

SECCIÓN EXPLORACIONES

CARACTERIZACIÓN Y MAPEO A ESCALA GRANDE DEL KARST SUPERFICIAL DEL MUNICIPIO ESPECIAL ISLA DE LA JUVENTUD, CUBA

Efrén José Jaimez Salgado¹, Mario Guerra Oliva¹, Yondreys Martínez Puche² y Homero Menéndez Pérez³

¹ Instituto de Geofísica y Astronomía, Agencia de Medio Ambiente, Cítma

² UEB de Aprovechamiento Hidráulico Isla de la Juventud, Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos

³ Unidad de Ciencia y Técnica, GeoCuba Habana (Investigación y Consultoría).

Email: jaimezefren@gmail.com

RESUMEN: Se presenta el estudio de caracterización y cartografía a escala 1: 25 000, del karst superficial del municipio especial Isla de la Juventud. El mismo, posee un área kárstica de 838,4 Km², lo que representa el 38,7 % del territorio. Las llanuras kársticas ocupan la mayor extensión superficial (37,8 %), destacándose la amplia Llanura del Sur de la Isla de la Juventud. El subtipo de carso litoral y de terrazas marinas, con prevalencia de carso completamente desnudo y amplios campos de lapiez, dolinas, y pequeñas cuevas, son predominantes en esta región, en tanto áreas menores muestran carso semidesnudo (carso parcialmente cubierto por suelos rendsicos). El carso de alturas se presenta en la Isla de la Juventud solamente como carso aislado (0,41 %), representado por las pequeñas sierras de las Casas, de Caballos, de Colombo, la loma de la Bibijagua, y los cerros de Santa Isabel; todos ellos, como suerte de remanentes de un pasado geológico más intenso, en el que las alturas kársticas fueron empujadas de sur a norte y emplazadas tectónicamente sobre rocas insolubles del basamento plegado del Municipio Especial.

PALABRAS CLAVE: kárstica, rendsico, rocas insolubles.

ABSTRACT: The characterization and cartography in 1: 25 00 scale of the superficial karst in the special municipality Isla de la Juventud is presented. It has a karstic area of 838,4 Km², representing 38,7 % of the territory. The karstic plains have the largest superficial area (37,8 %), being notably larger, the one named as 'South Plain of Isla de la Juventud'. The suptype of coastal and marine terrace karst is prevailing, with completely bared karst, wide Karren fields, sinkholes, and small caves, predominant in this region, while smaller areas shown a karst covered partially for rendsic soils. The karstic elevations are presents in the Isla de la Juventud, only in isolated karst (0,41 %). They are represented by the smalls hills named as 'de las Casas ranges, Caballos range, Colombo range, Bibijagua hills and |Santa Isabel hill', all of them, as a sort of remainder of stronger geological past, in which the karstic hills were pushed from south to north and located tectonically over unsolvable rocks, belong to folded basement of the Special Municipality.

KEY WORDS: karstic, rendsic, unsolvable rocks.

Este trabajo ha sido publicado on-line con fecha 13/04/2023

Se citará como: JAIMEZ SALGADO, E. J., GUERRA OLIVA, M., MARTÍNEZ PUCHE, Y. y MENÉNDEZ PÉREZ, H., 2023. Caracterización y mapeo a escala grande del karst superficial del municipio especial Isla de la Juventud, Cuba. *Gota a gota*, n° 29: 11-19. Grupo de Espeleología de Villacarrillo, G.E.V. (ed.)

INTRODUCCIÓN

No existe hasta hoy, un criterio único o uniforme para la clasificación y tipificación del carso de superficie (carso epigeo) a nivel mundial. La tipificación de los fenómenos cársicos, constituye según Mateo (1981), una etapa fundamental en las investigaciones de las áreas y regiones geográficas, con presencia dominante de rocas solubles. La misma surge, según este autor, como una necesidad de uniformar y sistematizar las observaciones realizadas y como fundamentación para los trabajos de planificación regional y ordenamiento ambiental, en los territorios con estas características. Este trabajo, según dicho autor, “debe descansar en una diferenciación y mapeo a gran escala, y debe sistematizar y ordenar todos los conocimientos, de manera que ayuden a valorar correctamente, desde el punto de vista económico, las distintas regiones cársicas” (Mateo, 1981: Op. Cit). Es por ello, que se considera que la tipología del carso es un importante problema geográfico, de gran interés e importancia (Chikishev, 1965). Lo justifica además el hecho, de que la tipología del carso (o del karst), debe contener en sí misma, la esencia fundamental del carso, reflejando los rasgos distintivos de su gran diversidad morfológica (Stupshin, 1967), lo que implica un conocimiento cabal de las regiones cársicas (o kársticas) y una evaluación fiel, del papel que juegan los distintos factores que intervienen en el proceso de evolución cársica. Como no existe una idea conforme sobre la esencia de la carsificación (Stelcl, 1971), no existe tampoco un sistema único de clasificación del karst aceptado, propiciando el surgimiento de numerosas discrepancias y discusiones históricas, al respecto. No obstante, el sistema de clasificación propuesto por Sawicki en 1909 (citado por Mateo, 1981), ha sido la base fundamental para los trabajos de tipificación del carso superficial (epigeo), hasta ahora realizados a escala mundial, el cual empleamos los autores, en este trabajo. En esta primera clasificación, se toma como fundamento, el grado de cubrimiento (recubrimiento) de las rocas solubles, por suelos y por cortezas de meteorización, lo que se refleja según este autor, en la morfología del carso y es producto del papel del clima, en los procesos de carsificación. Se consideran de esta forma, dos tipos principales de carso superficial o karst epigeo: el *Carso Mediterráneo* (carso desnudo) y el *Carso de la Europa Central* (carso cubierto).

Es mundialmente conocido también, el ensayo tipológico presentado por Cvijic, 1918 y Cvijic, 1925 (tomado de Mateo: Op. Cit), basa-

do en la concepción del llamado “ciclo cársico” y la morfología, pero sin tener en cuenta, la evaluación integral de los factores que forman el paisaje cársico y especialmente, el papel del clima en este proceso (Mateo, Op. Cit). Cvijic consideró tres tipos principales de carso: el denominado Carso Completo (*holokarst*), donde los fenómenos cársicos están bien desarrollados, existiendo una combinación de formas superficiales y subterráneas ampliamente repartidas por todo el territorio, en condiciones de gran pureza y espesor de las rocas. El *merokarst* o *Carso Incompleto*, cuyo ejemplo típico lo constituiría el Carso de Europa Central, Europa Occidental, y el Carso de Moravia, que se caracteriza según este autor, por presentar formas cársicas superficiales y subterráneas menos desarrolladas, consistiendo en un carso cubierto, donde actúan interrelacionadamente, procesos cársicos y no cársicos. El tercer tipo se denomina *carso enterrado*, en el cual según dicho autor, los fenómenos cársicos yacen bajo una potente cubierta de rocas no cársicas. Cvijic, toma en cuenta además, otros tipos de carsos que denominó de transición, entre los carsos completos (*holokarst*) e incompletos (*merokarst*). Posteriormente a Cvijic, otro carsólogo de interés (Gvozdietsky, 1939; tomado de Mateo, Op. Cit), propuso un nuevo tipo (y aún mejor, subtipo de karst epigeo), que denominó como “carso estabilizado”, que no es más que una variante del carso cubierto por una capa de suelo, en este caso con significativos espesores de suelos, eluvios, y raíces de plantas. A juicio de los autores de esta contribución, el subtipo “carso estabilizado” es mucho más que suelos, eluvios, deluvios y raíces, dado que aquí la mayor parte de los conductos kársticos subterráneos, han sido literalmente sellados o reconstruidos por sedimentos rojos o pardo –rojizos de pH neutro a ligeramente alcalinos (Jaimez y Guerra, 2019).

En Cuba, numerosos autores han estudiado y clasificado el carso de superficie, fundamentalmente desde la óptica de su geomorfología y su hidrogeología, así como el carso subterráneo, cuya dualidad geomorfológica, constituye un fenómeno único (tanto en Cuba como a escala global) para este tipo de relieve y de paisaje asociado. Se destacan en este sentido, los trabajos realizados por Núñez Jiménez et al (1984), así como los de Molerio (1975), Molerio (1989) y otros, los cuales fueron consultados para este estudio. Asimismo, en los últimos años, Jaimez Salgado y colaboradores, han abierto una nueva línea investigativa del karst superficial, relacionada con la carto-

grafía de los subtipos de carso epigeo y con los escenarios de peligros geológicos asociados al desarrollo del carso según los subtipos y su grado de evolución, en diferentes provincias de nuestro país (Jaimez Salgado *et al.*, 2011 a y b; Jaimez Salgado *et al.*, 2012, 2017; Jaimez y Guerra, 2019; y Jaimez Salgado, E, 2020).

