

Estado del arte del proyecto: “Evaluación espaciotemporal de los efectos de estresores ambientales sobre la microbiota coralina y la salud de los arrecifes coralinos del caribe colombiano”

Autores: CALIXTO BORTOLIN RAFAEL – LUANA CARLA PORTZ – ROGERIO PORTANIOLO MANZOLLI – LUIS FELIPE SILVA OLIVEIRA – SUAREZ AGUDELO ANDRES – ENRIQUE ACEVEDO TATIANA – SCHONERR CARLOS.

Resumen:

Los arrecifes de corales son estructuras tridimensionales que producen ambientes con altísima biodiversidad. Los bienes y servicios ecosistémicos generados por ellos son muy diversos y pueden sumar hasta US\$ 375.000 millones de dólares por año. Pero debido al calentamiento global y estresores antropogénicos locales los arrecifes están disminuyendo drásticamente en todo el mundo. Se calcula que hasta 60% de los arrecifes de corales podrían perderse hasta 2030 según estudio publicado en 2003. A nivel local, los estresores antropogénicos que más llevan a muerte de corales en la región Caribe son la escorrentía de sedimentos, la contaminación del agua, y la pesca de arrastre y dinamita. Lo más preocupante, es que se predice que estas perturbaciones aumentarán en frecuencia y gravedad durante el próximo siglo. Por su parte, algunos estudios han demostrado que la región caribe es una de las más susceptibles a dichos disturbios. Así que la comprensión de los disturbios antropogénicos será crucial para crear estrategias de conservación y revertir efectivamente la degradación de los arrecifes coralinos del Caribe colombiano. Desafortunadamente, los efectos de los disturbios antropogénicos sobre los corales han sido pobremente documentados en el sur del Caribe, donde se encuentra el Caribe colombiano. Sin embargo, esto puede estar cambiando, pues hay actualmente una conmoción mundial y local muy grande para la conservación de corales por parte de ONU, UNESCO, Colciencias y Gobierno Colombiano. En este escenario, esta investigación se enfocará a comprender los efectos de estresores antropogénicos sobre ecosistemas asociados a los corales del caribe colombiano (San Andrés, Providencia o Bahía de Cartagena) con respecto a microbiota coralina y integridad del ecosistema de los arrecifes coralinos.

Marco teórico:

Existe una preocupación creciente por la degradación progresiva de los arrecifes de coral del mundo. Se considera que la disminución global de los corales formadores de arrecifes se debe a una combinación de factores estresantes locales y globales (21). Una de las problemáticas actuales de los arrecifes del Caribe colombiano se encuentra en la Bahía de Cartagena en un arrecife conocido como Varadero. Este arrecife se encuentra en una Bahía muy contaminada que recibe desechos industriales y de aguas residuales, así como descargas de sedimentos del río Magdalena a través de un canal (Canal del Dique) lo cual fue hecho por el hombre para facilitar la navegación hasta el Río Magdalena (18). Este es uno de los ríos más grandes y contaminados de Colombia, siendo la parte que desemboca en el mar una de las más contaminadas (19). Este río alimenta aproximadamente

