

Evaluación de la favorabilidad constructiva de la formación Jaimanitas en la zona norte oriental de Cuba

Assessment of constructive favorability of Jaimanitas formation in the northeastern zone of Cuba

Sara Fernández-Cruz¹, Rolando R. Gómez-Iglesias^{2*}, Amparo Velázquez-Velázquez³

¹Universidad de Holguín, Cuba

²Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas, Cuba

³Empresa de Ingeniería y Proyectos de Níquel, Cuba

*Autor para la correspondencia: rgomez49@nauta.cu

Resumen

El incremento de inversiones en las zonas costeras del norte oriental de Cuba demanda la evaluación de la aptitud de las formaciones rocosas para soportar las construcciones, con vistas al diseño de los cimientos y la ubicación de los objetos de obra. Este artículo expone la evaluación desde el punto de vista físico, mecánico y de calidad de las rocas de la formación Jaimanitas, al ser esta una formación geológica de amplia extensión en la zona y con gran desarrollo del carso. La investigación se sustentó en trabajos de gabinete y de campo incluyendo perforación y análisis de laboratorio. Como resultado se obtuvo, para la parcela 63 A del Hotel Baracutey en la península El Ramón de Antilla, la zonificación de la carsificación y el mapa de favorabilidad constructiva, el cual facilitó la elección de las alternativas más favorables en el proyecto ingenieril con menos costos constructivos y ambientales.

Palabras clave: favorabilidad constructiva; carsificación; formación Jaimanitas; península El Ramón.

Abstract

Investments increase in the coastal areas of the eastern north of Cuba demands assessing the aptitude of rock formations to hold constructions,

based on design of foundations and location of construction objects. This article presents evaluation from the physical, mechanical and quality point of view of rocks from Jaimanitas formation, considering it is a wide extension of geological formation in this area and it has a great karst development. This study was based on field and office work, including drilling, and laboratory analysis. As a result, for plot 63 A of Baracutey hotel in El Ramón de Antilla peninsula, the karst zoning and constructive favorability map were obtained which allowed to choose the most favorable alternatives for the engineering project with less constructive and environmental costs.

Keywords: constructive favorability; karst; Jaimanitas formation; El Ramon peninsula.

1. INTRODUCCIÓN

El desarrollo turístico en Cuba constituye uno de los ejes estratégicos para el progreso económico y social en tiempos actuales (Torres-Pérez 2019). Sin lugar a dudas, la actividad turística en la isla está favorecida por las condiciones naturales excepcionales y la presencia de grandes extensiones de playas. Estas premisas hacen que el auge constructivo en la zona costera sea cada día mayor; sin embargo y paradójicamente, las condiciones constructivas del sustrato rocoso en dichas zonas no son las más favorables, dado el gran desarrollo del carso, lo que implica altos costos de construcción.

Esta situación conlleva la necesidad de evaluar en las zonas costeras las condiciones de las rocas para soportar las construcciones, lo cual es requerido en la fundamentación de los proyectos ingenieriles, pues de ello depende en gran medida el diseño sostenible de las obras civiles. En este sentido vale señalar que la formación Jaimanitas está presente en gran parte de la zona costera; por ende, la mayoría de las construcciones turísticas (hoteleras y extrahoteleras) están situadas justamente en este entorno geológico.

Sobre la base de estos argumentos se decidió profundizar en el conocimiento de la formación Jaimanitas y ofrecer una herramienta gráfica a los decisores, con vistas a contribuir al ordenamiento de los objetos de obra. Para ello, se tomó como referencia parte del litoral norte de las provincias de Las Tunas y Holguín, en el que se ubica uno de los polos turístico de mayor significación en Cuba y donde está ampliamente distribuida la referida formación geológica, caracterizada por un gran desarrollo del carso, lo cual tiene implicación directa en la estabilidad estructural de las edificaciones.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio abarcó desde la playa La Herradura, en la provincia de Las Tunas, hasta la península El Ramón (municipio de Antilla), en la provincia Holguín (Figura 1).



Figura 1. Mapa de ubicación de la zona de estudio. Fuente: Google Maps.

