

Reclutamiento de corales escleractinios en sustrato artificial en Isla Fuerte, Caribe colombiano

Recruitment of Scleractinian corals in artificial substrate in Isla Fuerte, colombian Caribbean

Sandra Pareja-Ortega^{1*}, Lizette I. Quan-Young², Mario H. Londoño-Mesa¹, Alberto Acosta³

1. Grupo de Limnología Básica y Experimental y Biología y Taxonomía Marina, Instituto de Biología, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia

2. Grupo Biología CES-EIA, Facultad de Ciencias y Biotecnología, Universidad de CES, Medellín, Colombia

3. Unidad de Ecología y Sistemática, Departamento de Biología, Facultad de Ciencias, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia

*Autor de correspondencia: sammyp11@gmail.com

Recibido: 07 de noviembre de 2019

Aceptado: 21 de mayo del 2020

Publicación en línea: 21 de mayo de 2020

Resumen

Palabras clave:
reclutamiento de corales; río Sinú;
sedimentación; gradiente vertical;
arrecife El Inglés

El reclutamiento coralino permite inferir sobre el estado de salud y la resiliencia del ecosistema arrecifal. El uso de sustratos artificiales in situ facilita evidenciar la llegada de nuevos individuos y/o el repoblamiento de corales escleractinios dentro del sistema. El arrecife El Inglés, en Isla Fuerte (Caribe colombiano), está expuesto a la influencia de los ríos Sinú y Magdalena. Allí se cuantificó el reclutamiento coralino en sustrato artificial usando placas de terracota de 15 x 15 cm en tres profundidades (4-6, 12-14, 22-24 m), con recambio cada dos meses durante un año. Así mismo, se recolectó el sedimento depositado en la superficie de las placas en cada muestreo. Se registraron 30 reclutas en total (1 a 6 reclutas por muestreo), con diferencias en la densidad de estos a través del tiempo, siendo mayor entre junio-agosto, lo cual coincide con la reducción en la cantidad de sedimento, mientras que por profundidad no hubo diferencias en dicha variable. La cantidad de sedimento, por otra parte, presentó variaciones en el tiempo y con la profundidad. Solo en la zona profunda del arrecife se encontró una correlación inversa ($r^2=-0,34$, $p=0,04$, $n=36$) entre la densidad de reclutas y la cantidad de sedimento, lo que indica que a mayor carga de sedimento, menor densidad de reclutas. El hecho de que el reclutamiento coralino registrado fuera menor en comparación con otros arrecifes evaluados en el Caribe sugiere la vulnerabilidad de este caso concreto a la alta sedimentación proveniente del río Sinú, particularmente de limos + arcillas entre febrero-abril-junio. No obstante, el reclutamiento registrado sugiere que especies adultas dominantes y sobrevivientes en el arrecife, como *A. tenuifolia*, *P. astreoides*, *P. porites* y *S. siderea*, mantienen su actividad reproductiva.

Key words:
corals recruitment; Sinú river;
sedimentation; vertical gradient;
El Inglés reef

Abstract

Coral recruitment can be used as an indicator of the health status and resilience of the reef ecosystem. The use of artificial substrates can be used to evaluate the recruitment of individuals and/or the system repopulation by scleractinian corals. El Inglés reef, in Isla Fuerte (Colombian Caribbean) is being exposed to the influence of Sinú and Magdalena rivers. Coral recruitment was quantified in artificial substrates using terracotta plates of 15 x 15 cm, at three depths (4-6, 12-14, 22-24 m) with replacement every two months for a year. Additionally, sediment deposited on plate surface was collected for each sample. A total of 30 recruits (1 to 6 recruits for sample) were registered, showing differences between the density of recruits over time, being higher between June-August coinciding with a reduction in the sediment loads. No differences in recruits density by depth were observed. The quantity of sedimentation showed differences over time and depth; only an inverse correlation ($r^2=-0.34$, $p=0.04$, $n=36$) between recruits density of and sediment amount in deep areas was found in the reef, indicating that the larger load the sediments produced a negative effect on recruits. Coral recruitment registered was low compared with other reefs in the Caribbean, suggesting its vulnerability to high sedimentation by the Sinú River, particularly silt + clays during February-April-June. However, registered recruitment suggests that dominant and survival adult species in the reef as *A. tenuifolia*, *P. astreoides*, *P. porites* and *S. siderea*, maintain their reproductive activity.

Introducción

El reclutamiento coralino es un proceso reconocido ampliamente como fundamental en la dinámica de las poblaciones locales, así como en el mantenimiento y en la recuperación de arrecifes coralinos después de perturbaciones (Harrison, 2011; Segal *et al.*, 2012; Sawall *et al.*, 2013; Richmond *et al.*, 2018). Este es el resultado de una secuencia compleja de eventos, entre los cuales se encuentran el suministro de gametos y de larvas, el comportamiento y el éxito del asentamiento de la larva, la metamorfosis y la supervivencia posterior a la colonización del recluta (Harrison y Wallace, 1990). A su vez, depende de un conjunto de factores físicos (hábitat) y biológicos (competencia por espacio), tanto positivos como negativos, que pueden determinar si una larva de coral finalmente abastece el arrecife y sobrevive (Ritson-Williams *et al.*, 2009; Doropoulos *et al.*, 2016).

