



NOTA / NOTE

Evaluación preliminar del impacto del huracán Iota en arrecifes coralinos de las islas de Providencia y Santa Catalina

Preliminary assessment of the impact of Hurricane Iota on coral reefs in Providencia and Santa Catalina Islands

Carlos E. Gómez^{1*}, Santiago Millán¹, Andrés Acosta-Chaparro¹, Alfredo Abril-Howard² y Raúl Navas-Camacho¹

0000-0003-0023-7019

0000-0002-4082-937X

0000-0002-0618-5689

0000-0003-0672-1792

0000-0002-6062-315X

1. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras – Invemar, Santa Marta, Colombia.

2. Corporación para el Desarrollo Sostenible del Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina (CORALINA), San Andrés, Colombia.
cegom.s@gmail.com*

* Autor de correspondencia

RESUMEN

Los huracanes son importantes fuerzas destructivas en arrecifes coralinos que pueden cambiar el componente estructural del hábitat. El 16 de noviembre de 2020 el huracán Iota pasó ~10 km al norte de las islas de Providencia y Santa Catalina como huracán categoría 5. Este estudio documentó la magnitud del impacto en arrecifes coralinos alrededor de las islas dos semanas después del impacto, como parte de la "Operación Cangrejo Negro". Se realizaron evaluaciones visuales rápidas en 11 formaciones coralinas entre 2 y 17 m de profundidad. Se estimó la proporción del impacto en un área de ~200 m², la cual fue categorizada con valores de 0-5 según el nivel de daño. Estimaciones preliminares indicaron impacto en 72 % de las estaciones evaluadas, concentrado principalmente en áreas someras (5-7 m). Aproximadamente el 45 % de los sitios presentaron daños de bajo a medio y 27 % presentaron daños de medio a moderado con una alta variabilidad entre y dentro de las estaciones. De esta evaluación se concluye que el impacto se extendió a lo largo de la isla en áreas someras estructuradas por grandes colonias de *Orbicella* spp., principalmente relacionados con daños a nivel de colonia y daños menores a nivel de estructura del arrecife.

PALABRAS CLAVE: ciclón tropical, Caribe colombiano, *Orbicella annularis*, fragmentación, bioerosión.

ABSTRACT

Hurricanes are important natural destructive forces for coral reefs that can change the structural component of the habitat. On November 16th, 2020, the hurricane Iota passed ~10 km north of the islands of Providencia and Santa Catalina with sustained winds of a category 5 hurricane. The purpose of this study was to document the magnitude of the impact on coral reefs around the islands two weeks after the hit, as part of the "Operación Cangrejo Negro". Visual assessments were performed at 11 representative coral reef formations between 2 and 17 m depth. Estimates of the impact were evaluated within an approximate area of 200 m², which was categorized with score values ranging from 0 to 5 according to the level of damage. Preliminary estimates at coral reef formations indicated impact in 72 % of the stations surveyed, concentrated mainly on shallow areas (5-7 m). Approximately 45 % of the sites had low to low-medium damage and 27 % showed medium to moderate damage with high variability between and within stations. From this preliminary assessment we conclude that the impact was widespread along the island on shallow areas structured by big boulders of *Orbicella* spp., mainly related to colony-level damage with less reef structural damage.

KEY WORDS: Tropical-cyclone, Colombian-Caribbean, *Orbicella annularis*, fragmentation, bioerosion

DOI: <https://doi.org/10.25268/bimc.invemar.2022.51.1.1164>

Publicado por Invemar

Este es un manuscrito de acceso abierto bajo la licencia CC Reconocimiento-No Comercial-Compartir Igual

Published by Invemar

This is an open Access article under the CC BY-NC-SA

Los ciclones tropicales son una de las fuerzas destructivas naturales más importantes para los arrecifes coralinos (Harmelin-Vivien, 1994). La mayoría se forman como centros de baja presión que entran en contacto con el océano y normalmente ocurren cuando las temperaturas del agua de mar superan 26 °C (Done, 1992). Estudios de modelación han sugerido que el aumento de la temperatura del océano debido al cambio climático muestra una correlación positiva con la intensidad de los huracanes que alcanzaron la categoría 4-5 en la escala de Saffir-Simpson (Saunders y Harris, 1997; Webster *et al.*, 2005; Mann y Emanuel, 2006; Knutson *et al.*, 2010), al menos durante las últimas cinco décadas (Emanuel, 2005). Los daños más comunes a los arrecifes coralinos incluyen la fragmentación y volcamiento de colonias, incremento en tasas de sedimentación, aumento de la turbidez y, en general, cambios en el componente estructural del hábitat, que pueden variar desde zonas muy localizadas hasta arrecifes completos (Woodley *et al.*, 1981; Rogers *et al.*, 1991; Gardner *et al.*, 2005; Beeden *et al.*, 2015).