2.1. Etapas de la investigación

I. Búsqueda de información

Esta etapa tuvo el objetivo de obtener información de estudios previos referentes a la formación Jaimanitas. Se revisaron exhaustivamente informes técnicos en los archivos de la Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas (ENIA), la Empresa de Investigaciones y Proyectos Hidráulicos de Holguín (RAUDAL) y la Empresa de Ingeniería y Proyectos para la Electricidad (INEL).

II. Trabajo de campo

La información directa del campo se obtuvo mediante:

1. Recorrido por zonas de la formación Jaimanitas donde existen emplazamientos de obras constructivas destinadas al turismo.
2. Perforación de calas.
3. Toma de muestras de suelo y rocas para la determinación de las propiedades físicas y mecánicas.
4. Medición de las dimensiones de las microestructuras y las macroestructuras cársicas.

III. Procesamiento de datos

Para procesar e interpretar la información de las etapas anteriores y arribar a conclusiones se acometieron las siguientes tareas:

1. Confección de columnas litológicas.
2. Preparación de perfiles ingeniero-geológicos.
3. Cálculo del Índice de carsificación
4. Elaboración de mapas de carsificación y de favorabilidad constructiva.
5. Redacción del informe final.

2.2. Determinación de las propiedades físicas y mecánicas

Las propiedades físicas y mecánicas de las rocas de la formación Jaimanitas se determinaron en el laboratorio de mecánica de suelos y rocas de la ENIA, en Holguín. Las propiedades físicas evaluadas fueron: humedad natural, densidad húmeda, densidad seca, densidad saturada, densidad sumergida, porosidad, saturación y absorción. Se determinaron las propiedades mecánicas siguientes: resistencia a la compresión axial en estado natural, resistencia a la compresión axial en estado saturado y coeficiente de ablandamiento.

2.3. Valoración de la calidad del macizo rocoso

Se utilizó el índice de Deer (1989), también conocido como RQD, por sus siglas en inglés (*Rock Quality Designation*). Este es uno de los métodos más empleados para determinar el grado de fracturación de un macizo rocoso, y de una forma sencilla y simplificada permite conocer el número y las condiciones de las fracturas que afectan a los materiales. Su cálculo representa la relación entre la suma de las longitudes de los fragmentos de testigo mayores de 10 cm y la longitud total del tramo considerado:

$$RDQ = \frac{\sum \text{Longitud de los testigos} > 10 \text{ cm}}{\text{longitud del sondeo}} \times 100$$

2.4. Cálculo del índice de carsificación (IK)

El Índice de carsificación (IK), se obtuvo como la relación existente entre la sumatoria de los espesores de capa con oquedades rellenas y vacías, y el espesor total de la capa, en correspondencia a la porosidad promedio de la capa (Corpas 2013). Para la confección de los mapas de zonificación de la carsificación se utilizó como herramienta el programa Surfer, versión 12.0.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Descripción litológica de la formación Jaimanitas en el sector de estudio

A partir de la revisión y análisis de investigaciones previas de la formación Jaimanitas (Cabrera y Peñalver 2001; Iturralde 2003; Rodríguez 2018; Rivera 2019) se realizó la descripción litológica de la formación, de gran importancia para el conocimiento de la geología del territorio. Estas características fueron examinadas y precisadas por Gómez (2017a, 2017b y 2019), a partir de la descripción de testigos de las perforaciones realizadas en la zona. La descripción litológica del sector de estudio es la siguiente:

Calizas biodetríticas: de textura masiva, generalmente se encuentran carsificadas, muy fosilíferas conteniendo principalmente conchas bien preservadas y corales de especies actuales y, ocasionalmente, biohermos con abundantes restos de conchas y presencia de oquedades cársicas abundantes y distribuidas en todo el corte; color variable desde blanco, crema hasta crema con tonalidades rosáceas y amarillentas por la presencia de óxidos de hierro. En general buen grado de cementación, de baja a media resistencia. En determinados intervalos del corte en esta capa aparecen cavidades rellenas de suelos arcillosos-carbonatados mezclados con fragmentos de caliza, así como cavidades vacías de variadas dimensiones.