Este proceso provee la única entrada sustancial de nuevos individuos a las poblaciones coralinas, de manera que, si falla, la población puede decaer hasta la extinción local (Caley *et al.*, 1996; Hughes y Tanner, 2000), alterando la dinámica de las comunidades. Un análisis a escala temporal llevado a cabo por Acosta *et al.* (2011) indica que el reclutamiento puede mostrar tanto el éxito reproductivo de las especies como su potencial para la recuperación natural, además de dar luces sobre la capacidad de adaptación, el mantenimiento de la población y la diversidad de especies en el ecosistema coralino.

Particularmente, el aumento en la sedimentación afecta de forma negativa el reclutamiento (Babcock y Smith, 2000), así como todo el ciclo de vida de los corales (Richmond *et al.*, 2018), comprometiendo la supervivencia de los arrecifes de coral (Shlesinger y Loya 1991; Traçon *et al.*, 2013). Se ha estimado que un 25 % de los arrecifes de coral en todo el mundo están amenazados por el incremento de cargas de sedimentos, nutrientes y contaminantes por fuentes terrestres debido a la escorrentía asociada con el desarrollo costero, el dragado, la deforestación y la agricultura (Burke *et al.*, 2011). Esto hace que disminuya la calidad del agua costera y puede conducir a aumentos en la cobertura de macroalgas (Fabricius, 2005), reducciones en la disponibilidad de hábitat y biodiversidad coralina (Death y Fabricius, 2010), mayores frecuencia y severidad de enfermedades coralinas (Bruno *et al.*, 2003) y cambios en la composición de las biopelículas, indispensables para el asentamiento larval y la metamorfosis de muchos organismos sésiles como los corales (Wieczorek y Todd, 1998; Webster *et al.*, 2004; Sawall *et al.*, 2012; Richmond *et al.*, 2018).

Los arrecifes de coral degradados por causa de la sedimentación exhiben tasas bajas de reclutamiento, debido a la combinación de procesos como reducción de fecundidad de adultos, bajo asentamiento y elevadas tasas de mortalidad temprana (Bellwood *et al.*, 2004). En este sentido, Pastorok y Bilyard (1985) sugirieron que efectos negativos en los corales ocurren con tasas de sedimentación entre 10 y 50 mg cm⁻² d⁻¹, estimando que dichos impactos son severos en tasas mayores a 50 mgcm⁻² d⁻¹. Contradictoriamente, algunos arrecifes con tasas de sedimentación a largo plazo mayores a 50 mg cm⁻² d⁻¹, pueden ser saludables y diversos, con predominio de especies de corales adaptadas a este tipo de entorno que, toleran tasas de sedimentación de 100 mg cm⁻² d⁻¹ (Ertfemeijer *et al.*, 2012).

Por lo tanto, considerando que el reclutamiento de corales es un proceso importante en la configuración de la estructura de la comunidad en ecosistemas marinos y, que el futuro de los arrecifes puede ser mejor estimado por el reclutamiento, y no por la estructura de la comunidad coralina (Glassom y Chadwick, 2006), se evaluó tal proceso y su relación con la sedimentación en el arrecife El Inglés. Esta información será esencial para priorizar áreas y estrategias de restauración en el Caribe colombiano.

Materiales y métodos

Área de estudio

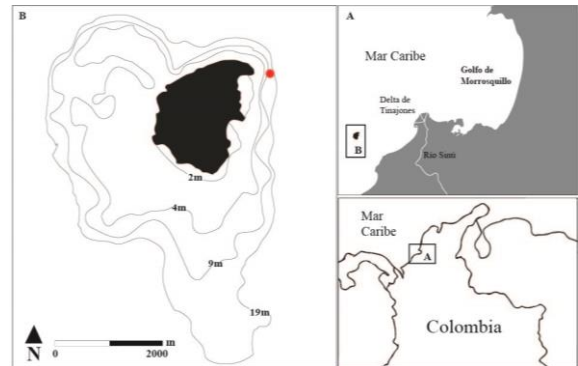


Figura 1. Área de estudio arrecife El Inglés en Isla Fuerte, Caribe colombiano (Tomado de Díaz *et al.* (1996) y modificado).

Isla Fuerte es una isla continental de origen coralino que se encuentra dentro del Área Marina Protegida Corales del Rosario, San Bernardo e Isla Fuerte (AMP-CRSBeIF) (Alonso y Castillo, 2007) (figura 1). Su área marina está compuesta por fondos duros de arrecife coralino, que corresponden a 6,2 km²; igualmente, presenta fondos blandos compuestos por praderas de pastos marinos y parches reducidos de bosques de manglar (Invemar, 2006).