En los últimos 60 años, aproximadamente una docena de huracanes importantes (categoría > 3) han atravesado la región del Caribe de oriente a occidente causando daños considerables a los ecosistemas de arrecifes (Woodley *et al.*, 1981; Knowlton *et al.*, 1990; Bythell *et al.*, 1993; Edmunds, 2019). En ese mismo período de tiempo, al menos seis huracanes de categoría 1 o más han impactado las islas oceánicas de Colombia (Ortiz, 2007). La última gran perturbación física que afectó a Providencia fue el huracán Beta en 2005 (categoría 1, centro de baja presión de 962 mb), que cruzó 15 km al norte causando daños en las secciones norte del complejo de la barrera arrecifal, así como en los arrecifes de parche alrededor de la isla (Taylor *et al.*, 2007; Rodríguez-Ramírez y Reyes-Nivia, 2008). Se ha sugerido que parte del declive histórico de la cobertura coralina en las islas San Andrés y Providencia ha sido agravado por diferentes tormentas y huracanes que causaron daños al andamiaje arrecifal, como lo fue la casi desaparición de *Acropora cervicornis* tras el huracán Hattie en 1961, y los daños en *A. palmata* y coral masivo de *Diploria* y *Pseudodiploria* presuntamente por el huracán Joan en 1988 (Zea *et al.*, 1998).

El 16 de noviembre de 2020, entre las 4:00-7:00 horas, el ojo del huracán Iota pasó a una distancia de menos de 10 km al norte de las islas Providencia y Santa Catalina con vientos sostenidos de categoría 5 Saffir-Simpson (> 250 km h⁻¹), presión mínima de aproximadamente 917 mb y una marejada ciclónica de 6 m (DIMAR, 2020). Este es el primer huracán de categoría 5 que ha tenido un impacto

Tropical cyclones are one of the most important natural destructive forces for coral reefs (Harmelin-Vivien, 1994). Most form as low-pressure centers that make contact with the ocean and normally occur when seawater temperatures are above 26 °C (Done, 1992). Modelling studies have suggested that increasing ocean temperature due to climate change show a positive correlation with the intensity of hurricanes that reached category 4-5 on the Saffir-Simpson scale (Saunders and Harris, 1997; Webster *et al.*, 2005; Mann and Emanuel, 2006; Knutson *et al.*, 2010), at least for the past five decades (Emanuel, 2005). Common damages to coral reefs include fragmentation and overturning of colonies, sediment cover, increased turbidity and, in general, changes in the structural component of the habitat, which can range from a very localized to entire reefs (Woodley *et al.*, 1981; Rogers *et al.*, 1991; Gardner *et al.*, 2005; Beeden *et al.*, 2015).

In the last 60 years, roughly a dozen major hurricanes (category > 3) have crossed the Caribbean region from east to west causing considerable damage to reef ecosystems (Woodley *et al.*, 1981; Knowlton *et al.*, 1990; Bythell *et al.*, 1993; Edmunds, 2019). Within the same period of time, at least six hurricanes category 1 or more have had an impact on the oceanic islands of Colombia (Ortiz, 2007). The last major physical disturbance that affected Providencia was hurricane Beta in 2005 (category 1, lowest pressure 962 mb), which crossed 15 km north causing damages in the north sections of the barrier reef complex as well as the patch-reefs around the island (Taylor *et al.*, 2007, Rodríguez-Ramírez and Reyes-Nivia, 2008). It has been suggested that part of the historical decline in coral cover in San Andrés and Providencia islands has been exacerbated by different storms and hurricanes that caused damage to the reef framework, such as, the almost disappearance of *Acropora cervicornis* after hurricane Hattie in 1961, and the damage to *A. palmata* and massive coral heads of *Diploria* and *Pseudodiploria* presumably by hurricane Joan in 1988 (Zea *et al.*, 1998).

On November 16th 2020, between 4:00-7:00 the eye of the hurricane Iota passed at a distance of less than 10 km north of Providencia and Santa Catalina islands with sustained winds of Saffir-Simpson category 5 (> 250 km h⁻¹), minimum surface pressure of approximately 917 mb, and storm surge of 6 m (DIMAR, 2020). This is the first category 5 hurricane that has had a direct impact on the island and the second largest in recent history that has occurred in the month of November (<https://www.nhc.noaa.gov/>)

