

Análisis de estabilidad de un talud ubicado en la costa este de la bahía de Santiago de Cuba, Cuba

REVISTA **MAPPING**
Vol. 28, 195, 10-26
mayo-junio 2019
ISSN: 1131-9100

Stability analysis of an slope located in the east coast of the bay of Santiago de Cuba, Cuba

Sandra Y. Rosabal Domínguez ¹, Ricardo Oliva Álvarez ², Darío Candebat Sánchez ³

Resumen

El relieve de la costa este de la bahía de Santiago de Cuba ha sido modificado por la acción antrópica, lo cual unido a las variables condicionantes tales como geología, pendientes e hidrografía hacen que esta zona sea de susceptibilidad moderada a los deslizamientos, valorando estos antecedentes se plantea como objetivo principal determinar el factor de seguridad de un talud cercano al motel Bella Vista, al este de la bahía de Santiago de Cuba, para definir su estabilidad, nivel de peligro para el vial y consecuencias al medio ambiente. Se consideró la rotura plana y se emplean los métodos del talud infinito sin y con infiltración. Se analizaron los elementos que conducen a la inestabilidad como los factores geométricos, geológicos, hidrogeológicos, geotécnicos y la peligrosidad sísmica. Se emplearon como herramienta hojas de cálculos que permitieron obtener con rapidez las soluciones.

Como resultado se obtuvo el factor de seguridad por los métodos del talud infinito sin y con infiltración, notándose que para los espesores desde 0,5 hasta 3m resultó ser un talud estable que no ofrece peligro para el vial; por consiguiente no hay efectos al medio ambiente.

Abstract

The relief of the east coast of the Bay of Santiago de Cuba has been modified by anthropic action, which together with the conditioning variables such as geology, slopes and hydrography make this area of moderate susceptibility to landslides, assessing this antecedent the main objective is to determine the safety factor of a slope near the Bella Vista motel, east of the bay of Santiago de Cuba, to define its stability, level of hazard for the road and consequences to the environment. The plane break was considered and the methods of infinite slope without and with infiltration are used.

The elements that lead to instability were analyzed, such as geometric, geological, hydrogeological, geotechnical and seismic hazards. Spreadsheets were used as a tool that allowed the solutions to be obtained quickly.

As a result, the safety factor was obtained by the infinite slope with and without infiltration methods, noting that for the thicknesses from 0.5 to 3m it turned out to be a stable slope that offers no hazard to the road; therefore there are no effects to the environment.

Palabras clave: talud, factor de seguridad, estabilidad, medio ambiente, vial.

Keywords: slope, safety factor, stability, environment, vial.

^{1,3}Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas
sandra@cenais.cu

dario@cenais.cu

²Universidad de Oriente
oliva@cenais.cu

Recepción 12/03/2019
Aprobación 23/05/2019

1. INTRODUCCIÓN

El análisis de estabilidad de taludes es uno de los aspectos más importantes de la ingeniería geotécnica, ya que permiten diseñar los taludes de forma segura, así como proponer medidas correctoras y estabilizadoras que deben ser aplicables en caso de roturas. Por consiguiente su evaluación es de vital importancia, para la protección del medio ambiente, prevención de desastres y minimizar sus consecuencias en las zonas montañosas y urbanas donde existen infraestructuras vulnerables como presas, minas, carreteras, ferrocarriles y edificaciones que puede ser afectada por su fallo.

A nivel internacional los diversos aportes y contribuciones para el desarrollo del análisis de estabilidad de taludes (Asociación de carreteras del Japón, 1984; Suárez, 1998; TC-4, 1999; Das, 2001; González de Vallejo et al., 2001; Garnica et al., 2002) permiten elevar el conocimiento general integral sobre esta temática.

En Cuba los trabajos realizados recientemente para el análisis de estabilidad de taludes, se enfocan en la determinación de criterios acerca de los factores intervinientes en zonas de montaña (Rocamarca, 2013); el establecimiento de nuevas metodologías (Hernández, 2014); la aplicación de la teoría de Mohr para el macizo geológico (Martínez, 2016); la valoración de filtraciones (Velázquez, 2016) y la determinación de fallas de estabilidad por condiciones de drenaje (González et al., 2017). No obstante, el empleo de la modelación para el diseño de terraplenes altos de carretera (Mesa, 2017) y las propuestas de predimensionamiento en presas de tierra (Pereira, 2018), también se tienen en cuenta.