Al noreste de la isla está el arrecife El Inglés, el cual es de tipo franja y está influenciado por la sedimentación aportada principalmente por el río Sinú (Correa, 2007). Esta formación natural, en el gradiente de profundidad de 2-4 m, está compuesta principalmente por colonias coralinas de *Agaricia tenuifolia*, *Porites astreoides*, *Porites porites*, *Pseudodiploria clivosa*, *Pseudodiploria strigosa* y *Siderastrea siderea*, así como por *Millepora complanata* y octocorales, y el tipo de sustrato es en gran parte grava con esqueletos de coral. Aproximadamente a 400 m de la costa se encuentra la profundidad intermedia (6-14 m), donde la pendiente del arrecife se hace más pronunciada, la composición de especies está dada principalmente por *A. tenuifolia*, *P. astreoides*, *P. porites*, *Orbicella annularis* y *Orbicella faveolata*, y la cobertura de macroalgas es relevante. En la zona profunda (16-24 m), *A. tenuifolia* es la especie dominante, y gran cantidad de colonias están cubiertas en su base por sedimento tipo limo; además, se observan colonias de *Porites colonensis* y de *S. siderea*.

Estudios realizados en el mismo arrecife indican que la cobertura coralina, en promedio, es de 21,46 % (Sepúlveda-García, 2015) y 26 % (Pareja-Ortega, 2018). Ambos coinciden con el reporte de *A. tenuifolia* y *P. astreoides* como las especies de corales adultos dominantes en el arrecife.

Trabajo de campo

En un gradiente de profundidad (4-24 m) en el arrecife El Inglés, se escogieron dos sitios para cubrir tres profundidades. En el primero (09°23'N 76°10'W) se ubicaron las zonas someras (4 y 6 m) y media (12 y 14 m), y en el segundo (09°24'N 76°10'W), la zona profunda (22 y 24 m). En cada profundidad se sumergieron 12 placas de terracota de 15 x 15 cm, distribuidas a lo largo de un transecto de 12 m de longitud. Estas se dejaron madurar a 6 m de profundidad en el arrecife un mes antes de iniciar el experimento con el fin de que obtuvieran la biopelícula que permite la adhesión de las larvas.

La fase experimental inició en agosto de 2015, y durante un año se realizaron seis recolectas de placas en los meses de octubre y diciembre de 2015 y febrero, abril, junio y agosto de 2016. Así fueron evaluadas 36 placas en cada mes para estimar el reclutamiento a través del tiempo, aunque cabe anotar que, por condiciones climáticas extremas, en el mes de febrero se recolectaron solo 18 placas.

Las placas permitieron evaluar un área total de 4,45 m² de sustrato artificial para la fijación de las larvas. Las placas retiradas eran reemplazadas por otras maduras, lo que

permitió un tiempo de reclutamiento efectivo de dos meses. De esta forma, entre octubre de 2015 y agosto de 2016 se recuperaron y revisaron en total 198 placas, las cuales eran retiradas de los sitios de muestreo usando bolsas plásticas y con cuidado para evitar la pérdida de sedimento depositado sobre ellas. En el laboratorio, una vez las placas fueron lavadas con abundante agua para retirar el sedimento, se revisaron y evaluaron usando microscopio de disección.

Análisis de sedimento de placas de reclutamiento

El sedimento depositado en cada una de las placas de reclutamiento fue recolectado, realizando un lavado con agua antes de la primera revisión. Posteriormente, con un pincel suave y agua se terminó de retirar completamente el sedimento y se revisaron nuevamente las placas para disminuir errores en la detección de reclutas. El sedimento de cada placa se colectó en recipientes plásticos y se dejó precipitar durante 1 h; luego se retiró agua en exceso para, después, fijarlo y preservarlo con alcohol al 70 %.

En laboratorio se realizó secado en horno a temperatura de 110±5 °C durante 15-20 h, y posteriormente el sedimento fue pesado en balanza analítica (Modelo XB 220A) con una precisión de 0,1 mg. El análisis granulométrico se llevó a cabo usando el método de tamizado en húmedo (determinación cuantitativa de la distribución de tamaños de partícula en materiales sólidos) (Norma INV E 123-07), para luego estimar la cantidad (en miligramos) de limos más arcillas y arenas que se depositaron en las placas de reclutamiento.

Tratamiento de datos

Cada placa representó un área 0,0225 m², y en cada fecha de muestreo se evaluaron 36 placas, lo que resulta en 0,81 m² de área evaluada, excepto para el mes de febrero, cuando se evaluaron solo 18 placas, equivalentes a 0,4 m². Luego se calculó la densidad de reclutas para cada fecha de muestreo y para cada profundidad dividiendo el número de reclutas entre el área evaluada. Estos datos no cumplieron los supuestos de normalidad (Kolmogórov-Smirnov, $p < 0,05$) y homocedasticidad de varianza (Levene, $p > 0,05$). Con la prueba Kruskal-Wallis (H') se evaluaron las diferencias entre la densidad de reclutas por profundidad y la densidad de reclutas a través del tiempo, al igual que las variaciones en la cantidad del sedimento en espacio y tiempo.