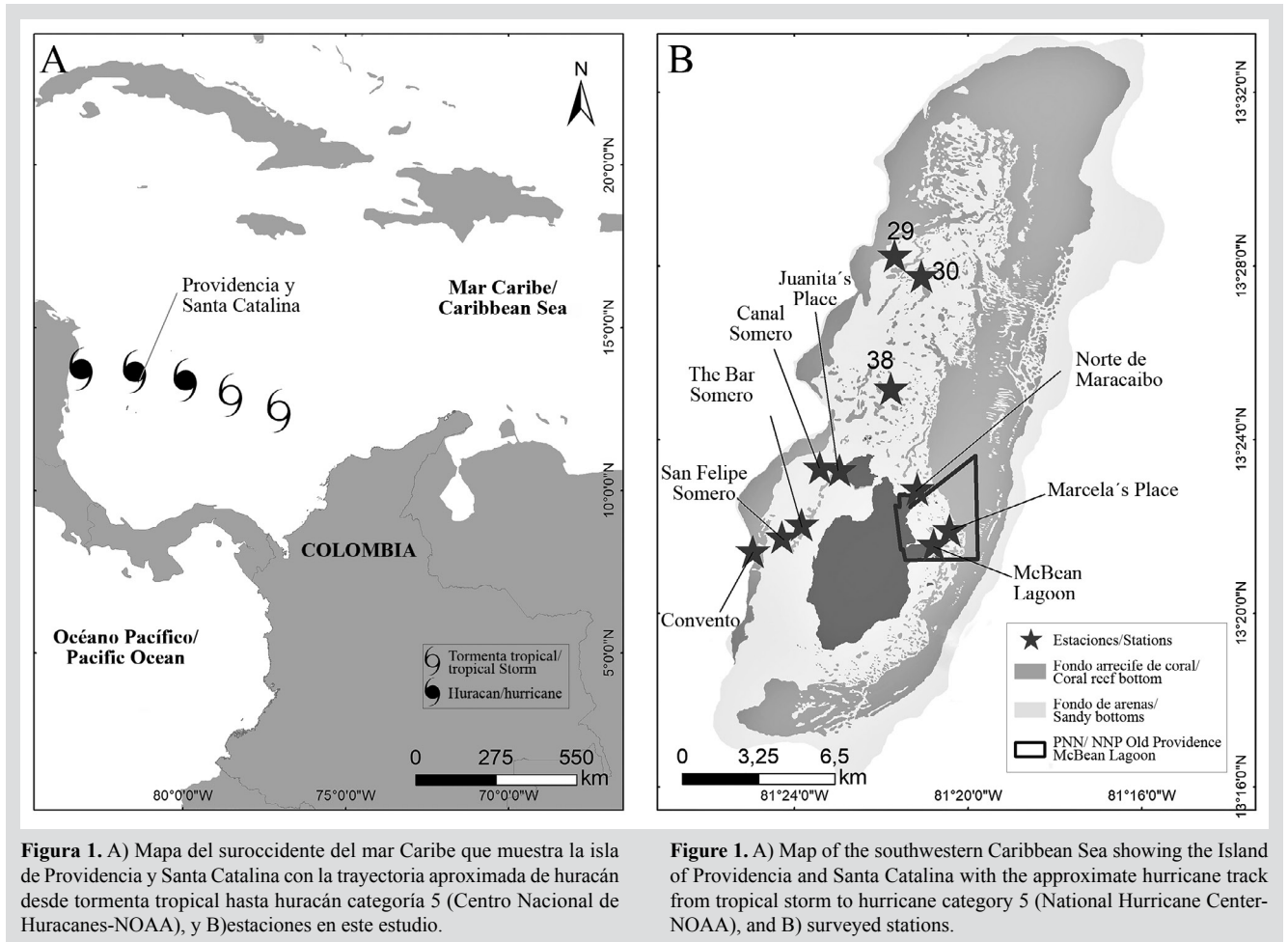


Figura 1. A) Mapa del suroccidente del mar Caribe que muestra la isla de Providencia y Santa Catalina con la trayectoria aproximada de huracán desde tormenta tropical hasta huracán categoría 5 (Centro Nacional de Huracanes-NOAA), y B) estaciones en este estudio.

Figure 1. A) Map of the southwestern Caribbean Sea showing the Island of Providencia and Santa Catalina with the approximate hurricane track from tropical storm to hurricane category 5 (National Hurricane Center-NOAA), and B) surveyed stations.

directo en la isla y el segundo más grande en la historia reciente ocurrido en el mes de noviembre para la región (https://www.nhc.noaa.gov/archive/2020/al31/al312020_public_a.011.shtml) (Figura 1). Con consecuencias sin precedentes, el huracán provocó la destrucción de casi 95 % de la infraestructura de la parte terrestre de Providencia y Santa Catalina, la masa foliar del bosque y afectó manglares, praderas de pastos marinos y arrecifes de coral. El propósito de este estudio es documentar la magnitud general del impacto de Iota en las formaciones de arrecifes de coral alrededor de las islas.

