

Primera cita de presencia de bloques asociados a eventos extremos en la costa S de la isla Española (República Dominicana)

Francesc Xavier Roig-Munar^{1,4} , Pablo del Toro Piñero², Oliver Olivo Batista³, Carla Garcia-Lozano⁴
Juan José Uranga Gor⁵ , Bernardí Gelabert Ferrer¹ & Antonio Rodríguez-Perea¹

1. Grup de Ciències de la Terra Departament de Biologia Universitat de les Illes Balears Crta. Valldemossa km 7.5 07122 Palma (Mallorca, Illes Balears).

2. Consultor en turisme i medio ambiente en zones del Caribe. C/ Higuericas, 2, 1-A. 30170 Mula, Murcia.

3. Consultor Departamento de Playas, Dirección de Planificación y Proyectos del Ministerio de Turismo. José Tapia Brea 303, Santo Domingo, Rep. Dominicana.

4. Laboratorio de análisis y gestión del Paisaje, Universitat de Girona, Plaça Ferrater Mora, 17003 Girona.

5. Ingeniero técnico agrícola, calle Cuesta, 4, el Rompido, Cartaya, Huelva, 21459.

Se registra por primera vez en la isla caribeña de la Española, República Dominicana, la presencia de bloques de grandes dimensiones ubicados sobre la costa rocosa y relacionados con eventos extremos. Se trata de bloques dispersos, algunos con imbricación, y ubicados en la costa de Sardinilla (San Pedro de Macorí, la Romana), S de República Dominicana. El registro amplía los estudios de bloques en el Caribe y abre la puerta a nuevas investigaciones relacionadas con eventos de ciclones y/o tsunamis en los países de Haití y República Dominicana.

Palabras clave: *Caribe, bloques, costa rocosa, eventos extremos, isla Española, República Dominicana.*

First record of the presence of blocks associated with extreme events on the southern coast of Hispaniola (Dominican Republic)

The presence of large boulders located on a rocky coast and related to extreme events is registered for the first time on the Caribbean island of Hispaniola. These are scattered boulders, some overlapping, found on the coast of Sardinilla (San Pedro de Macorí la Romana), in the south of the Dominican Republic. The discovery expands boulders studies in the Caribbean and opens the door to new research related to cyclone and/or tsunami events in Haiti and the Dominican Republic.

Keywords: *Caribbean, boulder, rocky coast, extreme events, island Española, Dominican Republic.*

Las islas del Caribe se encuentran en el centro del cinturón de huracanes o ciclones tropicales, con un promedio de una tormenta superior a los 185 km cada 4 años. Eventos como los huracanes David, en 1978, Lenny en 1999 e Iván en 2004, con velocidades del viento superiores a 160 y 230 km/h respectivamente, tuvieron diferentes efectos de transporte y deposición de bloques sobre la costa rocosa (Scheffers, 2004). Mientras Iván movía rocas pequeñas, las rocas más grandes requerían tormentas con olas tres veces más altas, basadas en ecuaciones de altura de olas (Engel et al., 2010). El Caribe también está sujeto al impacto de tsunamis que han jugado un papel importante en la configuración litoral (Harbitz et al. 2012). Esta región, incluida la costa S de los Estados Unidos, es particularmente propensa a los tsunamis a medida que la placa