Calcarenitas: de textura masiva con algunos restos de conchas y pequeñas oquedades cársicas, estructura detrítica (grano fino a medio), color crema claro a blanco, predomina un bajo grado de cementación, muy baja resistencia, poco meteorizada, el grado de carsificación en general es bajo a pesar de que se presentan pequeñas oquedades cársicas en algunos intervalos del corte de esta capa. En determinadas zonas del sector costero estudiado fue posible observar un conglomerado basal que define una discordancia estratigráfica. Su edad ha sido considerada como Pleistoceno Superior (Linares-Cala *et al.* 2014).

Otro aspecto importante definido por los trabajos de perforación, que no había sido establecido con claridad, es la definición de los espesores de la formación Jaimanitas en diferentes zonas (Tabla 1).

Tabla1. Espesores de la formación Jaimanitas en zonas costeras del norte de la provincia Holguín y Las Tunas

PROVINCIA	ZONA	RANGO DE ESPESORES (m)	Espesor mínimo (m)	Espesor máximo (m)
Las Tunas	Parque Eólico La Herradura I	5,00- >35,00	3,50	> 35,00
	Parque Eólico La Herradura II	9,70- >30,0		
	Gibara	>8,00		
	Playa Pesquero	3,50-12,80		
	Playa Yuraguanal	6,00-11,70		
Holguín	Playa Guardalavaca	6,00- >15,00		
	Playa Morales	5,00-8,00		
	Península El Ramón	7,00- >20,00		

También se obtuvo la columna litológica representativa de la formación Jaimanitas, característica para ese sector (Figura 2), hasta una profundidad de 35 m.

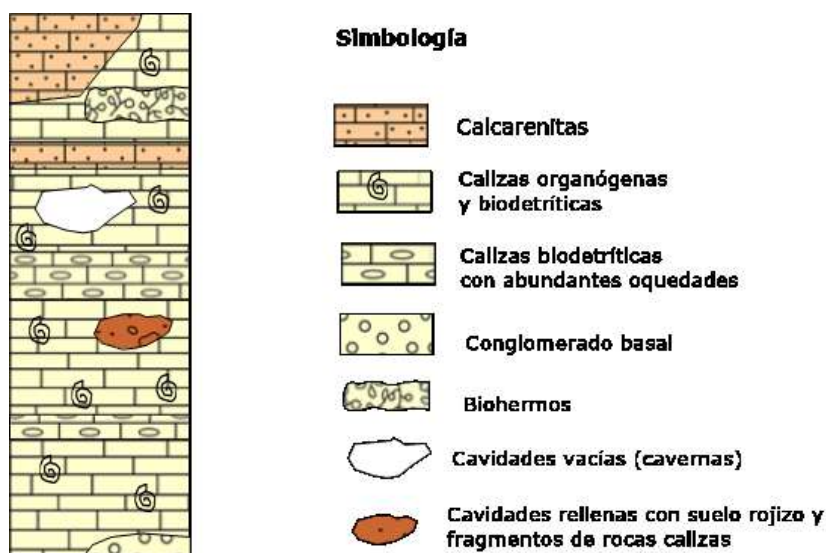


Figura 2. Columna litológica representativa (tipo) de la formación Jaimanitas en el sector de estudio.

3.2. Estructuras cársicas de mayor interés en la zona

Como se expresó anteriormente, en la zona existe un alto desarrollo del carso en diferentes magnitudes y formas; entre las manifestaciones de estructuras

cársicas vistas en superficie y mayoritariamente distribuidas por la zona se encuentran las casimbas y hoyos cársicos rellenos con suelos de color pardo y rojizo; en la zona del litoral las más representativas son los lapies o dientes de perro (Guarch et. al 2009). También se observan depresiones del relieve asociadas a depresiones cársicas de diferentes dimensiones, además de los cenotes costeros de variada amplitud que generalmente se encuentran inundados (Figura 3). En tanto en profundidad, la intensidad del carso varía, encontrándose cavidades vacías o rellenas de suelo arenarcilloso con gravas, e intervalos de abundantes oquedades cársicas (Figura 4). Este aspecto es muy importante por todo lo que implica para el diseño de las construcciones civiles y del cual no se tenía información en detalle.



Figura 3. Cenote costero inundado.



Figura 4. Oquedades observadas en los testigos de perforación.