Como parte de la “Operación Cangrejo Negro” establecida por el gobierno colombiano a través del Sistema Nacional Ambiental-SINA y tres semanas después de que Iota impactara las islas, se realizaron estimaciones visuales (SCUBA) para evaluar 11 formaciones representativas de arrecifes coralinos en zonas someras del norte, parte de la barrera de arrecifes, las terrazas de arrecifes de coral ubicadas en el lado de sotavento y las formaciones de parche lagunar dentro del Parque Nacional Natural Old Providence McBean Lagoon, entre 2 y 17 m de profundidad (Figura 1, Tabla 1).

archive/2020/al31/al312020_public_a.011.shtml) (Figure 1). With unprecedented consequences, the hurricane caused a destruction of almost 95 % the infrastructure of Providencia and Santa Catalina’s inland area, affecting the forest foliar mass, mangroves, seagrass meadows, and coral reefs. The purpose of this study is to document the overall magnitude of the impact of Iota on coral reef formations around the islands.

As part of the “Operación Cangrejo Negro” established by the Colombian government through the “Sistema Nacional Ambiental-SINA” and three weeks after Iota impacted the islands, visual assessments (SCUBA) were performed to evaluate 11 representative coral reef formations in the shallow northern part of the barrier reef, the coral-reef terraces form the leeward side and the lagoonal patch-coral formations inside the Old Providence McBean Lagoon National Natural Park, between 2 and 17 m depth (Figure 1, Table 1). Estimates of the severity of the damage within each station (~200 m²) were categorized by each team member independently (five divers) who gave an estimated

Estimaciones de la severidad del daño dentro de cada estación (~ 200 m²) fueron categorizadas independientemente por cada buzo investigador (cinco buzos) quienes estimaron la proporción de cobertura coralina que fue impactada por el paso del huracán (0 – 100 %), la cuál fue luego categorizada con un valor de puntuación entre 0 y 5 de acuerdo a la metodología propuesta por Beeden *et al.* (2015). Valores dentro del rango de 1-3 son referidos como daño menor a moderado a nivel de colonia / daño menor a nivel estructural, mientras que valores de 4 y 5 son referidos como daños severos a nivel de colonia / extremos a nivel estructural (Tabla 1). Aunque estos estimados son aproximaciones, una vez en superficie se realizó un consenso con el equipo investigador para minimizar el sesgo. Estas valoraciones complementaron la evaluación cualitativa realizada por Sánchez *et al.* (2020), quienes evaluaron sitios más profundos alrededor de la isla.

Se observó un impacto generalizado en 72 % de las estaciones de ambos lados de la isla. El daño se concentró en áreas poco profundas (5-7 m) y generalmente fue variable dentro de las formaciones coralinas. Aproximadamente 45 % de los sitios presentaron daños con un impacto bajo a medio-bajo (10-20 %, categoría < 2) y 17 % mostró daños medios a moderados (20-30 %, categoría 3). En particular, Point 30, Juanita’s Place y Marcela’s Place (Tabla 1, Figura 1), presentaron daños estructurales más altos (hasta 30 %) en comparación con las otras estaciones. En estos sitios, observamos áreas con estructura de arrecife parcialmente colapsada y escombros de coral con una remoción parcial de octocorales gorgonáceos (Figura 2).

proportion of coral cover impacted (0 to 100 %), which was then categorized with score values ranging from 0 to 5 according to Beeden *et al.* (2015), with values from 1 to 3 referred as minor to moderate colony-level damage / minor structural damage, while values of 4 and 5 referred as severe to extreme coral damage / high reef structural damage (Table 1). Although these estimates are approximate values, a consensus from the different observers was reach once on-board in order to minimize bias. These surveys complemented the qualitative assessment performed by Sánchez *et al.* (2020), who first evaluated deeper sites around the island.

We found a generalized impact in 72 % of the stations on both sides of the island. The damage was concentrated on shallow areas (5-7 m) and was generally within coral reef formations. Approximately 45 % of the sites had low to low-medium damage (10-20 %, category < 2) and 27 % showed medium to moderate damage (20-30 %, category 3). Particularly, Point 30, Juanita’s Place and Marcela’s Place (Table 1, Figure 1), had higher structural damage (up to 30 %) compared to the other locations. At these sites, there were areas with partially collapsed reef structure, and coral rubble was observed as well as partial removal of gorgonian octocorals (Figure 2).

Tabla 1. Categorización del impacto de los sitios evaluados en las islas Providencia y Santa Catalina.

