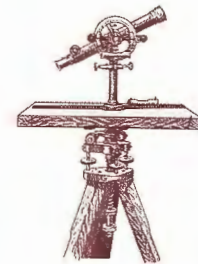


# Los Mogotes del Valle de Viñales, Monumento Nacional, Pinar del Río, Cuba



L.F. Molerio León  
Especialista Principal, CESIGMA,S.A. - LA HABANA (CUBA)

## INTRODUCCIÓN

Ciento ochenta kilómetros al Oeste de Ciudad de La Habana se encuentra el Valle de Viñales (Fig. 1), el más famoso valle cársico de Cuba y uno de los más hermosos paisajes del mundo. Declarado Monumento Nacional de Cuba, el valle se excava entre rocas carbonatadas del Jurásico superior - Cretácico inferior y sedimentos no carbonatados del Jurásico inferior.

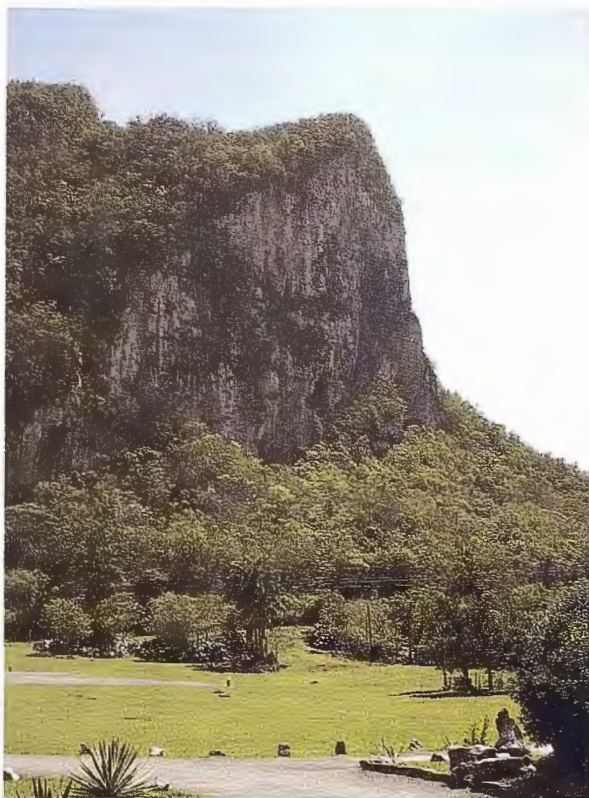


Fig. 1. Paredes escarpadas de los mogotes del Valle de Viñales

La formación Guasasa (Figs. 2 y 3) es la unidad litoestratigráfica carbonatada en que se desarrollan las paredes escarpadas de los mogotes que, a veces presentan, en la base, una pendiente más suave que suele corresponderse con la unidad formacional de Jagua. Las series no carbonatadas constituyen, en esencia, un complejo metacarbonatado terrígeno denominado Formación San Cayetano, compuesto por pizarras, aleurolitas, esquistos y areniscas. Los sedimentos más jóvenes son del Paleógeno. Sin embargo, es típico el solapamiento cronoestratigráfico debido a la estructura de mantos de sobrecorrimiento que caracteriza la región.

El fondo del valle está relleno por sedimentos terrígenos (Fig. 4), fundamentalmente arcillas y arenas derivadas de las rocas de la fm. San Cayetano, que alternan con limos y

depósitos lacustres consecuencia de la evolución hidrológica del valle, y por calizas resultado de la recesión de los escarpes calcáreos. La superficie de fondo del valle es prácticamente horizontal y se encuentra a una altitud promedio de 100 m sobre el nivel del mar, en tanto la cima de los mogotes alcanza cotas del orden de los 350 m. Por tal motivo, las paredes verticales se elevan unos 250 m sobre el fondo del valle, provocando una sorprendente morfología de elevaciones de paredes abruptas y cimas redondeadas que, en la toponimia cubana, se designan con el nombre de “mogotes”.



Fig. 2. Mapa de localización con las estructuras geológicas según Psczolkowski (1987, simplificado)

De la vegetación indígena de Viñales (Fig. 5) apenas quedan manifestaciones en las paredes de los mogotes, en algunas dolinas (denominadas localmente “hoyos”) y en algunos bosques de galerías asociados a los cursos fluviales.

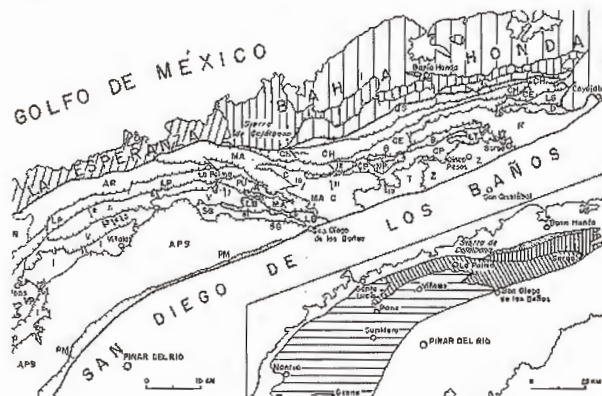


Fig. 3. Esquema estructural de la Cordillera de Guaniguanico, según (Psczolkowski, 1987)

En la base de los mogotes se reconocen restos de un bosque semidecídulo mesófilo representado por almácigos



(*Bursera simaruba*), algarrobo cubano (*Samanea saman*), cedro (*Cedrela odorata*) y ceiba (*Ceiba pentandra*). Pero en las laderas verticales y en algunos fondos de dolinas en la cima de los mogotes, se encuentra alguna flora endémica o con rasgos de endemismo. Los individuos más representativos son la palma barrigona (*Gaussia principis*), el ceibón (*Bombax emarginatum*) y el guanito de sierra (*Thrinax microcarpa*) (Domínguez, et al., 1991).



Fig. 4. Sedimentos del fondo del valle de Viñales



Fig. 5. Vegetación indígena y exógena del Valle de Viñales

En la literatura geomorfológica clásica, estos relieves son comúnmente referidos como “carso de torres”, “*turm-karst*”, “*hillstacks*” o “*kegelkarst*” y durante muchos años fue considerada una morfología exclusiva del carso tropical. Formas similares se han reportado en China, Viet-Nam, Indonesia y Puerto Rico e, incluso en áreas que en la actualidad, no son tropicales, en lo que constituye una interesante controversia climamorfogenética.

