

CONCLUSIONES

- Con la aplicación de las técnicas no supervisadas de reconocimiento de patrones, fue posible obtener un esquema de clasificación regional, en el cual se muestra el grado de complejidad que tienen las heterogeneidades del relieve para las observaciones de la fuerza de gravedad.
- Teniendo en cuenta la escala de la base de datos, así como el grado de similitud entre los grupos obtenidos en la clasificación, según los métodos empleados, el territorio se dividió en seis grupos, los que a su vez se integraron para formar cuatro grandes zonas: de Muy Alta Complejidad, integrada por el grupo I del método de W-W, siendo equivalente a los grupos I y II del método de AEA; de Alta Complejidad, integrada por los grupos II y III del método de W-W, equivalentes a los grupos IV y V obtenidos por el método de AEA; de Moderada Complejidad, integrada por el grupo IV del método de W-W, equivalente al grupo III obtenido por el método de AEA; y de Baja Complejidad, integrada por los grupos V y VI del método de W-W, equivalentes al grupo VI obtenido por el método de AEA.
- La zona de mayor complejidad, tanto para las mediciones de la fuerza de la gravedad como para su interpretación, está localizada en el extremo meridional de Cuba oriental; seguida por los macizos montañosos de ME, sierra de Nipe-Cristal y cordillera de Guaniguanico. En estas zonas se recomienda la realización de las correcciones topográficas tanto de la zona cercana como de la lejana, para lograr con ello una interpretación efectiva y correcta de las anomalías de Bouguer.
- Con el uso de ambas técnicas de clasificación, se identificaron varias regiones con un comportamiento similar al exhibido por la región de la CC, estudiada con profundidad en los trabajos de Cuevas y Pacheco (1994); estas regiones están localizadas en el grupo VI clasificado por ambos métodos y se ubican al este y oeste del ME, al norte de la Isla de la Juventud y todo el extremo meridional de Cuba occidental. Este grupo, aunque considerado en la zona de baja complejidad, no deja de tener importancia a la hora de determinar si se realiza o no la corrección topográfica, ya que estas zonas están afectadas en un por ciento considerable por la influencia que ejercen las grandes masas de la zona lejana.

- El presente trabajo aporta nuevos conocimientos para la planificación y elaboración de los proyectos de investigación gravimétrica aplicados a la búsqueda y exploración de yacimientos minerales, gas y petróleo, además de posibilitar el esclarecimiento de las anomalías de la gravedad, por lo que se logra una identificación efectiva de los objetos de interés.

BIBLIOGRAFÍA

- CUEVAS, J.L.: «Mapa de correcciones topográficas parciales hasta la zona de Hayford M, en el mar Caribe al sudeste de Cuba». *Resúmenes*, p. 29, en V Jornada Científica, Inst. Geof. y Astron., La Habana, oct. 1989.
- : *Sistema para el cálculo del Gradiente Horizontal Máximo, GHM, Versión 1.0*, Dpto. Geofísica del Interior, Instituto de Geofísica y Astronomía, La Habana, 1991a.
- : «TERCORR: Un Sistema Turbo Pascal para el cálculo de las correcciones topográficas parciales hasta la zona de Hayford O₂, utilizando un modelo digital del terreno». *Resúmenes*, p. 29, en II Encuentro Nacional de Ingenieros Geofísicos, La Habana, mayo, ISPJAE, 1991b; y en Primer Taller Iberoamericano "Informática y Geociencias", La Habana, 7-10 julio, 1992.
- : «Caracterización de las anomalías de la gravedad en Cuba centro-oriental y su utilización en estudios de tectónica y sismicidad», Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Geofísicas, 146 pp., Dpto. Geofísica del Interior, Instituto de Geofísica y Astronomía, La Habana, 1994.
- CUEVAS, J.L. y M. PACHECO: «Influencia del relieve topográfico sobre las anomalías de Bouguer hasta la zona de Hayford O₂ en Cuba oriental», *Geofísica Internacional*, 33(3): 385-397, 1994.
- CUEVAS, J.L. y L. DÍAZ: «Efecto gravitacional del relieve topográfico en Cuba: características e influencia», *Resúmenes*, p. 29, en V Jornada Científica, Instituto de Geofísica y Astronomía, La Habana, oct. 1996.
- DÍAZ, M.: «Sistema para el análisis estadístico de los datos geológicos, GEOESTAD», Laboratorio de Geomatemática, Inst. Geof. y Astron., La Habana.
- ESCARTIN, E. y W. RODRIGUEZ: *Manual de usuario del Sistema MULVAR*, 15 pp., Dpto. Geofísica, ISPJAE, La Habana.
- PICK, M.: «On the calculation of gravity terrain corrections in Czechoslovakia», *Studia Geoph. et Geod.*, No. 39, pp. 131-144, 1987.
- ROCHE, A.: *Estadísticas en las Ciencias Geológicas*, tomo 2, 307 pp., Dpto. Geofísica, ISPJAE, La Habana, 1989.
- RODRIGUEZ, W.: *Procesamiento cuantitativo de los datos geológico-geofísicos*, Dpto. Geofísica, ISPJAE, La Habana, 1987.
- VALEK, R.: «Vypocet gradientu anomálního pole y geofyzice», *Geologický Průzkum*, No. 4, pp. 116-117.

El Karst en el archipiélago cubano y la región Caribe-Antillana

M. Roberto Gutiérrez Domech* *Instituto de Geología y Paleontología.

RESUMEN: El conjunto de fenómenos y procesos que se producen bajo la acción del agua, caracterizados por el predominio de la disolución y la corrosión, principalmente, en rocas carbonatadas, en la región Caribe-Antillana y en particular en el archipiélago cubano, tiene una importancia incalculable en la vida y el desarrollo económico de las naciones de esa área.

La historia geológica de las islas mayores y las áreas continentales, fundamentalmente las características paleogeográficas de la región, unidas a un paleoclima de relativa estabilidad hasta el Pleistoceno, donde se conjugan la fuerte insolación —y, por consiguiente, altas temperaturas— con abundantes precipitaciones, alternadas durante ese período con etapas de sequía; así como los notables movimientos del nivel medio del mar y, por ende, del nivel de base de las aguas en las tierras emergidas, como consecuencia de las reconocidas oscilaciones glacioeustáticas, determinaron la formación y existencia de paisajes kársticos de una riqueza y variedad de formas considerable, mucho más agresivo y de rápida evolución, incluso que los del área tipo en los Alpes Dináricos.

Se describen las principales zonas kársticas del archipiélago cubano, de la península de Yucatán y otras comarcas de México, de Jamaica, Puerto Rico, República Dominicana y Haití, Venezuela, Guatemala, Belice y otras; así como las mesoformas kársticas más características e importantes, entre las que se distinguen los mogotes de Cuba y sus similares cerros kársticos de Puerto Rico; los "cayos" presentes en áreas inundadas de Los Haitises, en República Dominicana, y los "morros" de San Juan, en Venezuela, donde también se encuentran los "tepulis" en cuarcitas precámbricas, así como los cenotes yucatecos, guatemaltecos y beliceños, y sus equivalentes "casimbas" en Cuba y Dominicana.

Así mismo se describen poljes y otros valles kársticos de Cuba, México, República Dominicana, Haití, Jamaica, etcétera, y los campos de lapies que aparecen en estos y otros países.

Además de la importancia de las áreas kársticas para la economía de las naciones de la región, por la posibilidad de explotación de los acuíferos subterráneos, la necesidad de utilización de los terrenos kársticos para obras de ingeniería, para la prospección de yacimientos minerales, etcétera, se señala su interés por contener yacimientos fosilíferos de fauna, principalmente del Cuaternario y residuarios de los primitivos habitantes de la región, y por albergar ecosistemas de gran biodiversidad y riqueza.

ABSTRACT: The ensemble phenomena and processes produced under the water action distinguished by the dissolution and corrosion, principally on carbonate rocks, at the Caribbean-Antillean region, particularly at the Cuban Archipelago, has a not calculate importance for live and economic development for this area's nations.

The geological history of the Greater Islands and the continental areas, principally, the paleogeographic characteristics of the region, together with the relatively paleoclimatic stability to the Pleistocene, where the strong insolation —consequently with high temperatures— with heavy rainfalls, are combine, during this geological period with drought stages; the strong sea level movements and therefore the changing of the underground waters level, on the lands as a consequence of the glacioeustatic fluctuations, determined the development and existence of karstic landscapes with a richness and a variety of forms quiet important, much more aggressive and of faster evolution than those of the classic Dinaric Alps area.

The main karstic areas of the Cuban Archipelago, the Yucatan peninsula, and other Mexican areas; from Jamaica, Puerto Rico, Dominican Republic, Haiti, Venezuela, Guatemala, Belize and others are described. So are described those more typical karstic mesoforms, such as the Cuban mogotes and the similar Jamaica and Puerto Rico's karstic hills; the so called "cayos" from the flooded areas of Los Haitises, Dominican Republic; and San Juan "morros", from Venezuela, where the Precambrian quarcites "tepulis" towers can be found; such as the Yucatan cenotes, also presents at Guatemala and Belize and their Cuban and Dominican equivalents the "casimbas".

Poljes and others karstic valleys from Cuba, and others Greates Antilles and Mexico, are described, and also these countries and others "karrenfelds".