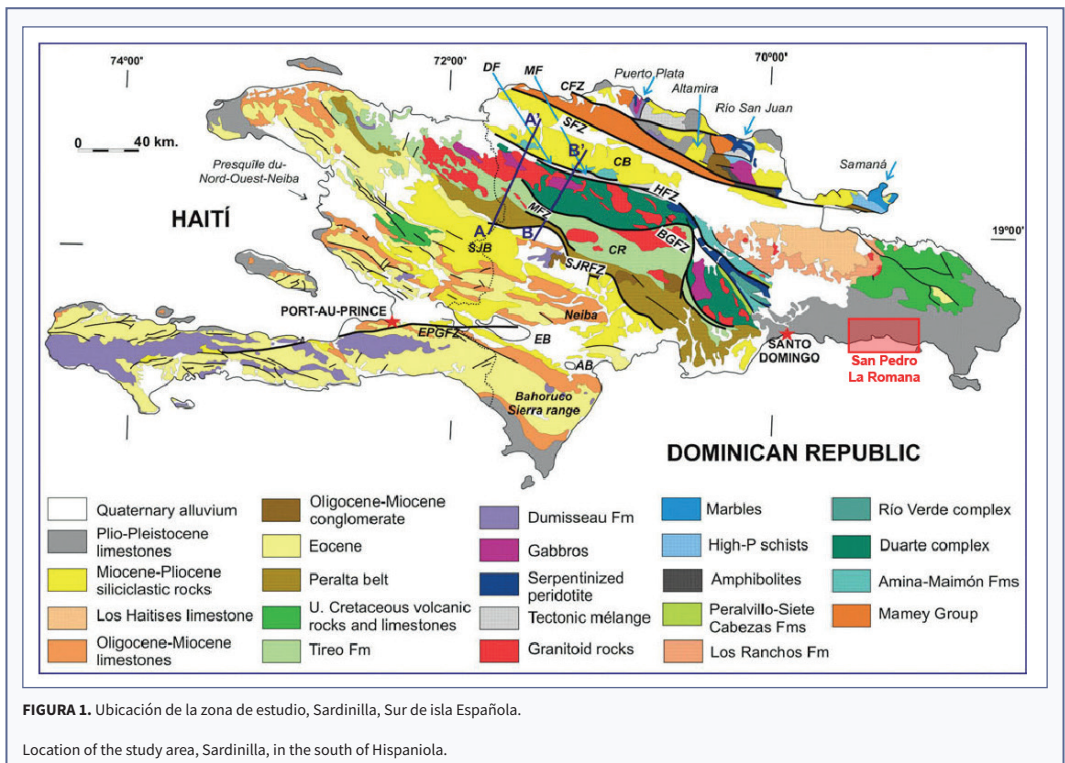
del Caribe se desliza hacia el E en relación con la placa de América del N, con una tasa de 2 cm/año, produciendo una fuerte actividad sísmica en la fosa de Puerto Rico (Scheffer, 2004).

Muchas islas del Caribe exhiben características de depósitos de sedimentos y bloques asociados eventos extremos. Aunque las olas de tsunamis y/o huracanes son hidrodinámicamente diferentes y, en consecuencia, se puede esperar que tengan diferentes impactos y registros sedimentarios y morfológicos. El registro de tsunami es uno de los más largos de América del N. con el primer tsunami reportado en Venezuela en 1498 (Harbitz et al., 2012). Lugo et al. (2000) demostró que existe una variación espacial sustancial en los efectos morfológicos después del impacto de ciclones y de tsunamis.

En las crestas de las playas los huracanes generan una elevada presencia de fragmentos bien redondeados y desgastados debido al movimiento potencial del oleaje a lo largo del tiempo (Scoffin, 1993). Por el contrario, las olas del tsunami afectan a los arrecifes y el evento es de corta duración, sin abrasión (Paris et al., 2008). Cualitativamente un depósito de tsunami y un depósito de huracán se comparan respecto al tamaño del depósito; el grado de abrasión; el espacio de distribución de sedimentos, fragmentos y bloques (Sheffers et al., 2009); y, también, con relación a la propia morfología de la costa (Roig-Munar et al., 2018).

Los depósitos de eventos extremos se han descrito en las islas de Cuba como huracanolitos y camellones de tormenta, relacionados con eventos de huracanes, tsunamis y de tormentas respectivamente (Iturralde-Vinent, 2017). Rodríguez-Valdés & Acosta-Rodríguez (2017) aplicaron las ecuaciones de *Transporte Figure* (Scheffer & Kelletat, 2003) a huracanolitos que presentaban distribuciones e imbricaciones propias de tsunami, llegando a la conclusión que los datos morfométricos correspondían a eventos de tsunamis.

Otros bloques se han descrito en las islas de Bahamas, Guadalupe, Santa Lucía, Granada, Turks and Caicos, Aruba, Jamaica, Curazao, Bonaire y la costa de Yucatán, con bloques de hasta 25 T de peso, y atribuibles a tsunamis (Scheffers & Kelletat 2004). Según Rodríguez-Vidal et al. (2011) hay varias referencias del impacto del tsunami de Lisboa de 1755 en las costas de las islas caribeñas. Los impactos se describen en Antigua y Barbados, donde se estimó un run-up de 3,7 m, en Dominica con 3,7 m, en Saba con 6,4 m y San Martín con 4,5 m (Lander et al., 2002). También hay referencias del efecto del tsunami en isla Española y Cuba (O'Loughlin & Lander, 2003). Según Shaw & Benson (2015) todos los tsunamis caribeños registrados y verificados se encuentran relacionados con terremotos asociados a la parte central y oriental de la placa caribeña, la cuenca occidental del Caribe, incluido el W de Cuba, Yucatán y el golfo de México, y la placa Estadounidense. En República Dominicana, en las lagunas costeras de Bahía de Ocoa se identifican depósitos de arena gruesa atribuible a un tsunami (Fuentes & Huérfano-Moreno, 2013). En playa Cosón, costa NE, se identificaron sedimentos