En la provincia Santiago de Cuba se han llevado a cabo varias investigaciones para zonificar el peligro por deslizamientos a diferentes escalas (Reyes, 2001; Del Puerto y Ulloa, 2003; Villalón et al., 2012; Galbán, 2014; Galbán y Guardado, 2016; Rosabal, 2018) pero no se analiza la estabilidad de los taludes con la determinación del factor de seguridad. Existen insuficiencias relacionadas con las investigaciones ingeniero-geológicas que no reconocen las propiedades físico-mecánicas de

los materiales involucrados. El mapa ingeniero-geológico de la ciudad de Santiago de Cuba contempla aspectos muy generales que no permiten el cálculo del factor de seguridad. Así como son nulas las mediciones geofísicas realizadas en los taludes que permitan determinar los espesores de las capas inestables.

A escala detallada los estudios se han enfocado en determinar la vulnerabilidad ante la ocurrencia de eventos naturales y el estudio del peligro geológico de la red vial de las provincias orientales cubanas para casos de sismos de gran intensidad a partir de la topografía, propiedades físico-mecánicas de los suelos y rocas, así como el análisis de los posibles incrementos de la amenaza sísmica (Reyes et al., 2005 y Morejón et al., 2006). Sin calcular el factor de seguridad, ni determinar los espesores inestables a través de mediciones geofísicas.

Los taludes ubicados en las vías principales que dan acceso a la ciudad de Santiago de Cuba y sus alrededores requieren de evaluaciones de estabilidad debido a la ubicación geográfica de esta urbe en la zona de mayor peligrosidad sísmica de Cuba, según la Norma Cubana (2017) se esperan valores de la aceleración pico del suelo (S_0) de 0.513g para $T=0$ (en función de la aceleración g de la gravedad, $g=9,81 \text{ m/s}^2$), este valor debe de emplearse para posteriores análisis de estabilidad de taludes.

Área de estudio

El área de estudio se ubica en Cuba Oriental (Figura 1a), en la provincia y municipio Santiago de Cuba (Figura 1b), es un talud ubicado próximo a la carretera turística y a al motel Bella Vista en la costa este de la bahía Santiago de Cuba (Figura 1c), con coordenadas planas (proyección cónica conforme de Lambert) X: 603 270; Y: 150 620.

Al este de la bahía de Santiago de Cuba, la acción antrópica ha modificado el relieve (Figura 2, 3, 4 y 5), lo cual unido a otras variables condicionantes tales como geología, pendientes e hidrografía hacen que esta zona sea de moderada susceptibilidad (Figura 6) a los deslizamientos (Rosabal, 2018).



Figura 1. Ubicación geográfica del talud, en Cuba Oriental (a), en la provincia y municipio Santiago de Cuba (b). En (c) se muestra con un círculo rojo el talud localizado al este de la bahía de Santiago de Cuba, en la carretera turística, próximo al motel Bella Vista



Figura 2. Relieve antropizado al este de la bahía de Santiago de Cuba



Figura 3. Barrios y asentamientos, construidos en las laderas al este de la bahía de Santiago de Cuba, con la construcción de senderos peatonales sin estudios técnicos y sin obras de protección y drenajes adecuados. Reparto Van Van, Consejo Popular Altamira, Santiago de Cuba



Figura 4. Alteración de las condiciones naturales, con la conformación de terrazas en las laderas de las montañas



Figura 5. Sobrecarga a las laderas naturales (al fondo zona de basurero en la ladera)

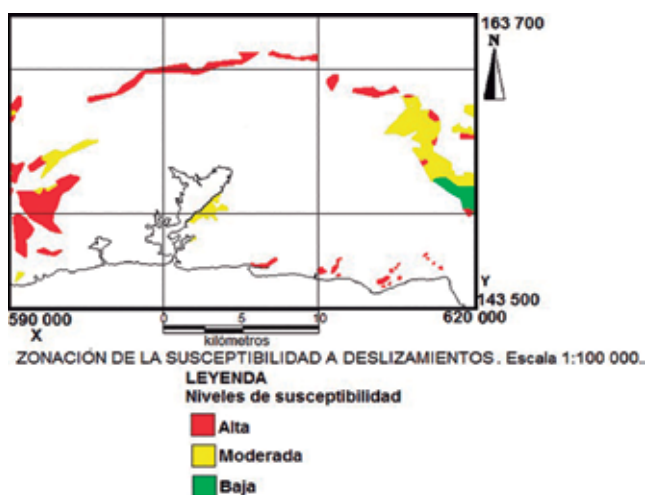


Figura 6. Zonación de la susceptibilidad a deslizamientos en el sector Santiago de Cuba. Escala 1:100 000. Tomado de Rosabal, 2018

El relieve se caracteriza por ser de llanuras y terrazas fluviales acumulativas y erosivo-acumulativas, medianas, onduladas y planas (Pórtela *et al.*, 1989); los rangos de pendientes oscilan entre 25°-35°.