In addition to the importance of the karstic areas for the region nations economy, because of the possibilities of operation of the underground aquifer, the necessity of karstic terrains for engineering works, prospecting of minerals deposits, etc., the interest for fossils deposits, mainly from Quaternary, and the ancient inhabitants remains are unquestionable, together with the fact of having ecosystems of great biodeiversity and richness.

ÁREA INSULAR

Cuba

El archipiélago cubano, y con esta denominación se hace referencia al territorio formado por las islas de Cuba, de la Juventud (antigua Isla de Pinos), Romano y más de 1 200 cayos, entre los que se incluyen Coco, Sabinal y otros de considerable extensión, ha sido señalado como un mosaico geológico por su posición en el borde de la plataforma de Bahamas, también del área volcánica del Caribe, así como de la cuenca de Yucatán, la dorsal de las Caimanes y otras estructuras geológicas (Figura 1). Nuestro territorio ha evolucionado como una placa (la microplaca cubana) de la región del Caribe, donde las secuencias rocosas aparecen dislocadas, sobrecorridas e incluso caóticamente mezcladas. No obstante, el predominio de los sedimentos carbonatados es evidente.

Más del 66 % de la superficie de Cuba está formada por rocas clasificadas en mayor o menor grado. Unos 44 000 km² se presentan como carso desnudo o cubierto por delgadas capas de suelos, en montañas, colinas y llanos. Cerca de 18 000 km² se encuentran cubiertos por suelos rojos y pardos, con profundidades mayores en zonas de relieve llano y colinoso, que ocupan el fondo de algunos valles fértiles; y aproximadamente 8 700 km² se hallan enterrados bajo gruesos espesores de suelos de diversos orígenes y características, principalmente en zonas llanas.

Por su configuración Cuba carece de grandes corrientes fluviales. Las aguas subterráneas, sin embargo, constituyen una fuente de abasto de carácter más estable y de potencial apreciable. Se calculan en unas 165 las cuencas subterráneas del territorio cubano, de ellas 151 son cársicas.

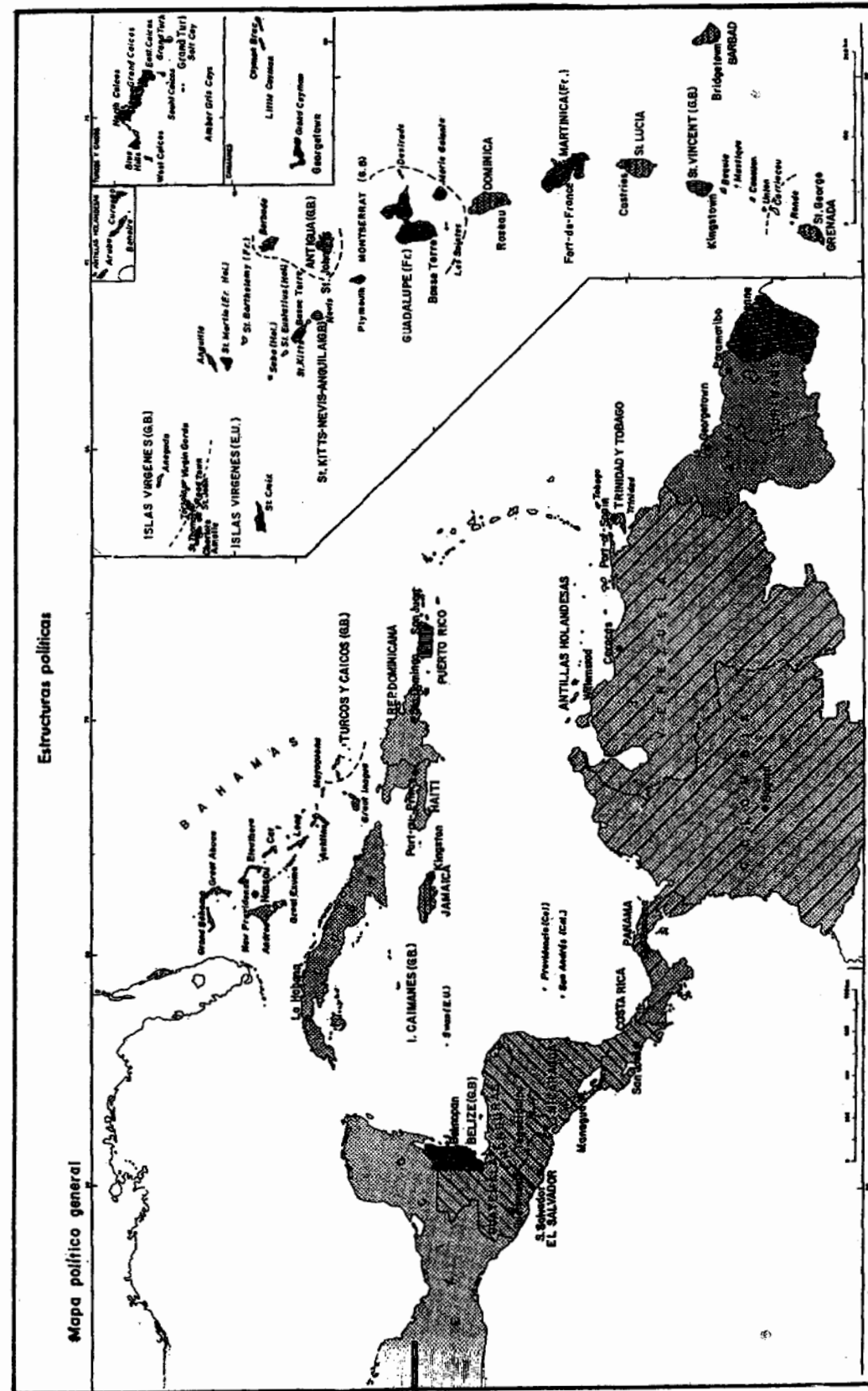


FIGURA 1. Mapa de la región Caribe-Antillana.

Las ciudades de La Habana –capital del Estado cubano–, Matanzas, Artemisa, Güines, Ciego de Ávila, Cárdenas, Colón y otras muchas, se abastecen de acuíferos cársicos, que también se utilizan para el riego de los mayores y más importantes planes agrícolas y agropecuarios del país.

Industrias de gran envergadura como las centrales termoeléctricas de Santa Cruz del Norte, Mariel, Matanzas, Nuevitas, Cienfuegos, la atomoeléctrica de Juraguá; fábricas de azúcar, cemento, de ron y otras muchas obras se han ubicado en zonas carsificadas y se abastecen de sus aguas.

Es frecuente en Cuba la presencia de yacimientos minerales relacionados de alguna manera con los procesos de formación del carso (y a los que dan origen el llamado pseudocarso) o de carácter secundario asociados a formas paleocársicas, en los que se destaca la ocurrencia de manganeso, fosforitas, bauxita, arcilla, quiropterita, e incluso oro.

La existencia de un paleokarst profundo (más de 5 000 m al norte de Pinar del Río, más de 3 000 m en el archipiélago Sabana-Camagüey) en la unidad de paleomargen continental y otras estructuras, ha influido en la presencia de hidrocarburos, cuya exploración y explotación se realiza con resultados exitosos.

El carso en las rocas cubanas presenta una gran agresividad y desarrollo. La forma cársica más común es el lapies, desnudo o cubierto, que puede alcanzar desde centímetros hasta varios metros. Dolinas, casimbas o cenotes, valles cársicos y otras depresiones son abundantes en todo el territorio nacional. Merecen especial atención los poljes, valles fluvio-cársicos de varios kilómetros de superficie y suelos fértiles con un comportamiento estacional característico, que constituyen importantes zonas para la producción agrícola y requieren atención para garantizar su funcionamiento hidrológico normal.

Muchos cañones fluvio-cársicos están parcial o totalmente suspendidos o funcionan superficial y subterráneamente, según la estación del año. Abras o desfiladeros de génesis exclusivamente cársica han sufrido pro-

cesos similares. Sumideros, ponores, simas, abismos y torcas son frecuentes también.

Resultan, en particular interesantes los «mogotes», elevaciones de laderas verticales o subverticales y cimas de perfil redondeado, pero generalmente ocupadas por depresiones de diferentes dimensiones.

Principales regiones cársicas cubanas

Península de Guanahacabibes. Extremo occidental de Cuba, zona protegida con carso llano, lapies y cavernas.

Cordillera de Guaniguanico. Aquí se encuentran las rocas, fechadas con fósiles, más antiguas de Cuba, pertenecientes al Jurásico inferior-medio. En este lugar se distinguen varias unidades de caliza del Jurásico superior y Cretácico inferior, no porosas y muy fracturadas, con una tectónica alpino típica compleja, modificada por eventos neotectónicos sobreimpuestos, donde se han desarrollado los mayores sistemas de cavernas de Cuba: Sistema Cavernario de Palmarito-Pan de Azúcar, con cerca de 50 km de extensión; Gran Caverna de Santo Tomás, con 47 km; Sistema Cavernario Majaguas-Cañtera, con un desarrollo superior a 33 km; y Gran Caverna Fuentes, con 23 km.

En Guaniguanico se encuentran los conocidos mogotes, típicos del carso tropical, con paredes escarpadas y cimas redondas o como torres, que se pueden presentar aislados o formando cadenas, según las características de los nappes escamados de los que formaban parte.

Llanura meridional de Pinar del Río. Carso cubierto por aluviones de los ríos de la vertiente sur de Guaniguanico.

Llanura meridional Habana-Matanzas. Carso cubierto y desnudo, tierras rojas que son las de mayor producción agrícola.