marinos poco profundos y foraminíferos de taxones abisales (Scheucher et al., 2011). En Puerto Viejo, SE, se identificaron foraminíferos bentónicos marinos de profundidades abisales, así como una alta cantidad de taxones planctónicos. Estos depósitos fueron relacionados con el tsunami de 18 de octubre de 1751 de Puerto Viejo (Scheucher & Vortisch, 2011) y con el tsunami del 8 de agosto de 1946 en la playa Cosón.

El presente estudio analiza por primera vez bloques de eventos extremos ubicados sobre plataformas litorales en la isla Española. El objetivo del presente trabajo es la descripción y análisis de bloques de grandes dimensiones ubicados en frentes hoteleros. Estos bloques se encuentran asociados a eventos extremos y presentan un potencial riesgo geológico. El trabajo describe y analiza la primera ubicación de bloques asociados a eventos extremos descritos en isla Española, aportando datos sobre geomorfología y morfometría de bloques, así como los run-up necesarios para su desplazamiento asociados al impacto de ciclones y/o tsunamis sobre la costa rocosa, ampliando los trabajos

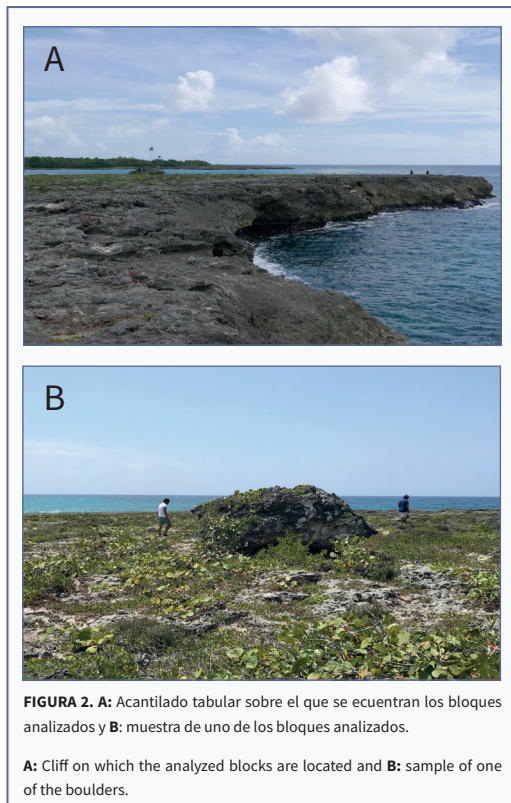
existentes sobre morfometría de bloque en las costas de las islas del Caribe (Scheffers, 2002; Morton et al., 2008; Rowe et al., 2009; Engel et al., 2016) y los trabajos de tsunamis en República Dominicana (Scheucher et al., 2011; Scheucher & Vortisch, 2011).