Sitio / Site	Latitud / Latitude	Longitud / Longitude	Profundidad / Depth (m)	Categoría de daño / Damage category	Porcentaje de daño / Damage percentage	Unidad ecológica / Ecological Unit
Point 29 (White sand)	13°28'13.624"N	81°21'41.494"W	7	0	0 %	Sand-coral rubble- <i>Orbicella</i>
Point 30	13°27'45.464"N	81°21'4.529"W	4	3	20-30 %	Sand-coral rubble- <i>Orbicella</i>
Point 38	13°25'9.764"N	81°21'46.609"W	5	2	10-20 %	Sand-coral rubble- <i>Orbicella</i>
Juanita's place	13°23'16.793"N	81°22'57.418"W	4	3	20-30 %	<i>Orbicella</i> -mixed corals
Canal somero	13°23'20.443"N	81°23'24.623"W	4	0	0 %	Octocorals-encrusting corals
San Felipe somero	13°21'44.600"N	81°24'16.898"W	4	0	0 %	Octocoral-mixed corals
The Bar somero	13°22'1.819"N	81°23'49.895"W	6	2	10-20 %	Octocorals-encrusting corals
Convento	13°21'24.925"N	81°24'57.025"W	17	1	5 %	Octocoral-mixed corals
McBean 1	13°21'33.945"N	81°20'47.402"W	4	1	5 %	Sand-coral rubble- <i>Orbicella</i>
Marcela's place	13°21'54.152"N	81°20'25.481"W	5	3	20-30 %	Sand- <i>Orbicella</i>
Maracaibo	13°22'50.561"N	81°21'10.133"W	5	1	5 %	Sand- <i>Orbicella</i>

Table 1. Impact categorization of surveyed sites in Providencia and Santa Catalina islands.

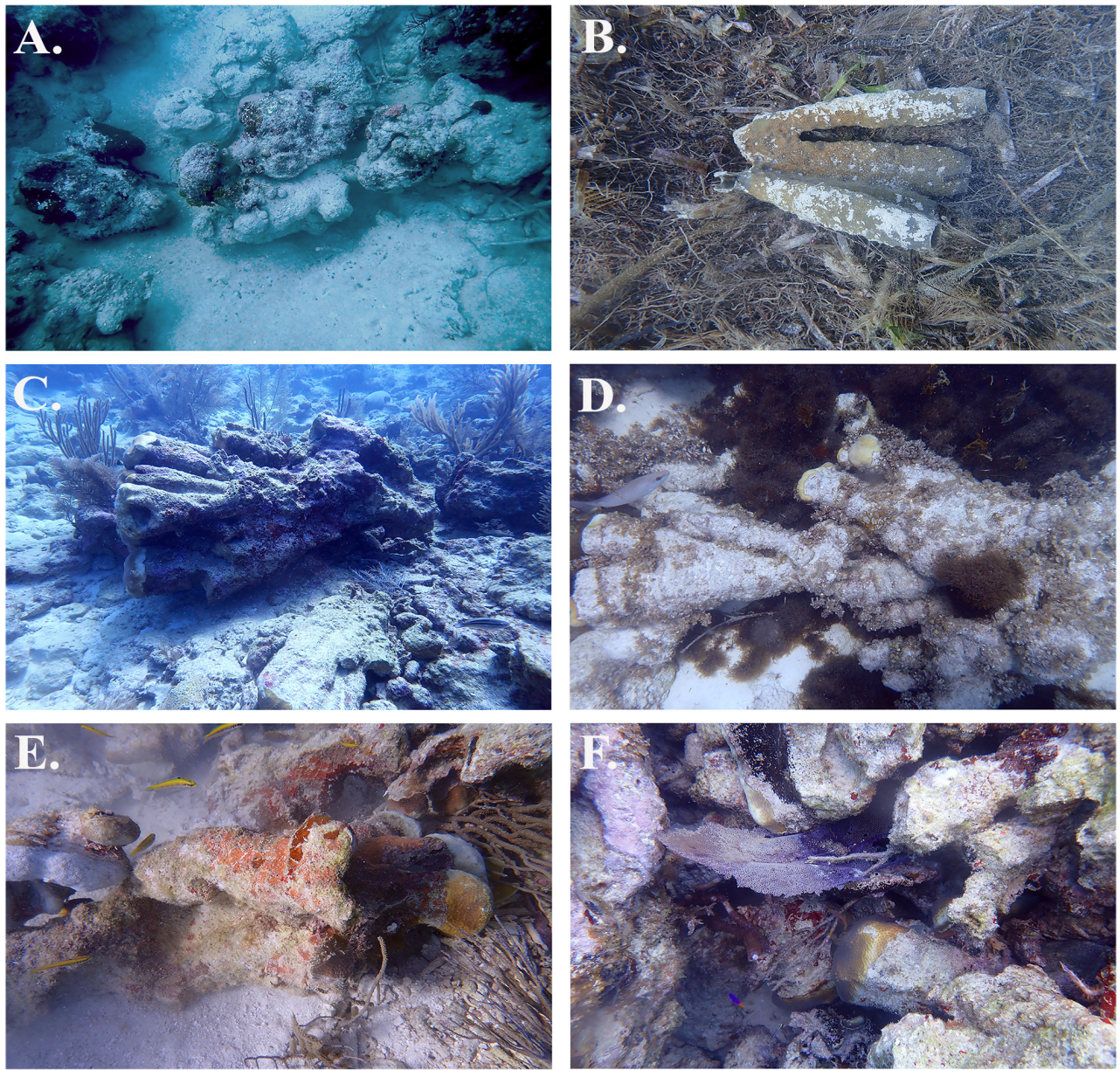


Figura 2. Impactos observados en las islas. A. colonia volcada cubierta por arena. B. esponja desprendida observada en canales de arena sobre escombros, C. - F. *Orbicella annularis* fragmentada y volcada junto con octocorales adheridos encontrados en las estaciones que presentaron el mayor impacto.