Ciénaga de Zapata. Es el mayor humedal de Cuba, carso cubierto por pantanos, casimbas o cenotes y cuevas sumergidas.

Llanura costera septentrional de La Habana-Matanzas. Carso litoral, formas superficiales y subterráneas. Restos indios.



FIGURA 2. Ensenada de Bordayo, sierra de San Carlos (en sierra de los Órganos, provincia de Pinar del Río, Cuba (tomado de Acevedo y Gutiérrez, 1974).



FIGURA 3. Ensenada de la Majagua, sierra de los Órganos. Vista desde las alturas de Pizarras, hacia el norte, provincia de Pinar del Río (tomado de Acevedo y Gutiérrez, 1974).



FIGURA 4. Peñón del Fraile, cerro testigo sobre una terraza marina emergida, en el litoral norte de La Habana-Matanzas (tomado de Iturralde y Gutiérrez, 1994).

Alturas Habana-Matanzas. Se incluyen dos antiguas regiones geográficas: las alturas Habana-Matanzas, que parten de las lomas de Tapaste, se orientan hacia el E hasta Picadura-Valle Elena y culminan en el Pan de Matanzas y el Palenque; y el grupo de alturas Bejucal-

Madruga-Coliseo, ubicado más al sur, se orienta hacia el ENE, y pasa por la sierra del Grillo, en Madruga, hasta las lomas de Coliseo, en Matanzas.

Macizo de Guamuhaya. Constituye el mayor grupo orográfico del centro de la isla de Cuba, donde ocupa

territorios de las provincias de Villa Clara, Cienfuegos y Sancti Spíritus. Verdaderos poljes como el de Jibacoa, reciben aportes de aguas superficiales y subterráneas, para drenar finalmente a través de una caverna, hasta ahora impenetrable, y resurgir con otros nombres en valles circundantes. Guamuhaya alberga, también, a la cueva de Martín Inferno, espelunca de regular dimensión, pero famosa por presentar una estalagmita de 67 m de altura y unos 30 m de diámetro, sin duda una de las mayores del mundo.

Lapies de varios tipos y formas, dolinas, cañones fluvio-cársicos, abras cársicas y otras formas abundan en este macizo de gran complejidad geológica e importancia por sus regiones naturales.

Alturas del norte de Las Villas-Ciego de Ávila. En algunas de las numerosas casimbas que se encuentran en la zona de Boguerones, se recolectaron los primeros restos del perezoso terrestre *Megalocnus rodens* que se exhiben en el Museo Nacional de Historia Natural de La Habana, y el Museo de Historia Natural en la Smithsonian Institution en los EUA.

Carso en Yeso. Cavernas, casimbas y lapies en la zona de Punta Alegre y Cunagua, en el N de Ciego de Ávila.

Llanura de Júcaro-Morón. El acuífero cársico abastece de agua a la ciudad de Ciego de Ávila y otros poblados cercanos.

Llanura meridional de Camagüey. Carso cubierto en parte por pantanos y cenagales.

Sierra de Cubitas. Sucesivos procesos de elevación generaron la interrupción del funcionamiento hídrico de cañones fluviales que en la actualidad constituyen abras -los famosos «pasos»-, que permiten la comunicación entre ambas vertientes de la sierra, como el Paso de los Paredones, impresionante desfiladero de cerca de 100 m de altura en algunos sitios.

Junto a las sierras del Chorrillo y de Najasa, relevantes áreas cársicas con gran número de cavernas y otras formas cársicas, la sierra de Cubitas constituye el más importante exponente del carso en la provincia de Camagüey.

Meseta de Cabo Cruz. De muy difícil acceso y perfil escalonado con numerosas terrazas marinas.

Región Guisa-Los Negros. Carso de montaña, con profundas furnias o simas, poljes cultivados, lapies y dolinas.

Grupo de Maniabón. Geología compleja que genera carros de gran tipicidad por presentar calizas sobre vulcaritas.

Zona Puerto Padre-Gibara. Carso litoral y de llanura con numerosas cuevas sumergidas y agresivo lapies superficial. Meseta del Guaso.

Meseta de Maisí. Extremo oriental de la isla de Cuba, de clima árido y agresivo paisaje escalonado.

Sierra de Casas y de Caballos. En el borde norte de la Isla de la Juventud (Isla de Pinos) se encuentran estas serranías compuestas por mármoles del Mesozoico. Los mármoles muy fisurados presentan abras cársicas y cavernas verticales principalmente. Las formas superficiales tienen un desarrollo limitado, aunque se pueden hallar dolinas.

Llanura sur de la Isla de la Juventud. Llanura cársica litoral con lapies agresivo y cuevas con pictografías importantes.

Archipiélago Sabana-Camagüey. Más de 1 500 cayos e isletas lo forman, y tienen un basamento de calizas coralinas, calizas arenosas, calcarenitas, etcétera. En cayo Romano, cayo Sabinal, cayo Coyo, cayo Guillermo y otras islas, se ha desarrollado un carso muy joven y vigoroso, con abundancia de lapies, dolinas de disolución y cavernas, con signos de una abundante población aborigen.

La Española

La Española es la segunda isla en extensión de las Antillas Mayores. Ocupa un área de 77 253 km² con una longitud de 655 km y una anchura máxima de 260 km. Está compuesta por la República de Haití al oeste y la República Dominicana al este. El Paso de los Vientos la separa de la isla de Cuba y el canal Paso de la Mona, de la de Puerto Rico. Su núcleo geológico está constituido, en lo fundamental, por rocas alteradas del Jurásico y Cretácico, las cuales forman la Cordillera Central de Santo Domingo y el macizo septentrional de Haití (Judoley y Furrázola, 1971).

República Dominicana

Este es un territorio donde abundan las rocas carbonatadas con numerosas formas y asombrosos paisajes cársicos que no han sido estudiados como los de Cuba y Jamaica, pero que poseen gran importancia económica y científica, donde además se encuentran ecosistemas de gran riqueza.

Las principales zonas cársicas son (Palmer, 1985):

La sierra de Bahoruco, cordillera de clara orientación longitudinal que está compuesta por calizas del Eoceno y Oligoceno. En esta zona se hallan numerosas formas cársicas como dolinas, valles cársicos paralelos, siguiendo la tectónica del área, sumideros y cavernas, la mayoría inexploradas. Al norte de esta meseta se encuentra la depresión de Enriquillo, que está 44 m por debajo del nivel medio del mar.

La sierra de Neiba, con elevaciones de hasta 2 249 m y bosques subtropicales con abundantes maderas preciosas, resulta un lugar donde se conservan numerosas especies endémicas en un medio ambiente de gran agresividad. Aquí también abundan las formas cársicas superficiales y subterráneas de todo tipo.

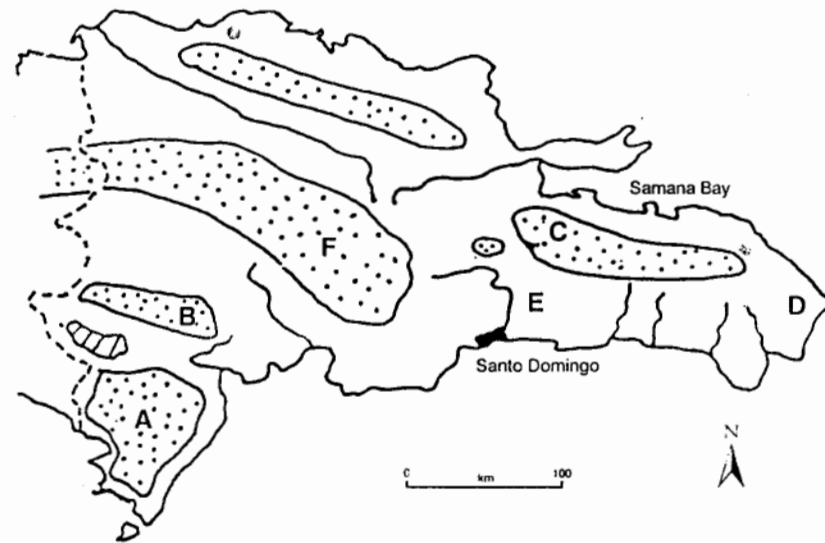


FIGURA 5. Zonas cársicas de la República Dominicana.

A. Bahoruco; B. Neiba; C. Cevicos; D. Higüey; E. Llanura de Santo Domingo; F. Cordillera Central. (Modificado de Palmer, 1985.)

El área de **Cevicos** está localizada al sur de la bahía de Samaná, en el extremo noreste de la Isla y constituye un ejemplo típico de carso tropical, con carso cónico, grandes sumideros y un drenaje superficial casi inexistente. Al parecer las aguas que se infiltran en el subsuelo cársico drenan hacia la bahía, emergiendo allí a través de cuevas, que presentan también una marcada influencia marina.

En esta región se halla el parque nacional Los Haitises, área de extraordinaria belleza y exuberante desarrollo del carso tropical, con una vegetación de bosque húmedo siempre-verde, en las depresiones, y semicaducifolio en los mogotes que allí pueden encontrarse, donde abundan endémicos de flora y fauna.

La **zona Higüey** es una llanura costera formada por calizas coralinas, situada en el extremo E de la Isla,

donde se conocen, como dato curioso, cuevas sumergidas con restos arqueológicos aborígenes.