Contrastante en extremo es la vegetación de las Alturas de Pizarras, elevaciones constituidas por los sedimentos terrígenos de la formación San Cayetano. Este es el escenario donde crece un impresionante bosque aciculifolio de pinares que dan nombre a la provincia. Aquí se encuentran el pino hembra (*Pinus tropicalis*) y el pino macho (*Pinus caribaea*). En sectores muy apartados, aún se encuentran ejemplares de la palma de corcho (*Mycrocicas calocoma*) relictos de la flora Cuaternaria en peligro de extinción (Molerio, 1965).

Los suelos son litosólicos o de rendzinas en los mogotes, pero generalmente presentan escaso desarrollo, excepto en el fondo de algunas dolinas (hoyos) que los campesinos

de la región aprovechan para cultivos menores. Sin embargo, en el fondo del Valle de Viñales se desarrollan potentes espesores de suelos ferralíticos intensamente aprovechados para el cultivo del tabaco.

Como en la mayor parte de Cuba, en Viñales se reconocen dos estaciones de acuerdo con la distribución interanual de la lluvia. El período lluvioso, que se extiende de Mayo a Octubre, en el que se registran unos 1200 mm y el período seco o menos lluvioso (de Noviembre a Abril), con unos 400 mm de lámina como promedio de los últimos 50 años. Sometida al efecto de lluvias torrenciales y huracanadas, la lámina de lluvia y su intensidad varían notablemente en tales casos de eventos extraordinarios. Así, por ejemplo, el huracán Frederick, en Octubre de 1979, provocó precipitaciones del orden de los 400 mm en dos días, en tanto el huracán Alberto (1982) alcanzó 700 mm en 48 horas. La temperatura del aire, por su parte es, como promedio, de 24°C, con mínimas en Enero (18°C) y máximas en Julio (28°C) (Gerhartz y Abraham, 1991).

En tal entorno geográfico parece que en época tan temprana como las postrimerías del siglo XVI se desarrolló un intenso cultivo de la vid, de cuyas viñas parece que podría derivarse el nombre de Viñales. Con ese nombre le fue mercedado un corral a doña Ana Martínez Ramos por Real Orden del Ayuntamiento de la Habana, el 12 de Octubre de 1607. Uno de sus descendientes, Andrés Hernández Ramos, donó tierras para la construcción del poblado en 1875 que, cuatro años más tarde, en 1879, alcanza la categoría de municipio al crearse un Ayuntamiento independiente del de Pinar del Río. En la actualidad, en el municipio de Viñales habitan unas 5 000 personas (Domínguez, et al., 1991).

### LA SIERRA DE LOS ÓRGANOS: ¿EL TÉRMINO FINAL DE LA EVOLUCIÓN DEL CARSO EN EL TRÓPICO?

Esta región comprende el territorio montañoso que se extiende al Oeste del río San Diego hasta las inmediaciones del poblado de Guane, ocupando un área de 563 km<sup>2</sup>. Aquí se han distinguido cuatro grupos de unidades de nappes escamadas (Psczolkowski, 1987): la faja de mogotes, las Alturas de Pizarras del Sur, las Alturas de Pizarras del Norte y las unidades metamorfizadas que ocupan la posición más alta.

Aquí, el relieve de mogotes constituye un elemento de especial atención. Estos conforman una morfología de bloques petrogénicos diferenciados en las unidades calcáreas del Jurásico superior-Cretácico inferior. La carsificación es particularmente espectacular en estos relieves y, del mismo modo, es sumamente variada. Destacan en ella valles fluvio-cársicos de contacto, también llamados poljes marginales, cuyo ejemplo más conocido es el de Viñales; dolinas a diferentes niveles en la cima de los mogotes, conocidos en la literatura nacional como “hoyos de montaña”, cuyos fondos, en muchas ocasiones, descienden hasta el nivel de los valles contiguos; impresionantes abras o desfiladeros y gigantescas cavernas. Las mayores redes subterráneas de Cuba se encuentran en esta región: Palmarito (29 km), Santo Tomás (45 km), Majaguas-Cantera (30 km) y Cueva Fuentes (19 km).



Flores (com.pers) ha identificado 14 niveles de cavernamiento en la región, desde cotas + 350 hasta + 40 m.

Hidrodinámicamente se encuentran algunas diferencias. Ciertos sectores de la región, vinculados a la cuenca del río Cuyaguaje, parecen constituir holocarso, en tanto aquellas vinculadas a la cuenca del río Pan de Azúcar, hasta el momento, parecen merocarso. Tampoco puede hablarse de direcciones generales de flujo, aunque regionalmente, las orientaciones preferenciales son: 40-220° a las que se asocian, además, las redes de cavernas hidrológicamente activas del territorio. El flujo subterráneo más conocido es el que se manifiesta como consecuencia de la transfluencia o transcurrencia de la red fluvial epigea.

Para los investigadores europeos, este relieve ha sido considerado, desde la época de Lehmann, a mediados de la década de 1950, el arquetipo del carso tropical. Una larga polémica siguió las primeras descripciones de la impresionante morfología de mogotes y, en particular, respecto a la relación hipsométrica entre los poljes u hoyos de montaña y los valles vecinos, en los que se creyó encontrar la respuesta al sincronismo de su formación. Presidido por los criterios de la fuerte corriente climamorfogenética y la evolución cíclica del relieve, su aplicación al carso cubano y del Trópico en general, tuvo como resultado contraproducente que prácticamente la única forma cársica conocida fuera, precisamente, la representada por los mogotes. Otros factores, sin embargo, son los que provocan la variedad morfológica y puede afirmarse que, si bien el kegelkarst está asociado fuertemente al Trópico húmedo, no es la fase final de la evolución del carso en estas regiones.

### RASGOS GEOMORFOLÓGICOS DE LAS ALTURAS DE PIZARRAS DEL SUR

Las Alturas de Pizarras muestran un relieve muy accidentado en el que predominan las colinas de laderas suaves y cimas redondeadas. Su punto culminante es el Cerro de Cabras, con una altitud de 484 m.s.n.m. La red fluvial instalada constituye la fuente de alimentación alóctona que ha disectado profundamente estas elevaciones, así como es la que ha dado origen a los más importantes sistemas de cavernas de la región y del país. Los cauces fluviales maestros de estas grandes cavernas nacen en esta serranía, como el Palmarito, Ancón y Novillo (Sistema Cavernario de Palmarito), Santo Tomás, Arroyo de la Tierra, Los Cerritos, Bolo y Peñate (Gran Caverna de Santo Tomás), el Majaguas y el Cantera (Sistema Cavernario Majaguas-Cantera) y el arroyo del Alcalde (Sistema Cavernario Amistad). Un caso excepcional de este tipo es el arroyo Fuentes, que da origen al sistema homónimo de cavernas pero que, sin embargo, nace al norte, en las Alturas de Pizarras del Norte, y atraviesa -hacia el sur-, la franja de mogotes.

