

Peligro de desastre por desarrollo actual del carso en la zona costera de la Habana, Cuba

Efrén José Jaimez-Salgado*, Brigitte Pileta-Durán, Neobil Vega-Batista, María Gertrudis Valdés-Hernández, Mario Guerra-Oliva, Alejandro Parra-Rodríguez

Instituto de Geofísica y Astronomía (IGA), Citma. Calle 212 No. 2906 e/ 29 y 31, Reparto La Coronela, Municipio La Lisa, La Habana, Cuba. E-mail: efren.jaimez@iga.cu, jaimezefren@gmail.com, gertrudisv@iga.cu, mguerra@iga.cu, bpileta@gmail.com, vega@iga.cu, parrarodriguezalejandro156@gmail.com

*Autor para correspondencia: jaimezefren@gmail.com; efren.jaimez@iga.cu

Resumen

Se presenta por vez primera, el mapa de peligro potencial de desastre por desarrollo actual y potencial del carso en la zona costera de La Habana, a escala 1: 25 000, así como la caracterización del carso epigeo a nivel de subtipo y sus variantes, de acuerdo al tipo y grado de cubrimiento edáfico. Se realizaron 20 expediciones con 97 estaciones de comprobación, 35 de las cuales fueron estaciones de sondeo eléctrico vertical por los métodos de Schlumberger, Wenner, y de los Tres Polos, con auxilio del terrametro francés C.A 6470N, de la *Chauvin Arnoux Group*. Se incorporan dos nuevos indicadores de susceptibilidad al peligro por carso a los siete presentados recientemente por Aguilar (2026), modelados sobre plataforma de SIG. El 54,3 % del territorio presenta escenarios potencialmente peligrosos por desarrollo del carso en el momento actual, de los cuales hasta un 22,5 % podrían llegar a convertirse en muy peligrosos para 2050 - 2100. Los principales peligros relacionados con el desarrollo del carso subterráneo en la zona son, posibles derrumbes parciales o totales de viviendas, así como posibles sismos de origen kárstico, debido al desplome de techos de bóvedas de cavernas o de emanaciones súbitas de gas metano. Alrededor de un 18,7 % del territorio presenta escenarios poco peligrosos, básicamente en áreas de *carso cubierto por depósitos de potencia*, en tanto un 27 % no presenta peligro por carso..

Palabras claves: *carso, resistivímetro, peligros.*

Disaster hazard for actual and potential development of karst in littoral zone of Havana, Cuba

Abstract

Disaster hazard map for current and potential karst development at scale 1: 25 000, as well as the characterization of epigean karst at the subtype level and its variants according to the type and degree of edaphic cover are presented for first time in the coastal zone of Havana. Twenty expeditions with ninety-seven test stations were carried, thirty-five of which were vertical electrical sounding using the Schlumberger, Wenner, and Three Poles methods, with the aid of the French resistivity meter C.A 6470N from the *Chauvin Arnoux Group*. Two new indicators for sensitivity to the karst hazard adding to the other sevens before presented for Aguilar (2026), are incorporated. 54,3 % of the territory presents potentially dangerous scenarios due to current karst development, of which until 22.5 % could became very dangerous for 2050 - 2100. The main dangers related to the development of underground karst in the area are possible partial or total collapse of houses, as well as possible earthquakes of karstic origin, since the collapse of cave ceilings or sudden methane emissions. About 18.7 % of the territory presents little dangerous scenarios, basically in areas of *karst covered by potent deposits*, while 27 % presents no karst danger.

Keywords: *karst, terrameter, dangers.*

1. Introducción

Cuba es un país esencialmente cársico (=kárstico). Alrededor de un 65–66 % de la superficie emergida del archipiélago cubano está geológicamente constituida por rocas solubles, o lo que es lo mismo, rocas carsificables, susceptibles de desarrollo cavernoso en el subsuelo y desarrollo a su vez, de diferentes formas kársticas superficiales. Asimismo, alrededor de un 10 % del carso se encuentra actualmente inundado, en aguas de la plataforma insular de Cuba (carso sumergido en el mar o carso submarino de Cuba). En ese sentido, hay que decir que el área de estudio de este Servicio al Proyecto Adapthabana posee más de un 50 % constituido por terrenos cársicos (alrededor de un 55 %) de lo que se deduce la importancia de contar con un estudio a escala grande (1:25000) del carso superficial de la zona costera norte de la provincia de La Habana, como territorio altamente vulnerable a los efectos e impactos del Clima Cambiante de la Tierra. A su vez, se trata de un área de suma importancia dentro del territorio de la capital cubana.

El Servicio del Carso del proyecto Adapthabana, se propone entre sus objetivos, ofrecer una caracterización detallada del carso epigeo (carso superficial) de la zona de estudio, con énfasis en las características del relieve kárstico (= cársico) y de sus variantes según el tipo y grado de cobertura edáfica. Este resultado, constituye el documento de base o partida para el logro de otros objetivos de mayor alcance económico y social, relacionados con la identificación, caracterización y cartografía de escenarios de peligros geológicos actuales y potenciales (periodo 2050–2100) como consecuencia del clima cambiante y el desarrollo acelerado del carso subterráneo en la zona costera.

2. Materiales y Métodos

Los resultados que se presentan, contaron como punto de partida, con una serie de importantes mapas y otros materiales (imágenes satelitales, mapas geológicos y de suelos y modelos matemáticos), que sirvieron como base para la confección del mapa de variantes del tipo y subtipos de carso epigeo, así como de escenarios de peligros geológicos actuales y potenciales por desarrollo del carso en la zona. Se tomaron como materiales de partida, el Mapa Geológico Digital a escala 1: 100 000 del Instituto de Geología y Paleontología (2010), así como los resultados obtenidos por Jaimez Salgado et al (2012) y Jaimez Salgado et al (2017), en la caracterización del carso superficial de la provincia de La Habana a escala 1:25 000 y de escenarios de peligros geológicos por desarrollo

del carso a igual escala en la Provincia. Este último, contó con una adecuación de la Ecuación de Ghyben - Herzberg ajustada a la anisotropía propia del karst y su relación con el perfil de equilibrio de las aguas subterráneas, con lo cual se obtuvo una primera aproximación de la cota de ascenso del nivel piezométrico en el territorio costero, de acuerdo al avance de la cuña de intrusión marina. Lo anterior, deducido a partir de una data de 22 pozos con cotas actuales (cotas del nivel hidrostático) del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH), en la zona de Cangrejas, al oeste-suroeste de la zona de estudio. Al valor obtenido por modelación desde la Ecuación de Ghyben - Herzberg, se le sumó finalmente el valor en cm de los escenarios de ascenso máximo esperados del nivel medio del mar, de acuerdo con cifras publicadas en la 3ra Comunicación de Cambio Climático en Cuba, para los años 2050 – 2100. Asimismo, se utilizó un grupo de siete indicadores de susceptibilidad al peligro por desarrollo del carso para bases de datos SQL tomados de Aguilar (2026), en tanto se introducen otros dos nuevos indicadores de susceptibilidad como propuesta de los autores para este tipo de análisis, los cuales se procesan mediante el álgebra de mapas sobre plataforma de un Sistema de Información Geográfica (SIG).

En el paso inicial del trabajo de campo, se contó con la participación directa de un grupo de actores locales de la población residente en los municipios de intervención del Proyecto, los cuales fueron previamente capacitados para la realización de entrevistas a la población de los territorios. Lo anterior permitió una mejor y más efectiva “segunda etapa” del Servicio del Carso (Etapa de levantamiento de campo o de terreno) que posibilitó visitar directamente las viviendas e inquilinos entrevistados por los actores comunitarios, sin menoscabo del poco tiempo disponible, contra la extensión del territorio costero estudiado. Posterior a las entrevistas, se realizó un grupo de expediciones de levantamiento a lo largo y ancho del área de estudio, con un total de 97 estaciones (Fig. 1) que incluyeron nuevas inspecciones a inmuebles con signos de posible vulnerabilidad por desarrollo del carso subterráneo (grietas o rajaduras horizontales en paredes interiores y fachadas, pandeo en artesa de pisos o mosaicos y hundimientos parciales de éstos, etc). De estas, 35 estaciones contaron con exploración geofísica profunda del terreno (Sondeo Eléctrico Vertical; métodos de los Tres Polos, método de Schlumberger y Método de Wenner, con auxilio del terrametro francés marca C.A 6470N, de la *Chauvin Arnoux Group*).