La **llanura costera de Santo Domingo**, es una llanura de 80 km de desarrollo al pie de la Cordillera Central de Santo Domingo, que emergió en época muy reciente y muestra cauces fluviales encajados por el rápido proceso de ascenso que la elevó y que se observan todavía en la plataforma submarina. En ella existen cenotes o casimbas como en las penínsulas de Zapata y Guanahacabibes, en Cuba, y Yucatán, en México.

La **Cordillera Central** que ocupa, de forma sublatitudinal, el centro-este del país, aunque está compuesta principalmente por rocas volcánicas y volcánico-sedimentarias; presenta también alternancia de calizas y otras rocas carbonatadas, donde existen numerosas cavernas, dolinas, lapies, etcétera. Aquí se encuentra la mayor elevación de las Antillas, el Pico Duarte, con 3 175 m.



FIGURA 6. Cayos en la zona litoral de Los Haitises, bahía de Samaná, República Dominicana (tomado de Cámara y otros, 1995).

Haití

La costa occidental haitiana es muy similar al extremo oriental de la isla de Cuba, en cuanto a escasez de precipitaciones, constitución geológica y relieve.

En Haití se encuentra el macizo de la Hotte, donde hay numerosas formas cársicas desarrolladas en un cerro donde existe una clara inversión del relieve.

Las elevaciones de Morne de la Selle (2 200 m), la llanura de Cul-de-Sac y las Montagnes Noires, son otras mesoformas del relieve donde la carsificación ha sido el proceso predominante. En las últimas se encuentran al-

turas mogóticas denominadas *momes*, como las de Bazile y Chaplete.

El Massif du Nord es una continuación estructural y orográfica de la Cordillera Central.

Jamaica

Situada al sur del archipiélago cubano, con una longitud (medida en sentido latitudinal) de 235 km, un ancho máximo de 80 km y una superficie de 11 424 km², este territorio presenta un área cársica de 7 500 km², bien estudiada, a causa de las riquezas que presenta.

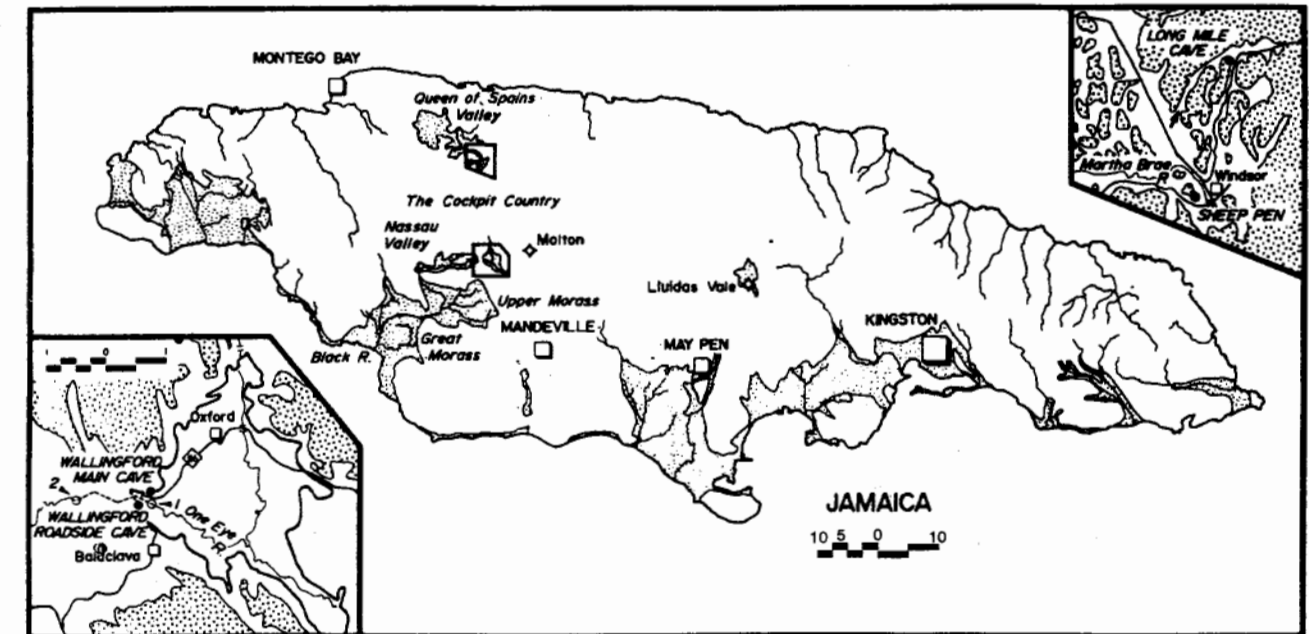


FIGURA 7. Mapa de Jamaica, el cual muestra algunas áreas de rocas carbonatadas del Cuaternario (zonas punteadas) y cuevas donde ha sido hallada fauna de vertebrados. Al centro-oeste de la Isla se encuentra de Cockpit Country, zona cársica de mayor importancia (tomado de MacPhee, 1984).

La más famosa de las zonas cársicas del país es el Cockpit Country, que está ubicada en la zona centro-norte de la Isla. En esta se encuentran cerros cársicos, desarrollados en la formación White Limestone, del Eoceno, similares a los mogotes cubanos, dominicanos y puertorriqueños, aunque de menor altura. En los valles cársicos y otras depresiones tipo *bogaz* de esta región se han explorado y explotado yacimientos de bauxita de gran importancia para el país.

Otras áreas cársicas son famosas también por su interés paleontológico, pues en cuevas como Wallingford Roadside Cave, Wallingford Main Cave y Long Mile Cave, han sido hallados abundantes restos de vertebrados terrestres.

Puerto Rico

Es la más oriental de las Antillas Mayores. Tiene una superficie de 8 896 km² con una longitud de 180 km

y un ancho máximo de 65 km; aquí se pueden señalar tres zonas cársicas principales: Lares o San Sebastián, al NW; San Juan, al E de la anterior, donde está enclavada la capital; y la de Ponce, en el litoral sur.

En la primera de dichas zonas, además de las formas cársicas desarrolladas en las calizas de las formaciones Camuy, del Plioceno; Aymamón, Aguada y Lares, del Mioceno; y San Sebastián, del Oligoceno, los aspectos más interesantes están referidos a yacimientos fosilíferos donde fueron encontrados por primera vez, en las Antillas, restos de vertebrados terrestres en rocas del Neógeno. La segunda zona tiene características similares.

La tercera zona se destaca por la presencia del cauce subterráneo del río Camuy, que constituye un sistema de galerías de gran belleza y descomunal tamaño (cueva del río Camuy), el cual es uno de los mayores de Puerto Rico y uno de los más hermosos de toda la región.



FIGURA 8. Torre de caliza, cerro cársico o mogote en Jamaica (tomado de Trudgill, 1985).

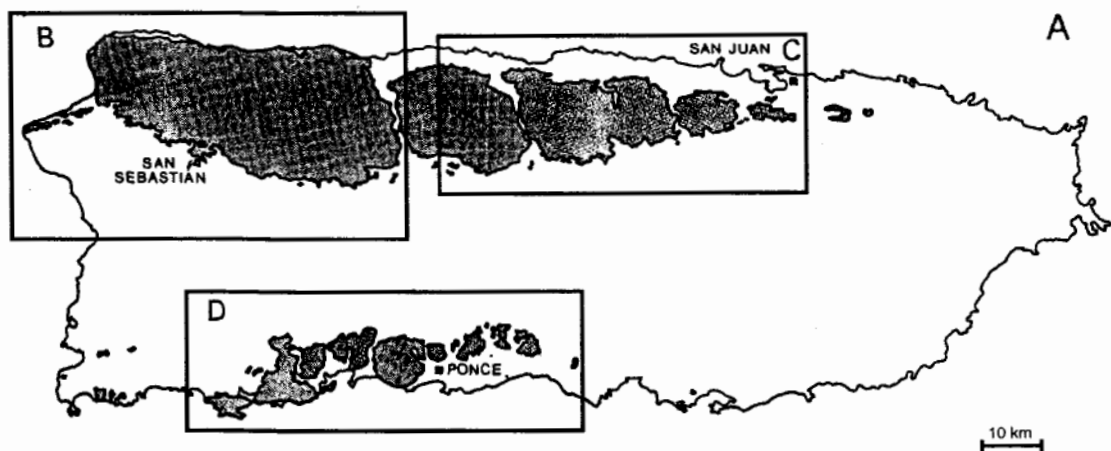


FIGURA 9. Zonas cársicas principales de Puerto Rico (tomado de MacPhee y Wyss, 1990).

Antillas Menores

Las Antillas Menores son un grupo de islas de pequeña superficie, que se extiende desde el este de Puerto Rico, formando un arco, hasta el norte del continente sudamericano, a la altura de Venezuela.

Por su constitución geológica estas islas pueden dividirse en Antillas volcánicas: Saba, San Eustaquio, San Cristóbal (St. Kitts), Neves, Monserrat, Guadalupe, Dominica, Martinica, Santa Lucía, San Vicente, las Granadinas (que pertenecen a San Vicente) y Granada; y las Antillas calcáreas: Sombrero, Anguila, San Martín, San Bartolomé, Barbuda, Antigua, Tierra Baja, Deseada, María Galante y Barbados.

En las Antillas volcánicas son escasos o inexistentes los reportes de carso, salvo los efectuados para

lapies atípico en andesitas y basaltos, y lapies costero, en la isla de Granada (Gutiérrez, 1980).