3.3. Caracterización físico-mecánica

Los resultados de los parámetros físicos y mecánicos obtenidos en el laboratorio mostraron un amplio diapasón de variabilidad, lo que es común en las rocas carsificadas (Tabla 2). En general las rocas presentaron una alta porosidad (N); según el nivel de la saturación (S) son rocas ligeramente húmedas, en tanto su resistencia a la compresión axial las clasifica como rocas desde muy baja hasta baja resistencia a la compresión axial (q_u).

Tabla 2. Valores promedio de propiedades físicas y mecánicas de las rocas más abundantes de la Formación Jaimanitas

Condiciones Naturales							Propiedades mecánicas			
Wnat	γ_f	γ_d	γ_{sat}	γ_{sum}	N	S	Abs	q_u nat	q_u sat	Ca
%		kN/m ³				%		kPa		
Calcarenita										
1,55	20,6	20,3	22,7	12,7	25	13	2,60	5195	3707	0,71
Caliza biodetrítica										
1,62	22,2	21,6	23,6	13,6	19	18	0,80	16083	13606	0,80

Simbología: Wnat: humedad natural (%); γ_f : densidad húmeda(kN/m³); γ_d : densidad seca (kN/m³); γ_{sat} : densidad saturada (kN/m³); γ_{sum} : densidad sumergida (kN/m³); N: porosidad (%); S: saturación (%); Abs: absorción (%); q_u nat: resistencia a la compresión axial en estado natural (kPa); q_u sat: resistencia a la compresión axial en estado saturado (kPa); Ca: coeficiente de ablandamiento.

3.4. Caracterización geomecánica

En función de los valores del RQD la calidad del macizo rocoso puede ser: muy mala (menor a 25%), mala (25%-50%), normal (50%-75%), buena (75% a 90%) y muy buena (90%-100%). Los resultados del RQD obtenidos indican que el macizo rocoso clasifica, en general, de muy mala (0%-25%) a mala calidad (25%-50%), siendo las calizas biodetríticas las que presentan un RQD más bajo, y por tanto el grado de carsificación más alto.

La caracterización geomecánica del macizo, según argumentos de Gálves (2019) facilita de manera significativa y confiable el pronóstico del comportamiento del macizo rocoso, disminuyendo de esta forma la probabilidad de que se produzcan afectaciones de diferente índole, y garantizando la seguridad de las obras.

3.5. Zonificación de la carsificación

El IK facilitó la definición de zonas con diferente intensidad de la carsificación atendiendo a la clasificación de Gómez (2019). Permitió la obtención de los mapas de favorabilidad constructiva, que muestran las zonas de mayor y de menor vulnerabilidad geológica desde el punto de vista constructivo.

Como referencia del IK se muestra el mapa de zonificación de la carsificación correspondiente a la parcela 63 A (Figura 5). Se tomó esa parcela dada la gran representatividad de la Formación Jaimanitas en esta zona donde se proyecta un hotel en Playa Baracutey, en la península El Ramón. El relieve en esta zona, según Arias-González (2017) se caracteriza por ser una terraza marina carsificada, en la que sus formaciones están constituidas por rocas calizas.

Como se muestra en el mapa (Figura 5), en la zona existe un gran desarrollo del carso, predominando las zonas de carsificación moderada y media, aunque se observa una pequeña zona con IK mayor del 20%, indicativo de la más alta carsificación.