MATERIALES Y MÉTODOS

Para el estudio y caracterización del carso superficial a escala grande del municipio especial Isla de la Juventud, se partió de la información cartográfica derivada del Mapa Geológico de Cuba a escala 1: 100 000 del Instituto de Geología y Paleontología (2010) del Ministerio Cubano de Energía y Minas (MINEM), así como del Mapa de Suelos de Cuba, a escala 1: 25 000, de la otrora Dirección General de Suelos y Fertilizantes, Ministerio de la Agricultura, con un trabajo complementario, de actualización y comprobación de los suelos del territorio por parte de los autores (trabajo de campo). Lo anterior, como punto de partida para una Primera Aproximación a los Subtipos de karst epigeo en el Municipio Especial, también a escala 1: 25 000. Para ello, se efectuaron calicatas de comprobación, en un total de 15 estaciones de campo, georreferenciadas, con la toma de muestra y realización de ensayos químicos "in situ", relacionados con la caracterización edafológica exclusivamente de suelos kársticos del Municipio Especial (ensayos con HCL al 20 % y descripción organoléptica del perfil), fundamentalmente en suelos magros, ubicados en varios sectores de la amplia Llanura del Sur de la Isla de la Juventud. Lo anterior, permitió de un lado la comprobación y actualización de la información del componente suelos kársticos, en gran parte del Municipio Especial (particularmente en los suelos asociados directamente con la actividad del carso) y la confección por el otro, del Mapa de Subtipos de Carso Epigeo (karst de Superficie) a escala 1: 25 000, resultados obtenidos por vez primera, para el territorio estudiado. De forma complementaria, se obtuvo además, un Mapa de Tipos de Carso Epigeo, en este caso sobre la base de criterios estrictamente geomorfológicos, resultante de datos geomorfológicos del territorio y de los recorridos de comprobación realizados.

TIPOS DE CARSO SUPERFICIAL O KARST EPIGEO, EN EL MUNICIPIO ESPECIAL ISLA DE LA JUVENTUD

La Isla de la Juventud, es un pequeño territorio con una pequeña parte de sus paisa-

jes físico – geográficos, de tipo cársico (o kárstico, en el uso correcto de la voz eslava, original de la palabra), de ahí la importancia de la realización de estudios carsológicos, a escala regional y provincial, encaminados en este caso, a la implementación del Plan de Estado de Adaptación al Cambio Climático (Tarea Vida). El mapa que se muestra en la Fig. 1, ofrece una panorámica general de la distribución geográfica de los tipos de carso, en el Municipio Especial, al calor de un estudio carsológico preliminar realizado por este equipo de trabajo, a partir de una base geológica y edáfica digital del territorio.

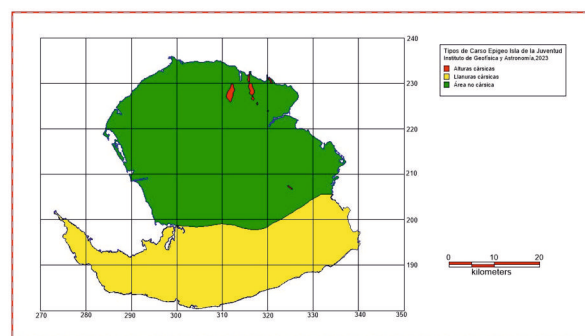


Fig. 1. Mapa de tipos de carso epigeo, escala 1: 25 000 del Municipio Especial, elaborado a partir de datos geológicos y geomorfológicos del territorio. (Original de los autores).

Como se aprecia en la Fig. 1, las llanuras cársicas (en fondo de color amarillo), predominan como tipo principal del karst epigeo dentro del contexto carsológico del Municipio Especial, ocupando un área de hasta 727,7 Km², lo que representa aproximadamente, el 33,08 % del territorio. Están distribuidas básicamente, hacia el límite sur del Municipio Especial hasta la línea costera, y está formada por una vasta llanura marina, plana a muy plana, de edad cuaternaria, con zonas de terrazas marinas emergidas en sus extremos sureste y suroeste. En términos kárstico - geomorfológicos, predominan en ella el carso desnudo y en segundo plano, un área menor hacia el este, con carso parcialmente desnudo, caracterizada además por la existencia de zonas con cubrimiento de suelos rendziniiformes y otras con abundantes campos de lapiez desnudo y semidesnudo (diente de perro), así como notable desarrollo de casimbas, pequeñas cuevas y dolinas kársticas, de disolución – desplome. Su origen marino, está asociado a una antigua zona de hundimientos prolongados (bloque quasi-grabens), en proceso actual de emersión neotectónica. Esta vasta llanura y estructura geológica deprimida, se caracteriza a su vez por la presencia de importantes reservas de agua subterránea de buena calidad, la mayor probablemente de su tipo en

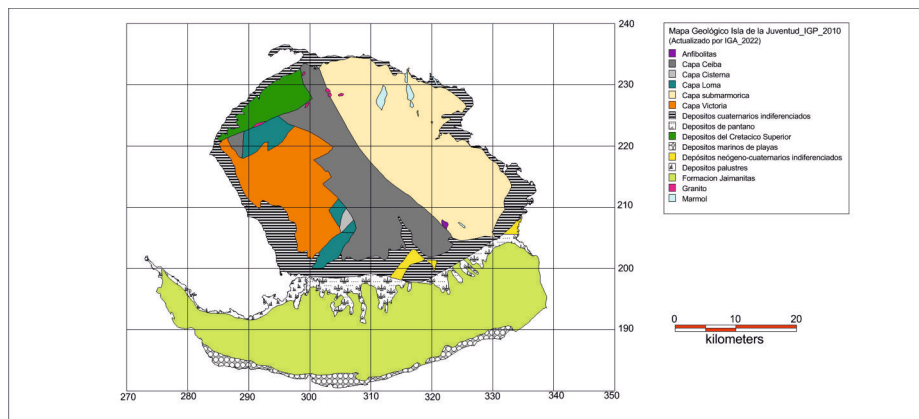


Fig. 2. Mapa geológico a escala 1: 100 000 de la Isla de la Juventud, elaborado por el Instituto de Geología y Paleontología, MINEM, 2010. (Reeditado por los autores, 2022).

el territorio del Municipio Especial. Las alturas cársicas por su parte, sólo ocupan una pequeñísima parte del Municipio Especial, en un área de apenas 7,7 Km², lo cual representa el 0,35 % de la superficie geográfica de la Isla de la Juventud. Ubicadas en el extremo norte – nordeste del Municipio Especial, aparecen en el mapa de la Fig. 1, con fondo cualitativo en rojo intenso, y están constituidas por hermosos mármoles de color gris, hasta blanco grisáceos, holocristalinos, equigranulares, de edad Jurásico superior, cuyo origen geológico está relacionado según varios autores, con antiguas estructuras de sobrecorrimientos o sobreempujes (teoría de Wassall, Shaposhnikova, Somin y otros, tomada de Iturralde – Vinent, 1988), habiendo ocupado su posición actual, debido a grandes esfuerzos tangenciales ocurridos a finales del período Cretáceo (orogenia larámica). En el mapa que se ofrece en la Fig. 2, se puede apreciar la posición de estos mármoles jurásicos (estas son, las pequeñas áreas de color azul claro en el mapa geológico), formados por metamorfismo térmico de las antiguas calizas de aguas marinas someras, a unos 900

km al sur de su posición actual, de acuerdo con la teoría más difundida de su emplazamiento tectónico (Iturralde – Vinent, Op. Cit).

Como se aprecia en la Fig. 2, a pesar de su poca extensión superficial, la Isla de la Juventud constituye un territorio insular de gran complejidad geológica, estando constituida por una macro-estructura con forma de domo, de rocas complejamente plegadas, metamorfozadas, todas ellas ubicadas al norte de la Ciénaga de Lanier, así como una segunda macro-estructura horizontal, no plegada, sin deformación tectónica de sus capas, sin metamorfismo regional, de relieve marino muy carsificado (de la etapa de desarrollo platafórmico), ubicada en este caso al sur del humedal Ciénaga de Lanier, con predominio absoluto de rocas carbonatadas, de edad muy reciente en escala geológica (Plioceno superior – Pleistoceno inferior). La Tabla que se muestra a continuación, ofrece una idea general de los tipos y subtipos de carso superficial (karst epigeo), presentes en el municipio especial Isla de la Juventud, de acuerdo con datos obtenidos por los autores, a partir de las estadísticas de un Sistema de

No	Tipo de carso	Subtipo de carso	Área (km ²)	%	Localidades
1	Llanuras kársticas	Carso litoral y de terrazas marinas	722,9	32,9	Llanura Sur
2	Llanuras kársticas	Carso cubierto por ciénagas y pantanos	107,8	4,9	Ciénaga de Lanier
3	Alturas kársticas	Carso cupular (<i>Kuppelkarst</i>)	3,9	0,18	Sierra de Caballos
4	Alturas kársticas	Carso cónico en asociación con carso cupular	3,7	0,17	Sierra de Casas
5	Alturas kársticas	Carso tabular en asociación con carso cupular	1,12	0,05	Sierras de Colombo y de la Bibijagua
6	Alturas kársticas	Carso cupular achatado	0,3	0,01	Cerros de Santa Isabel

Tabla I. Estadísticas generales del SIG, tipo y subtipos de carso en la Isla de la Juventud. (Original de los autores).

Información Geográfica, implementado por los mismos.