Las Antillas calcáreas, a pesar de su pequeña superficie, pueden presentar importantes formas cársicas superficiales y subterráneas, como los valles secos de Barbados y las llanuras costeras y lapies, dolinas y otras formas de las otras. Un caso excepcional resulta el de las pequeñas islas de Anguila (78 km²) y San Martín (92 km²), constituidas por una sola formación geológica consistente en calizas del Mioceno. En una cueva excavada en esas calizas se encontraron restos del mayor roedor que haya existido jamás en el mundo (*Amblyrhiza inundata*), con la talla de un venado de Virginia o de un oso negro pequeño (McFarlane y MacPhee, 1989), cuya presencia en un área tan limitada y de tan escasos recursos naturales resulta de difícil interpretación.

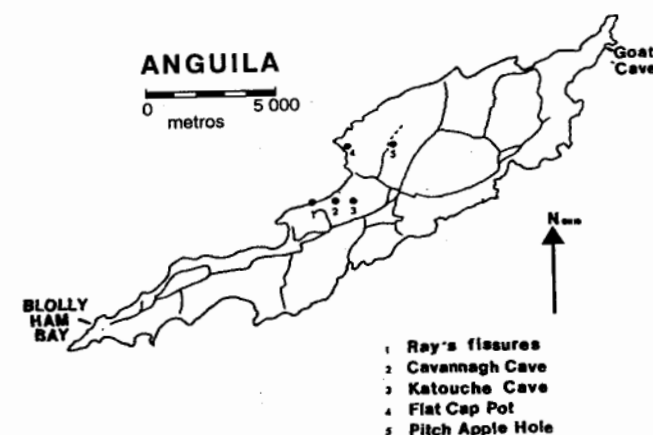


FIGURA 10. Cuevas principales y localidades con restos de *Amblyrhiza*, en Anguila, Antillas Menores (tomado de McFarlane y MacPhee, 1989).

Bahamas

El archipiélago de las Bahamas es otra zona de amplia presencia del carso en la región, desde la plataforma submarina, donde se han desarrollado los famosos *blue holes* como verdaderas simas de profundidad promedio - 70 m, hasta las pequeñas islas que componen el conjunto, de reducida superficie y abundancia de rocas carbonatadas. La isla Andros posee uno de los más importantes *blue holes* de la región y del mundo.

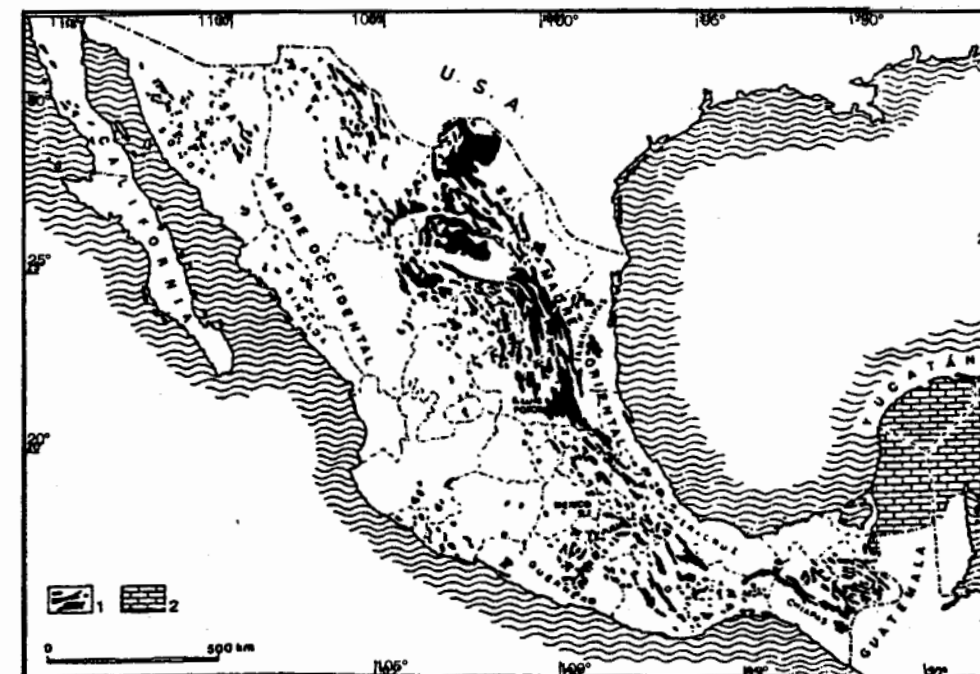


FIGURA 11. Distribución del carso en México. 1. Carso alto o de mesetas altas (karst orogénico); 2. Carso plataforma (karst epirogénico) (tomado de Palacios-Vargas, 1990).

Aquí las cuevas se desarrollaron probablemente por disolución química, producida en el contacto agua dulce-agua salobre-de mar y su morfología no tiene control litológico, estratigráfico o estructural. Esto sugiere un proceso único para las cuevas de las Bahamas y las islas carbonatadas de geología similar en este archipiélago.

Bermudas

Aquí el carso se desarrolla como en las islas carbonatadas similares en dunas eolianíticas y calizas del Pleistoceno y Holoceno. Se destaca la presencia de cuevas inundadas, *blue holes*, y depresiones cársicas como Mangrove Lake, Trott Ponds, Washington Mangrove Lake y otras.

En superficie se encuentran distintos tipos de lapies rellenos con terra rossa, que constituyen áreas de producción agrícola, pero la mayor importancia de las depresiones está en albergar acuatorios susceptibles de ser empleados para el consumo humano.

ÁREA CONTINENTAL

México

Este país que cierra por el oeste la región Caribe-Antillana, tiene una superficie total de 1, 958 201 km². De este territorio el 20 %, es decir, 392 000 km² contiene diferentes tipos de carso, entre estos más de 1 200 cuevas registradas (Palacios, 1990), cifra que constituye seguramente un por ciento ínfimo de lo que en realidad existe.

Las áreas cársicas mejor conocidas en México son: sierra de Guatemala, en Tamaulipas; sierra del Abra, en San Luis Potosí y Tamaulipas; Sierra Madre Oriental (en parte) en Querétaro; y zonas de los estados de Puebla, Jalisco, Chiapas, Guerrero, Oaxaca y una de las regiones más importantes, la península de Yucatán.

Las cavernas más importantes de México son: Sistema Purificación, en Tamaulipas, con 72,309 km, que es al mismo tiempo el mayor sistema cavernario de América Latina; Sistema Huautla, en el estado de Oaxaca, con 52,110 km de extensión y un desnivel de 1 553 m —el más profundo de toda la América—; el Sistema Cuetzalan, del estado de Puebla, con 22 432 m de longitud.

Yucatán tiene una superficie completamente carsificada, muy similar a las penínsulas de Zapata y de Guanahacabibes, en Cuba. Aquí, en calizas, principalmente del Neógeno, se han desarrollado un número extraordinario de formas cársticas, como campos de lapies, dolinas, cavernas, cenotes (llamados casimbas en Cuba) y otras. El territorio yucateco carece de corrientes fluviales, grandes lagos y otros recursos; sin embargo, albergó a la cultura maya, una de las principales civilizaciones americanas, que legó a las generaciones contemporáneas las ruinas de majestuosas ciudades y templos, centros de deportes y recreación, y las enigmáticas pirámides.

La población maya creció dando el máximo de atención a las formas cársticas, desarrolló su agricultura en dolinas y otras cavidades cársticas, alrededor de las cuevas con afloramientos del manto freático; se abasteció de cenotes y dejó sus ofrendas en muchas de las cavernas, que ahora constituyen sitios arqueológicos de gran importancia.

Guatemala

La parte septentrional del territorio de esta república centroamericana ocupa el sector meridional de la mencionada península de Yucatán, y forma una amplia planicie, conocida como cuenca del Petén. En esta zona las formas cársticas son similares a las de toda la península.

Aunque como la generalidad de Centroamérica, esta es una zona donde predomina el vulcanismo, aquí se desarrollan grandes sistemas cavernarios (como el Sistema de la Candelaria), dolinas, valles cársticos, etcétera. Los Altos Chuchumatanes, entre Huehuetenango y San Juan de Ixcay, desarrollados en calizas cretácicas y jurásicas, y elevados hasta 3 800 m sobre el nivel del mar, son un ejemplo de carso tropical ampliamente desarrollado.

En Guatemala, como en otras áreas de Centroamérica, también se asentó la cultura maya, que legó grandes ciudades perdidas, actualmente, en la lujuriosa vegetación tropical, templos y pirámides.

Belice

Belice está situada en el sudeste de la península de Yucatán y presenta un notable incremento del carso, desarrollado en calizas y dolomitas del Cretácico, el cual se caracteriza por la presencia de dolinas, denominadas localmente *sachbes*, y colinas residuales con aspectos mogotoides. Estas zonas cársticas del país se presentan predominantemente al norte, sur y oeste de las Monta-

ñas Mayas. En los alrededores hay localidades donde los cerros se asientan sobre bases graníticas.