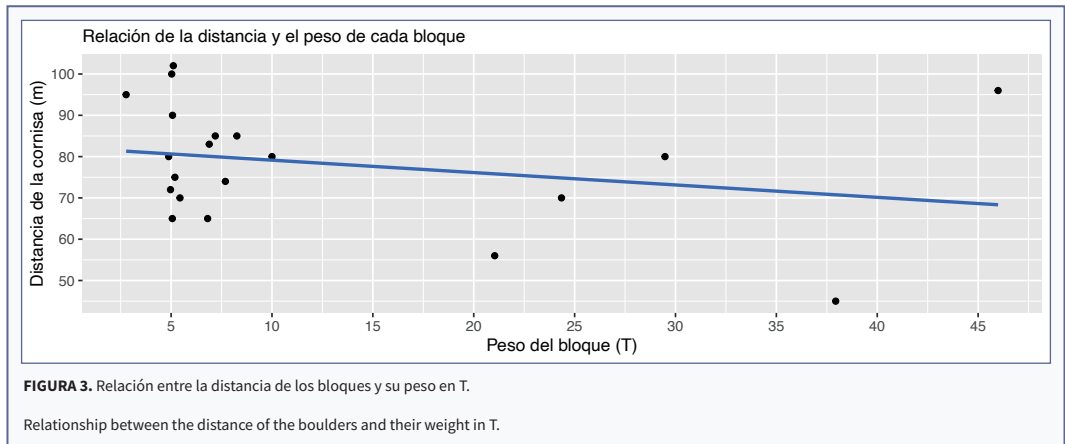
Área de estudio

Se analizan los bloques ubicados en la costa rocosa de Sardinilla, San Pedro de Macorí la Romana, S de República Dominicana, isla Española (Fig. 1). Estos bloques se encuentran ubicados en la franja litoral formada por construcciones biogénicas de calizas arrecifales, correspondientes al complejo arrecifal-lagoon del Pliocuatrnario, correspondiente a la unidad los Haitises-Yanigua (Ayala et al., 2017). Se trata de formaciones equivalentes a las características geológicas del dominio en el que se incluye la llanura costera del Caribe, elevada a comienzos del Cuaternario, representado sedimentos de origen litoral en el borde meridional de isla Española (Hernaiz et al., 2002). Sobre la morfoestructura heredada de la plataforma Pliocuatrnaria han actuado procesos externos, con mayor o menor intensidad, de meteorización química de tipo kárstico. Se trata de una costa rocosa formada por los niveles de barrera arrecifal más recientes originados por el efecto del levamiento generalizado de la región, formando pequeños acantilados de pocos metros de altura (entre 2 a 6 m s. n. m.), y con morfologías de base tipo *notche*. Su litoral se configura principalmente como una costa baja, pero acantilada de plataformas tabulares de abrasión, denudada de vegetación en los primeros metros, y con presencia de mantos eólicos asociados a la presencia de bloques.

Metodología

Se analizan morfométricamente 20 bloques (Fig. 2) situados sobre los acantilados de la zona de estudio (Fig. 1). De todos los bloques se miden el eje largo (A), el eje medio (B) y el eje corto (C), su altura en relación al nivel de la mar, la distancia a la cornisa del acantilado y su orientación. Para poder estimar la masa de cada bloque se determina la densidad mediante dos muestras tomadas en los bloques analizados. Se aplica una reducción del volumen ($A \cdot B \cdot C$) siguiendo la metodología de Roig-Munar (2016), para obtener una mayor fiabilidad de los datos finales. A cada bloque se ha aplicado la ecuación hidrodinámica definida por Engel & May (2012), aportando a los resultados de la ecuación





la altura de cada bloque para determinar la sobre-elevación (run-up) necesaria del flujo que ha desplazado cada bloque (Zhao et al., 2017). Estas ecuaciones permiten determinar las alturas de ola de tormenta (Hs) y tsunami (Ht) para transportar los bloques bajo dos supuestos, que hayan sido arrastrados (1) o arrancados (2):

(1): Bloques arrastrados

$$H_t = 0,5 \cdot \mu \cdot V \cdot \rho_s / C_d \cdot (A \cdot C \cdot q) \cdot \rho_w$$

$$H_s = 2 \cdot \mu \cdot V \cdot \rho_b / C_d \cdot (A \cdot C \cdot q) \cdot \rho_w$$

(2): Bloques arrancados

$$H_t = (\rho_b - \rho_w) \cdot V \cdot (\text{cuerpo} \theta + \mu \sin \theta) / 2 \cdot \rho_w C_l \cdot A \cdot B \cdot q$$

$$H_s = (\rho_b - \rho_w) \cdot V \cdot (\text{cuerpo} \theta + \mu \sin \theta) / 0,5 \rho_w C_l \cdot A \cdot B \cdot q$$

Donde:

Ht: es altura del flujo de tsunami; A: es el eje largo del bloque; Cd: es el coeficiente de arrastre; Hs: es la altura del flujo de tormenta; B: es el eje medio del bloque; Cl: es el coeficiente de flotabilidad; ps: corresponde a la densidad del bloque; C: es el eje corto del bloque; Cm: corresponde al coeficiente de masa; pw: es la densidad del agua de mar; g: es la fuerza de la gravedad; μ: corresponde al coeficiente de fricción; V: es el volumen resultado de la multiplicación de A·B·C del bloque; q: corresponde al

coeficiente de área del bloque, y θ: es la pendiente de la plataforma sobre la que se ubican los bloques.