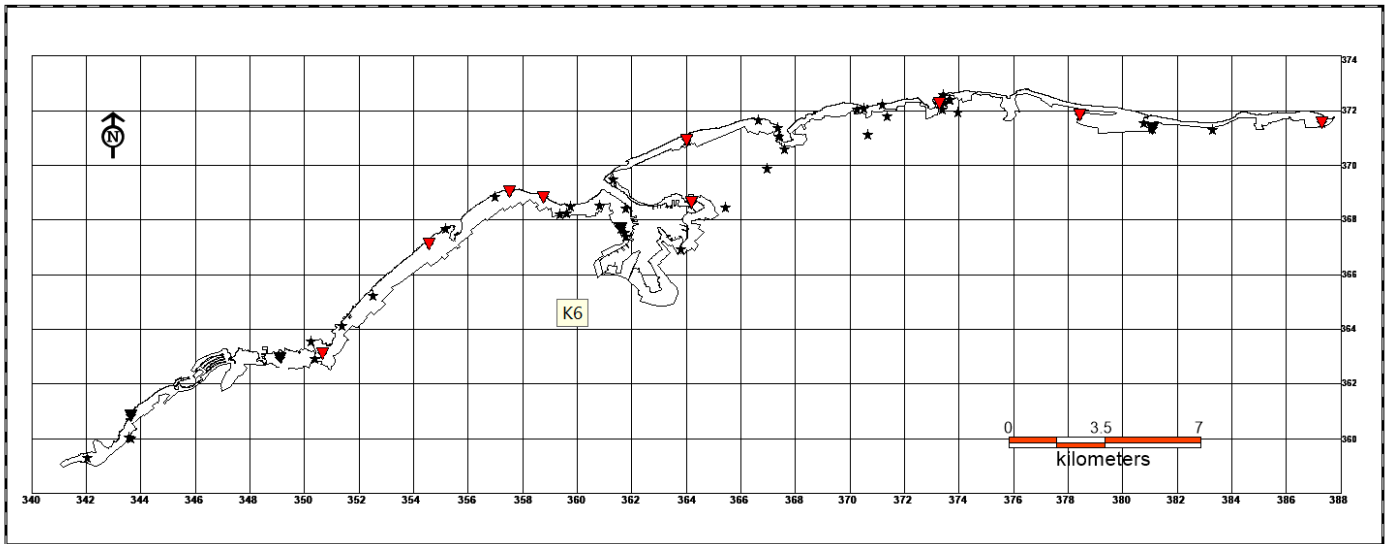


Figura 1. Mapa de ubicación de todas las estaciones de campo, realizadas por el equipo de trabajo del Servicio del Carso, proyecto Adaphabana. **Fuente:** original de los autores, 2025.

Como se aprecia en la Figura, aparecen en el mapa tres símbolos diferentes, fuera de escala. El símbolo en forma de estrellas, representa un amplio grupo de estaciones de entrevistas y visitas de fiscalización a inmuebles. El símbolo de triángulos negros invertidos, representa estaciones de sondeos eléctricos verticales negativos, en tanto los triángulos en color rojo, representan estaciones de sondeo eléctrico positivas, o sea, la confirmación de la existencia de cavidades kársticas subterráneas, dentro de una profundidad efectiva de 14 m. En la Fig. 1 se aprecia un pequeño grupo de estaciones, ubicadas fuera de los límites del área oficial de trabajo (aunque relativamente cercana a ésta). Lo anterior se debe, a que durante los trabajos de campo realizados, se pudo conocer sobre la existencia de otras viviendas con signos importantes de posible vulnerabilidad por desarrollo del karst, que aun sabiendo que se hallaban fuera del área de trabajo, se consideró oportuno visitarlas, dada la importancia de este estudio de peligro de desastre por cavernas en el subsuelo, así como el hecho de que no está claramente definido, el límite interior real de la denominada zona costera.

3. Resultados y Discusión

El área de estudio se caracteriza por ser una franja costera estrecha y larga de 68,8 km de longitud lineal a lo largo de su eje axial, con una superficie aproximada (según datos obtenidos del SIG), de unos 25,2 km². En un área muy urbanizada y antropizada de semejante extensión superficial resulta difícil caracterizar, de forma exacta

y precisa la expansión y límites naturales de los procesos y formas cársticas superficiales y subterráneas. Con todo, puede decirse que en el área de estudio predomina el subtipo de *carso litoral y de terraza marina* (Mateo Rodríguez, 1981 y Núñez Jiménez et al, 1984) y dentro de este subtipo, existe un marcado predominio de la variante de *carso cubierto por una delgada capa de suelo* (Fig. 2), el cual ocupa un área aproximada de más de 14 Km², lo que representa más de la mitad del área total de la zona de estudio.



Figura 2. Imagen del Hotel Nacional de Cuba sobre el *carso cubierto por una delgada capa de suelo*, de la segunda terraza costera del litoral norte de La Habana. **Fuente:** Instituto de Geofísica y Astronomía, 2024.

Se trata de una variante del carso de llanuras, en la cual la superficie kárstica se encuentra continuamente cubierta por suelos poco profundos, generalmente menos de 50 cm de espesor, pero en el área de estudio en particular, casi siempre menores de 25 cm de espesor. La superficie kárstica bajo estos suelos es fundamentalmente de pavimentos calcáreos con la presencia ocasional de lapiez enterrado, caracterizado por tener superficies redondeadas o de aristas suaves (*rundenkarren*) y carsolitos (fragmentos de calizas de medianos y pequeños tamaños). Esta variante del carso epigeo predominante en la zona de estudio, se ha desarrollado sobre el relieve de terrazas marinas emergidas, planas a muy planas, con muy baja pendiente o gradiente superficial, inferior al 0,5 %.

En general, se identificaron por este colectivo en la zona de trabajo hasta tres variantes del subtipo de *carso litoral y de terraza marina emergida*. Adicionalmente, una franja costera extremadamente estrecha con la variante de *carso desnudo y parcialmente desnudo*, se extiende de forma interrumpida al norte de todas las unidades antes citadas, de carso cubierto por una delgada capa de suelo (Fig. 3).

Se trata de un estrechísimo sector de la primera terraza emergida, el cual va desde la cota cero a las cotas 1,38 m, snmm; 1,90 m, snmm; 1,92 m, snmm; hasta la cota 2,10 m, snmm; a una distancia desde la línea de costa acantilada



Figura 3. Carso desnudo con abundante lapiez desnudo (*brandungskarren*), popularmente conocido como “diente de perro”, sobre toda la primera terraza marina del Reparto El Náutico, en el municipio capitalino de Playa. **Fuente:** Instituto de Geofísica y Astronomía, 2024.

activa de entre 50 a 80 m lineales, tierra adentro. Como se dijo antes, predomina en esta franja extremadamente estrecha de la primera línea costera el *carso completamente desnudo* y solo en ocasiones, el *carso parcialmente desnudo*, con afilados campos de lapiez libre, técnicamente denominado *brandungskarren*, desprovisto de toda clase de suelo, y en algunos casos, el lapiez semilibre o *karrenitzas*, en su porción más meridional (límite sur interior).

En términos generales y de acuerdo con datos geoestadísticos del Sistema de Información Geográfica (SIG por sus siglas en español), el carso completamente desnudo ocupa una franja costera muy estrecha, con una extensión superficial de apenas 1,7 Km² en la zona de estudio, lo que representa solamente el 6,5 % del área total estudiada en el Proyecto. Predominan aquí las crestas filosas del lapiez libre, conocido popularmente en Cuba como “diente de perro”, las que pueden alcanzar alturas medias de 30 cm y alternan en el área con pequeñas pozas o microdepresiones kársticas circulares, como formas negativas del relieve cársico costero, las cuales recepcionan agua de mar por períodos relativamente largos, como resultado del oleaje y de las inundaciones costeras ocasionales. La superficie en esta variante de carso desnudo, es también plana o muy ligeramente inclinada hacia el mar (pendiente inferior a 0,5 %) pudiéndose hallar pequeñas cuevas y casimbas de origen marino (abrasivas), con bocas de acceso inundadas por debajo del *cliff* o acantilado activo de la primera terraza (cuevas submarinas). Debido a la estrechez extrema de esta zona de *carso desnudo y semidesnudo* en la primera línea costera, resulta difícil poder representarla a la escala de trabajo, lo que dificulta a su vez conocer con exactitud el área que ocupa esta franja.

La variante de *carso cubierto por depósitos de potencia*, ostenta el segundo lugar jerárquico por su extensión en el área de estudio, por debajo del 20 % del total. La misma, abarca buena parte de la zona costera de los consejos populares Siboney-Atabey, Cubanacán, (ambos del municipio Playa), así como una estrecha franja (0,9 Km²) en el extremo noroccidental del Consejo Popular Guanabo, municipio Habana del Este.