144.000.000 toneladas de sólidos suspendidos en la Bahía de Cartagena cada año. Los corales sufren estrés en presencia de una alta concentración de sedimentos debido a la turbidez del agua y consecuentemente disminución de la luz lo que afecta la simbiosis del coral con el alga asociada. La duración en que los corales pueden sobrevivir con altas turbiedades varía desde varios días (especies sensibles) hasta al menos 5-6 semanas (especies tolerantes) (22). El aumento de la sedimentación puede causar asfixia y entierro de pólipos de coral, sombreado, necrosis tisular y explosiones poblacionales de bacterias en el moco coralino que pueden por su vez llevar a enfermedades. Además de eso, la turbidez y la sedimentación también reducen el reclutamiento, la supervivencia y el asentamiento de larvas de coral, afectando la restauración del sistema. No sólo los ríos que desembocan cerca de arrecifes de corales aumentan el aporte de sedimentos para los corales, pero también las frecuentes actividades de dragado que están asociadas a la construcción costera, recuperación de tierras, y construcción portuaria. Los sedimentos de dragado tienen los mismos efectos perjudiciales de los que vienen de los ríos (22). Hay muchos casos en el mundo donde los dragados llevaron a significantes pérdidas a los corales, como compiladas por Erfterneijer y colaboradores (22). Eso es un punto importante en la Bahía de Cartagena porque según Pizarro y colaboradores (18) hay planes muy actuales de dragar parte de Varadero (uno de los puntos en potencial de estudio en ese proyecto) llevando a una potencial amenaza la supervivencia de este arrecife. Algo parecido se pasa en San Andrés, las aguas residuales no tratadas se desechan directamente en la orilla en varios puntos de San Andrés (20). Dicho estresor antropogénico puede hacer el coral más susceptible y llevar a pérdidas severas a los corales, lo que tendría consecuencias drásticas al turismo de San Andrés. Bioacústica es una ciencia interdisciplinaria que combina biología y acústica. Por lo general, se refiere a la investigación de la producción de sonido, la dispersión y la recepción en animales. La utilización de instrumentos de bioacústica son recientes y cada vez se encuentran más aplicaciones para ellos. Recientemente la bioacústica ha sido utilizada para monitoreo ecológico de los arrecifes de corales en cambio a los métodos clásicos (23-29). Esto porque los métodos de monitoreo ecológico de arrecifes de coral clásicos que utilizan encuestas aplicadas a "SCUBA diver" y material fotográfico requieren mucho tiempo y mano de obra. Además, estas técnicas pueden introducir errores de muestreo (debido a la limitada gama de visión del buzo, sensores ópticos y resistencia del buzo) y sesgo (debido al efecto de la presencia del buzo en el comportamiento del animal). Por fin, estas encuestas generalmente requieren un barco de investigación en la estación y, por lo tanto, no se realizan con frecuencia y no pueden realizarse de noche cuando los organismos bentónicos son más activos. La mayoría de la biomasa faunística en un arrecife de coral puede ser pequeña, críptica y subterránea. Por eso, optamos por evaluar la diversidad de especies y la calidad del ecosistema asociados a los corales a través de un monitoreo acústico. Este es un método extremadamente nuevo que es menos invasivo, tiene bajo costo de recolección de datos, puede ser usado por la noche, no necesita de una embarcación permanente y tiene menos sesgos de interpretación (29). No podemos olvidarnos del uso de las energías limpias que merecen una consideración especial, porque se producen con mínimos impactos sociales y culturales negativos, de la mano con la salud y el medio ambiente (44). Estos enfoques se caracterizan por el uso de grabadores automáticos de sonido que captan un amplio rango de frecuencias y así permiten evaluar la variedad de sonidos producidos por diversos animales que viven en los corales. En esta investigación lo más caro son los grabadores subacuáticos, pero estos equipos son muy versátiles y abren perspectivas para uso en muchos otros proyectos. Así como se identificó el uso de energía, natural o artificial, cuando se diseñó un prototipo en otro proyecto se