Resultados

Los datos morfométricos medios de los bloques analizados pueden observarse en la Tabla 1, donde los ejes A, B y C presentan valores medios de 2,85, 2 y 1,3 m respectivamente, aunque encontramos valores superiores del eje A de 6,5 m. El peso medio de los bloques es de 13,53 T y se encuentran a una altura media de 4,6 m s.n.m, y a una distancia media de 78,4 m de la cornisa del acantilado. Destaca la presencia de 5 bloques que presentan pesos comprendidos entre 21,04 T y 45,99 T, ubicados a distancias superiores a los 55 m y alturas de 4,8 m. La orientación media de los bloques es de 203,7°, acordes con las direcciones predominantes de fenómenos extremos de ciclones y de tsunamis que afectan al área de estudio (MMAyRN, 2012).

En la Fig. 3 se observa la distribución de los bloques en función de su peso y de su distancia en relación a la cornisa del acantilado (Fig. 2). Observamos una agrupación bien definida, entre los 65 y 105 m de distancia, con bloques que presentan un peso medio de 6,5 T. Dentro de esta plataforma se observan cinco casos de bloques con pesos superiores a las 20T y ubicados entre 45 y 95 m. Esta distribución hace necesario considerar la posibilidad de varios eventos extremos sobre la misma área, y que han supuesto fases de arranque y transporte no necesariamente coetáneas.

Observamos sobre la plataforma bloques correspondientes a la agrupación de menor tamaño (Fig. 3) presentándose mediante agrupaciones imbricadas (Fig.

Bloques arrancados		Bloques arrastrados	
Rt	Rs	Rt	Rs
7,48	16,43	5,04	6,66

TABLA 1. Valores de los 20 bloques analizados, correspondientes a los ejes del bloque, su altura sobre snm, distancia, dirección y peso.
Average of the 20 boulders analyzed, corresponding to the axes of the boulders, its height above sea level, distance, direction and weight.

4), indicador de flujo de tsunami. De los 20 bloques analizados destacan dos que corresponden claramente a bloques arrancados, conservando su morfología de *notch*. Así mismo muchos de los bloques se encuentran ubicados dentro de la zona boscosa, destacando que esta masa arbórea se sustenta sobre acúmulos sedentarios de origen carbonatado de grano medio y grueso, con potencias superiores a los 1,90m (Fig. 4), y que podría representar acumulaciones de tsunamitas ubicadas a más de 150m de la línea de costa. A lo largo de la zona de estudio no se identifican morfometrías ni sedimentos que puedan ser relacionados con ciclones.

La aplicación de las fórmulas de Engel & May (2012) permite obtener la altura mínima del flujo de agua necesario para desplazar cada bloque por medio de oleaje (Hs) o por medio de tsunami (Ht). A ellos se les añade la altura snm de cada bloque para obtener su run-up (Tabla 2, Fig. 5) bajo dos supuestos: bloques arrancados y bloques arrastrados, descartando en este trabajo las ecuaciones de bloques sumergidos, ya que no se han localizado en el trabajo de campo bloques correspondientes a fondo marino.

En el caso de los bloques arrancados los resultados muestran que para su arranque y desplazamiento se requiere un run-up de 7,48m para tsunamis (Rt) y de 16,43m para tormentas (Rs). Observamos en la Fig. 5 que los bloques de más peso requieren *run-ups* superiores a los 20m. Por lo que respecta a bloques arrastrados sobre la plataforma, los valores de *run-up* para Rt es de 5,04m y de 6,66 m para Rs. Los valores obtenidos

de la columna de agua para el supuesto de temporales son muy elevados en el caso de arranque, por lo que se descarta su relación con los temporales. Así mismo, el supuesto de arrastre por temporales podría ser una



FIGURA 4. A: Presencia de bloques imbricados en el limite de la zona boscosa. **B:** Acumulaciones de sedimento de grano medio y grueso.

A: Presence of imbricated boulders at the edge of the wooded area. **B:** Accumulations of medium and coarse-grained sediment.