Los datos de sedimentos recolectados de las placas de

reclutamiento fueron analizados por profundidad y por mes de muestreo, teniendo en cuenta la cantidad (miligramos) y el tipo de sedimento (limos más arcillas y arenas). Posteriormente, usando correlación de Spearman, se analizó la relación entre la cantidad de sedimentación y la densidad de reclutas, entre el porcentaje de arenas y la densidad de reclutas, y entre el porcentaje de limos más arcillas y la densidad de reclutas. Para ello se empleó el programa Statgraphic (Centurión XVI, con licencia libre).

Resultados

Densidad de reclutas en placas artificiales

Se encontraron $30 \pm 0,4$ reclutas durante un año en el gradiente vertical evaluado (área total de $4,45 \text{ m}^2 = 198$ placas), con una densidad total estimada de $6,7$ reclutas/ m^2 . Asimismo, se observaron diferencias significativas a través del tiempo ($H' = 19,1, p < 0,05, n = 6$): diciembre-febrero ($17,1$ reclutas/ m^2) y junio-agosto ($13,6$ reclutas/ m^2) fueron los meses con mayor densidad, en comparación con los demás (tabla 1). Por lo demás, no hubo diferencias significativas ($H' = 3,3, p = 0,19, n = 3$)

entre la densidad de reclutas y la profundidad; sin embargo, se halló un menor número de reclutas en la zona somera. La identificación taxonómica de los reclutas a especie no fue posible debido al tamaño para su identificación (diámetro promedio de $1,57 \pm 0,53$ mm).

Sedimentación en placas de reclutamiento artificial

Se encontraron diferencias significativas entre la cantidad de sedimento y la profundidad del arrecife ($H' = 10,4, p < 0,05, n = 3$) (figura 2a) y a través del tiempo ($H' = 16,8, p < 0,05, n = 6$) (figura 2b). También se observó una correlación negativa y significativa (Spearman, $r^2 = -0,34, p = 0,04, n = 36$) entre la cantidad de sedimento y la densidad de reclutas en la zona profunda (tabla 2), lo que indica un efecto adverso, esto es, a mayor sedimentación, menor reclutamiento. Finalmente, para las otras profundidades no hubo correlación, aunque es preciso anotar que hay una tendencia hacia un menor reclutamiento en sedimento fino (combinación de limos y arcillas), independiente de la cantidad de sedimento.

Tabla 1. Número de reclutas por profundidad y fecha de muestreo en el arrecife El Inglés en Isla Fuerte, Caribe colombiano. -- indica carencia de datos.

Zona (profundidad)	Fechas de muestreo						Total
	ago.-oct. 2015	oct.-dic. 2015	dic.-feb. 2016	feb.-abr. 2016	abr.-jun. 2016	jun.-ago. 2016	
Somera (4-6 m)	0	0	3	1	0	1	5
Media (12-14 m)	1	0	4	2	0	4	11
Profunda (22-24 m)	0	4	--	3	1	6	14
Total	1	4	7	6	1	11	30
Densidad de reclutas/ m^2	1,23	4,9	17,1	7,4	1,23	13,6	6,7

Tabla 2. Correlación de Spearman: entre la densidad de corales reclutas y la cantidad de sedimento (mg); entre la densidad de reclutas y el porcentaje de la fracción arenas, y entre la densidad de reclutas y el porcentaje de la fracción de limos + arcillas, en el arrecife El Inglés en Isla Fuerte, Caribe colombiano.

Correlaciones		Profundidades					
		Somera r	valor-P	Media r	valor-P	Profunda r	valor-P
Reclutas	Sedimentación (mg)	0	1	0,14	0,43	-0,34	0,04
	Arenas (%)	0,14	0,45	0,28	0,11	-0,08	0,7
	Limos + arcillas (%)	-0,14	0,45	-0,28	0,11	0,08	0,7

Discusión

El reclutamiento registrado en esta investigación es menor ($6,7$ reclutas/ m^2) comparado con otros estudios realizados en el Caribe (tabla 3). Por ejemplo, para la isla de San Andrés, Pizarro et al. (2007) reportaron un reclutamiento más alto, solo

considerando los corales cerebro (Mussidae: Faviinae) presentes en un arrecife oceánico con mínima descarga de sedimentos. Adicionalmente, Shearer y Coffroth (2006) estimaron una alta tasa de reclutamiento en un arrecife de La Florida, atribuyendo su hallazgo a la gran cobertura de corales

adultos que presentaba su objeto de estudio (~30-60 %) en comparación con lo encontrado en El Inglés (21-26 %).

Tabla 3. Comparación del reclutamiento coralino en sustrato artificial en el Caribe.