creó conciencia sobre el uso de las energías alternativas, fomentando el cuidado del medio ambiente (42, 43). con la compra de estos equipos la Universidad de la Costa puede ampliar su rango de actuación baratear el costo de futuras investigaciones. Los corales sanos contienen grandes poblaciones de algas eucariotas, bacterias y arqueas en la capa de moco, el esqueleto y los tejidos de ellos, los cuales son conocidos como microbiota coralina. Estos microorganismos confieren beneficios a su huésped por diversos mecanismos, que incluyen la fotosíntesis, la fijación de nitrógeno, la provisión de nutrientes y la prevención de infecciones. Por lo tanto, esos microorganismos son indispensables para la salud del coral. Además de estos beneficios, los microorganismos pueden responder rápidamente a los cambios ambientales y factores de estrés ambiental, y de esta manera permitir la adaptación del coral a estos cambios, que en última instancia influye en la resiliencia del ecosistema arrecifal (37). Un estudio, por ejemplo, ha mostrado que la microbiota asociada a los corales puede ayudar al coral en la tolerancia al calor y así impedir el blanqueamiento de los corales (38). Sin embargo, la microbiota asociada a los corales puede ser negativamente afectada por factores de estrés ambiental haciendo al coral más susceptible a enfermedades (30). Sabese, por ejemplo, que sobre pesca y contaminación por exceso de nutrientes pueden desestabilizar el microbioma del coral, y así elevar la carga putativa de patógenos, aumentando la prevalencia de enfermedades y mortalidad de corales (37). Muchos estudios también han mostrado que perturbaciones negativas a los corales debido a estrés térmico están asociadas a un cambio en la microbiota coralina saludable por una microbiota oportunista o con potencial patógeno (37). En los últimos 30 años ha habido aproximadamente un 30% de disminución mundial en la población de corales, en gran parte debido a enfermedades emergentes. De más de veinte enfermedades de coral descritas, pero solo seis agentes causantes de las enfermedades ha sido aislado y caracterizado (30). Aunque solo el 8% de todos los arrecifes de coral (por área) se encuentran en el Caribe, más del 70% de todos los informes de enfermedades/síndrome provienen de esta región (31). Por esta razón, es importante conocer la interacción entre los estresores ambientales y la microbiota coralina para prevenir la destrucción de los arrecifes de coral del Caribe. Por fin, es posible que haya una variación estacional natural de las comunidades microbianas, así como de la macrofauna productora de sonido. Además de eso, los factores de estrés ambiental también pueden variar con el tiempo afectando la microbiota y la macrofauna productora de sonido, consecuentemente cambiando el estatus del ecosistema. Así es de gran importancia evaluar la variación temporal (dos veranos y dos inviernos) de la salud de los arrecifes de coral del Caribe colombiano a partir de instrumentos de bioacústica, así como de la comunidad microbiana.

Estado del arte:

Hay muchas problemáticas acerca de los arrecifes de corales colombianos. Como ejemplo, una de las problemáticas actuales de los arrecifes del Caribe colombiano se encuentra en la Bahía de Cartagena, la cual recibe sedimentos del Canal del Dique y está bajo la mira de un proyecto que tiene planes de dragar esta región. En esta bahía está ubicado Varadero, un arrecife de coral recién descubierto por la ciencia. Hay apenas un artículo científico encontrado en la plataforma Web Of Science sobre el arrecife de Varadero (18), lo que refuerza aún más la importancia de estudiar ese arrecife. Por su vez, en San Andrés, las aguas residuales no tratadas se desechan directamente