En general, la superficie en las áreas con *carso cubierto por depósitos de potencia* posee también bajos niveles de gradiente geomorfológico (< 1,0 %), aunque no completamente planas, como en el caso de los subtipos anteriores. Por su aspecto físico-geográfico podrían ser fácilmente confundidas con otra clase de paisaje no cársico, dada la ausencia aquí de formas del relieve cársico en superficie y la ausencia total de carsolitos, lapiez,

pavimento calcáreo, cuevas, sumideros, dolinas y otras formas superficiales, totalmente ausentes en esta variante del carso epigeo, sólo comprobada por los sondeos eléctricos, la tomografía computarizada y las calas geológicas. Los suelos presentes en esta variante o subtipo de carso epigeo suelen ser muy variados, aunque con predominio del suelo aluvial (grupo *Fluvisol*, en el World Reference Base, 2003), desarrollado desde abajo por la suma de capas de aluviones, depositados inundación tras inundación de los pequeños ríos consecuentes que fluyen hacia el mar desde relieves más altos ubicados al sur, cortando erosivamente la estructura calcárea costera. Este es el caso del interfluvio de los ríos Quibú y Jaimanitas, en el sector oeste del área de estudio, mientras en la zona noroccidental del Consejo Popular Guanabo reaparece esta variante del carso cubierto, pero aquí por depósitos arenosos y limos arenosos profundos con Arenosol Carbonatado (Instituto de Suelos, 1999) en su superficie (Fig. 4).



Figura 4. Carso cubierto por depósitos de potencia (arenas y limos arenosos), sobre la primera terraza costera en Santa María del Mar, municipio Habana del Este. **Fuente:** Instituto de Geofísica y Astronomía, 2024.

En tercer y último lugar por distribución, se encuentra la variante de *carso cubierto por depósitos arenosos*, ciénagas y pantanos, localizada hacia los extremos este y oeste del área o zona de trabajo. Con apenas algo más de 2 km² de superficie, unos 0,3 Km² (1,1 %), pertenecen al *carso cubierto por ciénagas y pantanos* en los suburbios del llamado Bajo del Santa Ana, límite noroeste del Consejo Popular Santa Fe, municipio Playa (Fig. 5), en tanto otra pequeña sección de esta variante del carso cubierto corresponde a una estrecha franja ubicada en el extremo

oriental de la zona costera, desde Peñas Altas, hasta el final del manglar del área protegida del Rincón de Guanabo. La superficie o relieve de estas dos zonas de *carso cubierto por ciénagas y pantanos* está ubicada por debajo del nivel medio del mar (permanentemente inundada), con depósitos palustres de diferente origen y composición tales como margas, margas gleyzadas, sapropeles, así como suelos orgánicos o turbas (histosoles) y en otros sectores con presencia de campos de lapiez sumergido, lo cual es común para ambas localidades.



Figura 5. Carso cubierto por ciénagas y pantanos, bajo el manglar allende a la desembocadura del río Santa Ana, Consejo Popular Santa Fe, extremo oeste del municipio Playa. **Fuente:** Instituto de Geofísica y Astronomía, 2024.

Como se aprecia en la **Figura 5**, una importante zona con ecosistemas de manglar, achaparrado por el efecto restrictivo del karst o carso, se establece directamente sobre la roca caliza carsificada en la zona del Bajo del Santa Ana, Consejo Popular Santa Fe, municipio Playa, así como en la zona baja análoga del Rincón de Guanabo, en el extremo este de la zona de estudio del Proyecto. La tabla que se ofrece a continuación muestra un resumen de las variantes del carso superficial en el área estudiada, de acuerdo a datos del SIG y de los trabajos de campo realizados con este objetivo.

Como se aprecia en la **Tabla 1**, el *carso cubierto por una delgada capa de suelos* es la variante predominante en el área de estudio, variante que se ha desarrollado totalmente sobre rocas calizas arrecifales de la formación Jaimanitas. En general, puede decirse desde el punto de vista geológico que en el área de estudio el carso se ha desarrollado

Tabla 1. Resumen estadístico de las variantes del carso costero superficial en el área de estudio.

No	Variante del subtipo de carso litoral y de terrazas marinas emergidas	Área (Km ²)	%	Características generales
1	Carso cubierto por una delgada capa de suelos	14,4	54,3	Espesor de suelo < 25 cm
2	Carso cubierto por depósitos de potencia	3,9	14,7	Grandes espesores de suelo y de sedimentos cuaternarios
3	Carso cubierto por depósitos arenosos, ciénagas y pantanos	2,01	7,6	Grandes espesores de arenas, limos y turbas (turberas)
4	Carso desnudo (completamente desnudo)	1,7	6,4	Totalmente desnudo, sin suelo
5	Área no cársica	6,2	23,3	Depósitos aluviales de la desembocadura de los ríos

Fuente: original de los autores, 2025.

preferentemente sobre rocas de la formación Jaimanitas (en adelante, Fm = formación), el cual constituye el sistema soporte o substrato principal sobre el cual se asienta más del 90 % de los bienes inmuebles de toda la zona urbanizada.

De acuerdo a las estadísticas del SIG, obtenidas de la capa temática Mapa Geológico del área (Fig. 6), la Fm. Jaimanitas ocupa una superficie de 20,08 Km², lo que representa el 75,5 % del total de la zona estrictamente costera.

De acuerdo con datos tomados del Léxico Estratigráfico de Cuba (Instituto de Geología y Paleontología, 2013), el origen del nombre de la Fm. Jaimanitas (litonimia) proviene del pueblo Jaimanitas, al oeste del municipio Playa, provincia de La Habana (Brödermann, 1940). Se trata de calizas biodetríticas masivas, generalmente carsificadas, muy fosilíferas, conteniendo principalmente

conchas bien preservadas, corales de especies actuales y ocasionalmente biohermos. Los bolsones cársicos a veces se encuentran rellenos por una fina mezcla carbonato – arcillosa, ferruginosa, de color rojo ladrillo. Pasan a biocalcarenitas de granulometría y estratificación variable, o masivas. En mayor o menor cantidad, contiene fragmentos de sedimentos terrígenos, incluyendo calizas preexistentes. Es frecuente encontrar variaciones litofaciales y biofaciales. En general la cementación es variable y en su superficie presenta un casquete recristalizado de evaporitas y caliche combinados, de 1 a 2 m de espesor, por debajo del cual, en ocasiones, la roca aparece desintegrada, convertida en un material terroso. La coloración predominante es blancuzca, rosácea o amarillenta. Su espesor o potencia se estima en más de 10 m, con una edad geológica del Pleistoceno Superior (QIII), por lo que, partiendo del Método de los Límites propuesto por Markov en 1948 (Lamadrid

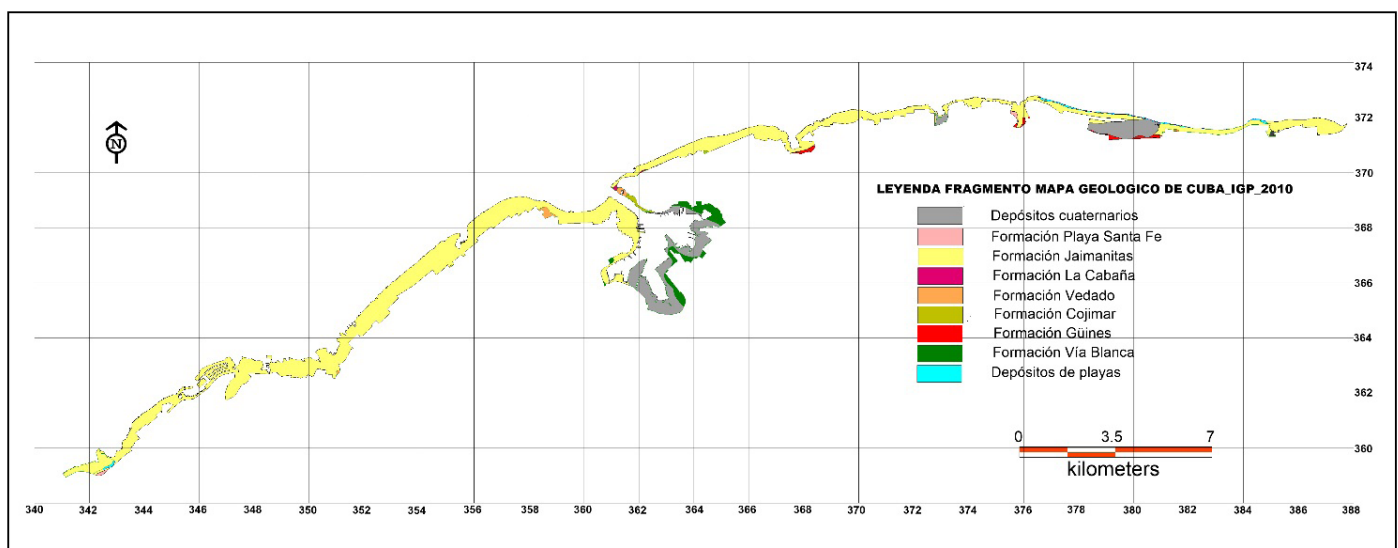


Figura 6. Fragmento del Mapa Geológico de Cuba en la zona costera, área de trabajo del proyecto Adapthabana. **Fuente:** Instituto de Geología y Paleontología; reelaborado por los autores, 2024.

y Horta, 1977; Seco, 2004), se puede estimar una edad geomorfológica del Holoceno para la superficie del carso epigeo sobre la misma (QIV).