Reclutamiento (n°reclutas m ⁻²)	Localidad	Autor
15-160	Bermuda	Smith (1992)
4,8-54,8	Florida	Shearer y Coffroth (2006)
8,7-24	San Andrés Islas	Pizarro <i>et al.</i> (2007)
3,8	Isla Cubagua	Rodríguez <i>et al.</i> (2009)
0,54-2,7	Florida	Rubin <i>et al.</i> (2008)
1,23-17,1	Isla Fuerte	Presente estudio

Otros trabajos hacen énfasis en la importancia de los corales adultos para el proceso de reclutamiento, como por ejemplo Rodríguez *et al.* (2009) en su estudio de un arrecife de Venezuela con baja densidad de reclutas debida a la poca cobertura de corales adultos y a la exposición a eventos de

surgencia. Esto coincide con Rubin *et al.* (2008), quienes registraron un bajo reclutamiento en un arrecife de La Florida atribuido a una escasa cobertura de corales adultos. El arrecife El Inglés obedece a esa tendencia, presentando una baja cobertura de adultos y un bajo reclutamiento.

Los resultados obtenidos en cuanto a la sedimentación in situ y en placas de reclutamiento no se pudieron comparar con otras investigaciones del Caribe colombiano porque no se encontraron datos al respecto. Sin embargo, considerando otros lugares se encuentra el estudio de Tomascik (1991), quien señaló que en Barbados el número de reclutas en placas artificiales fue menor en un arrecife con mayor perturbación por descargas y material particulado en comparación con una zona de este menos perturbada. Además, dicho autor relacionó la abundancia de algunos géneros reclutados con la dominancia de estos en etapa adulta.

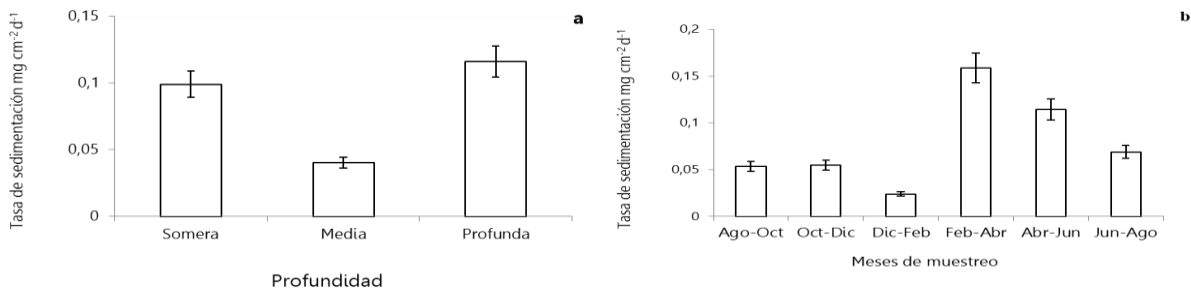


Figura 2. (a) Sedimentación (mg cm⁻² d⁻¹±DS) promedio anual en las profundidades evaluadas; (b) sedimentación registrada cada dos meses en el gradiente vertical del arrecife El Inglés en Isla Fuerte, Caribe colombiano.

Para el arrecife El Inglés se registró en la zona profunda el mayor número relativo de reclutas, a pesar de que hubo alta sedimentación. A esta profundidad del arrecife las especies *A. tenuifolia*, *P. astreoides*, *P. colonensis*, y *Scolymia* sp. son las dominantes y soportan la sedimentación, tal como lo han reportado Helmut *et al.* (1997), Van Moorsel (1985), Wittember y Hunte (1991) y Aronson *et al.* (2004) para otras formaciones de este tipo en el Caribe. A su vez, el patrón de reclutamiento observado es similar a lo consignado por Rogers *et al.* (1984) para la isla de St. Croix, donde notaron un mayor reclutamiento en las zonas intermedia (18 m) y profunda del arrecife.

Debido a que los reclutas analizados menores a 2 mm de diámetro expresan pocos caracteres morfológicos usados en taxonomía, no se logró su identificación. Sin embargo, la presencia de reclutas en todos los meses del año puede indicar que las especies que se están reclutando son aquellas que

tienen más de un ciclo de reproducción al año, lo cual es característico de especies incubadoras, como lo son las especies adultas dominantes del arrecife.

Para el mes de agosto, cuando baja la sedimentación, también se incrementa el reclutamiento, coincidiendo con la época de aguas más cálidas. En este sentido, es importante anotar que Isla Fuerte presenta una temporada seca (diciembre y abril) y otra de lluvias (mayo-noviembre). Durante la primera, los vientos alisios producen un flujo que recorre la costa colombiana hacia el sur, ramificándose en las islas de San Bernardo, donde uno de los ramales continúa hacia el sur, arrastrando consigo la carga sedimentaria aportada por el río Sinú y afectando directamente el arrecife de Isla Fuerte (Molina *et al.*, 1994). Por el contrario, durante la temporada húmeda los vientos alisios son suaves y permiten un incremento en la intensidad de la contracorriente del Darién, disminuyendo el efecto de sedimento de la pluma del río Sinú sobre el arrecife,

aun cuando aumentan las lluvias y el caudal del río (Anderson, 1975; IGAC, 1975; Javerlaud, 1986).