En esta área aflora el miembro Tejar que está compuesto por alternancia de calizas biodetríticas, calizas lomos y limoso-arcillosas, calcarenitas de matriz, margosa, margas, limolitas y más subordinadamente arcillas, conglomerados y areniscas polimícticas con cemento calcáreo, formadas principalmente por vulcanitas. Edad: Mioceno Superior- Plioceno inferior (Colectivo de autores, 2013). La densidad de la red hidrográfica se caracteriza por poseer valores de 5-7,5 km/km².

La acción antrópica ha jugado un papel importante al alterar el equilibrio natural, corroborada por el inventario de deslizamientos (Rosabal *et al.* 2013; 2014) que cuenta con el reporte de 14 eventos, además se han documentado deslizamientos y desprendimientos de rocas con anterioridad Rosabal, 2012; 2013; Rosabal *et al.*, 2013, 2014 (Figura 7 y 8).

En visita técnica realizada al área de estudio en octubre del 2018, se pudo observar la existencia de



Figura 7. Deslizamiento ubicado entre calle 10 y 14, en el reparto Altamira, al este de la bahía de Santiago de Cuba



Figura 8. Rocas desprendidas en la costa este de la bahía de Santiago de Cuba



Figura 9. Talud ubicado en zona de moderada susceptibilidad a los deslizamientos ubicado detrás del motel Bella Vista, donde depositan basura y escombros que provocan la sobrecarga estática del talud

indicios de inestabilidad de las laderas (Figura 9 y 10) en el área ubicada detrás del motel Bella Vista, con la formación de un escarpe en proceso, lo cual confirma la zonación propuesta por Rosabal (2018).

2. MATERIAL Y MÉTODO

Para realizar el análisis de estabilidad del talud, se tuvo en cuenta las características geológicas, hidro-lógicas y geomorfológicas disponibles. No obstante, considerando la no existencia de estudios ingeniero-geológicos y geofísicos se decidió aplicar los métodos del talud infinito sin y con infiltración, valorando una rotura planar, dadas las condiciones explicadas con anterioridad.

2.1 Método talud infinito sin infiltración

El método del talud infinito sin infiltración se enfo-



Figura 10. Vista en detalle de la formación del escarpe en el talud ubicado detrás del motel Bella Vista

ca en las condiciones en las cuales se presenta una falla paralela a la superficie del talud, a una profundidad somera y la longitud de la falla es larga comparada con su espesor (Das, 2001). Es decir, suponiendo un talud largo con una capa delgada de suelo, en el cual cualquier tamaño de columna de suelo es representativo de todo el talud.

2.2 Método talud infinito con infiltración

Suponemos que hay infiltración a través del suelo y que el nivel del agua freática coincide con la superficie del terreno (Das, 2001).

Se llama rotura planar a aquella en la que el deslizamiento se origina a través de una única superficie plana y se produce cuando existe una fracturación dominante en la roca, convenientemente orientada respecto al talud y estén afectados por fallas y diaclasas.

Se realizó el recorrido de campo para observar las características del talud y las condiciones de las rocas y suelos expuestos. Además para poder realizar el análisis de estabilidad fue necesario valorar los factores que intervienen en su seguridad.

1. Factores geométricos (altura e inclinación)

El talud forma parte de las elevaciones que bordean la bahía Santiago de Cuba en la costa este, la altura del mismo es de 50 m (se considera como un talud muy largo=infinito), con una longitud de unos 110 m y un ángulo de inclinación aproximado de 50°, encontrándose en el intervalo de 45° a 60°, clasificándose como muy inclinado (TC4, 1999).

