En este intervalo las galerías se orientan exactamente entre el Oestenoroeste y el Noroeste; mientras que para las Cuevas de Marilú y Los Santos predominan las orientaciones Noreste y principalmente las galerías desarrolladas al Estenoreste.

En el sector Norte del Sistema Palmarito, cuyo resolladero se encuentra en la Polja de Ancón, existen niveles activos, semiactivos y fósiles, analizándose un total de 1.8 Km. de galerías. El nivel activo se desarrolla principalmente en cuatro direcciones, mientras que los niveles semiactivos y fósiles se agrupan en tres sistemas.

Sistemas	Orientación	Longitud Total (m)	Longitud Promedio (m)	Frecuencia (%)
I	N80°-90°W	360.0	90.0	26.5
II	N50°-65°W	155.0	39.0	26.5
III	N 5°-15°W	175.0	43.0	26.5
IV	N20°-30°E	70.0	23.0	20.0
Totales	**Noroeste**	**690.0**	**57.5**	**80.0**
	Noreste	**70.0**	**23.0**	**20.0**

Tabla 4 - Sistema Cavernario Palmarito (sector norte) - nivel activo.

Sistemas	Orientación	Longitud Total (m)	Longitud Promedio (m)	Frecuencia (%)
I	N60°-85°E	1245.0	44.5	55.0
II	N55°-80°W	530.0	43.0	25.5
III	N30°-40°E	235.0	23.5	19.5
Totales	**Noreste**	**1480.0**	**52.8**	**74.5**
	Noroeste	**530.0**	**43.0**	**25.5**

Tabla 5 - Niveles fósiles.

Como se puede apreciar, existen notables diferencias en cuanto a las orientaciones de los niveles activo y fósiles: el nivel activo se orienta predominantemente al Oestenoroeste y en general con direcciones preferenciales al Noroeste, mientras que los niveles fósiles se disponen principalmente al Estenoreste y predominio general de las orientaciones Noreste.

Es significativo que tanto en el sector Norte como en el Sur aparece una orientación Nortenoroeste (N5°-15°W) en los niveles activos que no se manifiesta en los niveles fósiles.

De forma general, el cavernamiento en la Sierra de Viñales presenta cinco direcciones preferenciales en su desarrollo espacial:

Sistemas	Orientación	Longitud Total (m)	Longitud Promedio (m)	Frecuencia (%)
I	N60°-85°E	3637.0	55.1	32.2
II	N20°-50°E	1842.0	52.6	17.0
III	N45°-65°W	1437.0	35.0	20.0
IV	N 0°-20°W	1349.0	35.5	18.6
V	N80°-90°W	955.0	38.2	12.2
Totales	**Noreste**	**5479.0**	**54.2**	**49.2**
	Noroeste	**3741.0**	**36.0**	**50.8**

Tabla 6 - Direcciones preferenciales del cavernamiento - Sierra de Viñales.

De este análisis se puede concluir que las galerías más evolucionadas y de mayor desarrollo lineal se orientan principalmente al Estenoreste y de manera general al Noreste, sin embargo, las galerías orientadas al Noroeste tienen una frecuencia de ocurrencia ligeramente mayor.

En las siguientes tablas se muestran los datos generales de todos los niveles fósiles y activo del cavernamiento en la Sierra de Viñales:

Sistemas	Orientación	Longitud Total (m)	Longitud Promedio (m)	Frecuencia (%)
Totales	**Noreste**	**1894.0**	**34.4**	**62.5**
	Noroeste	**840.0**	**25.4**	**37.5**

Tabla 7 - Direcciones preferenciales del cavernamiento - Niveles fósiles Sierra de Viñales.

Sistemas	Orientación	Longitud Total (m)	Longitud Promedio (m)	Frecuencia (%)
Totales	**Noreste**	**3585.0**	**78.0**	**42.2**
	Noroeste	**3220.0**	**51.0**	**57.7**

Tabla 8 - Direcciones preferenciales del cavernamiento - Nivel activo Sierra de Viñales.

En estos resultados son evidentes las diferencias en el desarrollo espacial y lineal de los niveles fósiles y activo: los niveles fósiles se orientan predominantemente al Noreste, dirección hacia donde se desarrollan las mayores galerías; mientras que el nivel activo se distribuyen indistintamente entre el Noreste y el Noroeste, hacia el Noreste aparecen las galerías más desarrolladas aunque las menos frecuentes.