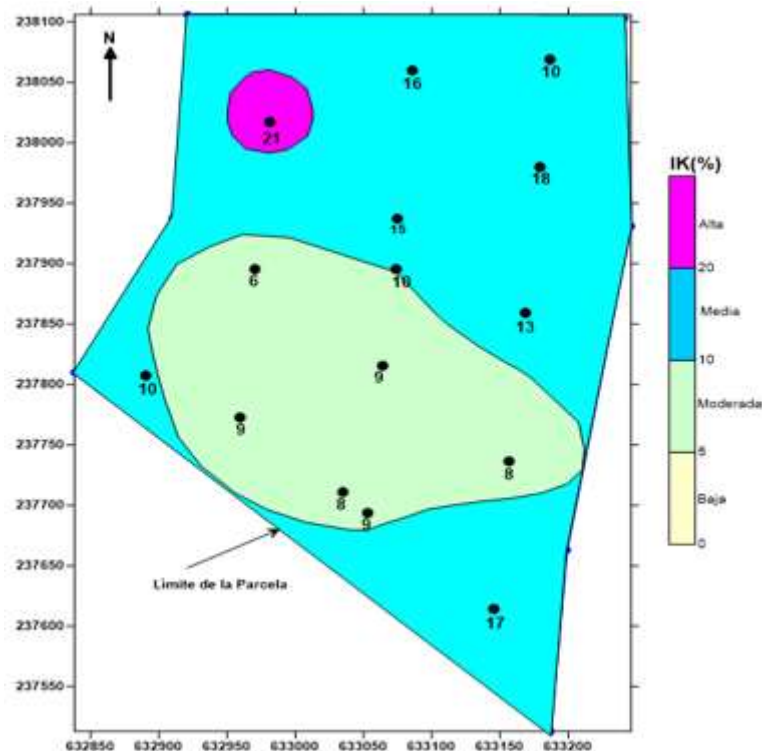


Figura 5. Mapa de zonificación del IK. Parcela 63 A del Hotel Baracutey, península de El Ramón.

3.5.1. Clasificación zonal de la carsificación

Gómez-Iglesias (2019) clasifica la carsificación según su intensidad en: baja, moderada, media y alta.

Baja: superficialmente se distribuye el diente de perro, con escasas manifestaciones de erosión cársica. En profundidad abundan pequeñas oquedades, el macizo se observa poco afectado por la carsificación.

Moderada: superficialmente se presenta fundamentalmente el diente de perro o lapies, aunque pueden aparecer aisladas casimbas. En profundidad el macizo presenta pequeñas oquedades cársicas de dimensiones no mayores de 2-3 cm que no tienen mucha continuidad.

Media: superficialmente además del diente de perro o lapies, pueden observarse casimbas y algunos pequeños cenotes que pueden estar inundados por el nivel del agua subterránea y en ocasiones aparecen grietas neotectónicas con huellas cársicas que pueden seguirse por algunos metros. En profundidad, el macizo presenta abundantes oquedades cársicas de dimensiones mayores de 3 cm muchas de las cuales tienen continuidad así como cavidades vacías o rellenas, de poco espesor.

Alta: superficialmente además del diente de perro o lapies, aparecen estructuras cársicas de mayores dimensiones: cenotes y hoyos cársicos bien definidos en profundidad, generalmente inundados en dependencia de la oscilación de las mareas, grietas neotectónicas afectadas en gran medida por los procesos de carsificación que se extienden por decenas de metros. En profundidad, abundantes oquedades cársicas que tienen una continuidad definida y se establece un sistema de oquedades y cavidades vacías y rellenas de diferentes dimensiones.

En la zona de estudio la carsificación varía desde moderada hasta alta. El mapa de favorabilidad constructiva (Figura 6) se confeccionó sobre la base del mapa de carsificación, considerando además otros factores como el nivel de las aguas subterráneas, el relieve, el nivel de exposición a agresividades ambientales (aerosol marino, agresividad de las aguas) y los riesgos meteorológicos.