Figure 2. Impacts seen around the island. A. partially collapsed colony cover by sand, B. detached sponge seen on sand channels on top of debris, C. - F. *Orbicella annularis* fragmented and overturned along with attached octocorals found at the stations that had the highest score damage.

Point 30 es un arrecife de parche ubicado en la zona lagunar y el sustrato está dominado por escombros de arena y coral junto con formaciones de coral como *Orbicella annularis-faveolata* y octocorales. En este sector observamos la presencia de cascajo y roca reciente expuesta, así como colonias volcadas y fragmentadas, especialmente *O. annularis* y octocorales cubiertos de arena. El parche de arrecife de Juanita's Place ubicado en el borde de la isla Santa Catalina en un área conocida localmente como Channel Shoal (Figura 1),

Point 30 is a typical patch reef located in the lagoon and the substrate is dominated by sand-coral rubble along with coral formations such as *Orbicella annularis-faveolata* and octocorals. The presence of gravel and recently exposed rock was noticeable, likewise overturned and fragmented colonies, especially *O. annularis*; octocorals were observed covered by sand. The patch reef Juanita's place located on the edge of Santa Catalina Island in an area locally known as Channel Shoal (Figure 1), was the site with the

fue el sitio con la cobertura de coral vivo más alta registrada (~ 34 %). Grandes colonias masivas de *O. annularis* y *O. faveolata* (algunas de más de 2 m de altura) y *Pseudodiploria strigosa* constituyeron el fondo junto con *Porites astreoides* y el coral foliáceo *Agaricia agaricites*. Se evidenciaron colonias principalmente de *O. annularis* y *P. strigosa* fragmentadas y volcadas. En esta estación, se observó un daño a manera de “franjas” conspicuas, posiblemente causadas por corales desprendidos y grandes rocas que fueron transportadas a través del arrecife por las corrientes del fondo (p.ej., Woodley *et al.*, 1981; Edmunds y Witman 1991). Marcela’s Place, es un parche de arrecife ubicado en el lado oriental de la isla en la laguna arrecifal, con buen desarrollo de grandes colonias masivas de *O. annularis* y *O. faveolata*, así como de *P. strigosa* y *Siderastrea siderea*. En este lugar se observó un impacto considerable, especialmente en *O. annularis* y *O. faveolata*. La mayoría de las colonias que se encontraron en el borde del arrecife de parche cerca de los fondos de arena fueron impactadas, volcadas y algunas terminaron cubiertas por arena y escombros. Particularmente para *O. annularis*, se observó que el mayor daño fue en colonias con crecimiento columnar-lobulado bajo los efectos de la bioerosión. De manera similar, también se vieron colonias afectadas de *P. strigosa* que presentaban un pedúnculo delgado.

Se observó un blanqueamiento generalizado de los corales en todas las estaciones evaluadas probablemente asociado más con el aumento de temperatura previo al huracán (~ 30 °C), como lo habían documentado Rodríguez-Ramírez y Reyes-Nivia (2008) después del huracán Beta en 2005. Este fenómeno ha sido registrado en otras partes del Caribe, donde la actividad de los huracanes con frecuencia se correlaciona con eventos de blanqueamiento generalizados (Manzello *et al.*, 2007). Asimismo, se registra la presencia de algunas colonias de *P. strigosa*, *S. siderea*, *Favia fragum*, *Montastraea cavernosa*, *A. agaricites* y *A. cervicornis* afectadas por enfermedades de banda negra, banda blanca y mancha oscura (Gil-Agudelo *et al.*, 2009; Navas-Camacho *et al.*, 2010). Algunas preguntas surgen a partir de esta evaluación preliminar como ¿Cuál es el alcance de los corales para recuperarse luego del impacto del huracán? y ¿Es el tiempo entre eventos como este suficiente para que la comunidad coralina retorne a niveles pre-huracán? De este estudio se puede concluir que el impacto del Iota ocurrió a lo largo de las islas de manera generalizada principalmente en zonas someras estructuradas por corales masivos de *Orbicella* spp., sin embargo, fue focalizado dentro de las áreas coralinas relacionado con daños menores a moderados a nivel de colonia y daños menores a nivel de estructura arrecifal.