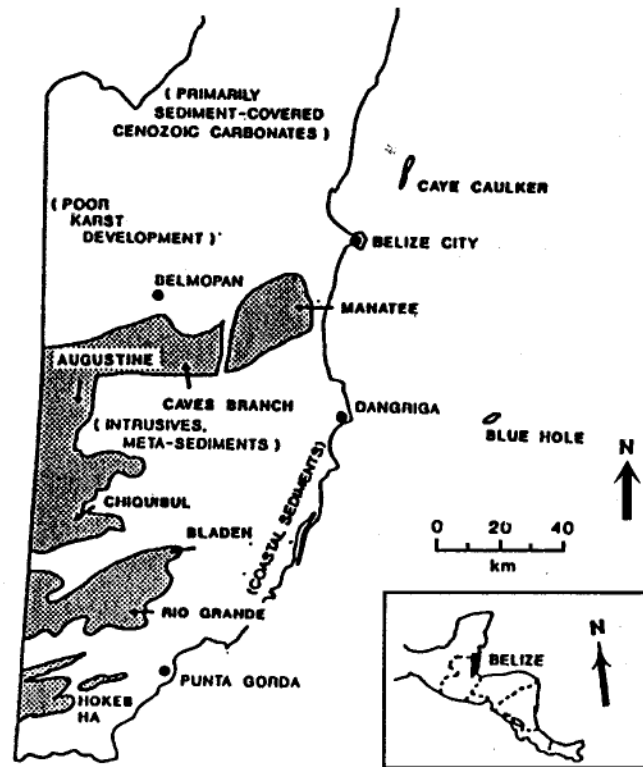


FIGURA 12. Distribución del carso en Belice. Las mayores zonas cársticas están desarrolladas en calizas cretácicas (tomado de Day, 1983).

Esta región recibe precipitaciones en el orden de los 4 000 mm/a y está cubierta por una densa selva tropical, todo lo cual favorece el desarrollo del carso.

Las áreas de *sachbes* son drenadas por numerosas cuevas que terminan, generalmente, en simas que tienen profundidades entre 30 y 150 m. Algunas conectan con cuevas horizontales de génesis freática que no habían tenido una conexión superficial. Otras cuevas son enormes cámaras aisladas, de evidente origen freático. Las cuevas mayores son el Sistema Cavernario de Chiquibul (que ocupa territorios de Belice y Guatemala) de 18 000 m en cueva Cebada; 12 200 m en Actun Tun Kul y 12 000 en el Grupo Kabal.

En el territorio beliceño se hallan cenotes cuyos fondos se encuentran hasta 120 m por debajo del nivel medio del mar.

Venezuela

En este estado sudamericano existen varias regiones carsificadas, muchas de las cuales no están aún completamente reconocidas por causa de las difíciles condiciones de acceso, que en un país tan vasto y de complejos ambientes geográficos, puede resultar un serio invalidante. Estas regiones han sido divididas (Urbani, 1969; fide Gutiérrez, 1996) para su estudio en: Oriente, Centro, Occidente y Guayana.

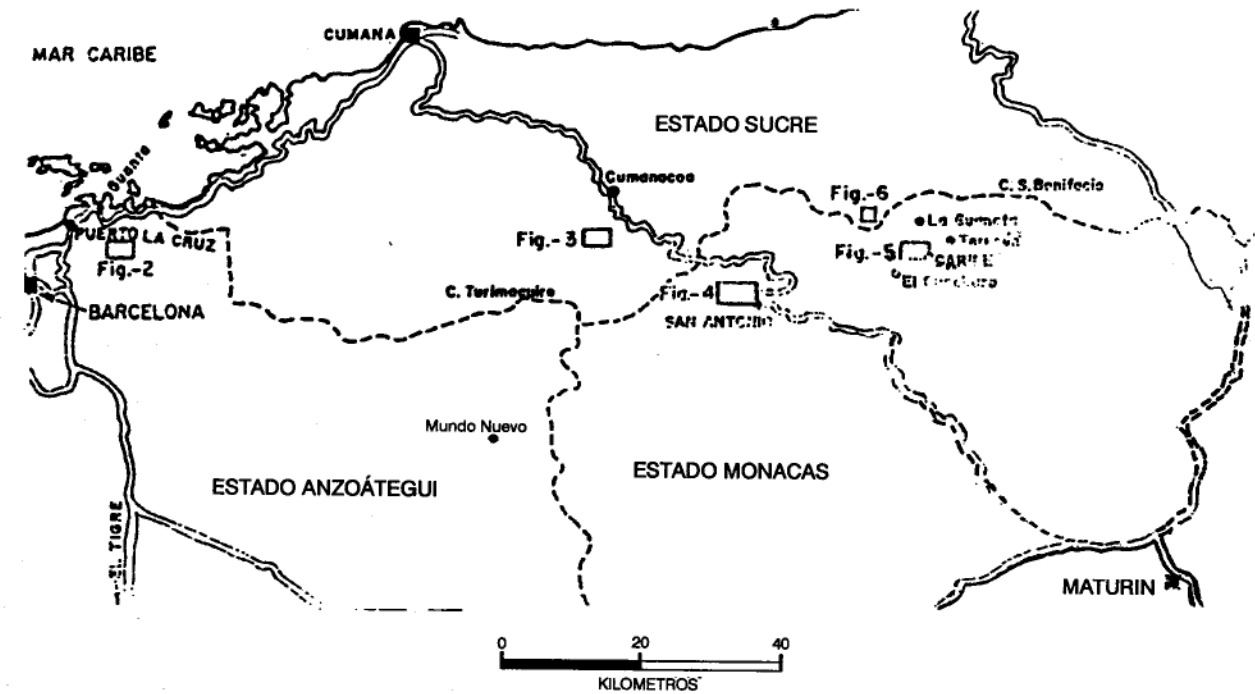


FIGURA 13. Carso de Venezuela. Serranía del interior (tomado de Urbani, 1971).

Oriente

En esta región se encuentran zonas como la Caraqueña, en el estado de Anzoátegui, donde además de lapiaces, hay simas de colapso, dolinas y cuevas como la del Agua y cueva Seca; Guasdua, en el estado de Sucre, donde se han localizado dolinas alargadas que captan las aguas del río Guasdua; Caripe, en el estado de Mónagas, que constituye una de las más conocidas de Venezuela por albergar la cueva del Guácharo, de más de 10 000 m de longitud, la mayor del país.

La utilización social y económica que ha tenido la cueva del Guácharo ha sido, y a pesar de los esfuerzos continúa siendo, la explotación del aceite que se obtiene de los pichones de esa ave, que es el ave nacional de Venezuela y que habita en grandes colonias en esa espelunca. También dicha cueva ha servido para realizar actos religiosos desde tiempos prehispánicos.

Nuevo Mundo, Turimiquire, Cocollar, Teresen, la península de Paria y la isla Margarita, en el mar Caribe, son otras de las zonas que comprende esta región. Las formas cársticas están mayormente desarrolladas en calizas de diferentes pisos del Cretácico, de las formaciones El Guácharo, El Cantil, Cariaquito y el grupo Los Robles; y de la formación Maceiro del Triásico-Jurásico?, también se han reportado cuevas en mármoles y esquistos calcáreos de la formación Carúpano.

Centro

Se corresponde con la cordillera de la Costa, en su parte central es muy abrupta, y alcanza altitudes de 2 765 m. Presenta condiciones climáticas muy variables, pues la temperatura media anual, por ejemplo, varía en-

tre 12 y 31 °C, y la precipitación entre 400 mm/a en la costa a 2 700 mm/a en el área de Guatopo, lo cual favorece la carsificación. Las formas cársticas están labradas en calizas, calizas dolomíticas y mármoles. La zona Salmerón-Capayo-Birongo presenta altas elevaciones en forma de morro, con un carso bien desarrollado. Aquí se halla la segunda cueva de Venezuela: cueva Alfredo Jahn (4 292 m) y otras, recorridas por ríos subterráneos permanentes.

Al sur de Caracas se encuentran varias cuevas de regulares dimensiones, como la cueva de Baruta, descubierta durante los trabajos en una cantera, cuyas paredes, piso y techo están cubiertos de cristales de calcita, dolomita y aragonito.

Los grandes bancos de caliza en la zona del Peñón de Lira se caracterizan por presentar cerros en forma de *morros* o peñones, similares a los mogotes de Cuba y Puerto Rico, cubiertos por una vegetación xerofítica, que contrasta con los bosques que los rodean.

En esta región se encuentran las formas cársticas más notables en la zona de San Juan de los Morros-San Sebastián-Pardillal, y en la de San Francisco de Macaira, que son los denominados *morros*, compuestos por calizas grises y densas, masivas, de edad Paleoceno y en la formación El Cantil y el miembro Morro del Faro, de la formación Guarico. Precisamente es la elevación de ese nombre de 1 036 m de altitud, con paredes de más de 300 m y una diferencia de nivel de unos 700 m sobre el valle del río San Juan, el ejemplo más típico del carso en esa región. También allí aflora una agrupación de *morros* de la formación El Cantil, que se presentan como bloques exóticos, descansando sobre lutitas del complejo Chacual.

Aunque los morros son similares a los mogotes de Cuba y Puerto Rico, su génesis es diferente, ya que los mismos son remanentes de masas aisladas de calizas arrecifales y no los restos de una etapa avanzada de

carsificación en una región eminentemente calcárea. En los morros son comunes las cuevas de desarrollo vertical, las simas de desplome y los lapiaces mayores de Venezuela.