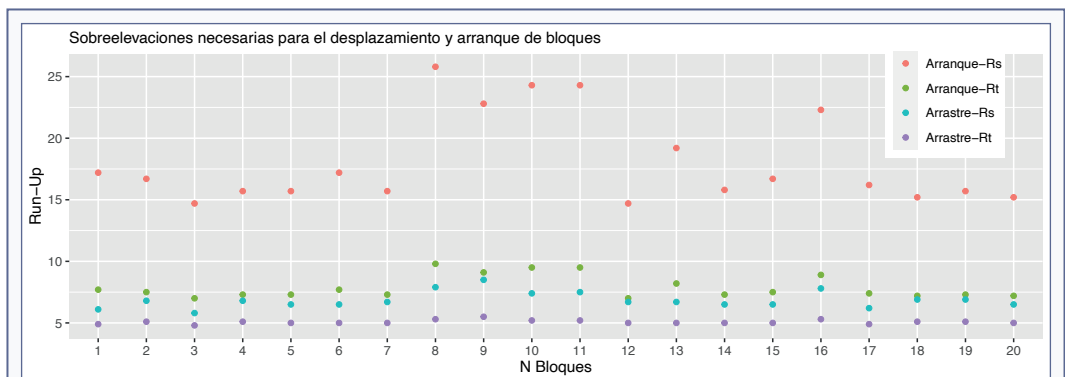


FIGURA 5. Representación gráfica de las columnas de agua necesarias (*run-up*) para el desplazamiento de bloques mediante arrastre o arranque: Rt: tsunamis, Rs: temporales.

Graphical representation of the water columns or necessary lifts (*run-up*) for the movement of blocks under different scenarios by start and drag: Rt: tsunamis, Rs: storm.

Eje A (m)	Eje B (m)	Eje C (m)	Altura (m)	Distancia (m)	Dirección (°)	Peso (T)
2,85	2	1,3	4,6	78,4	203,7	13,53

TABLE 2. Valores de sobreelevación o run-up necesarias bajo supósitos de bloques arrancados y bloques desplazados.

Required run-up values under the assumptions of plucked or dragged boulders.

opción válida, aunque la distancia de estos de la línea de costa y la presencia de vegetación, invalida su relación con temporales. Por ende, los resultados prueban su origen extraordinario (Fig. 5).

Conclusiones y discusión

Los resultados preliminares de este trabajo apuntan que los bloques se encuentran asociados a una dirección dominante de eventos extraordinarios como tsunamis, representando un potencial riesgo geológico para las instalaciones del frente hotelero litoral ubicadas en la zona.

La posición de los bloques, sus alturas, sus distancias sobre la cornisa del acantilado, su disposición y distribución, la formación de cordones y agrupaciones, algunos de ellos imbricados, así como la presencia de campos sedimentarios de grano medio y grueso, dan validez a los resultados de las ecuaciones hidrodinámicas aplicadas en este trabajo para asociar estos bloques a tsunamis. Aún así hay que considerar la posibilidad de que los bloques hayan sido emplazados en dos fases, en base a la representación de la Figura 3: una primera fase de arranque que podría estar relacionada con un evento de tsunami y una segunda fase de traslación, claramente de tsunami y que trasladaría los bloques de mayores dimensiones a la vez que retomaría los de menores dimensiones arrastrándolos a mayor distancia.

Se descarta la afectación de ciclones sobre el área por el tipo de patrones de sedimentación observados, permitiendo los resultados de la formulación de Engel & May (2012) confirmar que el transporte se produjo por un tsunami y/o por las secuencias de varios tsunamis sobre la misma área.

Los bloques analizados en Sardinilla son los primeros bloques descritos en isla Española, y amplían los estudios de bloques asociados a tsunamis en la zona del Caribe, aportando un nuevo dato a los estudios referentes a presencia de sedimento grueso y de origen abisal en República Dominicana, y reforzando las

postulaciones de afectación de tsunamis en la costa S de la isla Española. Es aconsejable que los sedimentos de origen tsunamítico descritos en Sardinilla sean analizados para determinar los hábitats de profundidad de sus foraminíferos y confirmar que se trata de sedimentos asociados a grandes flujos de tsunamis. Así mismo, es necesario realizar campañas para la identificación de nuevos emplazamientos de bloques o sedimentos gruesos en las costas rocosas de la isla.