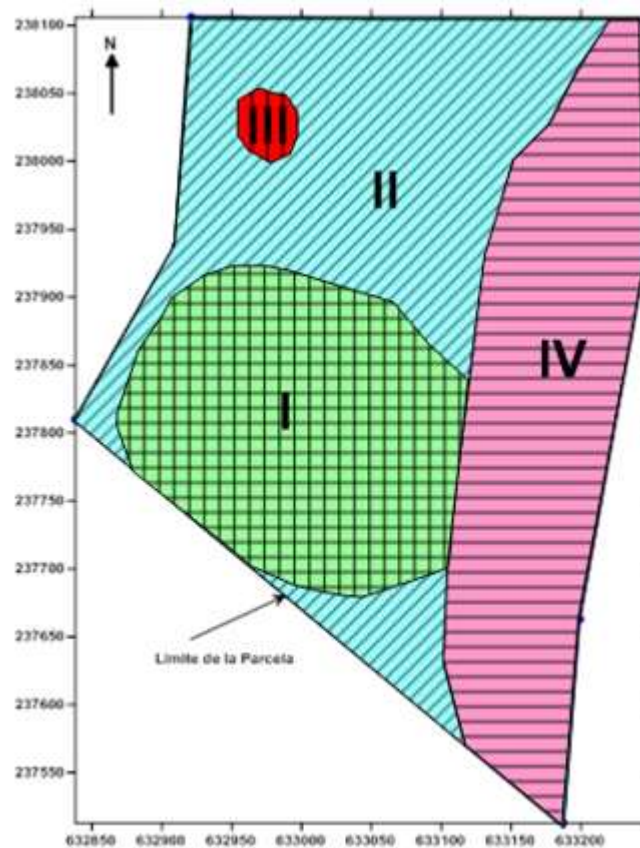


Figura 6. Mapa de favorabilidad constructiva. **ZONA I:** Moderada carsificación. Calizas biodetríticas con grado de carsificación moderado, clasifica como de muy baja resistencia. Los niveles freáticos oscilan desde 1,51-3,43 m, se recomienda ubicar los objetos de obra de mayor carga. Relieve favorable: primera terraza marina. Exposición a las agresividades ambientales. **ZONA II:** Media carsificación. Calizas biodetríticas con grado de carsificación de medio a alto, clasifica como de muy baja resistencia. Los niveles freáticos oscilan desde 1,00-2,64 m, se recomienda ubicar los objetos de obra que aportan cargas medianas al terreno. Relieve favorable: primera terraza marina. Exposición a las agresividades ambientales. **ZONA III:** Alta carsificación. Calizas biodetríticas con grado de carsificación de medio a alto, clasifica de muy baja resistencia. Los niveles freáticos oscilan de 1,42-2,20 m. No se recomienda ubicar objetos de obra en esta zona, se corre el riesgo de inestabilidad estructural. Exposición a las agresividades ambientales. **ZONA IV:** Limos arenosos de consistencia dura, en determinadas condiciones de inundación pueden ser potencialmente colapsables. Se recomienda ubicar los objetos de obra que aportan muy poca carga, como son los ranchones de playa, puntos náuticos, entre otros. De lo contrario se recomienda su extracción y posterior relleno con material de buenas propiedades geotécnicas. Exposición directa a las agresividades ambientales.

Este mapa permitió delimitar las zonas de mayor y de menor vulnerabilidad geológica desde el punto de vista constructivo. Ello facilitó la toma de decisiones en cuanto a la modificación de la ubicación espacial de los objetos de obra que fueron proyectados inicialmente en zonas muy vulnerables y de esta forma se emplazaron en zonas menos riesgosas minimizando así las vulnerabilidades constructivas. A partir de su aplicación se validó el mapa de favorabilidad constructiva como un instrumento de trabajo que aporta un volumen informativo accesible y confiable y que ofrece una serie de beneficios, tales como:

- Permite la zonificación territorial, como apoyo a la planificación de los espacios costeros.
- Constituye un procedimiento efectivo y práctico para apoyar la toma de decisiones relacionadas con el diseño de las obras civiles y arquitectónicas.
- Aporta elementos básicos para aplicar las medidas pertinentes desde el punto de vista constructivo.
- Potencia el manejo sostenible de las zonas costeras en armonía con el medio ambiente.

4. CONCLUSIONES

- Las rocas de la formación Jaimanitas en el norte oriental de Cuba, desde la playa La Herradura hasta la península del Ramón, por su gran desarrollo del carso presentan características desfavorables para la construcción, lo que se evidencia en una alta porosidad, baja resistencia a la compresión axial y la mala calidad del macizo (RQD de menos de 25% a 50%).
- La delimitación de las áreas en función de la intensidad de la carsificación permitió diferenciar las zonas de mayor y de menor vulnerabilidad geológica desde el punto de vista constructivo, lo cual facilita la ubicación de los diferentes objetos de obras y la toma de decisiones constructivas en cuanto al diseño de los cimientos.
- El mapa de favorabilidad constructiva constituye una importante herramienta gráfica para elegir las alternativas más favorables del proyecto ingenieril a un menor costo constructivo y ambiental. Esta herramienta es además generalizable.