En las Alturas de Pizarras del Sur predominan los suelos arenosos poco profundos, debido al constante lavado. Es una zona bastante despoblada y poco cultivada, si se exceptúan sus reservas forestales. Sin embargo, posee importantes recursos minerales y se encuentran allí cotos mineros de cobre, baritina y fosforitas.

La acción erosiva de los torrentes de montaña se manifiesta en el desarrollo de importantes cárcavas y cauces episódicos. Estos fenómenos de rill-wash y sheet-flood produjeron, en general, un relieve de cuevas estructurales post-

Larámicas. El desmembramiento vertical presenta valores absolutos entre 50 y 100 m, con máximos de hasta 250 m, que los tipifica como relieves colinosos fuertemente desmembrados a montañosos poco desmembrados. La disecación horizontal varía entre 50 y 100 m, con pendientes entre 7 y 24 grados.

Casi quince años atrás, el autor (Molerio, 1980) estudió el índice de poder erosivo de los torrentes de montaña aplicando la fórmula simplificada de Gruber en los límites de la desarticulación, concluyendo, luego de aplicar la modificación de Scheidegger, que el poder erosivo de los torrentes de montaña permanece constante para pendientes dadas, con independencia del valor del desmembramiento.

Tal análisis se extendió a la evolución de las pendientes. Estas receden paralelamente sin ser lineales, de manera que fueron simuladas a partir de una ecuación diferencial parcial hiperbólica que permitió explicar, satisfactoriamente, el progresivo suavizamiento de las pendientes y su evidente perfil cóncavo.

### EL VALLE DE VIÑALES Y SUS ALREDEDORES

Este itinerario se desarrolla en la zona del valle y permitirá algunas incursiones a los hoyos de montaña, como el valle de Dos Hermanas. Asimismo, podrán observarse algunas manifestaciones de la recesión de los escarpes calcáreos, el fenómeno de las cuevas al pie de los mogotes y comentar las particularidades de la morfogénesis de la sierra (Fig. 6).



Fig. 6. Mapa general del Valle de Viñales y sus alrededores, tomado de Lehmann (1954).

### EL EFECTO MORFOLÓGICO DEL CONTACTO ENTRE LAS ROCAS CARBONATADAS Y NO CARBONATADAS

Ya desde fines del pasado siglo, Cvijic llamó la atención acerca del efecto que, sobre la morfogénesis del carso, producía el contacto entre las rocas carsificables y las no cársicas. En particular, definió el fluviocarso como una morfología singular en la que se observaban efectos combinados de erosión fluvial y carsificación, que variaban de



acuerdo con la posición espacial relativa de las dos unidades.

Así, si la red fluvial se establece a lo largo del contacto, en sentido longitudinal, se observa una interesante diferenciación con formas cársicas a un lado y fluviales al otro.

Este es el caso típico y, en nuestra zona, por ejemplo, se manifiesta a lo largo del valle del río Pan de Azúcar, encontrándose también más al oeste, a lo largo del arroyo El Pesquero e, incluso, en el curso inferior del río Cuyaguatije. Se trata, entonces, de redes de avenamiento de alimentación híbrida y que, por lo común, condicionan el desarrollo de toda una vertiente emisiva en el carso, con sus particularidades hidrodinámicas muy bien definidas.

El caso contrario es el que se observa nítidamente en Viñales, donde la red fluvial alóctona, originada en las rocas terrígenas, atraviesa transversalmente el contacto entre ambas unidades. Es, entonces, que se desarrollan las típicas vertientes absorbentes de la sierra, que captan completamente el escurrimiento superficial y provocan el desarrollo de las vastas redes de drenaje subterráneo que lo caracterizan y que, como ya hemos señalado, alcanzan decenas de kilómetros de circuitos integrados.

En el carso cubano, Lehmann distinguió las formas de relieve que se originaban con el nombre de poljas marginales cuyo ejemplo tipificó en Viñales y distinguió, de éstas, las llanuras cársicas marginales para identificar "las llanuras calcáreas y en parte arcillosas que se prolongan frente a las serranías mogóticas". En nuestra tipología hidrogeológica del carso cubano (Molerio, 1975) hemos distinguido los valles de contacto, generalmente fluvio-cársicos, de acuerdo con la naturaleza de su funcionamiento hidrodinámico, en absorbentes y emisivos, con sus combinaciones.

Por lo común, se da la asociación morfohidrodinámica de la Fig. 7, que esquematiza el sistema de un modo general.

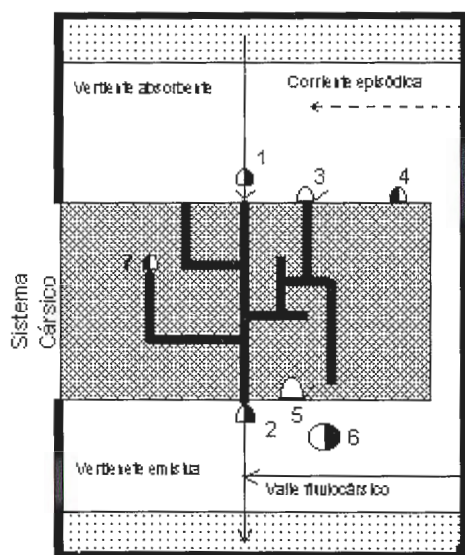


Fig. 7. Esquema general del funcionamiento morfohidrodinámico de las vertientes de los mogotes (1/ Ponor o sumidero de cavidad directa, absorbente y transfluente; 2/ Resolladero o resurgencia de cavidad directa transcurriente; 3/ Cavidad absorbente de funcionamiento hidrológico estacional o episódico; 4/ Cavidad indirecta de sapeamiento lateral; 5/ Estavela: cavidad alternativamente absorbente y emisiva; 6/ Surgencia de caudal autóctono; 7/ Cavidad transfluente merofósil.)

Aquí es importante destacar que las diferencias morfológicas e hidrodinámicas de las vertientes absorbentes y

emisivas son, muchas veces, notables. Por ejemplo, en la pared absorbente (VA) las cavidades indirectas al pie de los mogotes, generalmente están asociadas a niveles de paleolagos, en tanto en la pared emisiva (VE), suelen ser formas de sapeamiento lateral.