Las geoformas exokársticas muestran también un fuerte condicionamiento estructural. En los análisis realizados para las dolinas y las perforaciones cilindroideas se puede distinguir las orientaciones preferenciales de los ejes mayores de estas geoformas, agrupándose en seis sistemas las dolinas y en cinco las perforaciones cilindroideas. *(Figura 9)*

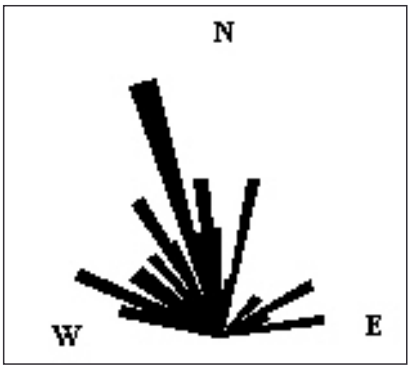

Figura 9 - Diagrama de orientación de los ejes mayores de las dolinas en la Sierra de Viñales.

Estos resultados se pueden apreciar en las siguientes tablas:

Sistema	Orientación
I	N80°-90°E
II	N40°-65°E
III	N 5°-20°E
IV	N 5°-20°W
V	N30°-35°W
VI	N60°-80°W

Tabla 9 - Orientaciones preferenciales de los ejes mayores de las dolinas. Sierra de Viñales.

Sistema	Orientación
I	N75°-90°E
II	N40°-60°E
III	N15°-25°E
IV	N 0°-25°W
V	N40°-60°W

Tabla 10 - Direccciones preferenciales de los ejes mayores de las perforaciones cilindroideas - Sierra de Viñales

En las tablas anteriores se aprecia el predominio, en frecuencia, de las orientaciones Noroeste de estas exoformas, principalmente en el intervalo Nortenoroeste.

El control tectónico del desarrollo del Karst

Como se puede observar con los datos brindados hasta aquí, la relación entre las tres variables (Alineamientos tectónicos, agrietamiento de la Fm. Guasasa y orientación de geoformas kársticas) es muy evidente y con un elevado porciento de correlación, confirmándose la hipótesis de la tectónica, como elemento geológico principal en el desarrollo espacial, morfológico y morfométrico del karst en este macizo.

Los niveles fósiles del cavernamiento muestran las mayores correlaciones en las direcciones N60°-90°E, N20°-40°E y N50°-70°W, con predominio de las orientaciones Noreste. El nivel activo tienen la mayor correspondencia en las orientaciones N5°-25°W, N60°-90°W y N20°-40°E, con predominio de las direcciones Noroeste.

El desarrollo reciente y actual de galerías fluviales (activas) en la dirección Nortenoroeste y algunas próximas al Norte, puede estar relacionado con la formación y/o reactivación de fracturas con esta orientación como consecuencia de esfuerzos compresivos con dirección Este-Oeste en la tectónica cuaternaria.

En los niveles fósiles, las galerías orientadas al Estenoreste (N60°-90°E) guardan una estrecha relación espacial con los alineamientos tectónicos del Sistema I que representan las trazas de los planos de sobrecorrimientos. Esta es la razón de que en esta dirección aparezcan las galerías más desarrolladas de todo el macizo.

También la superposición de estructuras debidas a las distintas fases tectónicas que han afectado al macizo, crean condiciones favorables para el desarrollo preferencial del karst, tanto subterráneo como superficial. La mayor superposición de estructuras se encuentran alrededor del Noroeste y el Noreste, de ahí, la existencia de un gran número de galerías con estas orientaciones, sin embargo, las desarrolladas al Noroeste presentan, de forma general, la mayor frecuencia de ocurrencia.

Los ejes mayores de las dolinas de sección elíptica muestran una coincidencia significativa con la orientación de los elementos tectónicos del macizo, obteniéndose una correlación r=0.83 entre estas dos variables, lo que demuestra el fuerte condicionamiento estructural en el desarrollo de estas macroformas exokársticas.

El desarrollo espacial de las perforaciones cilindroideas presenta una coincidencia casi perfecta con los sistemas de grietas que afectan a las rocas de la Fm. Guasasa, demostrándose también el control tectónico en el surgimiento y evolución de estas microformas exokársticas.

En la Sierra de Viñales se ha observado además, según la distribución de las formas kársticas y sus distintas morfologías, un cierto control litoestratigráfico. Algunos hechos, tales como el escaso desarrollo de cuevas y otras formas subterráneas en rocas de la Fm. Jagua, la mayor evolución de los campos de lapiaz sobre las rocas de la Fm. Guasasa, el tipo de lapiaz según la cobertura de suelos que aparece sobre cada formación (cubierto y parcialmente cubierto sobre la Fm. Jagua, por su posición estratigráfica y geomorfológica, y desnudo sobre la Fm. Guasasa) y el mayor desarrollo de formas kársticas a través de planos de estratificación (cavidades planarias horizontales o subhorizontales) en rocas de la Fm. Jagua, confirman el desarrollo diferenciado de las formas kársticas según las rocas sobre las que se instalen.