Como resultado de la marcada juventud del relieve kárstico sobre la Fm. Jaimanitas, existe un predominio absoluto de suelos de perfil incompleto (suelos con perfil AC o perfil A-AC-C) del tipo Rendzina (*Leptosol rendsico*, de acuerdo al sistema taxonómico que utiliza FAO, en el World Reference Base, 2003), predominando el subtipo Rendzina Roja (Instituto de Suelos, 1999). Se trata de suelos poco productivos, medianamente evolucionados, con muy alto contenido de Carbonato de Calcio residual en todo el perfil (generalmente > de 40 %), pH de ligeramente a medianamente alcalino, con poca profundidad efectiva (<25 cm), alto contenido de gravas y fragmentos de calizas.

En términos paisajísticos, la Fm. Jaimanitas muestra dos facies o geosistemas kársticos en superficie, uno de ellos en la primera terraza costera emergida, desde la cota cero hasta la cota 2,10 m, con un carso epigeo muy joven y completamente desnudo (carente de suelo) y otra facie contigua y paralela a la anterior, la cual alcanza el límite meridional de la zona de estudio (Fig. 7).



Figura 7. Suelo tipo Rendzina Roja (*Leptosol rendsico* según World Reference Base, 2003), formado sobre la Fm. Jaimanitas, reparto Celimar, Habana del Este. **Fuente:** original de los autores, 2024.

Otras formaciones geológicas de menor distribución en el área de estudio y su edad geológica, algunas de las cuales constituyen litologías carsificables, se muestran en la **Tabla 2**. También se muestra la edad geomórfica o del relieve, basada en el método de los límites, de fechado relativo.

Tabla 2. Estadísticas técnicas del SIG, sobre geología y edad relativa del relieve en el área de estudio.

ID	Formación geológica	Edad/roca	Edad/relieve	Km ²	%
1	Jaimanitas	Q _{III}	Q _{IV}	20,08	75,5
2	Depósitos Cuaternarios	Q _{I-IV}	Q _{IV}	4,7	17,5
3	Vía Blanca	K ₂	P ₁	0,8	3,2
4	Güines	N ₁ ¹⁻³	N ₂	0,3	1,02
5	Depósitos de playas	Q _{I-IV}	Q _{IV}	0,3	0,9
6	Vedado	N ₂ ²	Q ₁	0,2	0,7
7	Cojímar	N ₁ ¹⁻²	N ₁ ³	0,13	0,5
8	Playa Santa Fe	Q _{III}	Q _{IV}	0,09	0,3
9	La Cabaña	Q _{II}	Q _{III}	0,04	0,2
10	Guanabo	Q _{III}	Q _{IV}	0,01	0,04

Fuente: original de los autores, 2025.

3.1. Evaluación de peligro potencial de desastre por carso sobre el medio construido en la zona costera de La Habana, a escala 1: 25 000

Como ya se dijo, Cuba es un país con predominio de paisajes kársticos. Más de **dos tercios** del territorio nacional están ocupados por diferentes rocas solubles y diferente tipo y grado de desarrollo del carso. Dada la enorme importancia económica y social que posee el conocimiento del desarrollo y funcionamiento del carso, no es casual que un gran número de investigadores, hayan prestado una especial atención al estudio de estos territorios en nuestro país (Panos y Stelcl, 1968; Núñez Jiménez et al, 1968; Acevedo, 1979, 1980; Skwaletski e Iturralde, 1971; Iturralde-Vinent, 1972; Núñez Jiménez y Echevarría, 1973; García, 1974; Valdés, 1974; Molerio, 1975; Molerio, 2004a y 2004b; Acevedo, 1980; Mateo Rodríguez, 1981; Panos, 1988; Barceló Carol et al, 1990; Gutiérrez e Iturralde, 1990; Hernández et al, 1990; Otero y Guerra, 1990; Pajón, et al, 1990; Fagundo et al, 1992; Jaimez y Gutiérrez, 1992; Jaimez y Gutiérrez, 1993a y b; Gutiérrez et al, 1994; Iturralde, 1972 e Iturralde, 1995; Rocamora, 1995; Gutiérrez y Rivero, 1999; Díaz et al, 2000; y Flores, 2000; Stelcl, Otakar et al, 1971; Ponce et al, 2001; Molerio, 2004 a y b; Guerra, 2009; Jaimez y Gutiérrez, 2010; Alfonso de Anta, 2010; Jaimez et al,

2011a y b; Jaimez Salgado et al, 2012; Jaimez Salgado et al, 2017). Sin embargo, a pesar de lo mucho avanzado no se contaba hasta el año 2011 con un estudio de caracterización a escala 1:25 000 o mayor de las regiones cársicas de Cuba, que pudiera servir como base para la posterior cartografía de escenarios de peligros geológicos actuales y potenciales, relacionados con el desarrollo del aparato cársico superficial y subterráneo. Es en este sentido, que se presenta en este informe un estudio a escala 1: 25 000 del carso superficial de la zona costera de La Habana, cuyo objetivo principal es caracterizar el desarrollo del carso a gran escala en la zona de estudio, como punto de partida para la evaluación de la exposición al peligro real y/o potencial por desarrollo a su vez del carso subterráneo y su relación con el ascenso continuo del nivel medio del mar y con éste, el ascenso consiguiente de las aguas subterráneas kársticas, directamente conectadas con el mar.

La Directiva 1 del Estado Mayor Nacional de la Defensa Civil de Cuba en su versión más reciente (EMNDC, 2024), define peligro de desastre como: “un probable evento extraordinario o extremo, de origen natural, tecnológico o sanitario, nocivo, que puede producirse en un momento y lugar determinado, con una magnitud, intensidad, frecuencia y duración, y que puede afectar la vida humana, la economía o las actividades de la sociedad y provocar una situación de desastre”.

El carso como sistema soporte tiene un carácter dual: de un lado se desarrolla el *carso epigeo*, con la formación de campos de lapiez, dolinas, sumideros, poljes, etc. y del otro, tiene lugar de manera casi simultánea, el desarrollo de formas cársicas subterráneas tales como cuevas o cavernas, simas (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 la superficie, del otro, el desarrollo del *carso hipogeo* o carso subterráneo enmascara una realidad de peligro real o potencial por derrumbes parciales o incluso, colapso total de bienes inmuebles. La exposición a esta clase de peligro de desastre, no es claramente evidente la mayor parte de las veces en la superficie del terreno kárstico (= cársico). He aquí que el desarrollo de estas formas subterráneas del karst o carso, puede llegar a constituir una verdadera amenaza para la estabilidad de la cimentación de obras arquitectónicas, que pueden imponer carga o peso por encima de la capacidad soportante de los techos de bóvedas de cavernas, en el caso de la cimentación por error ingeniero sobre éstas. La experiencia mundial no está exenta de casos de derrumbes por carso, e incluso,

de colapso total de algunas estructuras de cimentación en lo profundo de una caverna subyacente desconocida. Bien conocidos son los casos acontecidos hace algunos años en La Florida, USA, en el carso del Cáucaso ruso y más recientemente, en territorios kársticos de la República Popular China.

Otro tipo de peligro geológico asociado al carso, no bien documentado hasta hoy en Cuba, es el de sismos de origen cársico (como los ocurridos en la localidad de Ganuza, municipio de San José de las Lajas, provincia de Mayabeque, el 9 de marzo de 1995 y en la localidad de Jardín de Aspiro, municipio San Cristóbal, provincia de Artemisa, en mayo de 2006), los que a pesar de liberar sólo pequeñas cantidades de energía, pueden no obstante debilitar gradualmente las estructuras de cimentación de los bienes inmuebles, hasta el derrumbe parcial o total a futuro de los mismos.

Se conoce, que el 9 de marzo de 1995 ocurrió en el poblado de Ganuza, municipio San José de las Lajas, provincia de Mayabeque, un sismo de 2,8 de magnitud absoluta en la escala de Richter, cuyo registro sismográfico muestra valor 0 en la profundidad del hipocentro, algo totalmente inusual en el caso de sismos o terremotos de origen tectónico, de lo que resulta probable el origen kárstico de este evento, probablemente debido al derrumbe o colapso de un techo de caverna no conocida, de las tantas que existen en esta zona y su vecindad inmediata, especialmente en la llamada “Meseta Roja”, en el citado Municipio.