2. Factores geológicos (que condiciona la presencia de planos y zonas de debilidad y anisotropía en el talud)

El talud está compuesto por margas con intercalaciones de areniscas calcáreas (pertenecientes al miembro Tejar de la formación La Cruz, Medina y otros, 1999). Las margas poseen cierto grado de meteorización, además se observaron zonas de erosión.

3. Factores hidrogeológicos (presencia de agua)

No se observó la presencia de manantiales, ni flujo de agua. Sólo en tiempo de intensas lluvias el drenaje superficial transporta materiales de la cabeza hacia el pie del talud.



Figura 11. Talud objeto de estudio, cercano al motel Bella Vista, en la carretera turística de la ciudad Santiago de Cuba

4. Factores geotécnicos o relacionados con el comportamiento mecánico del terreno (resistencia y deformabilidad)

La meteorización de las margas influye en la reducción de sus propiedades resistentes (Figura 11).

Según la Norma Cubana (NC46:2017), el área se encuentra en la Zona 5 donde existe un peligro sísmico muy alto que puede ocasionar daños graves en las construcciones debiéndose tomar medidas sismo-resistentes en las estructuras y obras en función de la categoría ocupacional de las mismas y el nivel de protección definido según la probabilidad de exceder un sismo de diseño. Según la NC46:2017, el perfil de suelo se clasifica como C-D.

Se realizó el cálculo del factor de seguridad (FS_s), a través de las variantes de talud infinito sin y con infiltración, según las ecuaciones 1 y 2 (Das, 2001) respectivamente.

$$FS_s = \frac{c}{\gamma H \cos 2\beta \tan \beta} + \frac{\tan \theta}{\tan \beta}$$

$$FS_s = \frac{c}{\gamma_{sat} H \cos 2\beta \tan \beta} + \frac{\gamma' \tan \theta}{\gamma_{sat} \tan \beta}$$

Donde γ , es el peso específico, c es la cohesión, H es el pesor del estrato superficial o espesor del material inestable, β es el ángulo de inclinación del talud, θ es el ángulo de fricción o rozamiento interno, γ_{sat} es el peso específico saturado, FS_s es el factor de seguridad.

Los valores del peso específico ($\gamma = 21,57 \text{ kn/m}^3$), cohesión ($c = 196,33 \text{ kn/m}^2$) y ángulo de fricción ($\theta = 30^\circ$) se obtuvieron de las características físicas típicas de diversos suelos (Bañón y Beviá, 2000). Y al no contar con datos geofísicos para obtener los espesores del suelo inestable, estos fueron modelados.

| H (metros) | FSs por el método del talud infinito sin infiltración | FSs por el método del talud infinito con infiltración |
|------------|---|---|
| 0,5 m | 37,45 | 27,75 |
| 1,0 m | 18,97 | 13,04 |
| 1,5 m | 12,81 | 8,80 |
| 2,0 m | 9,73 | 6,69 |
| 2,5 m | 7,88 | 5,42 |
| 3,0 m | 6,65 | 4,57 |

Tabla 1. Factor de seguridad calculado para el talud objeto de estudio, por los métodos del talud infinito sin y con infiltración

Cuando $F_s=1$, el talud está en un estado de falla inicial y cuando $F_s=1,5$ el talud es estable (Das, 2001).

3. RESULTADOS

La tabla 1 refleja los valores del factor de seguridad, determinados por los métodos del talud infinito sin y con infiltración.

Como se puede observar en la tabla 1 para todas las profundidades el factor de seguridad es mayor que 1,5 ($F_s>1,5$) aplicando ambos métodos. Sin embargo por el método del talud infinito con infiltración el F_s es menor que el obtenido por el método del talud infinito sin infiltración.

4. CONCLUSIONES

Se obtuvo el factor de seguridad por los métodos del talud infinito sin y con infiltración, notándose que para los espesores desde 0,5 hasta 3m resultó ser un talud estable que no ofrece peligro para el vial, por consiguiente no hay efectos al medio ambiente.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas (CENAI) y al Dr. Tomás Jacinto Chuy Rodríguez, por su ayuda incondicional.