Otros autores han encontrado igualmente elevados niveles de correlación entre la estructura y el desarrollo del karst subterráneo en otros macizos de esta misma subregión físico-geográfica: la Sierra de Los Órganos (MACLE *et al*, 1998; ROCAMORA, 1998; FLORES, 1998; RAMOS, 1997 Y DÍAZ, 1999). *(Figura 10)*

Para la Sierra del Quemado, Rocamora (ROCAMORA, 1998) encuentra similitudes de hasta un 95% entre las distintas variables en los rangos de direcciones siguientes: N20°-30°E, N50°-60°E, N80°-90°W, N40°-50°W y N0°-10°W. Es significativo señalar que la Sierra del Quemado es un macizo kárstico con una desviación de unos 20° en su eje con respecto al de otros macizos de esta subregión. En la Sierra del Quemado se encuentra el Sistema Subterráneo de la Gran Caverna de Santo Tomás.

En la Sierra de San Carlos, Macle, Flores y otros autores (MACLE *et al*, 1998 Y FLORES, 1998) determinan cuatro direcciones principales con una correlación entre variables de 0.88

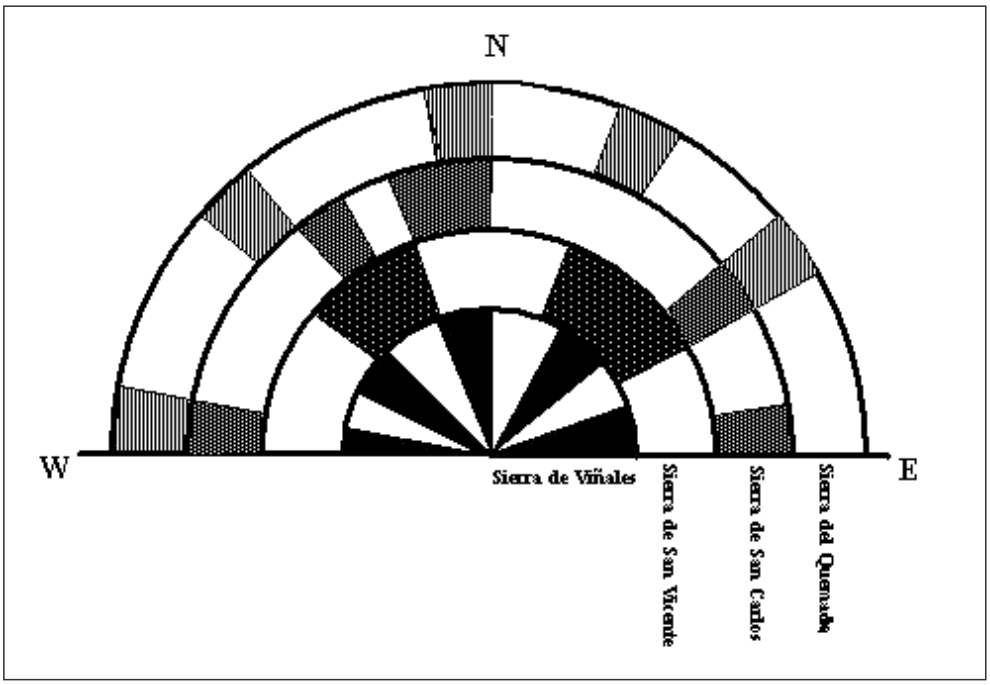

Figura 10 - Diagrama de relación de las direcciones de mayor coincidencia entre el cavernamiento y la tectónica en macizos kársticos de la Sierra de Viñales.

a 0.93: N50°-60°E, Noreste (80°-100°), N30°-40°W y N0°-20°W. En este macizo aparece desarrollado el Sistema Cavernario Majaguas-Canteras.

En el karst ruiniforme de Sitio del Infierno, Ramos (RAMOS, 1997) obtiene como direcciones principales del cavernamiento Noroeste-Sureste y Noreste-Suroeste, con una dirección secundaria al Este-Oeste y marcada vinculación entre el desarrollo del aparato kárstico hipogeo y la estructura del macizo.

Díaz (DÍAZ, *comunicación personal*) en la Sierra de San Vicente demuestra el predominio de la orientación Noroeste en el desarrollo de los sistemas subterráneos de ese macizo con otra componente Noreste de menor frecuencia y desarrollo lineal de las galerías, explicando la preponderancia de esta orientación por la superposición de fases tectónicas en la historia geológica de la región.