highest living coral cover (~ 34 %). Large massive colonies of *O. annularis*, *O. faveolata* (some over 2 m high) and *Pseudodiploria strigosa* structured the bottom, along with *Porites astreoides* and the foliaceous coral *Agaricia agaricites*. We found that colonies mainly *O. annularis* and *P. strigosa* were fragmented and overturned. At this station we observed stripes-shaped damage, caused presumably by rolling corals and big boulders that were transported across the reef by the bottom currents (e.g., Woodley *et al.*, 1981; Edmunds and Witman 1991). Marcela’s Place, is a patch reef located at the eastern side of the island in the lagoon, with good development of large massive colonies of *O. annularis* and *O. faveolata*, as well as *P. strigosa* and *Siderastrea siderea*. In this place we observed considerable impact, especially in *O. annularis* and *O. faveolata*. Most of the colonies that were found on the edge of the patch reef close to the sand-planes were impacted, overturned and some ended up covered by sand and debris. Particularly, we observed the greatest damage for *O. annularis* on colonies with columnar-lobated growth, already under the effects of bioerosion. Similarly, massive colonies of *P. strigosa* with a thin peduncle were also affected.

We observed widespread coral bleaching in all the surveyed stations, which was more likely associated with the increased temperature previous to the hurricane, (~ 30 °C) as had been found by Rodríguez-Ramírez and Reyes-Nivia (2008) after hurricane Betta in 2005. This phenomenon has been reported in other parts of the Caribbean as well, where hurricane activity often correlates with widespread bleaching events (Manzello *et al.*, 2007). Likewise, we observed few colonies of *P. strigosa*, *S. siderea*, *Favia fragum*, *Montastraea cavernosa*, *A. agaricites* and *A. cervicornis* affected by the black band, white band and dark spot diseases (Gil-Agudelo *et al.*, 2009; Navas-Camacho *et al.*, 2010). Important questions arise about 1) what is the fate of coral recovery following the hurricane impact? and 2) Is it the period equivalent to the natural periodicity of hurricanes for this region long enough for the coral community to return to pre-hurricane conditions? From this preliminary assessment we can conclude that the impact was widespread along the island mainly on shallow areas structured by big boulders of *Orbicella* spp.; however, it was focalized within reef areas mainly related to colony-level damage with minor reef structural damage.



AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a David Alonso, Diana Isabel Gómez, Centro de Buceo Blue Life–San Andrés, y a la tripulación de “El Explorador” por todo el apoyo logístico. El apoyo financiero estuvo a cargo de Invemar y Coralina. Durante este estudio, CEG fue financiado por una beca Postdoctoral Minciencias–Invemar (848–2019). Agradecemos a Carlos G. Muñoz quien aportó comentarios constructivos en versiones preliminares de este manuscrito. Esta es la contribución 1329 de Invemar.

ACKNOWLEDGEMENTS

Authors would like to thank David Alonso, Diana Isabel Gómez, Centro de Buceo Blue Life–San Andrés, and the crew from “El Explorador” for all the logistics. Financial support was given by Invemar and CORALINA. During this assessment, CEG was supported by a Minciencias–Invemar postdoctoral fellowship (848–2019). We would like to thank Carlos G. Muñoz who provided constructive comments to earlier versions of this manuscript. This is a contribution 1329 from Invemar.