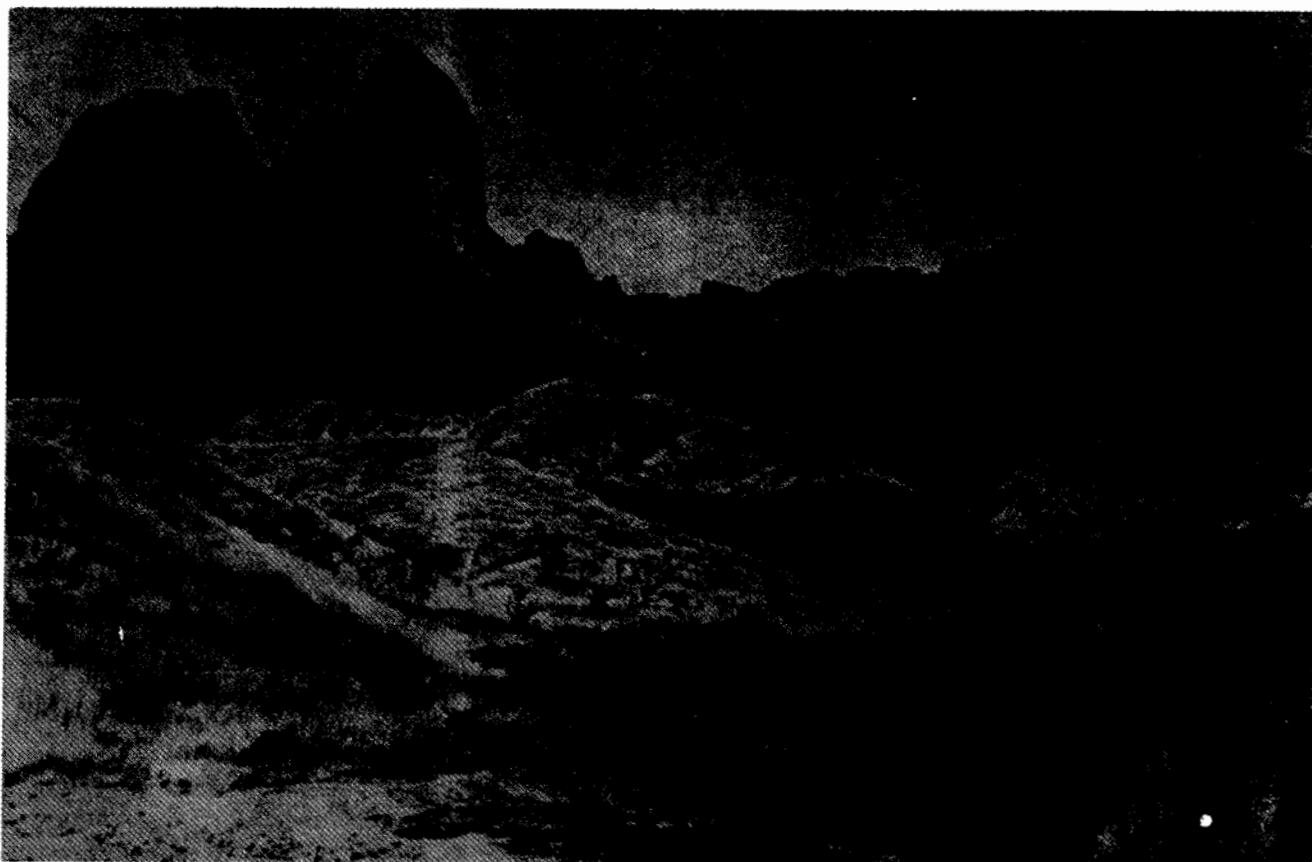


FIGURA 14. Panorama de los morros de San Juan, zona premontina de la parte central de la cordillera de la Costa, estado de Anzoátegui, Venezuela (tomado de Urbani, 1971).

Occidente

En el interior de los estados de Falcón y Lara se han reportado grandes dolinas, poljes y cuevas en masas de calizas arrecifales oligocénicas y se han encontrado en ellas grandes cauces subterráneos. Hacia los bordes de las calizas hay muchas fuentes de aguas cársicas, como la de Siburúa, que se aprovecha en un acueducto.

En las sierras de San Luis y Churuguara se localizan las zonas más típicamente cársicas del país, en las cuales los poljes alcanzan grandes dimensiones, como el de Curimagua, de unos 4,5 km². Estos poljes, al igual que los de Cuba y de la meseta del Karst, constituyen importantes zonas de cultivo.

Aunque se ha estudiado poco la zona de Los Andes, se conoce que en rocas de edades tan tempranas como Precámbrico hasta Terciarias se han descubierto formas cársicas e incluso cuevas.

Alejada de los centros poblados, con un acceso sumamente difícil, la zona de Perijá, limítrofe con Colombia, contiene lugares como Mesa Turik, en su territorio central, que es una meseta de 120 km² limitada por

escarpes verticales y cubierta por una exuberante selva nublada de montaña, donde habitan especies animales y vegetales únicos. Su topografía se encuentra accidentada por barrancos encajonados, depresiones cársicas de tamaño kilométrico y un gran cañón central con numerosas dolinas y lapiaces. Aquí se conocen cerca de 10 cavernas horizontales de hasta 2 km de extensión.

Guayana (Guayana Venezolana)

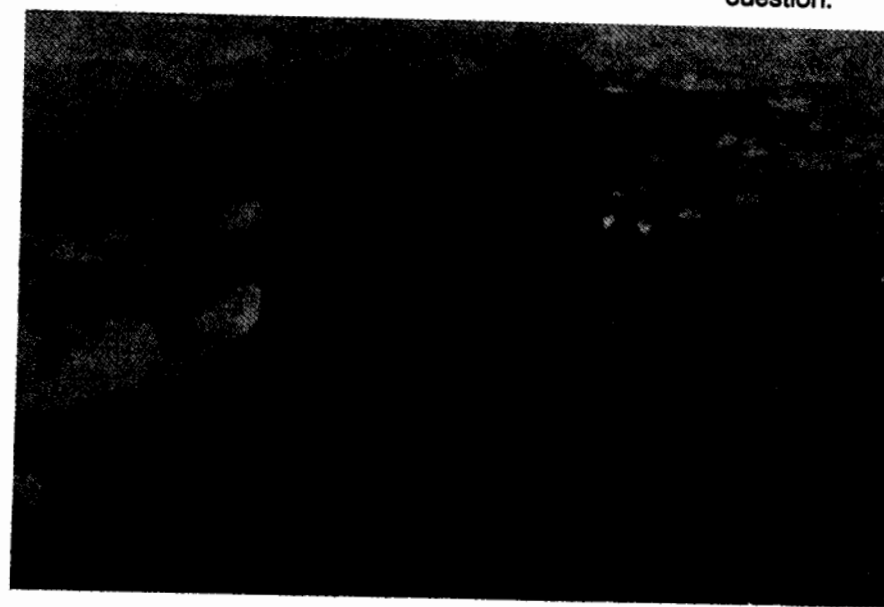
Esta región se halla en el territorio federal Amazonas, en el estado de Bolívar, al sur del país. Dentro de las areniscas cuarzosas, ortocuarcitas y conglomerados cuarzosos de la formación Roraima, de edad Precámbrico inferior, se encuentran una serie de formas cársicas muy parecidas a las de las zonas calcáreas (Szczerban y Urbani, 1974; fide Gutiérrez, 1996).

La palabra *tepui* es el nombre local para las mesetas que sustentan las areniscas precámbricas de esta formación. Algunos de esos tepuis son notables como el cerro Autana, de 2 250 m de altitud y paredes verticales de unos 800 m. Aquí se encuentra una cueva de sección casi circular con diámetro de hasta 20 m y una

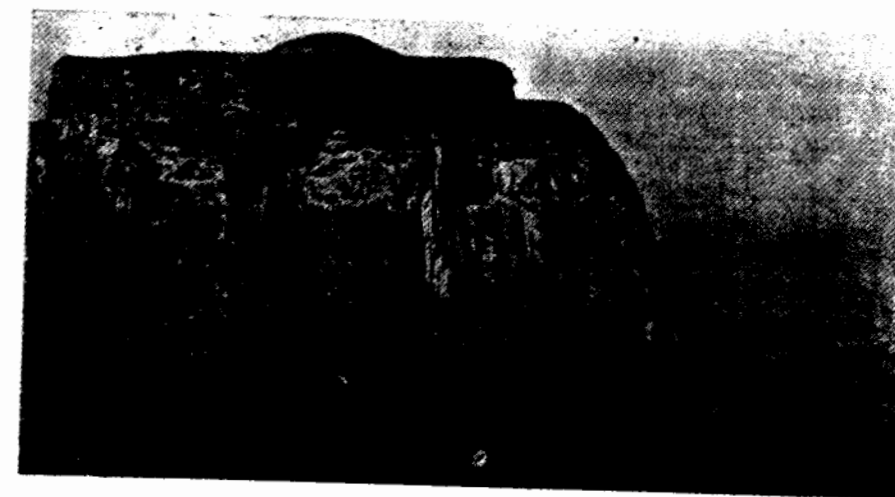
longitud explorada de 395 m con varias bocas que se abren a un mismo nivel, 150 m por debajo de la cima.