Las estavelas que se encuentran en VA, por lo común, son formas del tipo de chimeneas de equilibrio que drenan caudales episódicos vinculados al refluo del sistema, mientras que las que se encuentran en la VE se asocian al intercambio con la red superficial y la subterránea. Debe destacarse, asimismo, que no necesariamente los valles fluvio-cársicos paralelos intersectan los transversales y, precisamente, pocas redes fluviales paralelas penetran profundamente en la sierra lo suficiente como para organizarse bajo tierra, lo que, por el contrario, es el caso más común para las redes transversales.

La hidrodinámica del flujo hipogeo, el transporte de sedimentos y la hidrodinámica geoquímica son también diferentes, según la vertiente que se trate y, a reservas de un tratamiento más detallado, pueden establecerse los siguientes rasgos generales.

En las redes cársicas subterráneas el flujo se organiza en régimen no lineal (turbulento), por lo común infracrítico y, en ocasiones, llega a ser lineal, pero no del tipo de Darcy. Los aportes autóctonos pueden llegar a ser sumamente importantes tanto hidráulica como morfológicamente. De hecho, todos los grandes sistemas cavernarios muestran importantes componentes de mezcla de aguas (ciclos de sobresaturación-saturación-insaturación; salones de mezcla), gracias a la elevada recarga natural neta del sistema. Las rápidas avenidas, del tipo de flash-floods, son capaces de transportar importantes cargas de sedimentos que rellenan y descolmatan, alternativamente, las galerías subterráneas.

Este transporte de sólidos es, por lo común, independiente de los debidos a las fases lacustres por la que han atravesado todos los valles y dolinas y que, en muchas ocasiones es tan importante, que reduce las posibilidades de captaciones de agua subterránea en los acuíferos del fondo del valle (Molerio, 1981). Las aguas de la vertiente absorbente están, casi siempre, insaturadas respecto a la calcita y emergen saturadas, sobresaturadas e, incluso, insaturadas, en dependencia de la longitud del recorrido (longitud de mezcla), aportes autóctonos y tiempo de tránsito de las aguas en el interior del sistema.

### EL PROBLEMA DE LAS PAREDES ESCARPADAS DE LOS MOGOTES: LA CUEVA DE JOSÉ MIGUEL Y LA RECESIÓN DE LAS VERTIENTES

La verticalidad de las paredes (Fig. 8) de los mogotes es su rasgo más impresionante. Varios factores contribuyen a ello y fue Lehmann, precisamente, quien llamó la atención, por primera vez, respecto a los factores que controlaban esa fisonomía particular. Centró su atención en el desarrollo de las cuevas al pie de los mogotes, cuya pérdida de estabilidad provocaba que sucesivos desplomes mantuvieran las paredes verticales.

Años atrás estudiamos este problema (Molerio, 1980). Así las "füsshölen" de Lehmann (Fig. 9) las consideramos como



un tipo especial de cavidad indirecta debida a sapeamiento lateral. En muchas ocasiones, éstas dejan de ser pequeñas oquedades cóncavas en la base del kegel para convertirse en una extensa concavidad al nivel del valle contiguo que funciona como un lago como respuesta a estímulos superficiales como subterráneos, lo que implica que el modelo erosivo puede ser tanto fluvial como lacustre.

Para la erosión por sapeamiento lateral aplicamos el modelo general de Boussinesq, a partir de corrientes secundarias o cruzadas. De ahí se deriva que la profundidad de los canales de flujo aumenta cuando disminuye el radio de curvatura, de manera que mientras mayor sea la profundidad, más efectivas serían las corrientes secundarias, que son las que producen flujo helicoidal y la correspondiente erosión del mismo tipo. Así, se obtuvo una ecuación modificada de la de Green y Wilts para el socavamiento por canales de flujo, definiendo una expresión que, a priori, explica la concavidad de los derrubios en función de la velocidad y la altura de la acumulación.



Fig. 8. Paredes escarpadas de los mogotes (véase también Fig. 1)

La erosión lacustre se explica mediante la combinación de la velocidad de fase de la onda con una ecuación de difusión con transporte de masas, que implica flujos laminares paralelos. mediante la acción conjugada de ambos modelos de erosión, la vertiente basal del mogote adopta morfologías inestables con reducción anisótropa de volumen, favorecido por los efectos combinados de un agrietamiento vertical predominante, que disminuye la cohesión de las rocas.



Fig. 9. Cueva de José Miguel, un ejemplo de "Cueva al pie" o fuss-höhlen

Para ángulos de fricción interna de hasta  $45^\circ$  puede aplicarse el nomograma de Fellenius y, para valores superiores, la altura crítica del escarpe depende de las relaciones entre los ángulos de fricción interna y de reposo del material. Un modelo lineal de recesión del escarpe explica, con bastante precisión, entonces, el retroceso continuado y la conservación de la verticalidad de las paredes de los mogotes. Un ejemplo clásico donde todos estos factores se combinan se observa en la Cueva de José Miguel (Fig. 10), o en la Cueva de Los Tomates (Fig. 11) (Núñez Jiménez, 1967).



Fig. 10 Mapa de localización de las cuevas de José Miguel y El Cumpleaños, según (Hernández et al., 1992)

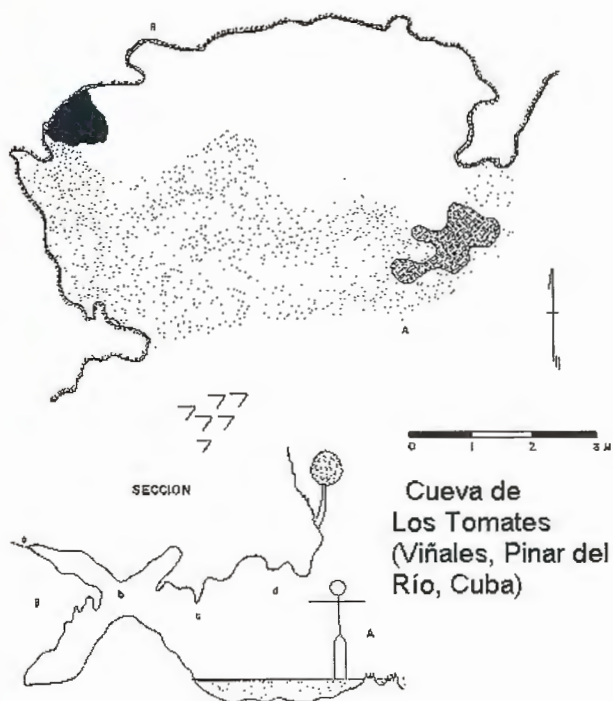


Fig. 11. Cueva de Los Tomates (tomado de Núñez Jiménez, 1967)

## FORMAS CÁRSICAS Y DESARROLLO DEL CAVERNAMIENTO: PALMARITO, UNA DE LAS MAYORES CAVERNAS CUBANAS

Una extraordinaria variedad de formas cársicas se asocian a las montañas. Siguiendo la tipificación hidrogeológica adoptada por nosotros (Molerio, 1975) se encuentran, entre las formas de absorción: campos de lapiés, dolinas - generalmente de corrosión o de hundimiento-, poneros o sumideros y los desfiladeros o abras cársicas.