5. REFERENCIAS

- Arias-González, D. L. 2017: Mapa geomorfológico del municipio de Banes a escala 100 000. *Ciencia & Futuro*, 7(1):1-19 ISSN 2306-823X
- Cabrera, M.; Peñalver, L.L.; 2001: Contribución a la estratigrafía de los depósitos cuaternarios de Cuba. *Rev C & G*, 15 (3-4):37-49.
- Corpas-Toledo, A.; 2013: Metodología para el cálculo del Índice de carsificación (IK). Solución para la evaluación integral de la calidad y estabilidad de los macizos rocosos. V Convención Cubana de Ciencias de la Tierra (Geociencias' 2013). Memorias [CD-ROM], SCG, La Habana.
- Deere, D.U. 1989: Rock Quality Designation (RQD) after Twenty Years. U.S. Army Corps of Engineers Contract Report GL-89-1, Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS.
- Gálvez-Caballero, J, O., 2019: Estimación geoestadística del RQD, RCU, JRC y Densidad aplicada a entender el comportamiento geomecánico del cerro La Falda, La Encañada, Cajamarca. Tesis para optar el título profesional de Ingeniería de Minas. Tutor: Ing. Oscar Vásquez Mendoza. Facultad de Ingeniería. Universidad Privada del Norte. Perú. Consulta 16 abril 2021. Disponible en: <https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/21807/G%C3%A1lvez%20Caballero%20Juan%20Omar.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Gómez-Iglesias, R.; 2017a: Contribución al conocimiento geológico de la Fm. Jaimanitas. Sector Playa La Herradura-Playa Guardalavaca. VII Convención Internacional de Ciencias de la Tierra. Memorias [CD-ROM], La Habana, ISSN 2307-499X SCG.
- Gómez-Iglesias, R.; 2017b: Formación Jaimanitas. Apuntes, contribución al conocimiento ingeniero-geológico y aplicaciones. *Revista INVESCONS*, 1 Piloto.
- Gómez-Iglesias, R.; 2019: Clasificación de la carsificación. Informe Técnico. ENIA. Holguín.
- Guarch-Rodríguez, J. & Colectivo De Autores: 2009: Cerros cársicos del grupo Maniabón. Valoración de la Flora y la Fauna. Dpto de Arqueología. Monografía. Centro de Investigaciones y Servicios Ambientales. CITMA. Holguín.
- Iturralde-Vinent, M, A. 2003: Ensayo sobre la paleogeografía del Cuaternario de Cuba. Memorias del V Congreso de Geología y Minería del Cuaternario, Geomorfología y Carso. Memorias GEOMIN. La Habana. ISBN 959-7117-11-8
- Linares-Cala, E.; Gil-González, S.; García-Delgado, D.E.; Huelbes-Alonso, J.; Peñalver-Hernández, L.L.; 2014: Léxico Estratigráfico Cubano. Instituto de Geología y Paleontología. Servicio Geológico de Cuba. Ministerio de

Energía y Minas. Editorial Centro Nacional de Información Geológica. La Habana. Cuba. ISBN: 978-959-7117-57-5

Rivera-Álvarez, Z., 2019: Metodología para la modelación geológica 2D de la ciudad de Santiago de Cuba. *Minería y Geología*, 35(4): 400-418.

Rodríguez-González. 2018: Evaluación geotécnica del empleo de la Formación Jaimanitas en Cayo Guillermo, como terreno base de cimentaciones. Tesis en opción al título de Máster en Geología. ISMM. Moa.

Surfer v12.0: Golden Software – 2D&3D. Data Modeling and Mapping Software. Disponible en <https://www.goldensoftware.com/>

Torres-Pérez, R. 2019: La transformación productiva en Cuba y las propuestas contenidas en el Plan Nacional de Desarrollo hasta 2030. Consulta 20 abril 2021. Disponible en: <http://scielo.sld.cu/pdf/eyd/v164n2/0252-8584-eyd-164-02-e2.pdf>

Información adicional

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses

Contribución de los autores

SFC: Trabajó en el diseño de la investigación, en el procesamiento e interpretación de los datos. Análisis de los resultados y en la revisión y redacción del informe final. RRG: Participó en la búsqueda de información, haciendo contribuciones en su análisis e interpretación de los datos. Participó en la redacción final. AVV: Participó en la búsqueda de información, en la interpretación de datos y en la revisión de la redacción final.

ORCID

SFC, <https://orcid.org/0000-0001-9246-5240>

RRGI, <https://orcid.org/0000-0002-9703-5650>

AVV, <https://orcid.org/0000-0003-0571-7468>

Recibido: 18/05/2021

Aceptado: 18/12/2021