Sarisariñami es un tepui ubicado en la zona del alto Caura, unos 1 500 m sobre la sabana circundante. Tiene una superficie de unos 700 km² y junto a la meseta de Jaua y Guanacoco fue reconocido por vez primera gracias al desarrollo de la aviación en 1970. En Sarisariñami se encuentran tres simas, prácticamente en línea

recta, la mayor de las cuales tiene una boca de 400 m de diámetro, la sima menor tiene 150 m de diámetro. Este cerro alberga también grandes dolinas y valles cársicos alargados, a los cuales fluyen las aguas de ríos. En muchas ocasiones las aguas brotan en medio de los acantilados, con caudales, por lo general, pequeños e intermitentes, pero que pueden ser verdaderas cataratas, como la que sale de la pared norte de este cerro en cuestión.



a)



b)

FIGURA 15. a) Vista del cerro Autana, desde el oeste. El norte tiene un desnivel de aproximadamente 850 m. b) Vista desde el este. Las flechas señalan las bocas de la cueva que se localizan 150 m por debajo de la cima (tomado de Szczerban y Urbani, 1974).

En otros tepuis, asimismo, se observa este fenómeno, como en el cerro Auyantepui, de donde brota el río Churún, así como otras corrientes que forman saltos de agua en las paredes acantiladas.

Otras formas cársicas son la cueva del Tigre, cerca de Santa Elena de Uatrén; dolinas en el tepui Guaiquina, depresiones y otros fenómenos parcial o totalmente ocultos por la selva de esos lugares.

Carso en otros países de la región

Aunque no han sido estudiados como en los lugares enumerados anteriormente, los paisajes cársicos también pueden observarse en otros países de la región como Colombia, Panamá y en menor grado Costa Rica (cerca de la frontera con Panamá), Ecuador y Guyana.

En Colombia la región cársica es una extensión geológica y geográfica de la sierra de Perijá. El carso se

desarrolla sobre rocas del grupo Cogollo, de edad Cretácico inferior, compuesto por las formaciones Apón y Maraca, que son calizas, y Lisare, constituida por areniscas. Esta última actúa como impermeable intercalado entre las calcáreas. Estructuralmente la sierra de Perijá se encuentra en un bloque de corteza continental denominado Santa Martha-Perijá, afectado por una tectónica compresiva que ha provocado cabalgamientos relacionados con la convergencia de las placas Caribe y Sudamérica (García Maiztegui, 1991; fide Gutiérrez, 1996).

La formación Roraima, del Precámbrico, se extiende desde Venezuela, como ya se señalara, hasta Guyana. En este último país se hallan también formas cársicas similares a las descritas para la Guayana Venezolana.

Uno de los mejores ejemplos (Szczerban y Urbani, 1974; fide Gutiérrez, 1996) es la presencia de una sima semejante a las de Sarisariñami, con unos 100 m de diámetro por 150 m de profundidad en los montes Karanag, cerca del río Mazarun.

BIBLIOGRAFÍA

ACEVEDO, M.; R. GUTIÉRREZ; F. RIVERO and J. LAMADRID: «The relief inversion as a geomorphological factor in the American Mediterranean», *XXIII International Geographic Congress*, Section I, pp. 125-126, Moscow, 1976.

ACEVEDO GONZÁLEZ, M. y R. GUTIÉRREZ DOMECH: «Nuevos reportes sobre manifestaciones pseudocársicas en rocas no carbonatadas», revista *Voluntad Hidráulica*, 1978.

DUCLOZ, C.: *Étude géomorphologique de la région Habana-Matanzas*. Cuba, pp. 351-402, Archives de sciences, Soc. de physique et d'histoire nat. de Genève, 1963.

FURRAZOLA-BERMÚDEZ, G.; C. JUDOLEY et al.: *Geología de Cuba*, 239 pp., La Habana, 1964.

GUTIÉRREZ DOMECH, R. y F. RIVERO REYES: «Observaciones sobre el curso en la zona de Cayajabos, Madruga, La Habana», revista *Voluntad Hidráulica*, 12(35): 44-52, 1975.

—: «Estudio geológico geomorfológico de la zona de Cayajabos, Madruga, La Habana», Serie Geográfica, 12: 1-34, Academia de Ciencias, 1975.

GUTIÉRREZ DOMECH, R. y M. ITURRALDE-VINENT: «Condiciones geológicas de formación del carso en Cuba», *Congreso Internacional L Aniversario de la Sociedad Espeleológica de Cuba*, La Habana, 1990.

JENNINGS, J. N.: *Karst*, MIT Press, London, 1971.

LLOPIS LLADÓ, NOEL: *Fundamentos de hidrogeología cársica*, Editorial Blume, Madrid, 1970.

NÚÑEZ JIMÉNEZ, A.; V. PANOS y O. STECL: *Carso en Cuba*, Serie Espeleológica y Carsológica No. 2, 47 pp., Academia de Ciencias, La Habana, 1968.

TRUDGILL, STEPHEN: *Limestone Geomorphology*, Longman Group limited New York, 1985.

LABORATORIO DE PALEOMAGNETISMO Y MAGNETISMO DE LAS ROCAS DEL INSTITUTO DE GEOFÍSICA Y ASTRONOMÍA DE CUBA

El Laboratorio de Paleomagnetismo y Magnetismo de las Rocas de Cuba ha servido de soporte a la solución de problemas de geodinámica, estratigrafía, geocronología y paleografía en Cuba y otros países de las Grandes Antillas.

El Laboratorio está dividido en tres módulos en los cuales se realizan las siguientes determinaciones:

1. Preparaciones de las muestras.
2. Obtención de los valores de la intensidad y dirección de la magnetización remanente natural de las rocas.

3. Determinación de la magnetización inducida de rocas mediana y altamente magnéticas.
 4. Determinación de la magnetización remanente de rocas débilmente magnéticas.
 5. Determinación de la susceptibilidad magnética y su anisotropía.
 6. Procesamiento de la información.
- Para la ejecución de los trabajos se cuenta con una tecnología de punta que incluye equipos suministrados por firmas líderes en la construcción de este tipo de instrumentación a nivel mundial, lo que le aporta al Laboratorio un voto de alta sensibilidad y precisión en sus mediciones.

Para mayor información o solicitud de servicios puede contactar con nosotros en:
Laboratorio de Paleomagnetismo y Magnetismo de las Rocas
Instituto de Geofísica y Astronomía
Calle 212 No. 2906, e/ 29 y 31, La Coronela, Lisa, Ciudad de La Habana, Cuba.
Teléfono: 21-4331, 21-3105 o 21-0644 ext. 39
Telefax: (537) 33 9497. Email: iga@cidet. icmf. Inf.cu

Peligrosidad sísmica y desarrollo socioeconómico de la región de las Antillas Mayores

Tomás J. Chuy Rodríguez* *Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas.

DESARROLLO

Dentro de la región del Caribe, la sismicidad de Cuba presenta una particularidad interesante, la cual hace al mismo tiempo que su estudio sea para algunas zonas de carácter complejo. Esta consiste en el hecho de que las manifestaciones de los sismos en el archipiélago cubano, se rigen por dos formas de génesis: de entre placas y de interior de placa.

Esto significa que en el área de Cuba no existe el mismo nivel de potencialidad sísmica en todas sus partes: se destaca en la primera, la región suroriental por la frecuencia con que ocurren en ella terremotos y los valores altos de magnitud e intensidad alcanzados históricamente. Esta región, considerada la de mayor peligrosidad sísmica del país, se corresponde con la estructura de Bartlett-Caimán y en ella se han reportado hasta la fecha 22 terremotos con intensidad igual o mayor que VII en la escala MSK (Chuy y otros, 1992), de ellos 20 en el sector Chivirico-Baconao, en zonas cercanas a la ciudad de Santiago de Cuba.

Es de interés significar que de estos sismos fuertes, dos de ellos produjeron intensidad IX (MSK) en áreas de la provincia de este mismo nombre en 1766 (magnitud $M = 7,6$) y 1852 ($M = 7,3$); de ambos se reportaron considerables daños en toda la región oriental de Cuba. Sin embargo, la sismicidad de interior de placa que también se manifiesta en las zonas sismogénicas de baja actividad, distribuidas en el territorio cubano, es también de considerar (ver Figura 1 y Tabla 1). A pesar de presentar una menor frecuencia la ocurrencia de terremotos en ellas, su ubicación cercana a las costas o bien en el interior del territorio y la poca profundidad de los hipocentros, hacen que en ocasiones los efectos de sismos de menor magnitud, reporten afectaciones significativas en las diferentes estructuras constructivas.

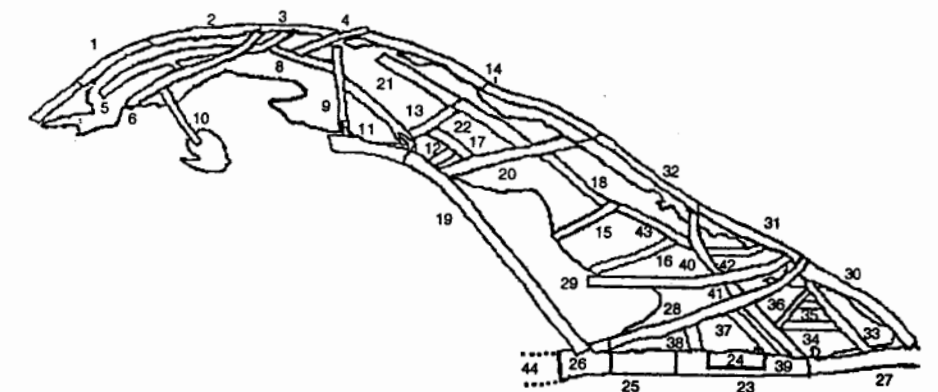


FIGURA 1. Esquema de Zonas de Origen de Terremotos (ZOT) de Cuba (compilado de Orbera y otros, 1990; Chuy y otros, 1992; y González y otros, 1994).