Lo anterior podría explicar por qué en agosto, antes de las lluvias fuertes, baja la carga de sedimento, favoreciendo el reclutamiento en Isla Fuerte. Por otra parte, el patrón de corrientes que se reporta en la zona de estudio podría explicar la exportación de larvas desde el arrecife El Inglés hacia arrecifes cercanos, no tan expuestos a la sedimentación, minimizando el autoreclutamiento. Sin embargo, se requieren más estudios para evaluar el esfuerzo de reproducción de las colonias adultas.

Los resultados sugieren que los corales del arrecife El Inglés se reproducen y logran que algunas larvas sean reclutadas. No obstante, la densidad de reclutas seguramente no compensa la cantidad de individuos adultos que mueren, lo que lleva a suponer que el arrecife no se autoabastece y que la probabilidad de sobrevivencia de este estaría comprometida. Además, la sedimentación proveniente del río Sinú parece afectar negativamente el reclutamiento coralino al disminuir la luz con el aumento de la profundidad, inhabilitar la disponibilidad de sustrato para asentamiento o contaminar biológica (carga microbiológica) y químicamente (metales) a las larvas y reclutas. A pesar de esto, la sedimentación registrada en el arrecife es menor (aprox. 0,02-0,15 mg cm⁻² d⁻¹) (figura 2b) a lo indicado por Erftemeijer *et al.* (2012), lo que sugiere que el arrecife El Inglés puede estar siendo perturbado por otro factor.

Ahora bien, la sedimentación causa un cambio radical en la dominancia de especies resistentes a altas cargas de sedimento, lo que impedirá que las iniciativas de restauración sean exitosas como para lograr un arrecife con especies constructoras tridimensionales y de larga vida. Esto indica que se deben desarrollar otras investigaciones para poder incorporar con mayor probabilidad de éxito esfuerzos de restauración a partir de fragmentos o larvas en el Caribe colombiano y particularmente en este arrecife, que debido a su composición de especies resistentes podría ser un reservorio de genotipos.

Agradecimientos

Agradecemos a Colciencias y a Humax Pharmaceutical (número de convenio 086-2014) por el apoyo económico, al grupo de investigación LimnoBasE y Biotamar, por los recursos logísticos, y a sus integrantes por el apoyo durante los muestreos. Al Instituto de Biología de la Universidad de Antioquia por el respaldo para la investigación y al personal de Isla Fuerte.

Enero- junio de 2020

Referencias

- Acosta, A., Dueñas, F.L. y Pizarro, V. 2011. Review on hard coral recruitment (Cnidaria: Scleractinia) in Colombia. *Universitas Scientiarum* 16(3): 200-218. Doi: <https://doi.org/10.11144/javeriana.SC16-3.rohc>.
- Alonso, D. y Castillo, P. 2007. Plan de manejo del Área Marina Protegida de los Archipiélagos del Rosario y San Bernardo. Invemar-MAVDT-UAESPNN-Incoder-Carsucre-Cardique-EPA Cartagena-Dimar, Santa Marta.
- Anderson, P. 1975. *Isla Fuerte. Colombia Geográfica* 5(2): 119-191.
- Aronson, R., Macintyre, I., Wapnick, C. y O'Neill, M. 2004. Phase shifts, alternative state, and the unprecedented convergence of two reef systems. *Ecology* 85(7):1876-1891.
- Bellwood, D.R., Hughes, T.P., Folke, C. y Nystrom, M. 2004. Confronting the coral reef crisis. *Nature* 429: 827-833. Doi: <https://doi.org/10.1038/nature02691>.
- Bruno, J.F., Petes, L.E., Drew, H.C. y Hettinger, A. 2003. Nutrient enrichment can increase the severity of coral diseases. *Ecology Letters* 6: 1056-1061. Doi: <https://doi.org/10.1046/j.1461-0248.2003.00544.x>.
- Burke, L., Reyntar, K., Spalding, M. y Perry, A. 2011. *Reefs at Risk Revisited*. World Resources Institute, Washington, D.C.
- Caley, M.J., Carr, M.H., Hixon, M.A., Hughes, T.P., Jones, G.P. y Menge, B.A. 1996. Recruitment and the local dynamics of open marine populations. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics* 27: 477-500. Doi: <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.27.1.477>.
- Correa, P. 2007. Análisis multi-temporal de la transformación de las coberturas terrestres entre 1946 y 2006, como aporte al fortalecimiento del área marina protegida. Tesis de pregrado. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, Colombia.
- De'ath, G., Fabricius, K. 2010. Water quality as a regional driver of coral biodiversity and macroalgae on the Great Barrier Reef. *Ecological Applications* 20:840-850. Doi: <https://doi.org/10.1890/08-2023.1>.
- Díaz, J.M., Sánchez, J.A., Díaz-Pulido, G. 1996. Geomorfología y Formaciones arrecifales recientes de Isla Fuerte y Bajo Bushnell, plataforma continental del Caribe colombiano. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras -Invemar* 25 87-105. Doi: <https://doi.org/10.25268/bimc.invemar.1996.25.0.372.b>.
- Doropoulos, C., Roff, G., Bozec, Y.M., Zupan, M.