Es conocido de la literatura especializada el origen de algunos sismos y microsismos kársticos, relacionados con derrumbes parciales o totales de bóvedas subterráneas, así como con repentinas emanaciones de gas metano (Bombas de CH₄) asociadas a fuertes procesos reductores de residuos orgánicos subterráneos, acumulados en ambientes totalmente cerrados bajo la tierra (debido al desarrollo de formas inversas del carso subterráneo y la descomposición anaeróbica de materia orgánica dentro de éstas). La zona costera norte de La Habana no está exenta de este tipo de peligro, estudiado y documentado con fechas de ocurrencia para la provincia de La Habana por Jaimez et al (2017), 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 de las aguas cársicas subterráneas. Dado que los acuíferos subterráneos del carso litoral de toda Cuba son físicamente abiertos al mar, el ascenso del nivel del mismo como consecuencia directa del deshuelo glacial, trae aparejado un continuo reajuste del nivel de base general, así como un mayor avance de la cuña de intrusión

marina tierra adentro. De esta forma, el agua salada más densa desplaza hacia arriba el agua dulce, con el ascenso consiguiente de la capa piezométrica o freática. Debido a que cualquier proceso de mezcla de aguas cársicas es considerado por los estudiosos del carso como un proceso agresivo a las rocas solubles (rocas carsificables), por el incremento en la capacidad de disolución de CO_2 (g), es de esperar que el ascenso continuo de esta capa pueda disparar los procesos de disolución cársica en la zona de mezcla y con ello, el posible debilitamiento de los cimientos de las estructuras que sean inundadas.

Los primeros signos de inicio de un proceso de carsificación y de posible desestabilización de los cimientos de las obras ingenieras (arquitectónicas), están relacionados con la aparición de fisuras o grietas horizontales en las paredes (grietas de asentamiento diferencial), así como el pandeo de mosaicos, la “caída” de rodapiés bajo paredes de piezas interiores de los inmuebles, vibraciones perceptibles al caminar, etc. Es en esta dirección, que los autores han conseguido documentar un número importante de “casos de estudio” de posible peligro de desastre en el momento actual, detectados durante el trabajo de campo del Servicio del Carso, con evidencias tangibles de posibles afectaciones por carso subterráneo en desarrollo, contrastable con los resultados de una elevada e incluso muy elevada resistencia del suelo en los sondeos eléctricos verticales, realizados en los límites y linderos de los bienes inmuebles afectados (de 35 Sondeos realizados, 22 confirmaron la presencia de cuevas en unos casos y oquedades kársticas subterráneas en otros (62,9 %), dentro de los primeros 40 metros de profundidad desde la superficie, con un rango de efectividad de 14 metros).

Se destacan en orden de prioridad cuatro inmuebles (edificios 328, 329, 330 y 331), ubicados en un área pequeña de 0,78 ha en la parte baja del Reparto Camilo Cienfuegos, Habana del Este, en dos de ellos ya han tenido lugar

derrumbes parciales asociados al carso subterráneo, debido a la construcción de los cuatro inmuebles en derredor de la conocida cueva de los Camarones (Fig. 8).

Como se aprecia en la Figura 8, se trata de una columna secundaria a la construcción del edificio, como medida de reforzamiento o apuntalamiento del inmueble, ante la caída de pisos y agrietamiento del mismo.

He aquí que en el apartamento 2, del Edificio 330, ocurrió un hundimiento parcial de su piso hace algunos años, en el cual cayó dos metros más abajo un señor mayor ya previamente enfermo de una cardiopatía isquémica,



Figura 8. Detalle de la construcción de una columna de reforzamiento (apuntalamiento) en el Edificio No. 330 del Reparto Camilo Cienfuegos, municipio Habana del Este, afectado por carso subterráneo, tras el desarrollo expansivo de una cueva abierta en su vecindad (Cueva de los Camarones).
Fuente: Instituto de Geofísica y Astronomía, 2024.

fallecido tras la caída. Con posterioridad a este lamentable incidente, fueron evacuados los inquilinos de los ocho apartamentos del Edificio 330, para una reparación general (transitoria), al cual retornaron más tarde y continúan viviéndolo aún hoy, bajo el riesgo de posibles derrumbes kársticos para unas 30 personas. En esta misma línea de razonamiento, otra persona de 57 años de edad, quedó literalmente colgada de las manos en el lavadero del patio de su apartamento, edificio 331, porque se le hundió el piso en el año 2006 y posteriormente, se les fue al hoyo también la taza de baño, por lo que tuvieron que rellenar con “piedra verde” (serpentinita) ambos hundimientos. Finalmente, todos los apartamentos de la planta baja del edificio 329), vecino de los anteriores, han tenido también incidentes ocasionales de pisos hundidos.

Como se aprecia, el edificio no aparenta en sus fachadas o exteriores encontrarse realmente bajo riesgo de derrumbe

parcial o total por desarrollo de carso subterráneo, lo cual se debe a que, en determinado momento, después del derrumbe parcial ocurrido años atrás, fueron evacuados temporalmente todos sus inquilinos en 2020 para su reparación “capital”. Esto ocasionó un mejoramiento aparente de fachadas e interiores, dado que la caverna continúa allende y con ella, continúa también la evolución de sus conductos kársticos subterráneos (los autores tienen testimonio verbal de varios de los inquilinos de estos cuatro edificios, que refieren cómo por la boca de la espelunca, brotan chorros de agua del mar a presión, durante las fuertes marejadas provocadas durante tormentas invernales (frentes fríos severos) y durante las afectaciones por ciclones y huracanes que generan inundaciones costeras).

Las mediciones realizadas con el resistivímetro de tierra, en áreas allende a los edificios 330 y 331 del Reparto Camilo Cienfuegos, confirmaron la expansión de los conductos

kársticos subterráneos, relacionados con la presencia en el área de la cueva de los Camarones, hacia los límites y linderos de estos inmuebles, más allá de la única entrada o vía de acceso conocida de la inexplorada, e inundada espelunca (Tabla 3).

Como se aprecia en la Tabla, todos los valores de resistencia eléctrica encontrados en las mediciones en varios puntos allende al Edificio 330, mostraron cifras altas de resistencia eléctrica del suelo (por encima de 40 Ohmios) a diferentes profundidades y, en particular, se resaltan en color rojo dos mediciones a una profundidad estimada de 13 metros (Estaciones No. 34 y 35a), con valores de más de 600 Ohmios, lo cual concuerda con la presencia de un amplio recinto subterráneo subyacente, relacionado probablemente, con la cercana cueva de los Camarones.

Un panorama con escenarios parecidos se puede hallar en la parte baja del reparto Alamar, así como en los repartos

Tabla 2. Datos del sondeo eléctrico con terrametro realizado en los límites y linderos del edificio 330, reparto Camilo Cienfuegos, municipio Habana del Este, 2024.

No Est	LN	LW	XZ	Y	50 %	R Ohm	Localidad
33	23.16305	-82.32796	36	5		64	Esquina SW del Edificio 330, Camilo Cienfuegos
34	23.16290	-82.32778	36	5		679	Lectura allende a boca de la cueva
35	23.16305	-82.32796	36	18	x	66.1	Esquina SW del Edificio 330, Camilo Cienfuegos
35a	23.16290	-82.32778	36	18	x	676	Lectura allende a boca de la cueva
36	23.16305	-82.32796	26	18		66.9	Esquina SW del Edificio 330, Camilo Cienfuegos
37	23.16305	-82.32796	26	18		173	Posición inversa al edificio
38	23.16305	-82.32796	26	13	x	65.7	Esquina SW del Edificio 330, Camilo Cienfuegos
39	23.16305	-82.32796	26	13		174	Posición inversa al edificio_50 %
40	23.16305	-82.32796	16	13		70.3	Esquina SW del Edificio 330, Camilo Cienfuegos
41	23.16305	-82.32796	16	13		93.2	Posición inversa al edificio
42	23.16305	-82.32796	16	10		67.3	Esquina SW del Edificio 330, Camilo Cienfuegos
43	23.16305	-82.32796	16	10		96.3	Posición inversa al edificio
44	23.16305	-82.32796	10	5		64.5	Esquina SW del Edificio 330, Camilo Cienfuegos
45	23.16305	-82.32796	10	5		67.2	Posición inversa al edificio
46	23.16305	-82.32796	10	3		61.6	Esquina SW del Edificio 330, Camilo Cienfuegos
47	23.16305	-82.32796	10	3		69.9	Posición inversa al edificio
48	23.16305	-82.32796	6	3		79.5	Esquina SW a la entrada del Apto 2 paralelo a Edif.
49	23.16305	-82.32796	6	3		88.3	Posición inversa a este segmento paralelo al Edificio
50	23.16305	-82.32796	10	3		75.5	Esquina SW a la entrada del Apto 2 paralelo a Edif.
51	23.16305	-82.32796	10	3		112	Posición inversa a este segmento paralelo al Edificio
52	23.16305	-82.32796	10	5		76.9	Esquina SW a la entrada del Apto 2 paralelo a Edif.
53	23.16305	-82.32796	10	5		108	Posición inversa a este segmento paralelo al Edificio

Fuente: original de los autores, 2025.