en la orilla en varios puntos de San Andrés (20). Dicho estresor antropogénico puede hacer el coral más susceptible y llevar a pérdidas severas a los corales, lo que tendría consecuencias drásticas al turismo de San Andrés. En la bioacústica, recientemente ha sido propuesto la utilización de bioacústica para evaluar la diversidad de especies, la calidad de los ecosistemas asociados a los corales y la degradación de los arrecifes (25, 28, 29). Las investigaciones producidas hasta el momento son generalmente validaciones/sugerencias de la utilización de instrumentos de bioacústica para evaluar condiciones ambientales (23), actividad biológica y antropogénica (24), abundancia relativa de especies (25, 26), tasas de bioerosión de arrecifes (27) y diversidad de peces (28). Dichos estudios enfatizan la importancia de la acústica como una herramienta en el monitoreo de ambientes marinos y en la elaboración y gestión de futuros planes de conservación. La composición de los microorganismos asociados a los corales está estrechamente relacionada a la salud de los corales. Por lo tanto, un desequilibrio, ocasionado por estresores antropogénicos, en dicha microbiota puede causar enfermedades y llevar a muerte del coral (30, 34). Algunos estudios han mostrado que una microbiota saludable puede ayudar al coral a adaptarse a factores estresores por hacer pequeños cambios en la composición de esta dicha microbiota (30). Un estudio de 2017, por ejemplo, ha mostrado que la microbiota asociada a los corales puede ayudar al coral en la tolerancia al calor y así impedir el blanqueamiento de los corales (38). Sin embargo, la microbiota asociada a los corales puede ser negativamente afectada por factores de estrese ambiental haciendo al coral más susceptible a enfermedades (30). Se sabe, por ejemplo, que sobrepesca y contaminación por exceso de nutrientes pueden desestabilizar el microbioma del coral, y así elevar la carga putativa de patógenos, aumentando la prevalencia de enfermedades y mortalidad de corales (37). Un artículo de 2018 mostró que especies diferentes de corales expuestas a altas temperaturas y acidificación del medio presentan una respuesta diferente: una especie presenta una diversidad más baja de la microbiota asociada, así como una disminución de las actividades fisiológicas básicas, mientras otra presentó una diversidad más alta y pocos cambios en la fisiología. Así este artículo mostró que los corales tolerantes al estrés por temperatura tienen un microbioma más estable y que los microbiomas más estables también son más resistentes fisiológicamente (40). Un estudio reciente mostró que a especie del huésped influye más la composición de la microbiota que la localidad geográfica y la propiedad del agua donde se encuentra el coral (41). Sin embargo, hay mucho para investigar. Así, la microbiología coralina es un campo emergente, impulsado en gran medida por el deseo de comprender, y en última instancia prevenir, la destrucción mundial de los arrecifes de coral (30). Según el Libro Verde 2030, hecho en colaboración entre el Colciencias y el Gobierno de Colombia para exponer discusiones sobre políticas nacionales de ciencia e innovación para el desarrollo sostenible, la Vida Submarina fue considerada uno de los objetivos de desarrollo sostenible (ODS) del tipo 1, que son los que cubren sistemas sociotécnicos, que cumplen funciones sociales específicas mediante la provisión de bienes o servicios o la protección de un recurso, haciendo de la Vida Submarina uno de los principales ODS. En este mismo libro se resalta que entre 15 grandes categorías de ODS, la Vida Submarina es la tercera con más publicaciones científicas hechas por investigadores colombianos. Pero estamos muy atrás de países como Brasil, México y Estados Unidos de América. Por fin este libro sugiere la interdisciplinariedad para solucionar problemas complejos como los de la vida submarina. Curiosamente, 1997 fue declarado el primer Año Internacional del Arrecife (IYOR 1997), en respuesta a las crecientes amenazas sobre los arrecifes de coral y los ecosistemas asociados. En 2008 fue declarado el segundo y este año (2018) el Tercer año internacional del arrecife (IYOR 2018) por la International Coral Reef Initiative (ICRI),

juntamente con la ONU medio ambiente, que está ayudando a impulsando la idea. Eso demuestra la constante preocupación con este ecosistema. Los objetivos para este " año son 1) fortalecer la conciencia mundial sobre el valor y las amenazas a los arrecifes de coral y los ecosistemas asociados; 2) promover alianzas entre los gobiernos, el sector privado, la academia y la sociedad civil en la gestión de los arrecifes de coral; 3) identificar e implementar estrategias de gestión efectivas para la conservación, una mayor capacidad de recuperación y un uso sostenible de estos ecosistemas y promover las mejores prácticas; y 4) compartir información sobre las mejores prácticas en relación a la gestión sostenible de los arrecifes de coral. Por fin, la UNESCO ha proclamado este decenio como el Decenio de las Ciencias Oceánicas para el Desarrollo Sostenible (2021- 2030) para reunir a las partes interesadas oceánicas de todo el mundo con un marco común que garantice que las ciencias oceánicas puedan apoyar plenamente a los países en el logro de los 14 Objetivo de Desarrollo Sostenible en el océano. La preocupación con la región Caribe es tan grande que la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA) inició un Plan de Protección de Arrecifes de Coral (CRPP) en 2014 para reducir el estrés antropogénico en los arrecifes de coral de esa región (16). Estas declaraciones en conjunto muestran la gran preocupación que se tiene en el momento con respecto a la preservación de los corales. La preocupación es grande porqué, con inminencia del calentamiento global y presión antrópica, un tercio de los arrecifes de corales presentan elevado riesgo de extinción (10) y si los corales si extinguen no perdemos sólo algunas especie de corales, pero perdemos un ecosistema entero y junto con él todas sus especies de organismos endémicos y sus valerosos servicios. La proyección es que la intensidad de las actividades humanas aumente, así que la comprensión de los factores estresantes será crucial para crear estrategias de conservación y revertir efectivamente la degradación de los arrecifes de coral (39). En este escenario, esta investigación se enfocará a comprender los efectos de estresores antropogénicos sobre ecosistemas asociados a los corales del caribe colombiano con respecto a microbiota coralina y calidad del ecosistema de los arrecifes.