- Werminghausen, J., Mumby, P.J. 2016. Characterizing the ecological trade-offs throughout the early ontogeny of coral recruitment. *Ecological Monographs* 86:20-44. Doi: <https://doi.org/10.1890/15-0668.1>.
- Erftemeijer, P.L.A., Riegl, B., Hoeksema, B.W., Todd, P.A. 2012. Environmental impacts of dredging and other sediment disturbances on corals: a review. *Marine Pollution Bulletin* 64: 1737-1765. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2012.05.008>.
- Fabricius, K.E. 2005. Effects of terrestrial runoff on the ecology of corals and coral reefs: review and synthesis. *Marine Pollution Bulletin* 50: 125-146. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2004.11.028>.
- Glassom, D., Chadwick, N.E. 2006. Recruitment, growth and mortality of juvenile corals at Eilat, northern Red Sea. *Marine Ecology Progress Series* 318:111-122.
- Harrison, P. 2011. Sexual reproduction of scleractinian corals, coral reefs: an ecosystem in transition. *Springer, Netherlands*. Doi: https://doi.org/10.1007/978-94-007-0114-4_6.
- Harrison, P.L., Wallace, C.C. 1990. Reproduction, dispersal and recruitment of scleractinian corals. In: Dubinsky, Z. Editor. *Ecosystems of the world: coral reefs*. Elsevier, Amsterdam.
- Helmut, B.S., Sebens, K., Daniel, T. 1997. Morphological variation in coral aggregation: branch spacing and mass flux to coral tissues. *Journal of experimental Marine Biology and Ecology* 209: 233-259. Doi: [https://doi.org/10.1016/S0022-0981\(96\)02687-1](https://doi.org/10.1016/S0022-0981(96)02687-1).
- Hughes, T. y Tanner, J. 2000. Recruitment failure, life histories and long term decline of Caribbean corals. *Ecology* 81(8): 2250 - 2262. Doi: [https://doi.org/10.1016/S0022-0981\(96\)02687-1](https://doi.org/10.1016/S0022-0981(96)02687-1).
- IGAC. 1975 *Estudio hidroclimático de la región del Caribe*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Bogotá, Colombia.
- Estela, F. 2006. Aves de Isla Fuerte y Tortuguilla, dos islas de la plataforma continental del Caribe colombiano. *Boletín del Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras* 35:267-272.
- Javerlaud, O. 1986. Sedimentología de la plataforma continental del Caribe colombiano. *Boletín Científico C.I.O.H* 6: 17-39. Doi: <https://doi.org/10.26640/01200542.6.17.39>.
- Molina, A., Molina, C., Giraldo, G., Parra, C., Chevillot, P. 1994. Dinámica marina y sus efectos sobre la geomorfología del golfo de Morrosquillo. *Boletín Científico CIOH* 15: 93-113. Doi: <https://doi.org/10.26640/22159045.74>.
- Norma INV E-123-07. Análisis granulométrico de suelos por tamizado: I.N.V E -123-07. Disponible en internet: [https://ftb.unicauca.edu.co/Facultades/FIC/IngCivil/Especificaciones Normas INV%20-07/Normas/Norma%20INV%20E-123-07.pdf](https://ftb.unicauca.edu.co/Facultades/FIC/IngCivil/Especificaciones%20Normas%20INV%20-07/Normas/Norma%20INV%20E-123-07.pdf).
- Pastorok, R., Bilyard, G. 1985. Effects of sewage pollution on coral reef communities. *Marine Ecology Progress Series* 21: 175-189.
- Pareja-Ortega, S. 2018. Reclutamiento de corales escleractinios en Isla Fuerte, Caribe colombiano. Trabajo de magister en Biología, Universidad de Antioquia, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Medellín, Colombia.
- Pizarro, V., Polania, J., Thomason, J.C. 2007. Recruitment and juvenile survivorship of brain corals at San Andres Island, Western Caribbean Sea. *Marine Biology* 48:113-119.
- Richmond, R.H., Tisthammer, K.H., Spies, N.P. 2018. The effects of Anthropogenic Stressors on Reproduction and Recruitment of Corals and Reef Organisms. *Frontiers in Marine Science* 5:226. Doi: <https://doi.org/10.3389/fmars.2018.00226>.
- Ritson-Williams, R., Arnold, S.N., Fogarty, N.D., Steneck, R.S., Vermeij, M.J.A. y Paul, V.J. 2009. New perspectives on ecological mechanisms affecting coral recruitment on reefs. *Smithsonian Contributions to the Marine Science* 38: 437-457. Doi: <https://doi.org/10.5479/si.01960768.38.437>.
- Rodríguez, S., Alvizu, A., Tagliafico, A., Bastidas, C. 2009. Low natural repopulation of marginal coral communities under the influence of upwelling. *Hydrobiology* 624: 1-11. Doi: <https://doi.org/10.1007/s10750-008-9662-z>.
- Rogers, C.S., Fitz, H.C., Gilnack, M., Beets, J., Hardin, J. 1984. Scleractinian coral recruitment patterns at Salt River Submarine Canyon. St Croix. U.S.V.I. Coral reefs 3:69-76. Doi: <https://doi.org/10.1007/BF00263756>.
- Rubin, E.T., Moulding, A.L., Lopez, J.V., D. S. Gillian; Kosmynin, V.N. y Dodge, R.E. 2008: Scleractinian coral recruitment to reefs physically damaged by shipgroundings. Proc 11th Int Coral Reef Sym, Ft. Lauderdale, Florida, Session number 10: 7-11 July. 326-330.
- Sawall, Y., Richter, C., Ramette, A. 2012. Effects of eutrophication, seasonality and macrofouling on the diversity of bacterial biofilms in equatorial coral reefs. *PLoS ONE* 7: e39951. Doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0039951>.
- Sawall, Y., Jompa, J., Litaay, M., Maddusila, A., Richter, C. 2013. Coral recruitment and potential recovery of eutrophied and