Los campos de lapiés son generalmente del tipo libre, corrosivos, muchos de ellos vinculados a los mogotes como relictos del retroceso de las paredes. Pero, a veces, cubiertos por depósitos de acarreo. Las dolinas u hoyos son

impresionantes. Muchos de ellos se excavan en la cima de los mogotes y, con diferentes fases de profundización, llegan a alcanzar una altitud de fondo del mismo orden que la del valle contiguo. otras, sin embargo, quedan colgadas y se vinculan a estadios primigenios de carsificación.

Vale la pena detenerse en este punto, toda vez que fue, en su momento, sumamente polémico; sobre todo, después que Lehmann afirmara que “en todos los casos -por él investigados- la altura de los hoyos concuerda con la de los poljes contiguos”.

Refutado una década después por Núñez, Panos y Stelci (1968), entre 1975 y 1982 nosotros estudiamos la morfometría de unas 200 dolinas en las sierras del Pesquero, Sumidero, Resolladero y San Carlos, al oeste de Viñales. Encontramos una dependencia lineal muy fuerte, con un coeficiente de correlación del 92% (para un 95% de significación estadística) entre las cotas de superficie y las de fondo.

Además, fue identificada una vinculación muy estrecha entre la distribución de éstas y la superficie de erosión sobre la que se excavaban. Un resumen de estas relaciones se presenta a continuación:

| Nivel de fondo de depresión<br>(en metros sobre el nivel del mar) | Superficie de erosión equivalente<br>(en metros sobre el nivel del mar) |
|---|---|
| 91 - 120  | 80 - 100  |
| 170 - 180   | 150 - 250   |
| 200 - 220   |   |
| 240 - 250   |   |
| 260   |   |
| 290   | Hombreira 300 - 350   |
| 360   |   |

Dependiendo de la región, entre el 50 y 60% de todas las dolinas se encuentran en la superficie de 150-250 m, quizás la más conservada en toda la Sierra de los Organos y a la que se asocia un conjunto importante de niveles de cavernamiento. En aquel entonces concluíamos que el importante proceso de dolinización en la cima de los mogotes conduce al agrupamiento de las siguientes evidencias:

1. El proceso de dolinización normalmente, es posterior a la superficie de erosión sobre la que se instala y sólo excepcionalmente simultáneo, aunque el intemperismo actuante puede generar también formas abiertas de erosión.
2. El desarrollo progresivo de este último grupo de elementos está controlado por la posición hipsométrica del nivel de base que, a su vez, controló la peniplanación del nivel inmediato superior, proceso que sólo debe ser alterado en el caso de formas mixtas o, esencialmente, de tipo sufosivo conectadas con simas que funcionen como chimeneas de equilibrio.
3. Con cierta flexibilidad, entonces, los fondos de depresiones pueden tomarse como indicadores de la posición de pretéritos niveles de base, cuyos vestigios más sobresalientes, por encima de la cota +200 m son, muchas veces, las hombreras -desmanteladas o no- de las superficies de erosión que se encuentran en los mogotes y, muchas veces, también en los relieves no cársicos.

El desarrollo de las formas de conducción también es notable, tanto por la profusión de cavernas como por sus dimensiones. las redes subterráneas integradas mediante la exploración espeleológica directa o los ensayos con trazadores alcanzan decenas de kilómetros.

Las Figs. 12 y 13 muestran una de las últimas versiones de

los mapas derivados de la exploración del Sistema Cavernario de Palmarito, con un recorrido -al momento de redactarse estas líneas- cercano a los 35 km. En la Fig. 14 se muestra la topografía de la Caverna del Cumpleaños de menor extensión, pero abundante en formas reconstructivas.

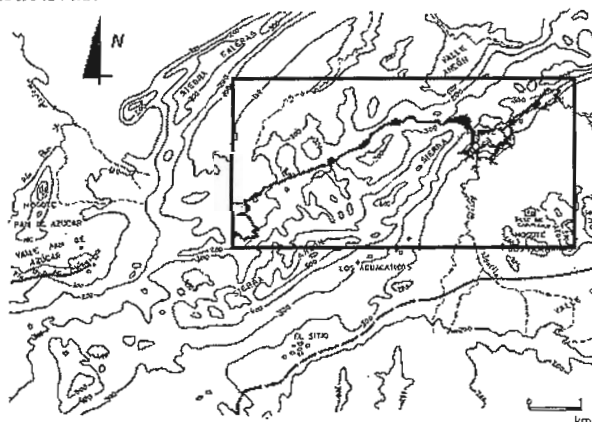


Fig. 12. Esquema de la red de galerías subterráneas del Sistema Cavernario de Palmarito (Hernández et al., 1992)

En la región parecen predominar las cavidades directas de tipo transfluente, excavadas inicialmente por caudales alóctonos pero con una importante contribución de los aportes autóctonos. Sin embargo, también se encuentran muchos ejemplos de cavidades indirectas, originadas por sapeamiento lateral, como son los casos, muy conocidos, de las cuevas de José Miguel y de Los Tomates.

Las formas de emisión se asocian, por lo general, a cavidades emisivas, generalmente de caudales autóctonos o predominantemente de este tipo. Por lo común se localizan en la vertiente opuesta de la sierra. Surgencias del tipo de fuentes vauculianas se localizan en algunos sitios, como el manantial de Dos Palmas, o de descarga de nivel de base, no asociadas a cavidades emisivas, como los manantiales de La Pimienta o El Tubo. Más frecuentes son las estavelas y los manantiales de descarga episódica, del tipo de “boiling springs”.

### PROBLEMAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA: LOS FRENTES ABSORBENTES Y EMISIVOS DE LA SIERRA

La distribución de formas cársicas, en correspondencia con el esquema de funcionamiento morfohidrodinámico del sistema, crea no pocas dificultades para el abastecimiento con aguas subterráneas.