Bibliografía:

Bellwood DR, Hughes TP, Folke C, Nystrom M. Confronting the coral reef crisis. *Nature* 2004;429:827-833.2.

Knowlton N. Coral reefs. *Curr Biol* 2008;18:R18-R21. 3. Veron TE, Hoegh-Guldberg O, Lenton TM, et al. The coral reef crisis: The critical importance of <350 ppm CO₂. *Mar Pollut Bull* 2009;58:1428-1436. 4

Knowlton N. Coral reefs. *Curr Biol* 2008;18:R18-R21.

Veron TE, Hoegh-Guldberg O, Lenton TM, et al. The coral reef crisis: The critical importance of <350 ppm CO₂. *Mar Pollut Bull* 2009;58:1428-1436.

DIVERSITAS. Second DIVERSITAS Open Science Conference: "Biodiversity and Society: Understanding Connections, Adapting to Change": Ensuring a Strong Scientific Contribution from the Asia-Pacific Region. 2009.

De'ath G, Fabricius KE, Sweatman H, Puotinen M. The 27-year decline of coral cover on the Great Barrier Reef and its causes. *Proc Natl Acad Sci* 2012;109:17995-17999.

Hughes TP, Bames ML, Bellwood DR, et al. Coral reefs in the Anthropocene, *Nature* 2017;546:82-90.

Eddy TD, Cheung WWL, Bruno JF. Historical baselines of coral cover on tropical reefs as estimated by expert

Hughes T, AH B, DR B, M C, SR C. Climate change, human impacts, and the resilience of coral reefs. *Science* (80-)

Carpenter K, Abrar M, Aeby G, et al. *Climate Change and Local Impacts*. 2008:560-563.

Gomez CG, Gonzalez A, Guzman HM. Multiscale change in reef coral species diversity and composition in the Tropical Eastern Pacific Coral Reefs 2018;37:105-120.

Spalding MD, Grenfell AM. New estimates of global and regional coral reef areas. *Coral Reefs* 1997;16:225-230. Gardner TA, Côté TM, Gill IA, Grant A, Watkinson AR. Long-term region-wide declines in Caribbean corals. *Science* (80-) 2003;301 :958-960.

Rodríguez-Rasmírez A, Reyes-Nivia MC, Zea S, et al. Recent dynamics and condition of coral reefs in the Colombian Caribbean. *Rev Biol Trop* 2010;58:107-131.

Carriger JF, Fisher WS, LoBue CT, Cuevas-Miranda DN. Identifying and structuring objectives for a coral reef protection plan at the U.S. Environmental Protection Agency. *J Coast Conserv* 2018;22:263-281.

Garzón-Ferreira J, Díaz JM. The Caribbean coral reefs of Colombia. In: Latin American Coral Reefs. Elsevier, 2003, pp 275-301.

Pizarro V, Rodríguez SC, López-Victoria M, et al. Unraveling the structure and position of Varadero Reef, an improbable and imperiled coral reef in the Colombian Caribbean. PeerJ 2017;5:e4119.

Tejeda-Benítez L, Flegal R, Odigie K, Olivero-Verbel J. Pollution by metals and toxicity assessment using *Caenorhabditis elegans* in sediments of the Magdalena River, Colombia. Environ Pollut 2016;212:238-250.

Zea S, Gómez ML. Abundance of the Excavating Sponge *Cliona Delitrix* in Relation To Sewage Discharge At San Andrés Island , Sw Caribbean , Colombia. Investig Mar 2007;36:63-78.

Bruno JF, Valdivia A. Coral reef degradation is not correlated with local human population density. Sci Rep 2016;6:1-8.

Erfemeijer PLA, Riegl B, Hoeksema BW, Todd PA. Environmental impacts of dredging and other sediment disturbances on corals: A review. Mar Pollut Bull 2012;64:1737-1765.