Como se muestra en la Tabla I, el carso litoral y de terrazas marinas, es el de más amplia distribución geográfica en el Municipio Especial, el que sólo aparece al sur de la Ciénaga de Lanier (Llanura Cársica Sur o también, Llanura del Sur de la Isla de la Juventud).

Desde el punto de vista geomorfológico, las pequeñas alturas cársicas ubicadas al norte – nordeste del domo septentrional de la Isla de la Juventud, están formadas por series de conos y de cúpulas kársticas (*Kegelkarst* y *Kuppelkarst*), alineadas todas de acuerdo a un patrón estructural disyuntivo norte - sur, con notable presencia de grutas, cuevas, y en ocasiones profundas simas (Anexo 1), en cuya base discordante con el subyacente impermeable, existen importantes reservas de aguas cársicas subterráneas en acuíferos independientes y acuíferos colgados, cuyas reservas hídricas no han sido cabalmente evaluadas o cuantificadas hasta el presente. Este es el caso del subtipo de carso cónico y cupular de la sierra de las Casas (Fig. 3) y el de la sierra de Caballos, esta última, el mayor exponente del subtipo carso cupular (*Kuppelkarst*), en la Isla de la Juventud, ambos subtipos desarrollado en hermosos mármoles, el cual se levanta hasta los 283 m, de altura absoluta sobre el nivel medio del mar, al este del río Las Casas (Fig. 4).



Fig. 3. Carso cónico en asociación con carso cupular de la sierra de las Casas (256 m, snmm), al oeste de la ciudad de Nueva Gerona, Isla de la Juventud, diciembre de 2022. (Foto del primer autor)

Como se muestra en la Fig. 3, un hermoso panorama de elevaciones mogóticas con paredes subverticales y cimas cónicas hasta suavemente redondeadas, y una relación casi monométrica entre los ejes X, Y, Z, constituye el subtipo de carso cónico (*Kegelkarst*), en asociación con carso cupular (*Kuppelkarst*) de la sierra de las Casas, ubicada allende a la hermosa ciudad de Nueva Gerona, capital del municipio especial Isla de la Juventud. Un amplio sector del paisaje kárstico, ha sido

fuertemente impactado en esta serranía al oeste y oeste-suroeste de Nueva Gerona, por la industria extractiva del mármol, particularmente a lo largo de su flanco centro–oriental.



Fig. 4. Carso cupular de la sierra de Caballos, el mayor exponente del carso de alturas de la Isla de la Juventud (283 m, snmm), en este caso, ubicado al este de la ciudad de Nueva Gerona. (Foto del primer autor).

Como se aprecia en la Fig. 4, el subtipo de carso cupular de la sierra de Caballos, se caracteriza por elevaciones de cimas también redondeadas, pero con flancos más suaves o alargados. La relación de los ejes de coordenadas es en este subtipo trimétrica ($X > Y > Z$). Al igual que en la sierra de las Casas, el paisaje kárstico se caracteriza por alturas de mármoles blanco – grisáceos, menos impactados por la actividad extractiva, que en el caso anterior.

Otras pequeñas elevaciones kársticas, también emplazadas tectónicamente sobre el basamento plegado y metamorfozado de la Isla de la Juventud, aparecen distribuidas al norte y nordeste del Municipio Especial, en este caso con asociación del carso cupular y el carso tabular, lo cual es el caso de la sierra de Colombo (Fig. 5) y de la loma de la Bibijagua, esta última, casi allende a la famosa playa del mismo nombre.



Fig. 5. Carso tabular en asociación con carso cupular de la sierra de Colombo (120 m, snmm), al este de Nueva Gerona, Isla de la Juventud, diciembre de 2022 (Foto del primer autor).

Como se aprecia en la imagen de la Fig. 5, el carso cupular aquí, está asociado con otro subtipo de karst epigeo, con aspecto de largos listones de cimas más o menos planas (o muy suavemente onduladas). Núñez Jiménez et al (1984), denominaron a este nuevo subtipo no descrito hasta entonces en la Carsología

cubana, como carso tabular (de tablas alargadas, para diferenciarlo de lo que podríamos considerar su versión más amplia, que es el del subtipo de carso de mesetas). Finalmente, dos pequeñas elevaciones del subtipo “carso cupular aislado”, aparecen en una pequeña área cercana a los asentamientos de La Fe y de La Reforma, conocidas localmente como cerros de Santa Isabel (Fig. 6).



Fig. 6. Carso cupular achatado de Santa Isabel, al sur-sureste de la Isla de la Juventud, diciembre, 2022 (Foto del primer autor).

Resumiendo hasta aquí, el mapa que se ofrece en la Fig. 7, muestra las áreas de distribución general, de las diferentes variantes o subtipos del carso superficial (karst epigeo), a lo largo y ancho del municipio especial Isla de la Juventud.

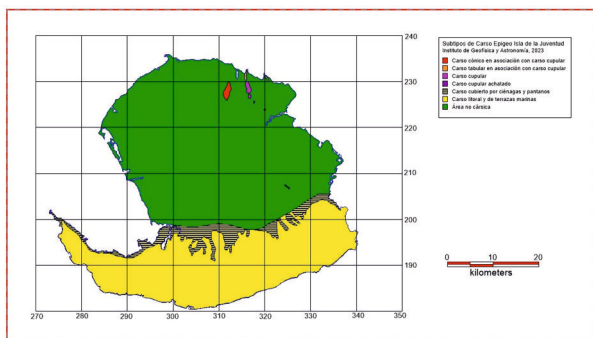


Fig. 7. Mapa de Subtipos de Carso Epigeo del municipio especial Isla de la Juventud, elaborado por los autores a partir de datos geomorfológicos y de recorridos de comprobación de campo para establecer tipo y grado de cubrimiento edáfico. (Fuente: Original de los autores)

Como se aprecia en la Fig. 7, una amplia zona de llanura cársica con el subtipo de carso litoral y de terrazas marinas, se extiende en el mapa en color amarillo, a lo largo y ancho de todo el territorio pinero ubicado al sur de la Ciénaga de Lanier, constituyendo en este caso, el mayor territorio kárstico de la Isla de la Juventud, con hasta un 32,9 %, en tanto el carso de alturas, representado por los subtipos de carso cupular, carso cónico y tabular, como ya se vio al inicio, aparece solamente en forma de carso aislado, de antiguas estructuras de charriage (nappes), emplazadas otrora sobre una amplia zona no cársica subyacente,

expresada en color verde en los mapas (1 349,3 Km² del territorio insular pinero, que representa el 61,3 % del Municipio Especial). El subtipo de carso litoral y de terrazas marinas de la amplia Llanura Cársica Sur de la Isla de la Juventud, se caracteriza por la presencia de amplios campos de lapiez, casimbas, dolinas, y otras formas kársticas superficiales en las áreas de carso completamente desnudo (predominantes), en tanto extensiones menores de esta misma región, muestran un carso semidesnudo, ocasionalmente cubierto por una delgada capa de suelo rendziniforme (Rendzinas Negras y Protorrendzinas), con menos de 25 cm de profundidad pedológica, formadas sobre eluvios de caliza pulverulenta y en ocasiones, de caliche o calcrete.

CONCLUSIONES

1.-El municipio especial Isla de la Juventud, posee un área kárstica (= cársica) de unos 838,4 Km², lo que representa el 38,7 % del total del territorio. De ellos, las llanuras cársicas ocupan la mayor extensión superficial (hasta un 37,8 %), destacándose dentro de ellas, la amplia Llanura del Sur de la Isla de la Juventud.

2.-El subtipo de carso litoral y de terrazas marinas, con prevalencia de carso completamente desnudo y amplios campos de lapiez, casimbas, dolinas kársticas, es predominante en esta vasta Llanura del Sur de la Isla de la Juventud, en tanto áreas menores de la misma región, muestran un carso semidesnudo (o parcialmente cubierto por suelos rendziniformes, del tipo Rendzinas Negras y Protorrendzinas).

3.-El carso de alturas se manifiesta en la Isla de la Juventud, solamente como carso aislado (0,41 %), representado por las pequeñas sierras de las Casas, de Caballos, de Colombo, así como la loma de la Bibijagua y los cerros de Santa Isabel, todos ellos, como suerte de remanentes de un pasado geológico más intenso, en el que las alturas kársticas fueron empujadas de sur a norte y emplazadas tectónicamente, sobre litologías insolubles del basamento plegado y metamorfozadas del Municipio Especial.

RECOMENDACIONES

Realizar la caracterización y mapeo de los escenarios de peligros geológicos por desarrollo actual y potencial del carso del municipio especial Isla de la Juventud, a partir de la experiencia de los autores en estudios similares realizados en otras regiones y territorios kársticos de Cuba.