REFERENCIAS

- Asociación de carreteras del Japón. (1984). Masonic 39 Mori Building, 2-4-5 Azabudai, Minato-Ku, Tokio, Japón.
- Bañón, L. y Beviá, J. (2000). Manual de carreteras. Volumen II: construcción y mantenimiento.
- Colectivo de autores. (2013). Léxico Estratigráfico de Cuba. La Habana. Instituto de Geología y Paleontología. Servicio Geológico de Cuba. Ministerio de Energía y Minas.
- Cuba. Oficina Nacional de Normalización (2017). Norma Cubana NC 46:2017: Construcciones Sismorresistentes. Requisitos Básicos para el Diseño y Construcción. La Habana.
- Das, B. (2001). Fundamentos de ingeniería Geotécnica. México: Thomson, Learning.
- Del Puerto, J. y Ulloa, D. (2003). Identificación de los peligros geólogo-geomorfológicos de la cuenca de Santiago de Cuba. En *Memorias del V Taller Inter-nacional de Ciencias de la Tierra y Medio Ambiente. GEOMIN2003*.
- Galbán, L. (2014). *Procedimiento para la gestión y reducción de riesgos geológicos en la provincia Santiago de Cuba* (Tesis doctoral). Instituto Superior Minero Metalúrgico. Moa, Holguín, Cuba.
- Galbán, L. y Guardado, R. (2016). Modelación del peligro a deslizamientos en el municipio Santiago de Cuba considerando el peso de las variables determinantes. *Revista del Museo Argentino de Ciencias Naturales*, 18(1), 89-99.
- Garnica, P., Gómez, J., Flores, M., Pérez, A., López, J. (2002). Estabilidad de taludes sumergidos. Aplicación a la estabilidad de escolleras en puertos Mexicanos. Secretaria de Comunicaciones y Transportes. ISSN: 0188-7297. Publicación Técnica No. 199.
- González de Vallejo, L., Ferrer, M., Ortuño, L. y Oteo, C. (2002). *Ingeniería Geológica*. Madrid: Prentice Hall.
- González, Y., Guedes, O., Rodríguez, S. (2017). Las fallas en presas de tierra. Caso de Estudio: falla por estabilidad de taludes en función de las condiciones de drenaje. Centro de investigaciones hidráulicas. Monografía. ISBN: 978-959-261-563-2
- Hernández, A. (2014). Metodología para el análisis de estabilidad de taludes. Trabajo de Diploma. Universidad Central "Martha Abreu" de Las Villas. Facultad de Construcciones. Departamento de Ingeniería Civil. Disponible en: http://dspace.uclv.edu.cu/bitstream/handle/123456789/1563/Tesis_Anaibys_Hernandez.pdf.
- Martínez, R. (2016). La teoría de Mohr y la estabilidad del macizo geológico. *Revista Anales de la Academia de Ciencias de Cuba*. Vol. 6, No. 2.
- Medina et al (1999): Reconocimiento geólogo geofísico de la Cuenca de Santiago de Cuba con fines de riesgo sísmico. Reporte de investigación. Archivos EGMO y CENAI.
- Mesa, M. (2017). Empleo de la modelación para el diseño de terraplenes altos de carretera. Tesis de Doctorado. La Habana. Editorial Universitaria del Ministerio de Educación Superior de la República de Cuba. ISBN: 978-959-16-3400-9.
- Morejón, G., Candebat, D., Márquez, I., Ferrera, H., Arango, E., Zapata, J., Chuy, T. y Díaz, L. (2006). *Evaluación de la vulnerabilidad ante la ocurrencia de eventos naturales de las carreteras de interés nacional de la provincia Santiago de Cuba: Autopista Nacional* [Informe científico-técnico]. [Fondos del Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas (Cenais)]. Santiago de Cuba.
- Pereira, A. (2018). Propuesta de predimensionamiento a partir del análisis de las filtraciones y la estabilidad