En el macizo de la Sierra Gorda, en las Cordilleras Béticas, España, López y Pulido (LÓPEZ Y PULIDO, 1995), encuentran una coincidencia casi perfecta de las direcciones principales de desarrollo de galerías kársticas con los sistemas de fracturas, principalmente con las fracturas en posición Este-Oeste, que consideran un paleokarst desarrollado en la franja no saturada del acuífero.

Menichetti (MENICHETTI, 1990), en la Garganta de Frassassi, Apeninos Centrales italianos, observa también regularidades entre el desarrollo de las galerías subterráneas y la estructura tectónica del macizo, encontrando correspondencia principalmente con fallas inversas orientadas Norte-Sur y transcurrencia dextral, con fallas recientes en posición Este-Oeste de componentes sinestrales y fallas normales orientadas Noreste-Suroeste.

Como se puede observar existen regularidades en la distribución espacial de las galerías subterráneas en algunos macizos de la Sierra de Los Órganos principalmente en las direcciones siguientes:

- N35°-60°E
- N 0°-20°W
- N30°-50°W
- N80°-90°W
- N80°-90°E

Obsérvese la mayor frecuencia de ocurrencia de direcciones al Noroeste, debido a la superposición de las diferentes fases tectónicas que han afectado a la subzona Sierra de Los Órganos. Los sistemas de galerías con orientación Este-Oeste están asociados a los planos de cabalgamientos, mientras que las direcciones Noroeste y Noreste se vinculan con las estructuras de segundo orden de una fractura de Riedel (la falla Pinar), aunque en la orientación Noroeste pueden ocurrir superposiciones con otras estructuras originadas anteriormente (durante los sobrecorrimientos). Las galerías orientadas al Nortenoroeste, activas, al menos en la Sierra de Viñales sucede así, son las menos evolucionadas y originadas a partir de fracturas recientes dispuestas en esta dirección, aunque en este intervalo también es posible la ocurrencia de superposiciones de estructuras de diferentes eventos tectónicos, principalmente con las fracturas originadas durante los cabalgamientos por movimientos diferenciales en el arrastre tectónico de los mantos desde el Sureste.

Conclusiones

1. En las direcciones preferenciales del cavernamiento se pone de manifiesto que las galerías más evolucionadas y de mayor desarrollo lineal se orientan principalmente al Estenoreste y de manera general al Noreste, sin embargo, las galerías orientadas al Noroeste tienen una frecuencia de ocurrencia ligeramente mayor. También son evidentes las diferencias en el desarrollo espacial y lineal de los niveles fósiles y activo: los niveles fósiles se o-

rientan predominantemente al Noreste, dirección hacia donde se desarrollan las mayores galerías; mientras que el nivel activo se distribuye indistintamente entre el Noreste y el Noroeste, hacia el Noreste aparecen las galerías más desarrolladas aunque las menos frecuentes. En este nivel activo aparecen galerías orientadas al Nortenoroeste que no aparecen en los niveles fósiles. Esto puede deberse a la reactivación reciente de paleoestructuras con esta orientación o al origen de nuevas fracturas por esfuerzos compresivos recientes.

2. Las geoformas exokársticas (dolinas y perforaciones cilindroideas) muestran orientaciones preferenciales de sus ejes mayores hacia el Noroeste y el Noreste, predominando las orientaciones Noroeste y particularmente las direcciones Nortenoroeste.

3. La relación entre las tres variables (Alineamientos tectónicos, agrietamiento de la Fm. Guasasa y orientación de geoformas kársticas) es muy evidente y con un elevado porciento de correlación, confirmándose la hipótesis de la tectónica, como elemento geológico principal en el desarrollo espacial, morfológico y morfométrico del karst en este macizo:

- Las galerías orientadas al Estenoreste (N60°-90°E) guardan una estrecha relación espacial con los alineamientos tectónicos del Sistema I que representan las trazas de los planos de sobrecorrimientos. Esta es la razón de que en esta dirección aparezcan las galerías más desarrolladas de todo el macizo.
- La superposición de estructuras debidas a las distintas fases tectónicas que han afectado al macizo, crean condiciones favorables para el desarrollo preferencial del karst, tanto subterráneo como superficial. La mayor superposición de estructuras se encuentran alrededor del Noroeste.
- Los ejes mayores de las dolinas de sección elíptica muestran una correlación r=0.83 con la orientación de los elementos tectónicos del macizo.
- El desarrollo espacial de las perforaciones cilindroideas presenta una coincidencia casi perfecta con los sistemas de grietas que afectan a las rocas de la Fm. Guasasa.