AGRADECIMIENTOS

Los autores de esta monografía, desean ante todo, dejar constancia de su inmenso agradecimiento al Co. Geordanis Rafael Cabrera Meriño, director de GeoCuba – Isla, por su acogida a nuestro arribo al Municipio Especial en diciembre de 2022 y su apoyo en materia de transporte, para los movimientos realizados por todo el territorio. A los choferes Laiser Sánchez Reitor y Yunier Farrada Díaz, encargados de movernos a lo largo y ancho del territorio pinero, durante los cinco días que duró el trabajo de campo. Nuestro agradecimiento asimismo, al Ing. Manuel Rivero Glean, miem-

bro – fundador del grupo espeleológico Martel de Cuba, Sociedad Espeleológica de Cuba (SEC), por su gentileza en cedernos la cartografía, encabezada por él, de la imponente furnia (sima) XX Aniversario, una de las más profundas del karst de la Isla de la Juventud (-132 m), explorada y cartografiada por este aguerrido colectivo de la SEC, en junio de 1979. A todos, muchas gracias!

REFERENCIAS

- Chikishev, A. G., 1965. Tipi Karsta Russkoi Ravnini. Trade Moskovskogo – Obshestvsispitalelei pridori. Tom. XV. Tipi Karst y SSSR, pp. 12 – 21.
- Cvijic, J., 1918. Hydrographie souterraine et evolution morphologique du karst. Recueil des travaux de l'Institut de géographie alpine (6)(4): 375-426.
- Dirección Nacional de Suelos y Fertilizantes, 1984. Mapa de Suelos, municipio especial Isla de la Juventud, a escala 1: 25 000. Ministerio de la Agricultura. Editado por el Instituto Cubano de Geodesia y Cartografía (ICGC). La Habana.
- Instituto de Geología y Paleontología, 2010. Mapa Geológico Digital de la República de Cuba, a escala 1: 100 000.
- Iturralde – Vinent, M, 1988. Naturaleza Geológica de Cuba. Editorial Científico – Técnica. La Habana, 146 pp.
- Jaimez Salgado, E.; J. Olivera Acosta; M. Campos Dueñas, 2011a. La cartografía del carso a gran escala en la identificación de peligros geológicos. Rev. Mapping Centroamérica y El Caribe (1): 38 – 43.
- Jaimez Salgado, E.; M. Campos Dueñas; B. Gutiérrez Pérez; M. Guerra Oliva; M. Núñez Lafitte, 2011b. Cartografía del carso y escenarios de peligros geológicos en la provincia de Artemisa, Cuba. Rev. Mapping Centroamérica y El Caribe (6): 20 – 25.
- Jaimez Salgado, E., M. G. Valdés Hernández; J. Alcaide Orpí; H. Crespo Álvarez; A. Tejeda Chacón; L. Cabrera Astraín, 2012. Caracterización del desarrollo del carso en el consejo popular Santa Fe, municipio Playa, La Habana, Cuba. Rev. Ciencias de la Tierra y El Espacio (II)(13)(1): 59 – 65.
- Jaimez Salgado, E.; M. Guerra Oliva; M. R. Gutiérrez Domech; M. Núñez Lafitte; J. Olivera Acosta, 2017. Escenarios de peligros geológicos por desarrollo del carso en la provincia de La Habana, Cuba. VI Simposio de Riesgos Geológicos y Sismicidad, VII Convención de Ciencias de la Tierra. La Habana, 16 pp.
- Jaimez Salgado, E.; M. Guerra Oliva, 2019. Escenarios de peligros geológicos por desarrollo del carso asociado al ascenso del nivel del mar y de las aguas subterráneas en la provincia de Cienfuegos, Cuba. Memorias VIII Convención de Ciencias de la Tierra, La Habana, 17 pp.
- Jaimez Salgado, E., 2020. El papel de los suelos en el desarrollo del carso en Cuba y viceversa. Rev. Gota a Gota (21): 89 – 97.
- Mateo Rodríguez, J, 1981. Morfología Cársica. Edición Universitaria. La Habana, 310 pp.
- Molerio León, L, 1975. Notas para una tipología geoespeleológica del carso cubano. Programa y Resúmenes, Simposium XXXV Aniversario de la Sociedad Espeleológica de Cuba. La Habana, p - 65.
- Molerio León, L, 1989. Aproximación multidisciplinaria a un modelo matemático del desarrollo del karst. Rev. Ingeniería Hidráulica (X)(2): 133-144.
- Núñez Jiménez, A., N. Viña Bayés, M. Acevedo González, J. Mateo Rodríguez, M. Iturralde - Vinent, A. Graña González, 1984. Cuevas y Carsos. Editora Militar, La Habana: 431 pp.
- Stelcl, O, 1971. Typological division of karst regions in the Czech Socialist Republic. Studia Geographica (21): pp. 81 – 89.
- Stupshin, A. V, 1967. Geomorfologicheskaiia – Klasifikatsiia karsta – Ravninii I gornii karst (Clasificación geomorfológica del carso – Carso de llanuras y de montañas). Geograficheskii Sbornik. Vip. 2. Izd. Kazankoge Univ., pp. 3 – 11.

ANEXO I

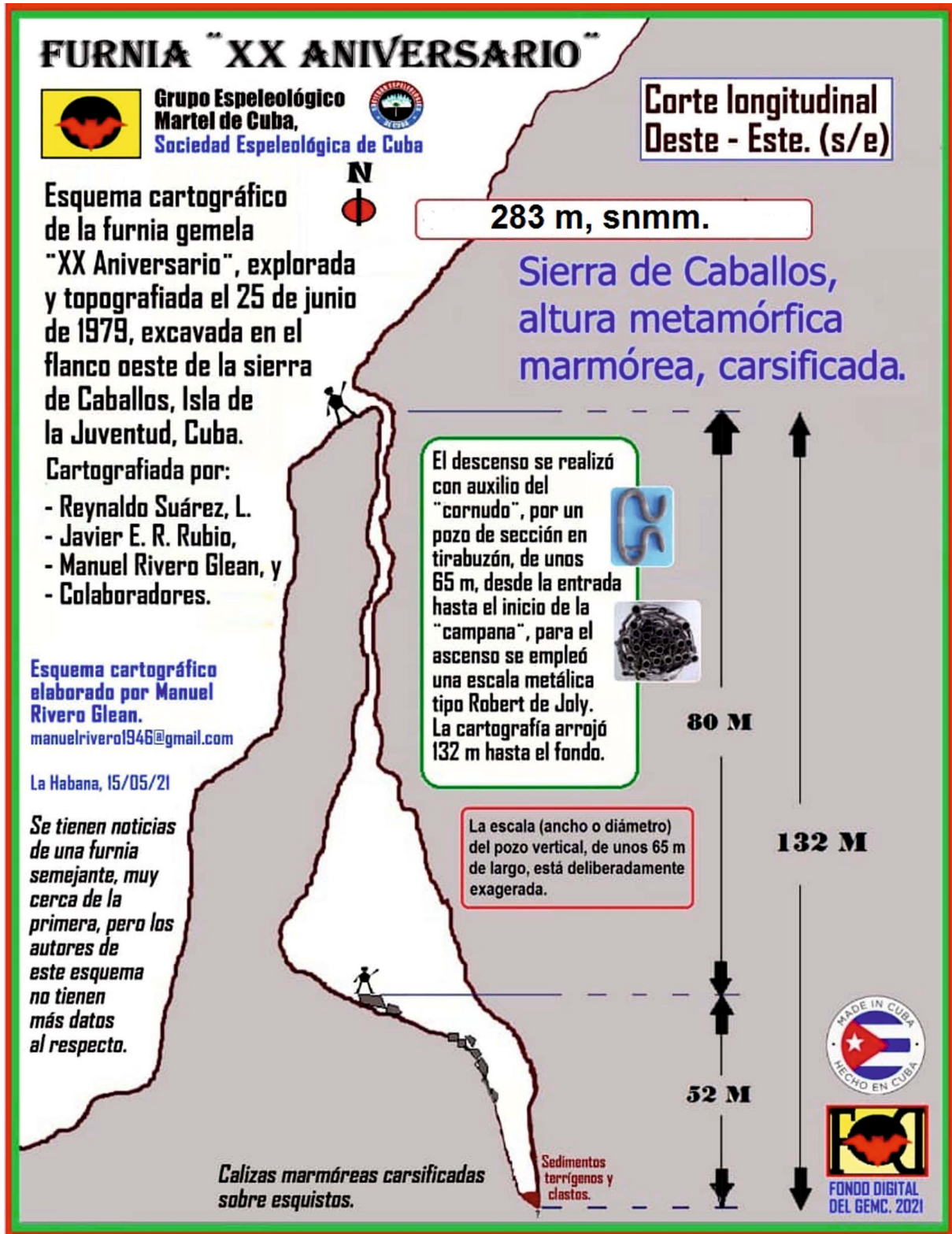


Fig. 8. Perfil longitudinal de la furnia XX Aniversario, sierra de Caballos, 1979 (Fuente: Cortesía de Manuel Rivero Glean, Grupo Espeleológico Martel, Sociedad Espeleológica de Cuba).

ANEXO II



Fig. 9. (Anexo 2). Boca de la Cueva No. 1 de Punta del Este (Sitio Monumento Nacional de Cuba), del curso litoral y de terrazas marinas del sur- sureste de la Isla de la Juventud. (Foto del primer autor, 2022).