- blast fishing impacted reefs in Spermonde Archipelago, Indonesia. *Marine Pollution Bulletin* 74: 374-382. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2012.06.022>.
- Segal, B., Berenguer, V., Castro, C.B. 2012. Experimental recruitment of the Brazilian endemic coral *Mussismilia braziliensis* and conditioning of settlement plates. *Ciencias Marinas* 38 (1A): 1-10. Doi: <https://doi.org/10.7773/cm.v38i1A.1853>.
- Sepúlveda-García, H. 2015. Impacto humano sobre ecosistema arrecifal: caso Isla Fuerte-Bolívar. Trabajo de pregrado, Universidad de Antioquia. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Medellín, Colombia.
- Shearer, T.L., Coffroth, M.A. 2006. Genetic identification of Caribbean Scleractinian coral recruits at the Flower Garden Banks and the Florida Keys. *Marine Ecology Progress Series* 306: 133 - 142. Doi: <https://doi.org/10.3354/meps306133>.
- Shlesinger, Y., Loya, Y. 1991. Larval development and survivorship in the corals *Favia fавusand Platygyra lamellina*. *Hydrobiology* 216 (217): 101-108. Doi: <https://doi.org/10.1007/BF00026449>.
- Smith, S.R. 1992. Patterns of coral recruitment and post-settlement mortality on Bermuda's reefs: Comparisons to Caribbean and Pacific reefs. *American Zoologist* 32: 663-673. Doi: <https://doi.org/10.1093/icb/32.6.663>.
- Tomascik, T. 1991. Settlement patterns of Caribbean scleractinian corals on artificial substrata along an eutrophication gradient, Barbados, West Indies. *Marine Ecology Progress Series* 77: 261-269. Doi: <https://doi.org/10.3354/meps077261>.
- Trapon, M., Pratchett, M., Adjeroud, M., Hoey, A., Baird, A. 2013. Post-settlement growth and mortality rates of juvenile scleractinian corals in Moorea, French Polynesia versus Trunk Reef, Australia. *Marine Ecology Progress Series* 488: 157-170. Doi: <https://doi.org/10.3354/meps10389>.
- Van Moorsel, G. 1985. Disturbance and growth of juvenile corals (*Agaricia humilis* and *Agaricia agaricites*, Scleractinia) in natural habitats on the reef of Curacao. *Marine Ecology Progress Series* 24: 99-112.
- Webster, N.S., Smith, L.D., Heyward, A., Watts, J.E., Webb, R.I., Blackall, L.L., Negri, A.P. 2004. Metamorphosis of a scleractinian coral in response to microbial biofilms. *Applied and Environmental Microbiology* 70: 1213-1221. Doi: <https://doi.org/10.1128/AEM.70.2.1213-1221>.
- Wieczorek, S.K., Todd, C.D. 1998. Inhibition and facilitation of settlement of epifaunal marine invertebrate larvae by microbial biofilm cues. *Biofouling* 12: 81-118. Doi: <https://doi.org/10.1080/08927019809378348>.
- Wittemberg, M., Hunte, W. 1991. Effects of eutrophication and sedimentation on juvenile corals: abundance, mortality and community structure. *Marine Biology* 112: 131-138. Doi: <https://doi.org/10.1007/BF00349736>.
- Citar como:** Pareja-Ortega, S., Quan-Young, L., Londoño-Mesa, M.H. y Acosta, A. 2020. Reclutamiento de corales escleractinios en sustrato artificial en isla Fuerte, Caribe colombiano. *Intropica* 15(1): 16-23. Doi: <http://dx.doi.org/10.21676/23897864.3293>.