Agradecimientos

Los resultados del presente estudio se enmarcan dentro de los proyectos de consultoría ambiental sobre riesgos geológicos asociados a espacios turísticos y recreativos del litoral de República Dominicana. Dentro del marco de los proyectos: A.- Ordenación y gestión litoral de complejos hoteleros del Grupo Hotelero Piñero. B.- Planes de ordenación y gestión litoral del Departamento de Planificación y Proyectos (DPP) del Ministerio de Turismo de República Dominicana. C.- Proyectos de Cooperación litoral en República Dominicana asociados a las ayudas del Banco de Desarrollo Internacional (BID). Agradecemos a Pedro Jiménez y Tolo Planisi que nos facilitaran el desplazamiento a Sardinilla, y a Santiago Carrascón la realización de un vuelo drone. Así mismo los autores agradecen a los revisores anónimos sus sugerencias y aportaciones.

Bibliografía

- Ayala, C., García-Lobón, J. L., Escuder-Viruete, J., Rey-Moral C., Pérez-Estaún, A. & Padín-Debén, A. 2017.** High resolution magnetic, regional gravity and petrophysical characterization of the Dominican Republic tectonic domains with special focus on the Central Cordillera. *Boletín Geológico y Minero*, 128 (3): 611-631.
- Engel, M. & May, S. M. 2012.** Bonaire's boulder fields revisited: Evidence for Holocene tsunami impact on the Lee-ward Antilles. *Quaternary Science Reviews*, 54: 126-141.
- Engel, M., Brückner, H., Wennrich, V., Scheffers, A., Kelletat, D., Vött, A., Schäbitz, F., Daut, G., Willershäuser, T. & May S. M. 2010.** Coastal stratigraphies of eastern Bonaire (Netherlands Antilles): New insights into the palaeo-tsunami history of the southern Caribbean. *Sedimentary Geology*, Volume 231 (1-2): 14-13
- Engel, M., Oetjen, J., May, S. M., & Brückner, H. 2016.** Tsunami

deposits of the Caribbean – Towards an improved coastal hazard assessment. *Earth Science Reviews*, 163: 260-296.