En efecto, las vertientes absorbentes de los mogotes son muy poco acuíferas. Aún cuando en ocasiones se encuentran “tanques”, es decir, almacenamientos locales y discontinuos, tienen posibilidades limitadas de explotación, toda vez que se asocian a galerías subterráneas cuya dependencia con respecto a la alimentación alóctona es muy elevada, por lo que suelen agotarse rápidamente en períodos normales de estiaje.

Por otro lados, los depósitos de cobertura, tanto en los valles fluvio cársicos de contacto, como en el fondo de los hoyos de montaña, sólo ocasionalmente son acuíferos; sin embargo, como su evolución hidrológica lleva asociada una fase lacustre, las posibilidades de desarrollo son muy limitadas por razón de alto contenido de sólidos en suspensión que presentan las aguas., sobre todo cuando

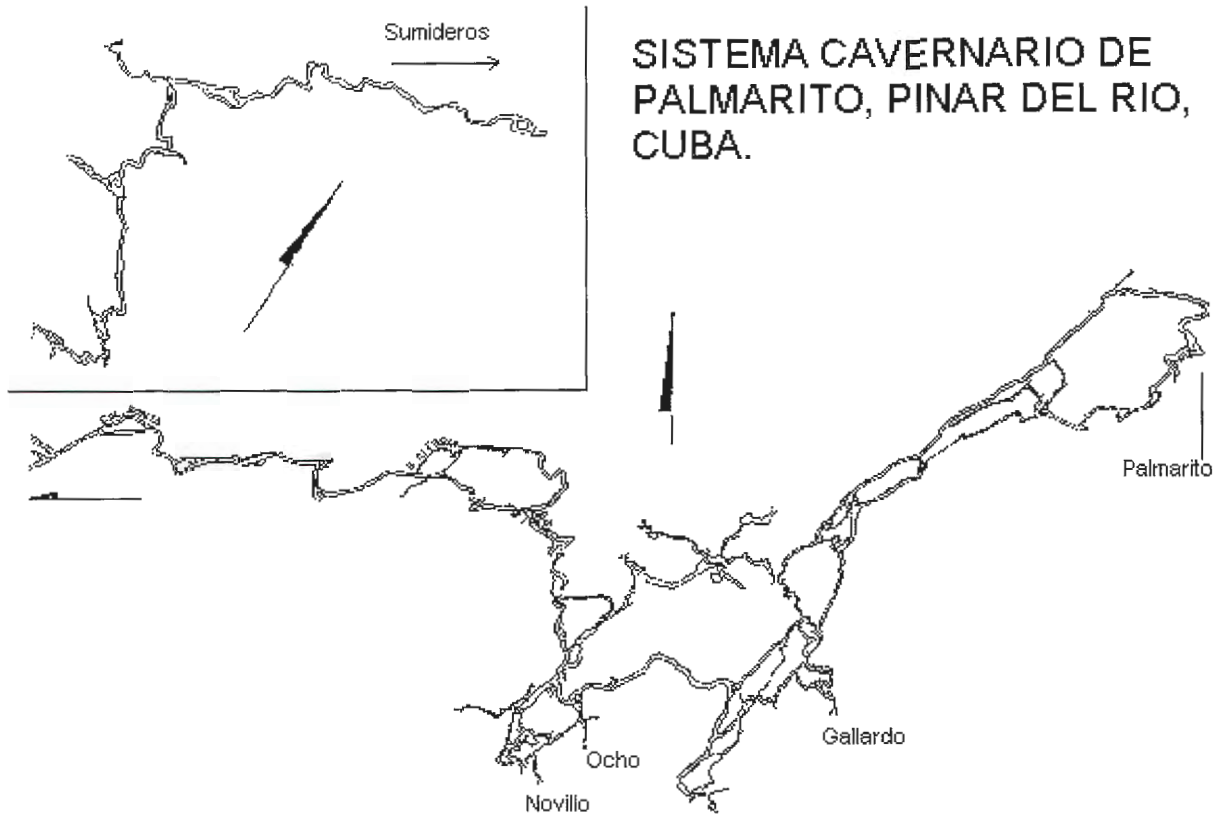


Fig. 13. Topografía del Sistema Cavernario de Palmarito (ligeramente modificado de Hernández et al., 1992)

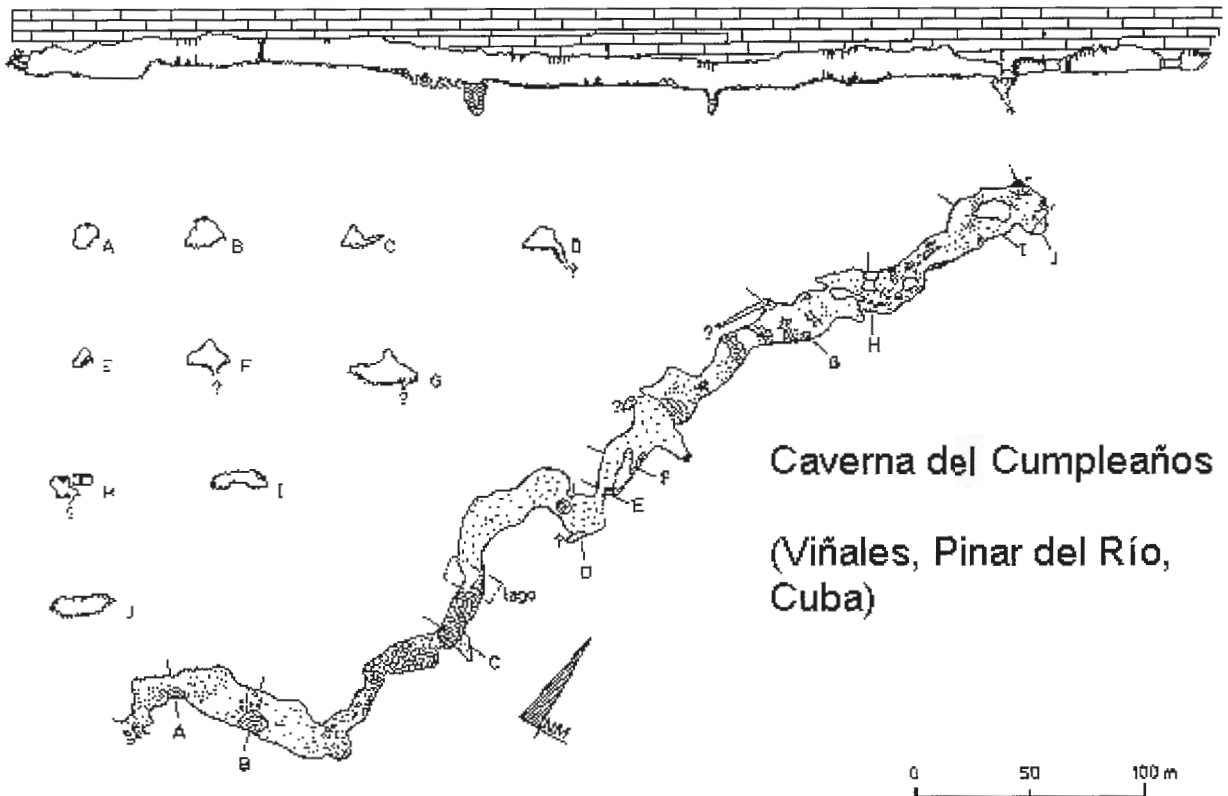


Fig. 14. Mapa de la Cueva del Cumpleaños, según (Hernández et al., 1992)