ANEXO III



Fig. 10. (Anexo 3). Entrada artificial de la cueva del Agua, abierta por una mina subterránea en el pasado siglo, extremo norte de la sierra de Casas. (Foto del primer autor, 2022).

SECCIÓN GEOESPELEOLOGÍA

CARTOGRAFÍA DE ESCENARIOS DE PELIGROS GEOLÓGICOS ACTUALES Y POTENCIALES POR DESARROLLO DEL KARST EN EL MUNICIPIO ESPECIAL ISLA DE LA JUVENTUD, CUBA

Efrén José Jaimez Salgado¹, Mario Guerra Oliva¹, Yondreys Martínez Puche² y Homero Menéndez Pérez³

¹ Instituto de Geofísica y Astronomía, Agencia de Medio Ambiente, Cítma

² UEB de Aprovechamiento Hidráulico Isla de la Juventud, Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos

³ Unidad de Ciencia y Técnica, GeoCuba Habana (Investigación y Consultoría).

Email: jaimezefren@gmail.com

RESUMEN: Se presentan los resultados de la cartografía de escenarios de peligros geológicos actuales y potenciales por desarrollo del carso, a escala 1: 25 000, del municipio especial Isla de la Juventud, elaborada a partir del overlay de capas temáticas sobre plataforma SIG, el álgebra de mapas, la modelación matemática a partir de una adaptación de la Ecuación de Ghyben – Herzberg y las exploraciones de campo realizadas en el territorio. La misma, constituye una valiosa herramienta para la identificación de escenarios de peligros geológicos en los territorios con rocas solubles en este Municipio Especial de Cuba. Con 38,7 % del área kárstica, alrededor de un 18,6 % constituyen escenarios potencialmente peligrosos por desarrollo del karst en el momento actual (posibles derrumbes y hundimientos kársticos), en tanto un 22,3 % podrían convertirse en potencialmente muy peligrosos para el período 2050 – 2100, como consecuencia del ascenso del nivel medio del mar y de las aguas kársticas subterráneas (principalmente, en áreas por debajo de los 5 m, snmm). Se ofrece un grupo de recomendaciones como medidas preventivas, encaminadas a reducir peligros y riesgos de desastres por carso en el municipio especial Isla de la Juventud.

PALABRAS CLAVE: carso, overlay, peligros, riesgos.

ABSTRACT: The results of the digital mapping of the karst surface in the Isla de la Juventud at 1: 25 000 scale, are presented. These were obtained by the overlay of thematic layers on a GIS platform, as well as the maps algebra, and a mathematical modeling from the Ghyben - Herzberg Equation adaptation, also supported by field explorations. This paper constitute a valuable tool for the identification of scenarios of geological hazards in territories with soluble rocks in this 'special municipality' of Cuba. The aforementioned territory has 38,7 % of karstic area, with about 18,6 % on scenarios potentially dangerous for karst development in actual moment (possible karstic breakdowns and collapses potential) while about 22,3 % could become in potentially very dangerous for 2050 – 2100 period, as consequence of the rise in the mean sea and groundwater levels (mainly in areas under 5 m, altitude). A group of recommendations as preventive measures aimed at reducing karst hazards and disaster risks in the Isla de la Juventud 'special municipality' are offered.

KEY WORDS: karst, overlay, hazards, disaster risks.

Este trabajo ha sido publicado on-line con fecha 27/05/2023

Se citará como: JAIMEZ SALGADO, E.J., GUERRA OLIVA, M., MARTÍNEZ PUCHE, Y. y MENÉNDEZ PÉREZ, H., 2023. Cartografía de escenarios de peligros geológicos actuales y potenciales por desarrollo del karst en el municipio especial Isla de la Juventud, Cuba. *Gota a gota*, n° 29: 55-63. Grupo de Espeleología de Villacarrillo, G.E.V. (ed.)

INTRODUCCIÓN

Cuba es un país con predominio de paisajes kársticos. Más de $\frac{2}{3}$ del territorio nacional, están ocupados por rocas solubles, con diferente tipo y grado de desarrollo del karst o carso. Dada la enorme importancia económica y social que posee el conocimiento del desarrollo y funcionamiento del carso, no es casual que numerosos investigadores hayan prestado históricamente, una especial atención al estudio de estos territorios en nuestro país (Panos y Stelcl, 1968; Núñez Jiménez *et al.*, 1968; Acevedo González, 1967, 1979; Skwaletski e Iturralde-Vinent, 1971; Iturralde-Vinent, 1972; Núñez Jiménez y Echevarría, 1973; García Pulpeiro, 1974; Valdés, 1974; Molerio León, 1975; Busto del, *et al.*, 1976; Mateo Rodríguez, 1981; Núñez Jiménez *et al.*, 1984; Panos, 1988; Barceló Carol *et al.*, 1990; Gutiérrez Domech e Iturralde-Vinent, 1990; Jaimez Salgado, 1990; Otero Collazo y Guerra Oliva, 1990; Pajón Morejón *et al.*, 1990; Fagundo *et al.*, 1992; Gutiérrez Calvache *et al.*, 1994; Iturralde-Vinent, 1972; Rocamora, 1995; Gutiérrez Domech y Rivero Glean, 1999; Díaz *et al.*, 2000; y Flores Valdés y Flores Valdés, 2000; Molerio León, 2004 a y b; Guerra Oliva, 2009; Alfonso de Anta, 2010; Jaimez Salgado *et al.*, 2011a y b; Jaimez Salgado *et al.*, 2012; Jaimez Salgado *et al.*, 2017; Jaimez Salgado y Guerra Oliva, 2019; Jaimez Salgado y Guerra Oliva, 2022 y Jaimez Salgado *et al.*, 2023). Sin embargo, a pesar de lo mucho que se ha avanzado en estos estudios, hasta 2011 no se contaba con la cartografía a escala grande de los subtipos de karst superficial, de ninguna de las regiones cársicas de Cuba. He aquí que la identificación y cartografía de dichas variantes del carso epigeo, determinadas básicamente por el tipo y grado de cobertura edáfica, puede servir a su vez, como punto de partida para la identificación y la cartografía, de posibles escenarios de peligros geológicos relacionados con el desarrollo del aparato cársico superficial y subterráneo (derrumbes y hundimientos kársticos, sismos de origen kárstico, etc).

En este trabajo, se presenta la caracterización del desarrollo del carso o karst epigeo, a escala grande (1: 25 000), en el municipio especial Isla de la Juventud, como punto de partida para la macro y micro-localización de futuras obras ingenieras de cimentación, que pudieran imponer nuevas cargas sobre los escenarios kársticos subterráneos, susceptibles a la inestabilidad, el agrietamiento, e incluso, el posible colapso de las estructuras, así como el posible impacto del ascenso continuado del nivel medio del mar y con él, el

ascenso a su vez de las aguas subterráneas, en las zonas y regiones kársticas de la Isla, sobre algunas de las cuales, existe ya hoy, cierto desarrollo de pequeñas edificaciones. Los Objetivos específicos del trabajo son: la identificación y elaboración del mapa de peligro geológico asociado al desarrollo actual del carso en el Municipio Especial (momento actual), así como elaborar un mapa de escenarios de peligros geológicos por desarrollo del karst a largo plazo (próximos 50 – 100 años), como consecuencia del cambio climático (por el probable ascenso del nivel del mar y de las aguas kársticas subterráneas) y la confección de un Informe de Caracterización de estos escenarios de peligros en el Municipio Especial, el cual incluye un grupo de recomendaciones, para una mejor gestión y respuestas de adaptación, en estos escenarios de peligros.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para la realización del trabajo, se contó con una expedición carsológica a lo largo y ancho de todo el Municipio Especial, realizada en el mes de diciembre de 2022. Los principales materiales empleados para el trabajo de campo y de gabinete fueron:

- Mapa de Suelos del municipio especial Isla de la Juventud, a escala 1: 25 000, del Ministerio de la Agricultura, 1984

- El uso combinado de imágenes satelitales multiespectrales del LANDSAT del territorio, a Resolución 30 metros, e imágenes pancromáticas disponibles en la WEB

- Modelo de Elevación Digital del terreno del área de estudio, Resolución 20 metros

- Mapa Geológico Digital a escala 1: 100 000, del Instituto de Geología y Paleontología, MINEM, Cuba, 2010

- Receptor GPS MAGELLAN, modelo *Meridian Platinum*, para el posicionamiento remoto en tiempo real, de los puntos de control de campo y de objetos geográficos kársticos de mayor interés, seleccionados en el terreno

- Ensayos de campo con HCL diluido al 20 %, realizados "in situ", en suelos y cortezas de meteorización, desarrolladas sobre carso del Municipio Especial