- de taludes en presas de tierra en Cuba. Trabajo de Diploma. Universidad Central "Martha Abreu" de Las Villas. Facultad de Construcciones. Departamento de Ingeniería Civil. Disponible en: <http://dspace.uclv.edu.cu/handle/123456789/10175>.
- Pórtela, A., Díaz, J., Hernández, J., Magaz, A. y Blanco, P. (1989). Geomorfología escala 1:1 000 000. En *Nuevo Atlas Nacional de Cuba* [IV Relieve]. La Habana.
- Reyes, C. (2001). *Susceptibilidad de deslizamiento en Santiago de Cuba y sus alrededores, escala 1:25 000* (Tesis de Maestría). Instituto Superior Minero Metalúrgico. Moa, Holguín, Cuba.
- Reyes, P., Ríos, Y., Vega, N. y Arango, E. (2005). Peligro geológico de la red vial de las provincias orientales para casos de sismos de gran intensidad. En *Memorias de VI Congreso de Geología y Minería. Simposio de sismicidad y riesgos geológicos*.
- Rocamarca, E. (2013). Criterios para la caracterización de factores interventores de la estabilidad de taludes en zonas de montaña. Anuario de la Sociedad Cubana de Geología. No 1. Págs. 145-150. ISSN 2310-0060.
- Rosabal, S. (2012). Peligro geológico por deslizamientos en sectores de la Provincia de Santiago de Cuba. En *Memorias de V Taller internacional de ingeniería y arquitectura para la reducción de desastres (CIIARD). 16 Convención Científica de Ingeniería y Arquitectura*. La Habana.
- Rosabal, S. (2013). Peligro geológico por deslizamientos en sectores de la provincia de Santiago de Cuba. En *Memorias de IV Simposio de riesgos geológicos y sismicidad. X Congreso Cubano de Geología (Geología 2013)*. La Habana.
- Rosabal, S., Oliva, R., Candebat, D., Zapata, J. y Chuy, T. (2013). *Caracterización detallada de la comunidad costera del este de la bahía de Santiago de Cuba. Proyecto del FNMA (08-13-01): Gestión de riesgos ambientales en la comunidad costera del lado este de la bahía de Santiago de Cuba (Consejos Populares: Guillermón Moncada y Altamira)* [Informe de Proyecto]. [Fondos del Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas (Cenais)]. Santiago de Cuba.
- Rosabal, S., Oliva, R., Chuy, T., Zapata, J. y Caballero, L. (2014). *Capacitación a la comunidad y líderes comunitarios sobre los efectos de los fenómenos naturales e inducidos en el área de estudio. Proyecto Territorial: Gestión de riesgos ambientales en la comunidad costera del lado este de la bahía de Santiago de Cuba (Consejos populares: Guillermón Moncada y Altamira)*. [Fondos del Centro Nacional de Investigaciones sismológicas (Cenais)]. Santiago de Cuba.
- Rosabal, S. Y. (2018). Evaluación de peligros de deslizamientos y licuefacción de suelos, inducidos por la actividad sísmica, en Cuba suroriental. Tesis en opción al grado de Doctor en Ciencias Geológicas. Instituto Superior Minero Metalúrgico "Dr. Antonio Núñez Jiménez". Facultad de Geología y Minería. Departamento de Geología. Moa, Holguín.
- Suárez, J. (1998). *Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales*. Bucaramanga, Colombia: Instituto de Investigaciones sobre Erosión y Deslizamientos, Ingeniería de suelos, Universidad Industrial de Santander.
- Technical committee for earthquake geotechnical engineering (TC4) of the International Society of Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (ISSMGE). (1999). *Manual for zonation on seismic geotechnical hazards*. Tokyo, Japan: The Japanese Geotechnical Society.
- Velázquez, A. (2016). Análisis de las filtraciones y la estabilidad de taludes en presas de tierra. Trabajo de Diploma. Universidad Central "Martha Abreu" de Las Villas. Facultad de Construcciones. Departamento de Ingeniería Civil. Disponible en: [http://dspace.uclv.edu.cu/bitstream/handle/123456789/6963/Trabajo de Diploma Armando Velázquez Sentmanat.pdf](http://dspace.uclv.edu.cu/bitstream/handle/123456789/6963/Trabajo%20de%20Diploma%20Armando%20Vel%C3%A1zquez%20Sentmanat.pdf).

Sobre los autores

Sandra Yanetsy Rosabal Domínguez

Ingeniera Geóloga, Máster en Manejo Integrado de Zonas Costeras (MIZC) y Doctora en Ciencias Geológicas. Autora de varias publicaciones en revistas y eventos internacionales. Trabaja como Investigadora Auxiliar en el Grupo de Peligro Sísmico del Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas. Cuba.

Ricardo Oliva Álvarez

Ingeniero Geólogo y Civil, Máster en Ingeniería Sísmica. Autor de varias publicaciones en revistas y eventos internacionales. Trabaja como profesor auxiliar de la Universidad de Oriente. Cuba.

Darío Candebat Sánchez

Ingeniero Civil y Doctor en Ciencias Técnicas. Autor de varias publicaciones en revistas y eventos internacionales. Trabaja como Investigador Titular en el Grupo de Ingeniería Sísmico del Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas. Cuba.