Lillis A, Mooney TA. Snapping shrimp sound production patterns on Caribbean coral reefs: relationships with celestial cycles and environmental variables. Coral Reefs 2018;37:597-607.

Lammers MO, Brainard RE, Au WWL, Mooney TA, Wong KB. An ecological acoustic recorder (EAR) for long-term monitoring of biological and anthropogenic sounds on coral reefs and other marine habitats. J Acoust Soc Am 2008;123:1720-1728.

Kaplan M, Mooney T, Partan J, Solow A. Coral reef species assemblages are associated with ambient soundscapes. Mar Ecol Prog Ser 2015;533:93-107.

Kaplan MB, Lammers MO, Zang E, Aran Mooney T. Acoustic and biological trends on coral reefs off Maui, Hawaii. Coral Reefs 2018;37:121-133.

Tricas TC, Boyle KS. Acoustic behaviors in Hawaiian coral reef fish communities. Mar Ecol Prog Ser 2014;511:1-16

Bertucci F, Parmentier E, Lecellier G, Hawkins AD, Lecchini D. Acoustic indices provide information on the status of coral reefs: An example from Moorea Island in the South Pacific. Sci Rep 2016;6.

Freeman LA, Freeman SE. Rapidly obtained ecosystem indicators from coral reef soundscapes. Mar Ecol Prog Ser 2016;561:69-82.

Rosenberg E, Koren O, Reshef L, Efrony R, Zilber-Rosenberg I. The role of microorganisms in coral health, disease

Harvell D, Jordán-Dahlgren E, Merkel S, et al. Coral Disease, Environmental Drivers, and the Balance Between Coral and Microbial Associates. *Oceanography* 2007;20:172-195.

Restrepo JD, Zapata P, Díaz JM, Garzón-Ferreira J, García CB. Fluvial fluxes into the Caribbean Sea and their impact on coastal ecosystems: The Magdalena River, Colombia. *Glob Planet Change* 2006;50:33-49.

López-Victoria M, Rodríguez-Moreno M, Zapata FA. A paradoxical reef from Varadero, Cartagena Bay, Colombia. *Coral Reefs* 2015;34:231.

Traey AM, Koren O, Douglas N, Weil E, Harvell De. Persistent shifts in Caribbean coral microbiota are linked to the 2010 warm thermal anomaly. *Environ Microbiol Rep* 2015;7:471-479.

Weber L, DeForce E, Apprill A. Optimization of DNA extraction for advancing coral microbiota investigations. *Microbiome* 2017;5:1-14.

Bortolin RC, Vargas AR, Gasparotto J, et al. A new animal diet based on human Western diet is a robust diet-induced obesity model: Comparison to high-fat and cafeteria diets in terms of metabolic and gut microbiota disruption. *Int J Obes* 2018;42.

Bourne DG, Morrow KM, Webster NS. Insights into the Coral Microbiome: Underpinning the Health and Resilience of Reef Ecosystems. *Annu Rev Microbiol* 2016;70:317-340.

Ziegler M, Seneca FO, Yum LK, Palumbi SR, Voolstra CR. Bacterial community dynamics are linked to patterns of coral heat tolerance. *Nat Commun* 2017;8:1-8.

Cal L, Tian RM, Zhong G, et al. Exploring coral microbiome assemblages in the South China Sea. *Sci Rep* 2018;8:1-13.

M. Nuñez, J. Correa, G. Herrera, P. Gómez, S. Morón, y N. Fonseca, Estudio de percepción sobre energía limpia y auto sostenible, *IJMSOR*, vol. 3, n.º 1, pp. 11-15, dic. 2018.

O. Cortés-Peña, Sustainable development in a synergistic relationship with pro-environmental behavior and fair trade, *IJMSOR*, vol. 1, n.º 1, pp. 54-58, ago. 2016.

Y. De la Peña, G. Bordeth, H. Campo, y U. Murillo, Clean Energies: An Opportunity to save the Planet, *IJMSOR*, vol. 3, n.º 1, pp. 21-25, dic. 2018.