- Cálculo del posible ascenso del nivel piezométrico de las aguas subterráneas, a partir de una adecuación de la *Ecuación de Ghyben – Herzberg*, sobre la base de una data en tiempo real, de once pozos de abasto de agua del territorio pinero, de los cuales siete pertenecen al Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos en el Municipio Especial (obtenidos por cortesía de la UEB

de Aprovechamiento Hidráulico del territorio) y cuatro, pertenecen al Ministerio del Interior.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El desarrollo geológico del carso o karst como sistema soporte, tiene un carácter dual: de un lado, se desarrolla el karst epigeo, con la formación de campos de lapiez, dolinas, sumideros, poljes, etc, y del otro, tiene lugar de manera simultánea, el desarrollo de numerosas formas kársticas subterráneas, tales como cuevas, cavernas, simas o furnias y en ocasiones, grandes sistemas cavernarios. Si de un lado el desarrollo del carso epigeo, expone toda una serie de evidencias de la carsificación de las rocas solubles en superficie, del otro, el desarrollo del carso hipogeo o subterráneo, en ocasiones enmascara una realidad de peligro potencial, no siempre evidente en la superficie, debido al grado de recubrimiento edáfico del mismo. He aquí, que el desarrollo de estas formas cársicas subterráneas, pueden llegar a constituir una verdadera amenaza para la estabilidad de la cimentación de obras arquitectónicas de gran peso y envergadura, que imponen cargas por encima de la capacidad soportante de los techos de bóvedas subterráneas, si las hay, en el caso concreto de una probable cimentación sobre cavernas. La experiencia mundial no está exenta de un significativo número de casos de derrumbes parciales, e incluso del colapso total de estructuras de cimentación y obras arquitectónicas, en lo profundo de una caverna subyacente desconocida. Bien conocidos son los casos acontecidos en la pasada década en la República de Guatemala y más recientemente, en territorios cársicos de la República Popular China. Otro tipo de peligro geológico asociados al carso subterráneo, son los sismos y microsismos de origen cársico, los que a pesar de liberar sólo pequeñas cantidades de energía, pueden llegar a debilitar gradualmente las estructuras de cimentación, hasta el derrumbe parcial o total de estas. El origen de estos sismos y microsismos cársicos, pueden estar relacionados, bien con la ocurrencia de derrumbes subterráneos (desplome de techos de cavernas), o bien con repentinas emanaciones de gas metano (CH_4), asociados a fuertes procesos reductores de residuos orgánicos, acumulados en ambientes cerrados bajo tierra.

Cuba, no está exenta de este tipo de peligro de desastres por desarrollo potencial del carso, todo lo cual podría incrementarse en un período de 50 a 100 años, como consecuencia del ascenso del nivel medio del mar y con éste, el ascenso a su vez de las aguas subterrá-

neas kársticas. Dado que los acuíferos subterráneos de las llanuras cársicas de toda Cuba, son abiertos al mar, el ascenso del nivel marino como consecuencia del cambio climático, trae aparejado un reajuste del nivel de base general ante el avance de la cuña de intrusión marina, tierra adentro, con el ascenso consiguiente de la zona de mezcla horizontal de las aguas cársicas subterráneas (capa piezométrica). Dado que cualquier proceso de mezcla de aguas cársicas, es considerado como un proceso agresivo a las rocas solubles, debido al incremento de la capacidad de disolución de CO_2 (g), es de esperar que el ascenso continuo de esta zona como respuesta al avance de la cuña de intrusión salina, pueda disparar a mediano o largo plazo, los procesos de disolución kárstica en esta zona de mezcla y con ello, el posible debilitamiento de los cimientos de las estructuras ya construidas, cuyos cimientos puedan llegar a ser inundados.

Como resultados principales del trabajo realizado, se confeccionó por vez primera para el Municipio Especial, el mapa digital de los subtipos de carso superficial a escala grande (Jaimez Salgado *et al.*, 2023), elaborados sobre un Sistema de Información Geográfica, los cuales constituyen la base de partida de este trabajo, para la identificación y cartografía posterior de los escenarios de peligros geológicos por desarrollo del karst en el momento actual, en el territorio estudiado (Fig. 1).

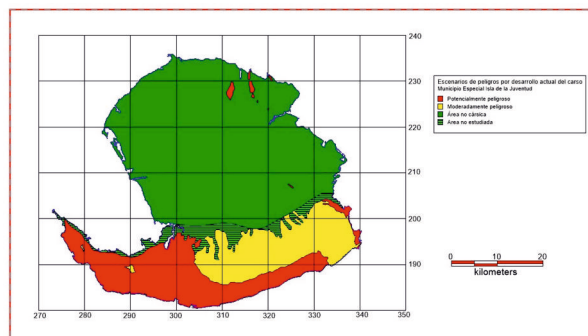


Fig. 1. Mapa de escenarios de peligros geológicos por desarrollo del carso actual en el municipio especial Isla de la Juventud (Fuente: original de los autores)

Los principales escenarios de peligro en el momento actual en el municipio especial de Isla de la Juventud, mostrados en la Fig. 1, están relacionados con las áreas con presencia del subtipo de carso litoral y de terrazas marinas emergidas, fundamentalmente distribuidas en la Llanura Sur de la Isla, así como otras áreas menores del carso aislado, con los subtipos carso cónico, carso tabular y carso cupular, estos últimos predominantes en las alturas kársticas emplazadas tectónicamente al norte – noreste de la Isla de la Juventud (en

total, 18,6 % del territorio estudiado). Como se aprecia en la Fig. 1, los escenarios con mayor grado de peligro en color rojo, están distribuidos en una amplia zona costera de la Llanura Sur de la Isla de la Juventud y adicionalmente, sólo pequeñas zonas del carso de alturas, ubicado al norte-nordeste del Municipio Especial. La Tabla I, ofrece un resumen de las estadísticas de los escenarios de peligros geológicos por desarrollo del karst en el momento actual, a partir de datos obtenidos en el SIG.

Los primeros signos de inicio de peligro de derrumbes por carsificación y desestabilización de cimientos, están relacionados con la aparición de fisuras o grietas horizontales en las paredes de las edificaciones (grietas de acomodo diferencial de cargas y subsidencia), rajaduras y caídas de rodapiés, y aún más preocupantes, la curvatura en forma de artesa en pisos y mosaicos de las mismas. La situación de peligro por desarrollo acelerado del carso puede llegar a ser más preocupante, en los lugares donde las viviendas construidas sobre el karst, no cuentan con fosas mareas en buen estado (vertiendo), o no cuentan con un sistema de alcantarillado en buen estado técnico actualmente y por tanto, los residuales sanitarios acidulados, altamente agresivos a las rocas calizas, pudieran estar siendo vertidos directamente al sustrato kárstico, como por lo visto sucede en algunas zonas de la margen oriental de la sierra de las Casas (suburbios ubicados al oeste de la ciudad de Nueva Gerona) y en determinados puntos del caserío costero de Cocodrilo, ubicado a unos 100 km al sur de la ciudad de Nueva Gerona.

Escenarios de peligro potencial para 2050 - 2100 por desarrollo del karst ante el ascenso del nivel medio del mar y de las aguas subterráneas kársticas

Nadie duda ya hoy, que el clima de la Tierra está cambiando. Tampoco hay dudas, que como consecuencia de ello, el nivel medio del mar está subiendo. La tabla que se ofrece a continuación, muestra tres probables niveles de ascenso del nivel del mar (en cm), según el aumento de la temperatura media del aire entre 2050 y 2100, de acuerdo con datos tomados de Planos *et al.* (2013).

Más reciente aún, la *Tercera Comunicación Nacional sobre Cambio Climático en Cuba*, ha dado a conocer que el incremento máximo del nivel medio del mar para el año 2050, podría alcanzar la cifra de 29,3 cm, y un pico de hasta 95 cm, para el año 2100.

El problema con relación al desarrollo del carso subterráneo y los escenarios de peligro asociados a éste, está dado por el hecho de que el ascenso del nivel del mar, debe conllevar inexorablemente a un ascenso de las aguas kársticas subterráneas abiertas al mar, como resultado del reajuste del nivel de base general, y el avance tierra adentro de la cuña de intrusión marina o salina. Este ascenso del nivel de las aguas subterráneas, presupone un acercamiento de la zona de mezcla de la capa piezométrica, a los cimientos de las estructuras arquitectónicas ya construidas (en unos casos) y el alcance real de éstas en otros, lo que podría debilitar, e incluso hacer colapsar a mediano plazo, dichas estructuras.

Para estimar el ascenso del nivel de las aguas subterráneas, como consecuencia del ascenso del nivel medio del mar, se tomaron los datos de la 3^a Comunicación Nacional sobre Cambio Climático en Cuba, así como datos inéditos del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH) y del Ministerio del Interior en el Municipio Especial (en particular, datos de la cota del nivel piezométrico de un total de once pozos de explotación para el abasto directo, en su mayoría, ubicados en la zona costera sur de la Isla de la Juventud). Se implementó una adecuación derivada de la Ecuación de Ghyben - Herzberg (tomada de Marín, 1995. Véase además, https://es.wikipedia.org/wiki/intrusi3n_salina), según la cual, debe esperarse un posible ascenso en forma de curva hiperbólica del nivel piezométrico tierra adentro, desde la cota 0, hasta la cota de 47.8 m, snmm, para el período 2050 - 2100, lo que representaría un incremento significativo del grado de peligro por desarrollo potencial del carso subterráneo para finales de este siglo, en una franja costera que abarca desde la línea de costa más meridional de la Isla de la Juventud, hasta los 16 km tierra adentro, al norte de la misma, la cual se muestra en color rojo intenso, en el mapa de la Fig. 2.