se vinculan estrechamente a los caudales alóctonos. Resultan más importantes, en este sentido, algunas estavelas y fuentes vaclusianas que, como la de Dos Palmas, aportan caudales de unos 15 lps, o las del manantial de La Pimienta, con caudales medios de descarga del orden de los 30 lps en estiaje.

Tal situación hidrológica ha motivado que las labores de riego para el tabaco, fundamentalmente, y para frutos menores, se realicen con aguas superficiales. El abastecimiento doméstico se sirve de caudales fluviales que son filtrados artesanalmente o de caudales autóctonos que los campesinos colectan en lagos en el interior de las cavernas.



## LOS CIRCUITOS SUBTERRÁNEOS DE DRENAJE Y LA EVOLUCIÓN DE LOS MOGOTES

En la región de Viñales, E. Flores ha reconocido 10 niveles de cavernamiento, entre las cotas +100 y +400, generalmente asociados a niveles de cavernas exploradas en la región.

La superposición de niveles de cavernamiento es uno de los aspectos más interesantes de la evolución de las formas de conducción del carso y muchas hipótesis se han propuesto para explicar su desarrollo. Estas se enmarcan en uno de estos dos esquemas básicos, con sus combinaciones:

- las que asignan la mayor importancia a los movimientos epirogénicos, fundamentalmente neotectónicos, que promovieron el levantamiento continuado de los mogotes haciendo variar, a un nivel inferior, el drenaje superficial, excavando un nuevo nivel de cavernas y
- los que confieren el mayor peso a las variaciones del nivel de base local, como consecuencia de las grandes fluctuaciones glacieustáticas del nivel del mar durante el Cuaternario.

Ambos extremos tienen puntos controversiales, aún no suficientemente aclarados. Sin embargo, resulta -en nuestra opinión- mucho más coherente asignar el papel fundamental a los cambios del nivel de base local por sucesivos reajustes del nivel de base regional. Existe una fuerte dependencia entre las posiciones pretéritas del nivel del mar Cuaternario y las alturas en que se encuentran los niveles de cavernas. La elevada coherencia espacial que se observa en todo el Occidente de Cuba, según se deriva de los trabajos recientes de E. Flores y sus colaboradores confirma, al extenderla a la región del Golfo de México y el Caribe, el notable peso que ejerce en el control del cavernamiento, el conjunto de fluctuaciones glacieustáticas del mar Cuaternario.

La Cueva del Indio (Fig. 15), por ejemplo, constituye un cauce actual hipogeo, de una corriente fluvial de alimentación híbrida que ha excavado un importante sistema cavernario, de patrón agrietamiento. Varios niveles de cavernamiento se encuentran asociados a este conjunto de galerías. Uno de los más altos corresponde a la Cueva del Cumpleaños, situado en cota +280, es decir, a unos 130 m por encima del valle actual y, por tanto, del talweg de la Cueva del Indio. Los modelos genéticos son semejantes y, a veces, pueden identificarse fases erosivas, de rellenamiento y de descolmatación asincrónicas y, por ello, explicables por el diferente grado evolutivo del sistema. La reconstrucción de los perfiles de agradación y degradación de estos paleocauces aboga, fuertemente, por un control erosivo más que tectónico.

### REGÍMENES DE FLUJO Y ELEMENTOS MORFOLÓGICOS: DESARROLLO DE LOS SCALLOPS.

Los sistemas de galerías subterráneas en el territorio constituyen modelos naturales adecuados para el estudio de la hidrodinámica actual y la paleohidrodinámica del territorio. Del mismo modo, permiten identificar, cuantitativamente, los volúmenes de aporte, circulación y descarga, durante el período del modelado del relieve interno.

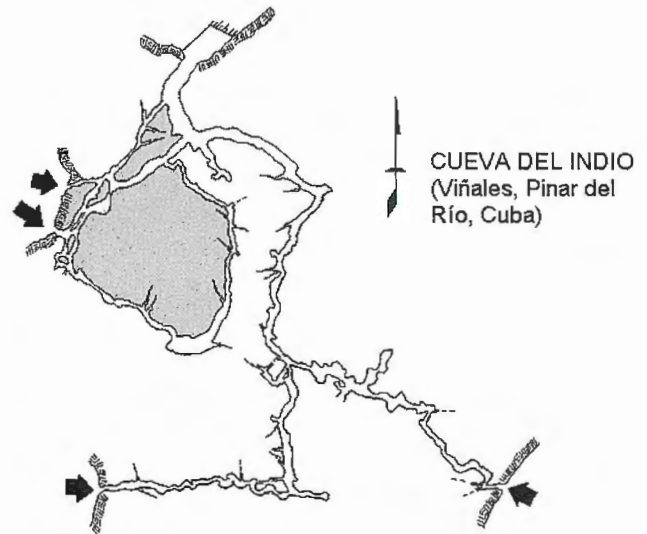


Fig. 15. Topografía de la Cueva del Indio (cortesía de P. L. Hernández Pérez)

Las vertientes emisivas no siempre representan caudales aprovechables por razón de la calidad de las aguas. Una atención especial se le ha dedicado, en los últimos años, a este análisis. Partiendo de diferentes modelos hidráulicos (flujo en canales, en tuberías), análisis de scallops, evaluación de depósitos sedimentarios, entre otros métodos, ha sido posible caracterizar, además, los regímenes de flujo en el sistema.

Los resultados mostraron que, de acuerdo con los indicadores geométricos de las galerías, el paleoflujo se desarrolló en régimen subcrítico turbulento estable, agrupado alrededor de la zona de resistencia cuadrática turbulenta estable de Nikuradze. Los indicadores de los scallops mostraron un paleoflujo también en régimen turbulento, pero donde el coeficiente de resistencia es una función única de la rugosidad del conducto.