Celimar y Cojímar, todos del municipio Habana del Este. En el reparto Alamar, este equipo de trabajo visitó varios inmuebles con signos preocupantes de posible inicio de subsidencia por carso (rajaduras horizontales prolongadas) y en otro caso, un hundimiento bajo el mosaico de la cocina, en el apartamento No. 12, del edificio A-46, de la zona 23 de este Consejo Popular (Fig. 9).



Figura 9. Hundimiento en el piso de la cocina en la planta baja del apartamento 12, edificio A-46, Zona 23, Alamar, municipio Habana del Este, presumiblemente originado por erosión sufosivo – cársica (succión cársica), con la consiguiente pérdida del relleno y sostén bajo el mosaico. **Fuente:** original de los autores, 2024.

En el reparto Cojímar, igualmente se constató la existencia de grietas de acomodo diferencial (presumiblemente por subsidencia) en varias viviendas visitadas, siendo de destacar el caso de la vivienda ubicada en San Marcos No. 45 B, entre A y Martí Real, en la cual los inquilinos vierten sus residuales domésticos (aguas grises y aguas negras) directamente a una casimba, ubicada en el patio interior de la vivienda.

Se visitaron también, viviendas en el reparto Celimar con signos de posible vulnerabilidad por desarrollo del carso. En esta localidad, se obtuvo el valor más alto de resistencia eléctrica del suelo por sondeo eléctrico vertical, con hasta 800 ohmios en los 15 m, de profundidad bajo la superficie, lectura instrumental realizada en un terreno baldío,

allende a varias de las viviendas visitadas en este Consejo Popular, perteneciente también al municipio Habana del Este (Fig. 10).



Figura 10. Lectura instrumental muy elevada (800 Ohmios), en terreno baldío en el reparto Celimar, municipio Habana del Este, denotando elevada probabilidad de una sala subterránea (caverna) de grandes proporciones a los 14 m de profundidad desde la superficie. **Fuente:** original de los autores, 2024.

Otra vivienda visitada con signos preocupantes de vulnerabilidad estructural por desarrollo del carso, se encuentra ubicada en la calle San Lázaro No. 655, entre Gervasio y Padre Varela, municipio Centro Habana, donde se constató la existencia de una sima profunda, bajo el mosaico de la cocina del inmueble, con marcado agrietamiento adicional en las paredes y arquitrabe de esta pieza interior de la vivienda (Fig. 11).



Figura 11. Rajaduras en el arquitrabe de vivienda en San Lázaro 655, e/ Gervasio y Padre Varela, municipio Centro Habana. **Fuente:** original de los autores, 2024.

Como se aprecia en la **Figura 11**, grietas o rajaduras horizontales en el arquitrabe de este apartamento, construido sobre rocas calizas cavernosas de la Fm. Jaimanitas, sugieren posible vulnerabilidad estructural por probable desarrollo del carso en el subyacente del inmueble. La hipótesis anterior, se ve reforzada por el testimonio ofrecido por la propietaria de la vivienda, quien mostró a los autores, la existencia de un hoyo profundo abierto debajo del fregadero de la cocina, por donde aseguran que se escapa en minutos, toda el agua del mar que cruza la Calle San Lázaro, durante las fuertes inundaciones costeras.

Finalmente, el equipo de trabajo del Servicio del Carso visitó e inspeccionó varios bienes inmuebles en el vecino municipio de la Habana Vieja, que al igual que Centro Habana, ostenta una situación bastante mala en el estado actual del medio construido. Aunque la mayor parte del agrietamiento de las obras en ambos municipios, obedece más al deterioro por fatiga arquitectónica y a la falta de un adecuado y sistemático mantenimiento de las mismas, resultaron evidentes, no obstante, algunos casos con signos y síntomas de vulnerabilidad estructural presumiblemente por desarrollo del carso en el subsuelo. Es el caso, por ejemplo, del Consultorio Médico No. 2, ubicado en Prado No. 206, en cuyo interior se observan algunas grietas horizontales recién resanadas. Según explicó la doctora de dicho consultorio, estas grietas y pisos hundidos de la sala

de consultas, se han reparado en numerosas ocasiones, y al cabo de poco tiempo vuelven a aparecer.

En la Habana Vieja, se realizaron dos sondeos eléctricos verticales (Estación No. 89) en los exteriores del Convento de Santa Clara, utilizándose el Método de los Tres Polos. Uno de ellos, realizado en el área exterior del Convento, mostró valores bajos de resistencia eléctrica (13,5 y 13,6 Ohmios) que aplican con un substrato dentro de los primeros 14 m, con roca caliza compacta, coincidiendo con la litología subyacente de Fm. Jaimanitas, de acuerdo al Mapa Geológico de Cuba (no visible las rocas en la superficie actualmente, por el alto grado de urbanización del Municipio). Un segundo sondeo se realizó en el otro extremo del área exterior, junto a una de las paredes del Convento, en el que se obtuvieron valores elevados de resistencia eléctrica (348 – 349 Ohmios), los cuales se interpretan como una cavidad subterránea de moderada a gran dimensión (**Tabla 4**).

Las estaciones 90 y 91 en la **Tabla 5**, no pudieron contar con sondeos eléctricos por las barreras arquitectónicas y de la infraestructura vial allende a ambos inmuebles, pero los signos de vulnerabilidad presentes en ambos casos, asemejan más a “fatiga de obras”, por el estado deplorable de los edificios visitados, que a vulnerabilidad estructural por posible desarrollo del carso en profundidad.

Tabla 4. Datos del sondeo eléctrico en los exteriores del Convento de Santa Clara y visitas de inspección a otras viviendas cercanas, del municipio Habana Vieja.

Est.	LN	LW	XY	XZ	R	Localidad	Otros aspectos
88	23.14031	-82.34953	NO	NO	NO	Plaza de Armas, municipio Habana Vieja (No se hace sondeo)	Suelo Rendzina Roja, género Carbonatado paralítico (Instituto de suelos, 1999)
89	23.13371	-82.35126	18,60	30	13,5	Exteriores del Covento de Santa Clara, Habana Vieja	Roca caliza dura sin cavidades kársticas subterráneas
89	23.13371	-82.35126	15	30	13,6	Exteriores del Covento de Santa Clara, Habana Vieja	Roca caliza dura sin cavidades kársticas subterráneas
89	23.13371	-82.35126	18,60	30	348	Inversión de punto de tierra, a un lado de pared del Convento	Cavidad subterránea de moderada a gran dimensión
89	23.13371	-82.35126	15	30	349	Inversión de punto de tierra, a un lado de pared del Convento	Cavidad subterránea de moderada a gran dimensión
90	23.13120	-82.34969	NO	NO	NO	Cuba 821 e/ Paula y Merced, Municipio Habana Vieja	Socavado muy ligero en cimientos y artesa suave en acera
91	23.13237	-82.35003	NO	NO	NO	Cuba 709 e/ Jesús María y Acosta, munic. Hab. Vieja	Grietas horizontales en fachada y artesa suave en acera

Nota: Las estaciones 90 y 91 parecen vulnerables deplorables más por fatiga de obras que por origen kárstico. En general, edificios en muy mal estado (inhabitables) con acero explotado, derrumbes parciales en plantas altas, etc

Fuente: original de los autores, 2025.

Es importante señalar que una significativa cantidad de edificios antiguos de la Habana Vieja presentan cavidades artificiales soterradas, que funcionaron durante tiempos de la colonia y posteriormente, como letrinas y como aljibes para almacenar agua. En este sentido, la Habana Vieja podría tener vulnerabilidades por cavidades kársticas debido a su geología, y también debido a cavidades antropogénicas en el subsuelo, tales como las antiguas letrinas y aljibes, antes mencionados. En este sentido, se observó también un ligero socavado al pie de la fachada de un edificio en mal estado, en la calle Cuba No. 821, entre Paula y Merced, coincidiendo con un pequeño declive en forma de artesa en el contén de la acera del inmueble, justo debajo del lugar donde la fachada se muestra ligeramente erosionada.

Como resultado de las mediciones instrumentales con terrametro, además de las entrevistas e inspecciones realizadas en la zona costera de los seis municipios de intervención del Proyecto y la aplicación sobre SIG de los indicadores de susceptibilidad al peligro por carso (Aguilar, 2026) más dos nuevos indicadores de susceptibilidad derivados de los subtipos de carso epigeo (IPK) e indicadores de susceptibilidad por cavernamiento comprobado (ICA), se obtuvo un mapa de escenarios de peligro potencial de desastre por desarrollo del carso para el periodo actual, el cual se muestra en la Fig. 12.