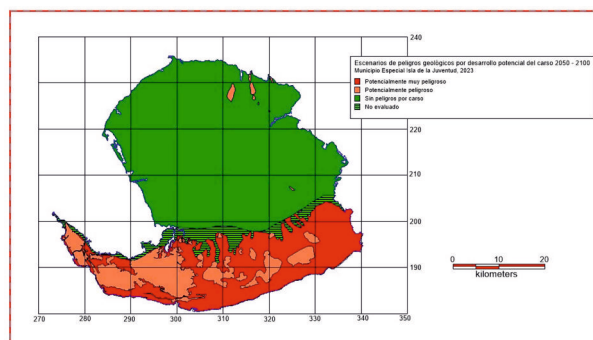


Fig. 2. Mapa de escenarios de peligros geológicos por desarrollo potencial del carso en el municipio especial Isla de la Juventud (Fuente: original de los autores)

El grado de peligro por desarrollo potencial o perspectiva del karst subterráneo para este período, resultante de la modelación a partir de la Ecuación de Ghyben – Herzberg, podría ser fuerte para las estructuras arquitectónicas ubicadas en localidades con carso costero y subcostero, situadas por debajo de la cota de 48 m, snmm, pudiendo llegar a ser incluso muy fuerte, para las zonas pobladas con carso litoral y de terrazas marinas ubicadas por debajo de la morfoisohipsa de 5 m, snmm, como es el caso por ejemplo del caserío costero de pescadores “Cocodrilo” (Fig. 3). En términos generales, el mapa ofrecido en la figura anterior (Fig. 2), muestra una amplia zona de distribución de los escenarios potencialmente muy peligrosos para el período 2050 - 2100 (en color rojo intenso), a lo largo y ancho de gran parte de la Llanura Sur de la Isla de la Juventud, en tanto áreas más pequeñas en forma de parches, constituyen escenarios peligrosos, distribuidos en zonas localmente más elevadas, en cotas por encima de los 5 m, sobre el nivel medio del mar.



Fig. 3. Caserío pesquero de “Cocodrilo”, construido sobre el carso litoral y de terrazas marinas de la Llanura Sur de la Isla de la Juventud, en cotas de 5 m, snmm y cotas inferiores, constituyendo uno de los escenarios potencialmente muy peligrosos por desarrollo del karst, para el período 2050 – 2100, en el territorio pinero (Foto del primer autor)

En la Tabla III, se ofrece un resumen de las estadísticas generales de los posibles escenarios de peligro geológico por desarrollo del karst a mediano y largo plazo, en el territorio pinero.

CONCLUSIONES

1. La Isla de la Juventud expone un área kárstica de 838,4 km² (38,7 % del total del Municipio Especial)
2. De ella, alrededor de un 18,6 % constituyen escenarios potencialmente peligrosos por desarrollo del karst en el momento actual (ubicados por debajo de la cota de 48 m, snmm), en tanto un 22,3 % del territorio, podría convertirse en potencialmente muy peligroso para el período 2050 –

2100 (por debajo de la morfoisohipsa de 5 m, snmm).

3. En el momento actual, alrededor de un 14,7 % del Municipio Especial posee escenarios moderadamente peligrosos por desarrollo del karst, particularmente distribuidos en la mitad oriental de la Llanura Sur, caracterizada por la presencia de pavimentos kársticos muy jóvenes, una mayor profundidad de cotas de sus aguas subterráneas, y una amplia cubierta de suelos magros, tipo rendziniiformes

4. Alrededor de un 4,9 % del área kárstica de la Isla de la Juventud, corresponde a la variante o subtipo de carso cubierto por ciénagas y pantanos (áreas no evaluadas)

5. El 61,3 % del territorio pinero está exento de peligros geológicos por desarrollo del karst, inexistente en estos casos (áreas con presencia de esquistos cuarcíticos, anfíbolitas, granitos y otras litologías no solubles, mayoritarias del Peniplano Septentrional de la Isla de la Juventud).

RECOMENDACIONES

- Vigilancia de la posible aparición de grietas horizontales en paredes de carga, así como posibles subsidencias o hundimientos de pisos y rodapiés, dentro de las estructuras de hormigón en zonas rurales y urbanas sobre terrenos cársicos (en particular, en el caserío costero de Cocodrilo y en los suburbios ubicados al pie de la sierra de las Casas, al oeste de la ciudad de Nueva Gerona).

- Observancia de la posible apertura de cavidades, oquedades, respiraderos fétidos, simas, sumideros nuevos sobre el suelo agrícola en zonas rurales, así como en patios y jardines sobre terrenos cársicos.

- Sensibilizar a la población residente en los terrenos cársicos, en cuanto a la necesidad de evitar el vertimiento de aguas negras directamente hacia el subsuelo.

- Escombreo, reparación, y limpieza sistemática de fosas mauras (si existen), en terrenos cársicos y construcción de éstas donde no existan y se esté vertiendo al subsuelo.

- Necesidad de realizar estudios ingeniero - geológicos detallados, aplicados a la microlocalización de futuras obras de cimentación que se proyecten en zonas cársicas del Municipio Especial, como único sello de garantía, ante la amenaza del ascenso del nivel del mar y de las aguas kársticas subterráneas.

- Abstenerse de construir y emplazar nuevas cargas arquitectónicas para los años

2050 – 2100 sobre el carso costero, especialmente en zonas por debajo de la morfoisohipsa de los 5 m, snmm.

- Insertar esta Recomendación como parte de los requisitos para el otorgamiento de nuevas licencias constructivas, en el territorio pinero

- Emprender la realización de estudios de riesgo de desastres por desarrollo del karst, en los escenarios potencialmente peligrosos por carso en el Municipio Especial, tales como el caserío costero de Cocodrilo, las fincas de Hato Miliam y Los Maceos, y en los suburbios ubicados en derredor a la sierra de las Casas, al oeste de Nueva Gerona.

AGRADECIMIENTOS

Los autores de esta monografía desean dejar constancia de su agradecimiento al Co. Geordanis Rafael Cabrera Meriño, director de GeoCuba – Isla, por su acogida a nuestro arribo al Municipio Especial en diciembre de 2022 y su

apoyo en materia de transporte, para los movimientos realizados por todo el territorio. A los choferes Laiser Sánchez Reitor y Yunier Farrada Díaz, encargados de movernos a lo largo y ancho del territorio pinero, durante los cinco días que duró el trabajo de campo. Nuestro agradecimiento al MSc. Manuel Rivero Glean, miembro – fundador del grupo espeleológico Martel de Cuba, Sociedad Espeleológica de Cuba (SEC), por su gentileza en cedernos la cartografía, encabezada por él, de la imponente furnia (sima) XX Aniversario, una de las más profundas del karst de la Isla de la Juventud (-132 m), explorada y cartografiada por este aguerrido colectivo de la SEC, en junio de 1979. Al colega y maestro Leslie Molerio León, nuestro consultor principal en materia de Hidrogeología Cársica. A mis colegas del Departamento de Geofísica y Geología Ambiental del Instituto de Geofísica y Astronomía (Citma, Cuba), por su paciencia y su apoyo en el Consejo Técnico Asesor, cuando ha sido convocado. A todos muchas gracias.

REFERENCIAS

- Acevedo González, M., 1967. Clasificación general y descripción del carso cubano. Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos. Dpto. de Ingeniería Geológica. Publicación Especial (4). La Habana, pp. 33 – 64.
- Acevedo González, M., 1979. Tipología hidrogeológica y geomorfológica de las cavidades cársicas hipógeas. Rev. Voluntad Hidráulica 16 (51). La Habana, p 16 – 22.
- Alfonso de Anta, H., 2010. Análisis de las afectaciones a las construcciones del municipio Plaza de la Revolución provocadas por movimientos de laderas, mediante métodos geólogo - geomorfológicos y geofísicos. Tesis en opción al grado científico de Máster en Geofísica Aplicada. Instituto Superior Politécnico José A. Echeverría. La Habana, 5 pp.
- Barceló Carol, G., Echevarría, G., Segura, R., 1990. Nuevos datos del carso profundísimo en el noroeste de Cuba. Congreso Internacional 50 Aniversario de la Sociedad Espeleológica de Cuba. La Habana, p – 78.
- Busto del, R., Iñiguez, L., Mateo, J., 1976. Sobre la tipología del carso de la Municipio Especial de Cienfuegos. Serie Geográfica (7). La Habana, pp. 3 – 23.
- Díaz, C., Denis, R., Rosa, C., Hernández, P. L., Martínez, A., 2000. Geología y geomorfología del karst de la Reserva de la Biosfera Península de Guanahacabibes. Congreso 60 Aniversario de la Sociedad Espeleológica de Cuba. Camagüey, p -100.
- Fagundo, J. R., Benítez, G., Álvarez, E., Ferrera, I. V., Vega, J., 1992. Simulación química y matemática de la disolución de rocas carbonatadas por las aguas naturales. II Congreso Espeleológico de Latinoamérica y del Caribe. Viñales, p – 22.
- Flores Valdés, E. & Flores Valdés, L., 2000. Influencia de las redes de fracturación en el desarrollo y estabilidad de las cavernas. Congreso 60 Aniversario de la Sociedad Espeleológica de Cuba. Camagüey, p – 102.
- García Pulpeiro, G., 1974. Termoquímica de la reacción de disolución – cristalización del carbonato de calcio y su relación con los fenómenos cársicos. Rev. Voluntad Hidráulica (32). La Habana, pp. 24 – 26.
- Guerra Oliva, M., 2009. Caracterización general de los sistemas cársicos del curso inferior de la cuenca del río Guanabo, La Habana, Cuba. Rev. Espelunca Digital (7). La Habana, pp. 1 – 13.
- Gutiérrez Domech, R. M., Iturralde-Vinent, M., 1990. Condiciones geológicas de la formación del carso en Cuba. Congreso Internacional 50 Aniversario de la Sociedad Espeleológica de Cuba. La Habana, p – 86.
- Gutiérrez Calvache, D., Jaimez, E., Garcés, R., Guerrero, F., 1994. Regionalización Geólogo-