- Fuentes, Z. & Huérffano-Moreno, V. 2013.** Earthquake potential of the Muertos Trough: onshore sleuthing for tsunami deposits. *Geological Society of America, Abstracts with Programs*, 45(2): 63.
- Harbitz, C. B., Glimsdal, S., Bazin, S., Zamora, N., Løvholt, F., Bungum, H., Smebye, H., Gauer, P. & Kjekstad O. 2012.** Tsunami hazard in the Caribbean: Regional exposure derived from credible worst case scenarios. *Continental Shelf Research*, 38: 1-23.
- Hernaiz Huerta, P. P. & Pérez-Estaún, A. 2002.** Estructura del cinturón de pliegues y cabalgamientos de Peralta, República Dominicana. *Acta Geológica Hispánica*, 37: 183-205.
- Iturralde-Vinent, M. 2017.** Huracanolitos, eventos de oleaje extremo y protección de las obras costeras. *Revista Anales de la Academia de Ciencias de Cuba*, 7 (2): 1-7.
- Lander, J. F., Whiteside, L. S. & Lockridge, P. A. 2002.** Brief history of Tsunamis in the Caribbean Sea. *Science of Tsunami Hazards*, 20 (2): 57-94.
- Lugo, A. E., Rogers, C. S. & Nixon, S. W. 2000.** Hurricanes, coral reefs and rainforests: resistance, ruin and recovery in the Caribbean. *Ambio*, 29: 106-114.
- MMAyRN (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2012.** Atlas de Biodiversidad y Recursos Naturales de la República Dominicana. 122 pp. Gobierno de República Dominicana, Santo Domingo, República Dominicana.
- Morton, R., Richmond, B., Jaffe, B. & Gelfenbaum, G. 2008.** Coarse-clast ridge complexes of the Caribbean: A preliminary basis for distinguishing tsunami and storm-wave origins. *Journal Sediment Research*, 78: 624-637.
- O'Loughlin, K. F. & Lander, J. F. 2003.** Caribbean tsunamis; a 500-year history from 1498–1998. 199 pp. Kluwer Academic. Dordrecht.
- Paris, R., Wassmer, P., Sartohadi, J., Lavigne, F., Barthomeuf, B., Desgages, E., Grancher, D., Baumert, Ph., Vaultier, F., Brunstein, D. & Gomez, C. 2008.** Tsunamis as geomorphic crisis: lessons from the December 26, 2004 tsunami in Lhok Nga, west Banda Aceh (Sumatra, Indonesia). *Geomorphology*, 104 (1-2): 59-72.
- Rodríguez-Valdés, A. R. & Acosta-Rodríguez, E. 2017.** Megabloques en Trinidad: Generalidades de su Morfometría, *Serie Oceanológica*, 16: 1-7.
- Rodríguez-Vidal, J., Cáceres, L. M., Abad, M., Ruiz, F., González-Regalado, M. L., Finlayson, C., Finlayson, G. D., Rodríguez-Llanes, J. M. & Bailey, G. 2011.** The recorded evidence of AD 1755 Atlantic tsunami on the Gibraltar coast. *Journal of Iberian Geology*, 37 (2): 177-193.
- Roig-Munar, F. X., 2016.** Blocs de tempesta i tsunamis a les costes rocoses de les Illes Balears. Anàlisi geomorfològica i morfomètrica. 410 pp. Tesis doctoral, Universitat de Barcelona.
- Roig-Munar, F. X., Vilaplana, J. M., Rodríguez-Perea, A., Martín-Prieto, J. Á. & Gelabert, B. 2018.** Tsunamis boulders on the rocky shores of Minorca (Balearic Islands). *Nat. Hazards Earth Systems Science*, 18: 1985-1998.
- Rowe, D. A. C., Khan, S. A. & Robinson, E. 2009.** Hurricanes or tsunami? Comparative analysis of extensive boulder arrays along the southwest and north coasts of Jamaica: lessons for coastal management. In: MacGregor, M., Dodman, D. & Barker, D. (Eds.): *Global Change and Caribbean Vulnerability: Environment, Economy and Society at Risk?* Press, Kingston, Jamaica: 49-73.
- Scheffers, A. 2002.** Paleotsunami in the Caribbean: Field evidences and datings from Aruba, Curaçao and Bonaire. *Essener Geography Arbeiten* 33: 185 pp.
- Scheffers, A., 2004.** Tsunami imprints on the Leeward Netherlands Antilles (Aruba, Curacao and Bonaire) and their relation to other coastal problems. *Quaternary International*, 120: 163-172.
- Scheffers, A. & Kelletat, D. 2003.** Sedimentologic and geomorphic tsunami imprints worldwide - a review. *Earth-Science Review*, 63: 83-92.
- Scheffers, A. & Kelletat, D. 2004.** Bimodal tsunami deposits: a neglected feature in paleo-tsunami research. Vol. 1, Eds by G. Schernewski, T. Dolch, *Geographie der Meere und Küsten. Coastline Reports.* Elsevier, pp. 67-75
- Scheffers, S. R., Haviser, J., Browne, T. & Scheffers, A. 2009.** Tsunamis, hurricanes, the demise of coral reefs and shifts in prehistoric human populations in the Caribbean. *Quaternary International*, 195: 69-87.
- Scheucher, L. E. A., Piller, W. E. & Vortisch, W. 2011.** Foraminiferal analysis of tsunami deposits: two examples from the northeastern and southwestern coast of the Dominican Republic, in: Bornemann, A., Brachert, T.C., Ehrmann, W. (Eds.), *SEDIMENT 2011 – Sediments: Archives of the Earth System*, Leipzig, June 23–26, 2011, Abstracts, pp. 86-87.
- Scheucher, L. E. A. & Vortisch, W. 2011.** Field survey and hydrodynamics of storm-deposited boulders in the Southwestern Dominican Republic: Playa Azul, Provincia De Barahona, in: Bornemann, A., Brachert, T.C., Ehrmann, W. (Eds.), *SEDIMENT 2011 – Sediments: Archives of the Earth System*, Leipzig, June 23–26, 2011, Abstracts: 88-89.
- Scoffin, T. P. 1993.** The geological effects of hurricanes on coral reefs and the interpretation of storm deposits. *Coral Reefs*, 12: 203-221.
- Shaw, C.E. & Benson, L. 2015.** Possible tsunami deposits on the Caribbean coast of the Yucatán peninsula. *Journal of Coastal Research*, 31(6): 1306-1316.
- Zhao, X., Chen, Y., Huang, Z. & Gao, Y. 2017.** A numerical study of tsunami wave run-up and impact on coastal cliffs using a CIPbased model. *Natural Hazards Earth Systems Science*, 17: 641-655.