BIBLIOGRAFÍA / LITERATURE CITED

- Beeden, R., J. Maynard, M. Puotinen, P. Marshall, J. Dryden, J. Goldberg and G. Williams. 2015. Impacts and recovery from severe tropical cyclone Yasi on the Great Barrier Reef. *PLoS ONE*, 10(4): e0121272. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0121272>
- Bythell, J.C., E.H. Gladfelter and M. Bythell. 1993. Chronic and catastrophic natural mortality of three common Caribbean reef corals. *Coral Reefs*, 12: 143–152.
- DIMAR. 2020. Huracán Iota categoría 5. Comunicado Especial No. 5, lunes 16 de noviembre de 2020-9:00 am. Dirección General Marítima-CIOH
- Done, T.J. 1992. Effects of tropical cyclones waves on ecological and geomorphological structures on the Great Barrier Reef. *Cont. Shelf Res.*, 12: 859–872
- Edmunds, P.J. and J.D. Witman. 1991. Effect of Hurricane Hugo on the primary framework of a reef along the south shore of St. John, US Virgin Islands. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 78: 201–204
- Emanuel, K. 2005. Increasing destructiveness of tropical cyclones over the past 30 years. *Nature*, 436: 686–688. <https://doi.org/10.1038/nature03906>
- Gardner, T.A., I.M. Côté, J.A. Gill, A. Grant and A.R. Watkinson. 2005. Hurricanes and Caribbean coral reefs: impacts, recovery patterns, and role in long term decline. *Ecology*, 86(1): 174–184
- Gil-Agudelo, D.L., R. Navas-Camacho, A. Rodríguez-Ramírez, M.C. Reyes-Nivia, S. Bejarano, J. Garzón-Ferreira y G.W. Smith. 2009. Enfermedades coralinas y su investigación en los arrecifes colombianos. *Bol. Invest. Mar. Cost.* 38 (2). 189–224
- Harmelin-Vivien, M. 1994. The effects of storms and cyclones on coral reefs: a review. *J. Coast. Res.*, 12: 211–231
- Knowlton, N., J.C. Lang and B.D. Keller. 1990. Case study of natural population collapse: post-hurricane predation on Jamaican staghorn corals. *Smithson. Contr. Mar. Sci.*, 31:1–22
- Knutson, T.R., J.K. McBride, J. Chan, K. Emanuel, G. Holland, C. Landsea, I. Held, J.P. Kossin, A.K. Srivastava and M. Sugi. 2010. Tropical cyclones and climate change. *Nat. Geosci.*, 3: 157–163. <https://doi.org/10.1038/ngeo779>
- Mann, M.E. and K.E. Emanuel. 2006. Atlantic hurricane trends linked to climate change. *EOS*, 87(24): 233–244. <https://doi.org/10.1029/2006EO24001>
- Manzello, D., M. Brandt, T.B. Smith, D. Lirman, J.C. Hendee and R.S. Nemeth. 2007. Hurricanes benefit bleached corals. *PNAS*, 104(29): 12035–12039. <https://doi.org/10.1073/pnas.0701194104>
- Navas-Camacho, R., D. L. Gil-Agudelo, A. Rodríguez-Ramírez, M. C. Reyes-Nivia and J. Garzón-Ferreira. 2010. Coral diseases and bleaching on Colombian Caribbean coral reefs. *Rev. Biol. Trop.*, 58: 95–106.
- Ortíz, J.C. 2007. Huracanes y tormentas tropicales en el mar Caribe colombiano desde 1900. *Bol. Cient. CIOH*, 25: 54–60
- Rodríguez-Ramírez, A. y M.C. Reyes-Nivia. 2008. Evaluación rápida de los efectos del huracán Beta en la isla de Providencia (Caribe colombiano). *Bol. Invest. Mar. Cost.*, 37(1): 215–222
- Rogers C.S., L.N. McLain and C.R. Tobias. 1991. Effects of hurricane Hugo (1989) on coral reef in St. John, USVI. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 78: 189–199. <https://doi.org/10.3354/meps078189>
- Sánchez L., J.D. González, N. Bolaños y R. Azcárate. 2020. Evaluación preliminar del estado de los arrecifes de coral y pastos marinos de la isla de Providencia tras el paso del huracán Iota. Informe Técnico Coralina–Invemar. Invemar, Santa Marta. 32 p.
- Saunders, M.A. and A.R. Harris. 1997. Statistical evidence links exceptional 1995 Atlantic hurricane season to record sea warming. *Geophys. Res. Lett.*, 24: 1255–1258
- Taylor, E., D. Hernández, F. Howard, G. Peñaloza, S. Posada, N. Howard, R. Robinson y M. Prada. 2007. Impactos en los arrecifes de coral ocasionados por el huracán Beta en la plataforma insular de Old Providence y Santa Catalina. *Bol. Cient. CIOH*, 25: 71–77

- Wahle, J.L. Wulff, A.S.G. Curtis, M.D. Dallmeyer, B.P. Jupp, M.A.R. Koehl, J. Neigel and E.M. Sides. 1981. Hurricane Allen's impact on Jamaican coral reefs. *Science*, 214(4522): 749-755.
- Webster, P.J., G.J. Holland, J.A. Curry and H.R. Chang. 2005. Changes in tropical cyclone number, duration, and intensity in a warming environment. *Science*, 309(5742): 1844-1846.
- Woodley, J.D., E.A. Chornesky, P.A. Clifford, J.B.C. Jackson, L.S. Kaufman, N. Knowlton, J.C. Lang, M.P. Pearson, J.W. Porter, M.C. Rooney, K.W. Rylaarsdam, V.J. Tunnicliffe, C.M. Wahle, J.L. Wulff, A.S.G. Curtis, M.D. Dallmeyer, B.P. Jupp, M.A.R. Koehl, J. Neigel, and E.M. Sides. 1981. Hurricane Allen's impact on Jamaican coral reefs. *Science*, 214(4522): 749-755.
- Zea, S., J. Geister, J. Garzón-Ferreira and J.M. Díaz. 1998. Biotic changes in the reef complex of San Andres Island (Southeastern Caribbean Sea, Colombia) occurring over three decades. *Atoll Res. Bull.*, 456: 1-30

RECIBIDO/RECEIVED: 11/03/2021

ACEPTADO/ACCEPTED: 31/08/2021