Este es un resultado interesante, toda vez que apoya la idea que, bajo determinadas condiciones de contorno, los scallops parietales no se generan siempre bajo el mismo régimen de circulación del agua, a diferencia de los pavimentarios, que están vinculados a un régimen de fondo semejante al de la distribución vertical de velocidades en el conducto subterráneo.

### RECONOCIMIENTOS

Los aspectos que se resumen en este artículo resumen los resultados de numerosas expediciones espeleológicas e investigaciones geológicas, geomorfológicas e hidrogeológicas que, con algunos de nuestros colegas hemos llevado a cabo en los últimos 25 años.

Muchos de los aspectos que se tratan han sido discutidos con ellos en numerosas jornadas de campo y gabinete, por lo cual, es obligado expresar nuestro reconocimiento a las siguientes personas: Humberto Álvarez, César Morales, Leopoldo Huete, Isaac Arronte y Juan José Rodríguez, por su apoyo a muchas de estas investigaciones y a R. Feitoo por su cooperación en algunos de los trabajos de campo efectuados en Valle Ancón.

A. C. Aldana, M. Valdés y P. L. Hernández, del Comité Espeleológico provincial de Pinar del Río, quienes respondieron amablemente a muchas consultas, nos facilitaron algunos materiales y con quienes compartimos, agrada-



blemente, muchas jornadas de campo. Provechosas también fueron las jornadas de exploraciones espeleológicas con nuestros compañeros de la Sociedad Espeleológica de Cuba, M.R. Gutiérrez Domech, V. Otero Collazo, M. Labrada Cortés, E. Balado Piedra y J. Guarch.

Un reconocimiento especial a nuestros compañeros E. Flores y M. Guerra, con quienes, ininterrumpidamente, hemos compartido dos décadas y media de trabajos en el carso cubano y a E. Rocamora, por sus valiosas opiniones y contribución en no pocas campañas de campo. También a B. Pérez Vilaró, quien mecanografió las primeras versiones de algunas partes de este texto.

Finalmente, y no por ello menos importante, mi agradecimiento de siempre a Ana, mi compañera.

## BIBLIOGRAFIA

Domínguez, M., et al. (1991): Aspectos generales sobre el entorno geográfico del sistema cavernario de Palmarito. Lapiaz, Mon. II, Valencia :43-46

Furrazola-Bermudez, G., R. Sánchez Arango, R. García, V.A. Basov (1978): Nuevo esquema de correlación estratigráfica de las principales formaciones geológicas de Cuba. "La Minería en Cuba". 4 (3): 30-35.

Gerhartz, J.L. y A. N. Abraham (1991): Características climáticas de la región de Viñales y su relación con el funcionamiento hidrológico del Sistema Cavernario de Palmarito. Lapiaz, Mon. II, Valencia :50-53

Hernández, P.L. et al. (1992): La Caverna del Cumpleaños. Lapiaz, 21 :50-55

Lehmann, H. (1953): Carso-Entwicklung in den Tröpen. Die Uns. In Wissenschaft und Technik, Frankfurt, (18):32-45

Lehmann, H. (1960): Las Areas Cársicas del Caribe. Rev. Soc. Geog. de Cuba Molerio León, L.F. (1965): La Palma de Corcho. Arch. Grupo Espel. Martel, La Habana, 5:

Molerio León, L. F. (1975a): Esquema Geoespeleológico de las Regiones Cársicas de Cuba. Simp. XXXV Aniv. Soc. Espel. Cuba :65

Molerio León, L. F. (1975b): Tipología hidrogeológica del carso cubano. Inst. Hidroeconomía, La Habana, 45:

Molerio León, L. F. (1980): El Sistema Cársico de la Sierra del Pesquero. Tesis, Inst. Comb. Met.,180:

Molerio León, L. F. (1978): Fundamentos del Mapa Hidrogeológico de Cuba a escala 1:500 000. Voluntad Hidráulica, 40: 31-33

Molerio León, Leslie F. (1981): Problemas Hidrogeológicos del Carso de Montaña de Cuba. Voluntad Hidráulica, La Habana, XVIII(55):37-40

Molerio León, Leslie F. (1982): Resultados de un reconocimiento hidrogeológico en el valle de Ancón, Sierra de Viñales, Pinar del Río. Circ. Restr. Instituto de Hidroeconomía.

Molerio León, Leslie F. & M. Guerra Oliva (1983): Geomorfología e Hidrogeología Cársica del Valle de Pan de Azúcar, Sierra de los Organos, Pinar del Río. Voluntad Hidráulica, (62):23-36

Molerio León, L. F. (1992a): Hidrogeología de la Depresión Fluvio-cársica de Cinco Pesos, Pinar del Río, Cuba. I Congr. Fed. Espel. Amér. Latina y el Caribe, Viñales. :65

Molerio León, L. F. (1992b): Simulación matemática de los plegamientos de la formación San Cayetano. Simp. Internac. Inf. y Geociencias, La Habana, :34

Molerio León, Leslie F. (1995): Field Trip Guide: Mogotes in the Viñales Valley, Pinar del Río Province, Cuba. Internatl. Geogr. Union (IGU) Conf. of Latin America and Caribbean Countries, La Habana, 38:

Núñez Jiménez, A., V. Panos & O. Stelcl. (1964): Investigaciones carsológicas en Cuba. Acad. Cienc. Cuba 80:

Núñez Jiménez, A., (1967): Clasificación Genética de las Cuevas de Cuba. Acad. Cienc. Cuba, Inst. Geogr., Depto. Espel., Edic. Prov., La Habana, 224:

Piotrowska, K. (1987): Las estructuras de nappes en la Sierra de los Organos. In/ Psczchowski, A et al. (1987): Contribución a la geología de la provincia de Pinar del Río. Edit. Cien.-Téc. La Habana:85-156

Psczolkowski, A. (1987): Secuencias miogeosinclinales de la Cordillera de Guaniguanico. In/ Psczchowski, A et al. (1987): Contribución a la geología de la provincia de Pinar del Río. Edit. Cien.-Téc. La Habana: 4-84

**VISITA NUESTRA  
WEB**



**El Club de  
los topógrafos**

**Hazte  
Socio**

**PODRAS DISPONER DE:**

- Asesoramiento.
- Material Topográfico.
- Restitución.
- Batimetría.
- Etc.

**Mas Información en:  
<http://www.taecclub.com/>**

**¡¡ MUY INTERESANTE !!**