Las tablas (tablas 5 y 6) que se ofrecen a continuación, muestran dos nuevos indicadores de susceptibilidad al peligro por desarrollo del carso, a propuesta de los autores de esta contribución, que unidos a otros siete anteriormente

presentados por Aguilar (2026), constituyen la base metodológica para su modelación matemática, sobre Sistemas de Información Geográfica.

Como se aprecia en la Figura 12, el fondo cualitativo en rojo y naranja (escenarios actuales potencialmente peligrosos), son los colores predominantes en el mapa. Es importante, sin embargo, destacar una particularidad del desarrollo anisotrópico del carso subterráneo, siguiendo patrones preferenciales de transmisividad del agua subterránea y por extensión, también de los procesos de carsificación subterránea. Por esta razón y a pesar de que en el mapa de la Fig. 12 se muestran amplias áreas de expansión del peligro de desastre por carso, el desarrollo preferencial anisotrópico de conductos kársticos subterráneos tiene lugar en líneas y zonas específicas de debilidad estructural de las rocas carsificables, y no necesariamente a lo largo y ancho de toda la zona de exposición potencial al peligro por carso. Esto explica por qué en determinadas locaciones de los municipios costeros, la exploración geofísica por sondeo eléctrico en unos casos resulta positiva (de confirmación de carso subterráneo) y en otras no. En el municipio Plaza de la Revolución por ejemplo, la exploración geofísica confirmó la presencia de una cueva en lo que se conoce localmente, como “Hueco de Calzada y J” (Fig. 13), localidad que fue estudiada en noviembre de 2019 por la Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas (ENIA), confirmando la presencia de cavernamiento, a través de la tomografía computarizada.

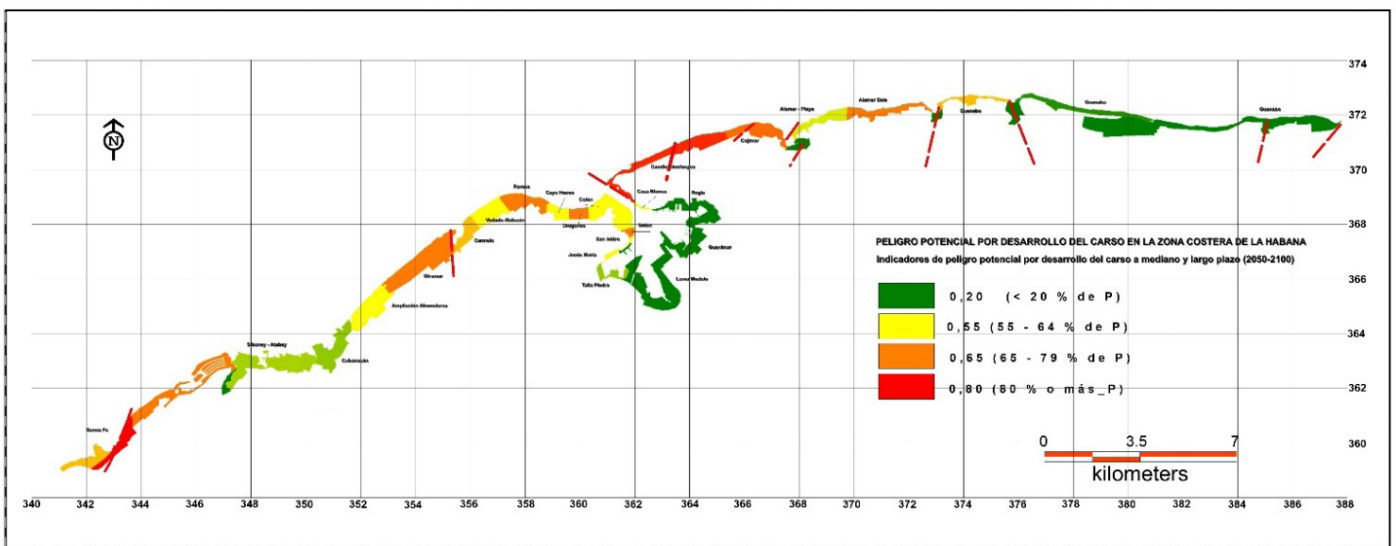


Figura 12. Mapa de escenarios de peligro por desarrollo actual y potencial del carso en la zona de estudio. **Fuente:** original de los autores, 2024.

Tabla 5. Indicador de presencia de cavidades kársticas confirmadas o detectadas cercanas o debajo de las estructuras.

Indicador	No. clase	Cavidades kársticas confirmadas	Valor (Pc)	Categoría
Cavernamiento (Carso subterráneo)	1	Sin cavidades detectadas	0,2	baja
	2	Cavidades en la unidad geomórfica	0,5	Moderada
	3	Cavidades en el lindero de edificios	0,8	Alta
	4	Cavidades bajo los cimientos de edificios	1	Muy alta

Fuente: original de los autores, 2026.

Tabla 6. Indicador de tipificación de carso epigeo, relacionado con la intensidad de desarrollo del carso subterráneo.

Indicador	No. clase	Clasificación	Valor (Pc)	Categoría
Subtipo variante del carso epigeo	1	Carso cubierto por depósitos potentes	0,1	Muy baja
		Carso cubierto por ciénagas y pantanos	0,2	Muy baja
	2	Carso estabilizado	0,3	Baja
	3	Carso cubierto por una capa de suelo	0,5	Media
	4	Cubierto por una delgada capa de suelo	0,8	Alta
	5	Carso desnudo y semidesnudo	0,9 - 1	Muy alta

Fuente: original de los autores, 2026.



Figura 13. Edificio No. 53 en Je/ 1 ray Calzada, Vedado, Plaza de la Revolución, allende a un terreno baldío con evidencias de pequeñas cuevas, en las mediciones del sondeo eléctrico vertical. **Fuente:** Instituto de Geofísica y Astronomía, 2024.

La *tabla 7*, ofrece un resumen estadístico de los escenarios actuales de peligro por desarrollo del karst en la zona costera de La Habana, de acuerdo a la topología del Sistema de Información Geográfica.

Como se aprecia en la Tabla, el 32 % de la zona de estudio muestra escenarios actuales potencialmente peligrosos

por desarrollo del carso subterráneo, lo que estará circunstancialmente reforzado en unos casos y retardado en otros, según la presencia/ausencia de estructuras geológicas apropiadas en el subsuelo, favorables o no, al desarrollo de cavidades y conductos kársticos subterráneos (principio de anisotropía del carso).

En términos generales, un área de 13,6 km² del territorio estudiado (54,3 %) presenta escenarios peligrosos por desarrollo del carso en el momento actual, de los cuales unos 5,9 Km² más, podrían convertirse en escenarios potencialmente muy peligrosos para el periodo 2050 – 2100 en zonas con costas altas o escarpadas del municipio Habana del Este.

Las causas del probable incremento de los escenarios potencialmente peligrosos a futuro, fundamentalmente en áreas específicas del sector este de la zona de estudio, municipio Habana del Este, se relacionan no sólo con el ascenso continuado del nivel medio del mar y de las aguas subterráneas (que obviamente afectará a toda la zona costera), sino también a un mayor grado de fracturación tectónica (neotectónica) en esta parte de la zona costera, mucho más marcado en la parte oriental de La Habana que en la mitad oeste de la misma, lo que se traduce en términos de variables potenciadoras de la carsificación subterránea, en la existencia de estructuras geológicas de agrietamiento

Tabla 7. Escenarios potenciales de peligro por desarrollo del carso en la zona costera de La Habana según datos del SIG.

Escenarios de peligro	Área Km ²	%	Localidades (Consejos Populares)
Potencialmente peligrosos	8,05	32,0	Santa Fe, Miramar, Rampa, Dragones, Belén, Camilo Cienfuegos, Alamar-Este, Cojimar, Celimar, y la zona este de Guanabo
Moderadamente peligrosos	5,6	22,3	Ampliación Almendares, Vedado – Malecón, Carmelo, Cayo Hueso, Colón, Catedral, San Isidro, Jesús María, Casa Blanca (Regla), Alamar-Playa, Guanabo urbano
Poco peligrosos	4,7	18,7	Parte baja del C.P Siboney – Atabey, Cubanacán, Talla Piedra, Zona este de Guanabo
Sin peligro por carso	6,8	27,0	C.P Loma Modelo y C.P. Guanimar (municipio Regla)

Fuente: original de los autores, 2025.

subterráneo más favorables a los patrones de desarrollo del karst subterráneo, en esta zona.