4. Existen regularidades en la distribución espacial de las galerías subterráneas en algunos macizos de la Sierra de Los Órganos principalmente en las direcciones siguientes: N35°-60°E, N 0°-20°W, N30°-50°W, N80°-90°W y N80°-90°E. Obsérvese la mayor frecuencia de direcciones al Noroeste, debido a la superposición de las diferentes fases tectónicas que han afectado a esta subzona.

BIBLIOGRAFIA

ASTAJOV K. *et al.,* 1981 - *Levantamiento geológico y búsqueda acompañante del Noroeste de la provincia de Pinar del Río a escala 1:50 000*. O.T.R.M. Pinar del Río.

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., 1996 - *Estratigrafía y eventos jurásicos en la Cordillera de Guaniguanico*. Minería y Geología. Vol. XIII. No. 3. Pág. 11.

ERASO A. y HERRERO N., 1986 - *Propuesta de un nuevo método de deducción de las direcciones principales de drenaje en el karst*. Editorial Jumar. Especial monográfico 7. 93 pp. España.

FARIÑAS C. *et al*., 1998 - *Neotectónica y tectónica post-orogénica del archipiélago cubano*. Memorias III Congreso de Geología y Minería. Tomo I. PP. 226-228. Editorial C.N.D.I.G. La Habana.

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.

GALDENZI S. *et al*., 1990 - *Il carsismo della gola di Frasassi. Istituto Italiano di Speleologia*. Serie II. No. 4. Boloña. 242 pp.

GORDON M.B. *et al*., 1997 - *Cenozoic tectonic history of the North America-Caribbean plate boundary zone in western Cuba. Journal of Geophisical Research*. American Geophisical Union. Vol. 102. No. B5. pp. 10 005-10082.

LÓPEZ M. y PULIDO A., 1995 - *La estructura fisural y kárstica del acuífero de Sierra Gorda (Cordilleras Béticas, Granada y Málaga, España)*. En: El karst y los acuíferos kársticos. Universidad de Granada. PP. 63-80.

MACLE J. *et al*., 1998 - *Análisis estadísticos de los datos orientados en el estudio de la influencia ejercida por los elementos estructurales sobre el karst 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.

NÚÑEZ A., 1988 - *Cuevas y carsos*. Ed. Científico-Técnica. La Habana. 431 pp.

PSZCZÓLKOWSKI A., 1987 - *Contribución a la Geología de Pinar del Río*. Editorial Científico-Técnica. La Habana. 225 pp.

RAMOS A., 1997 - *Relación cavernamiento-agrietamiento en la Sierra del Infierno: Una contribución al estudio del carso en Pinar del Río*. Tesis de grado. Universidad de Pinar del Río.

ROCAMORA E., 1998 - *La fotointerpretación digital en regiones cársicas: 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.

INDICE

ATTI

Relazione dell'attività della Commissione Grotte "E. Boegan" nell'anno 2001 Pag. 5

Relazione dell'attività della Commissione Grotte "E. Boegan" nell'anno 2002 " 15

Relazione dell'attività della Commissione Grotte "E. Boegan" nell'anno 2003 " 25

MEMORIE

POLLI E.: *Filicales* negli ipogei del Carso Triestino: ulteriori 24 cavità . . . . . " 35

GASPARO F.: Note sul genere *Minotauria* Kulczyński, 1903, con ridescrizione del maschio di *M. Fagei* (Kratochvíl, 1970) stat. nov. (Araneae, Dysderidae) . . . . . " 51

GEMITI F.: Le sorgenti Sardos e l'approvvigionamento idrico della provincia di Trieste . . . . . " 67

MERLAK E.: Idrologia dei torrenti della Birchinia-Valsecca di Castelnuovo nord occidentale (Matarsko Podolje) - Slovenia . . . . . " 81

LENAZ D., POTLECA M., ZINI L.: Caratterizzazione mineralogica delle frazioni argillose nei depositi di riempimento della Grotta G. Savi (Carso Triestino, Italia) . . . . . " 101

FARAONE E.: Adolf Schmidl sul Carso Triestino (1851-1852) . . . . . " 107

SAAVEDRA C.R.R., GUANCHE C.D., CÁCERES D.: La estructura fisural y el desarrollo del Karst de la Sierra de Viñales, Cuba . . . . . " 147

Finito di stampare nel settembre 2004
dalla Stella Arti Grafiche - Trieste