- Geomorfológica del carso subterráneo de Cuba. Mapa a escala 1:250 000. Trabajo presentado al IX Fórum Nacional de Ciencia y Técnica. La Habana, inédito.
- Gutiérrez Domech, R. M.; Rivero Glean, M., 1999. Regiones Naturales de Cuba. Editorial Científico – Técnica. La Habana: 145 pp.
- Iturralde-Vinent, M., 1972. Estudio cuantitativo de la actividad del carso en Cuba. Rev. Voluntad Hidráulica (23). La Habana, pp. 41 – 47.
- Instituto de Geología y Paleontología, 2010. Mapa Geológico de Cuba, a escala 1: 100 000, sobre plataforma SIG. Ministerio de la Industria Básica. La Habana.
- Jaimez Salgado, E., 1990. Influencia de la fracturación y los tectoalineamientos en la orientación y evolución del aparato cársico complejo y relieve de un sector de la Sierra de los Órganos. Congreso Internacional 50 Aniversario SEC. Programa y Resúmenes. La Habana, p - 77
- Jaimez Salgado, E.; Olivera, J; Campos, M., 2011a: La cartografía del carso a gran escala en la identificación de peligros geológicos. Rev. Mapping Centroamérica y El Caribe (1): 38 – 43.
- Jaimez Salgado, E.; Campos, M; Gutiérrez, B; Guerra, M.; Núñez, M., 2011b: Cartografía del carso y escenarios de peligros geológicos en la provincia de Artemisa, Cuba. Rev. Mapping Centroamérica y El Caribe (6): 20 – 25.
- Jaimez Salgado, E., Valdés, M. G; Alcaide, J; Crespo, H; Tejeda, A. J; Cabrera, L., 2012. Caracterización del desarrollo del carso en el consejo popular Santa Fe, municipio Playa, La Habana, Cuba. Rev. Ciencias de la Tierra y El Espacio (II)(13)(1): 59 – 65.
- Jaimez Salgado, E.; Guerra, M; Gutiérrez, M. R; Núñez, M; Olivera, J., 2017. Escenarios de peligros geológicos por desarrollo del carso en la provincia de La Habana, Cuba. VI Simposio de Riesgos Geológicos y Sismicidad, VII Convención de Ciencias de la Tierra. La Habana, 16 pp.
- Jaimez Salgado, E y Guerra Oliva, M., 2019. Escenarios de peligros geológicos por desarrollo del carso asociado al ascenso del nivel del mar y de las aguas subterráneas en la provincia de Cienfuegos, Cuba. Memorias VIII Convención de Ciencias de la Tierra. La Habana, 17 pp.
- Jaimez Salgado, E y Guerra Oliva, M., 2022. Cartografía de escenarios de peligros geológicos actuales y potenciales por desarrollo del karst, en la provincia de Guantánamo, Cuba. Revista Gota a Gota (27): 9 – 17.
- Jaimez Salgado, E.; Guerra Oliva, M; Martínez Puche, Y; Menéndez Pérez, H., 2023. Caracterización y mapeo a escala grande del karst superficial de la Isla de la Juventud, Cuba. Rev. Gota a Gota (29): 11 – 19.
- Marín, L. E., 1995. Técnicas para la simulación numérica de acuíferos costeros con intrusión salina. Rev. Ingeniería Hidráulica en México (X)(2): 39 – 44.
- Mateo Rodríguez, J., 1981. Morfología Cársica. Edición Universitaria. La Habana, 310 pp.
- Molerio León, L, 1975. Notas para una tipología geoespeleológica del carso cubano. Programa y Resúmenes, Simposium XXXV Aniversario de la Sociedad Espeleológica de Cuba. La Habana, p - 65.
- Molerio León, L., 2004a: Procesos de cavernamiento (espeleogénesis) en sistemas hipogénicos. Rev. Ingeniería Hidráulica y Ambiental XXV (2). La Habana, pp. 1 – 5.
- Molerio León, L., 2004b: Indicadores de vulnerabilidad de acuíferos cársicos. Rev. Ingeniería Hidráulica y Ambiental XXV (3). La Habana, pp. 1 – 6.
- Núñez Jiménez, A., Panos, V., Stelcl, O., 1968. Carsos de Cuba. Serie Espeleol. y Carsol. (2). La Habana, 47 pp.
- Núñez Jiménez, A., Echevarría, G., 1973. Carso profundísimo de Cuba. Proc. Of the 6th. Congress of Speleology. Olomouc, pp. 225 – 227.
- Núñez Jiménez, A., Viña, N., Acevedo, M., Mateo, J., Iturralde, M., Graña, A., 1984. Cuevas y Carsos. Editora Militar. La Habana, 431 pp.
- Otero Collazo, V, Guerra Oliva, M., 1990. Contribución a la morfología de Boca de Jaruco, La Habana. Congreso Internacional 50 Aniversario de la Sociedad Espeleológica de Cuba. La Habana, p – 81.
- Pajón Morejón, J. M., de la Cruz, A., Valdés, J., 1990. Control geoquímico y geomatemático de la composición de las aguas kársticas del Pan de Guajaibón y sus alrededores, Sierra del Rosario, Pinar del Río, Cuba. Congreso Internacional 50 Aniversario de la Sociedad Espeleológica de Cuba. La Habana, p – 114.
- Panos, V., Stelcl, O., 1968. Carsos de Cuba. Ser. Espeleol. y Carsol. (2). La Habana, 47 pp.
- Panos, V., 1988. Carsos de Cuba Oriental. Regionalización, Tipología, Utilización. Studia Geographica (91). Brno, 194 pp.
- Planos, E.; Vega, R; Guevara, A., 2013. Impacto del Cambio Climático y Medidas de Adaptación en

Cuba (Capítulo 4. Recursos Hídricos. Escenarios hidrológicos para 2050 y 2100). Instituto de Meteorología, CITMA. La Habana, 430 pp.

Rocamora, E., 1995. Caracterización ingeniero – geológica del carso. Experiencia práctica regional. Congreso Internacional LV Aniversario de la Sociedad Espeleológica de Cuba. Primera Reunión Iberoamericana. La Habana, p – 59.

Samper, J., 2013. Hidrología Subterránea, Apuntes sobre Acuíferos Costeros, 20 pp.

Skwaletski, E. N., Iturralde-Vinent, M., 1971. Estudio ingeniero geológico del carso cubano. Ser. Espeleol. y Carsol. (31). La Habana, 58 pp.

Valdés, J., 1974. Nuevo elemento para el estudio cuantitativo de la hidrología del carso obtenido mediante el análisis dimensional y su utilidad en el cálculo de paleoprocesos geohidrológicos.

No	Escenarios de peligros por desarrollo actual del karst	Área (Km ²)	%
1	Potencialmente peligrosos	408,4	18,6
2	Moderadamente peligrosos	322,3	14,7
3	Sin peligros geológicos por carso	1 349,09	61,3
4	Área no estudiada	107,8	4,8

Tabla I. Estadísticas del SIG de los escenarios de peligros geológicos por desarrollo del karst en el periodo actual en el municipio especial Isla de la Juventud (Fuente: original de los autores)

Sensibilidad climática	2010	2030	2050	2070	2100
Baja: 1,5°C	2	4	8	14	22
Media: 2,6°C	4	9	17	30	49
Alta: 4,2°C	6	15	27	48	85

Tabla II. Posible ascenso del nivel medio del mar en cm. para el periodo 2050 – 2100 según tres escenarios de sensibilidad climática, de acuerdo con Planos et al. (2013)

No	Escenarios de peligros potenciales por desarrollo del karst (período 2050 – 2100)	Área (Km ²)	%
1	Potencialmente muy peligrosos	490,9	22,3
2	Potencialmente peligrosos	254,96	11,6
3	Sin peligros geológicos por carso	1 349,09	61,3
4	Área no estudiada	107,8	4,8

Tabla III. Estadísticas del SIG de los escenarios de peligros geológicos por desarrollo potencial del karst para el periodo 2050 – 2100. en el municipio especial Isla de la Juventud Fuente: original de los autores)