Conclusiones

1. La variante de carso cubierto por una delgada capa de suelo, es la de mayor distribución geográfica en la zona de estudio, ocupando un área aproximada de poco más de 14 Km², lo que representa más de la mitad del área total de la misma. Se encuentra básicamente desarrollada sobre rocas de la formación Jaimanitas.
2. De un total de 35 estaciones con sondeo eléctrico vertical, 22 confirmaron la presencia de cuevas y oquedades kársticas subterráneas (62,9 %), dentro de los 40 metros de profundidad, con una máxima efectividad a los 14 m.
3. Un área de 13,6 km² del territorio (54,3 %) presenta escenarios potencialmente peligrosos por desarrollo del carso en el momento actual, de los cuales unos 5,9 km², podrían convertirse en muy peligrosos para los años 2050 – 2100, principalmente en el carso de costas altas escarpadas del municipio Habana del Este. Los Consejos Populares con mayor porcentaje de peligrosidad son: Camilo Cienfuegos (municipio Habana del Este) y Santa Fe (municipio Playa) seguidos en segunda instancia por Miramar (Playa), Rampa (Plaza de la Revolución), Dragones (Centro Habana), Cojimar y Alamar Este (Habana del Este)
4. Los principales peligros por carso son: posibles derrumbes parciales de viviendas construidas sobre carso, posible colapso total de algunas estructuras, y posibles sismos de origen kárstico por caída de techos de bóvedas o por emanaciones repentinas de gases formados en condiciones anaeróbicas.

5. Es la primera vez que se obtiene un mapa de peligro de desastre por desarrollo del carso en la zona costera de la capital cubana

Referencias

- Acevedo, M. (1979): Tipología hidrogeológica y geomorfológica de las cavidades cársticas hipógeas. *Rev. Voluntad Hidráulica* 16 (51). La Habana, p 16 – 22.
- Acevedo, M. (1980): Aplicación de la nueva tipología de las cavidades cársticas. Simposium XL Aniv. SEC. *Programa y Resúmenes*. La Habana, p – 32.
- 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.
- Aguilar, M. (2026): Evaluación del riesgo por hundimientos en terrenos cársticos. Estudio de caso: municipio Sierra de Cubitas. Tesis en opción al grado científico de doctora en ciencias geológicas. Universidad de Moa Antonio Núñez Jiménez, Holguín, 141 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.
- Brödermann, J.; (1940): Determinación geológica de la Cuenca Vento. *Rev. Soc. Cubana Ing.*, 34: 272-315.

- EMNDC (2024): Directiva 1 para la Gestión de la Reducción del Riesgo de Desastre en la República de Cuba. Estado Mayor Nacional de la Defensa Civil de Cuba, La Habana, 89 pp.
- 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.
- García, G. (1974): Termoquímica de la reacción de disolución – cristalización del carbonato de calcio y su relación con los fenómenos kársticos. *Rev. Voluntad Hidráulica* (32). La Habana, pp. 24 – 26.
- 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.
- Instituto de Geología y Paleontología (2013): Léxico Estratigráfico de Cuba (Tercera Versión). Instituto de Geología y Paleontología, Servicio Geológico de Cuba, La Habana, 459 pp.
- Instituto de Suelos (1999). Nueva versión de clasificación genética de los suelos de Cuba. Editorial Agrinfor, La Habana, 64 pp.
- Jaimez Salgado, E. (2008): Diferenciación paleoclimática del Cuaternario de algunos sectores de Cuba Occidental y Oriental según relictos edáficos. Implicaciones para la desertificación en la provincia de Pinar del Río. Tesis en opción al grado científico de doctor en ciencias geográficas (publicada por EcuRed). Instituto de Geografía Tropical/Instituto de Geofísica y Astronomía. La Habana, 136 pp.
- Jaimez, E., Gutiérrez, D. (1992): Panorama del estado actual del conocimiento del Sistema Cavernario de Constantino, Sierra de Galeras, Viñales, Pinar del Río. *Boletín Casimba*, Año 3, Ser 1, No. 4. La Habana, pp. 42 – 74.
- Jaimez, E., Gutiérrez, D. (1993)a: Nueva Clasificación Genética de las Cuevas de Cuba (Tipología Geólogo-Geomorfológica). *Presentación Especial: Programa y Resúmenes Jornada Científica XVI Aniversario del Grupo «Pedro A. Borrás», Sociedad Espeleológica de Cuba* (Resumen Ampliado). La Habana, pp. 1 – 4.
- Jaimez, E., Gutiérrez, D. (1993)b: Nueva Clasificación Genética de las Cuevas de Cuba (Tipología Geólogo-Geomorfológica con elementos de Regionalización). *Boletín Casimba*. Año 4, Ser.1, No. 5. La Habana: pp. 13 – 30.
- Jaimez, E., Gutiérrez, D. (2010): La nueva clasificación genética de las cuevas en el contexto evolutivo del conocimiento espeleogenético en Cuba. *Periódico digital El Explorador* (71)
- Jaimez, E.; J. Olivera; M. Campos (2011)a: La cartografía del carso a gran escala en la identificación de peligros geológicos. *Rev. Mapping Centroamérica y El Caribe (1)*: 38 – 43.
- Jaimez, E.; M. Campos; B. Pérez; M. Guerra; M. Núñez (2011)b: Cartografía del carso y escenarios de peligros geológicos en la zona de estudio de Artemisa, Cuba. *Rev. Mapping Centroamérica y El Caribe (6)*: 20 – 25.
- Jaimez, E., M. G. Valdés; J. Alcaide; H. Crespo; A. Tejeda; L. Cabrera (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, E.; M. Guerra; M. R. Gutiérrez; M. Núñez; J. Olivera (2017): Escenarios de peligros geológicos por desarrollo del carso en la zona de estudio de La Habana, Cuba. *VI Simposio de Riesgos Geológicos y Sismicidad, VII Convención de Ciencias de la Tierra. La Habana*, 16 pp.
- Lamadrid Maron, J. & Horta, R. (1977): Geomorfología. Editorial Pueblo y Educación, 2da. Reimpresión. La Habana, 166 pp.
- Mateo Rodríguez, J. (1981): *Morfología Cársica*. Edición Universitaria. La Habana, 310 pp.
- Molerio, 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, L. (2004)a: Procesos de cavernamiento (espeleogénesis) en sistemas hipogenéticos. *Rev Ingeniería Hidráulica y Ambiental XXV (2)*. La Habana, pp. 1 – 5.
- Molerio, L. (2004)b: Indicadores de vulnerabilidad de acuíferos kársticos. *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, V., Guerra, M. (1990): Contribución a la morfohidrología de Boca de Jaruco, La Habana. Congreso Internacional 50 Aniversario de la Sociedad Espeleológica de Cuba. La Habana, p – 81.
- Pajón, 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.
- Ponce, N.; J. L. Díaz; R. Gutiérrez; R. Carral; R. Rivada; A. Castellanos; Y. Nápoles (2001): Inventario medioambiental de los problemas en las regiones cársticas de Cuba (provincias de La Habana y Ciudad de la Habana) Instituto de Geología y Paleontología, MINBAS, Informe final. La Habana, 72 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.
- Seco Hernández, R. (2004): Geomorfología. Editorial Poligráfica Félix Varela. La Habana, 157 pp.
- Skwaletski, E. N., Iturralde – Vinent, M. (1971): Estudio ingeniero geológico del carso cubano. Ser. Espeleol. y Carsol. (31). La Habana, 58 pp.
- Stelcl, Otakar (1971): Typological division of karst regions in the Czech Socialist Republic. *Studia Geographica* (21): pp. 81 – 89.
- 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. *Rev. Tecnológica* (12)(3). La Habana, pp. 23 – 32.
- World Reference Base (2003): Mapa Mundial de Suelos, escala 1: 30 000 000. *World Soil Resources, FAO, EC, ISRIC, 1998*.

Conflicto de intereses: Los autores de este trabajo declaran no presentar conflicto de intereses.

Contribución de autores: **Efrén J. Jaimez-Salgado:** Conceptualización, Metodología, Investigación, Análisis formal, Recursos, Curación de datos, Redacción – borrador original, Redacción – revisión y edición, Visualización, Administración del proyecto. **Brigitte Pileta-Durán:** Conceptualización, Metodología, Investigación, Análisis formal, Redacción – borrador original. **Neobil Vega-Batista:** Investigación, Análisis formal, Recursos, Redacción – borrador original, Visualización. **María G. Valdés-Hernández:** Investigación, Análisis formal, Curación de datos, Redacción – borrador original. **Mario Guerra-Oliva:** Conceptualización, Metodología, Investigación, Análisis formal, Redacción – borrador original, Redacción – revisión y edición, Visualización. **Alejandro Parra-Rodríguez:** Investigación, Análisis formal, Curación de datos, Redacción – borrador original, Visualización.