ACADEMIA DE CIENCIAS DE MORELOS, A.C.

¿Comentarios y sugerencias?, ¿Preguntas sobre temas científicos? CONTÁCTANOS: editorial @acmor.org.mx

La vida después de la muerte..... Coralina y el Carib

ANDRÉS SÁNCHEZ-QUINTO

•guitox@msn.com •
Laboratorio de Ecología Bacteriana;
Instituto de Ecología, UNAM

Presentación: El presente forma parte de una serie de artículos que se publicarán a lo largo del año en memoria del Dr. Federico Sánchez Rodríguez, quién nos dejó el 4 de abril del 2016. Federico, miembro de la Academia de Ciencias de Morelos, se distinguió en muy diversos ámbitos del quehacer científico, destacando sus aportaciones en el área de la interacción planta-microorganismo, muy particularmente para la fijación de nitrógeno (https://biotecnologiaibtunam.wordpress.com/2016/12/02/118/).

La serie incluirá artículos de científicos que hablarán sobre este tema, pero también de científicos formados en su grupo, y de científicos en su familia.

Es el caso de éste primer número escrito por el M. en C. Andrés Sánchez Quinto, el segundo de sus hijos, quien después de cursar la carrera de Biología en la Universidad de las Américas en Puebla (2005-2010), y una Maestría en la Universidad de Manchester en Inglaterra (2011-2012), realiza desde el 2105, un proyecto de investigación para obtener el doctorado en el Instituto de Ecología de la UNAM. *Agustín López Munguia*.

Arrecifes de coral

Los arrecifes de coral son uno de los ecosistemas (conjunto de especies interactuando entre ellas y su ambiente) más productivos del planeta, y constituyen los reservorios de carbón de origen biológico de mayor tamaño. Se estima que los arrecifes coralinos mantienen una tercera parte de todas las especies marinas descritas y aportan un cuarto de la productividad de la pesca marina. Alrededor de 500 millones de personas alrededor del mundo dependen de recursos obtenidos de los arrecifes de coral y se estima que esta cifra se duplicará en los próximos 40 años.

Los arrecifes de coral –o corales duros- se desarrollan en aguas someras, claras y tibias de los mares tropicales. Son esqueletos calcáreos construidos por pequeños pólipos del filum Cnidaria que compiten por la colonización del fondo marino con las algas coralinas, y juntos actúan como el cementante de la edificación que crecerá y crecerá hasta formar grandes barreras de coral. Estas estructuras calcáreas proporcionan microambientes complejos que sostienen gran diversidad microbiana y de macrofauna, lo cual los convierte en ecosistemas que albergan una alta diversidad de organismos, sólo comparable con la que albergan las selvas altas.

Corales

El pólipo es la unidad básica del coral, y un coral se compone por cientos de pólipos. Los pólipos coralinos viven en una relación simbiótica, es decir, una relación estrecha y dependiente con un grupo de dinoflagelados, algas unicelulares fotosintéticas del género *Symbiodinium*. Además, en esta simbiosis también existen bacterias con funciones importantes. Al conjunto peculiar de esta tríada (coral-dinoflagelado-bacterias) se le denomina holobionte. Esta relación ha sido la base de la proliferación y prevalencia de los corales duros a lo largo de la historia. Los *Symbiodinium* se encuentran en pequeñas vacuolas dentro de las células que funcionan como membrana de revestimiento en los pólipos. Los dinoflagelados se incorporan a las células de la membrana de revestimiento de cada pólipo por fagocitosis, un proceso por el cual algunas células y protistas introducen partículas a su interior.

Los *Symbiodinium* son fundamentales para el funcionamiento del holobionte, ya que la pigmentación, la eliminación de desechos y la secreción del carbonato de calcio para la formación del esqueleto coralino dependen de esta asociación simbiótica (Figura 1). A su vez, el dinoflagelado simbiótico dispone de compuestos nitrogenados, fosfatos y un ambiente para desarrollarse. Por medio de la clorofila y otros pigmentos, los dinoflagelados utilizan los rayos del sol, el CO_2 y el agua para realizar la fotosíntesis, liberando O_2 y sintetizando carbohidratos. Asimismo, pueden producir y proporcionar al coral algunos aminoácidos, glicerol, carbohidratos, grasas y proteínas. Alrededor del 90% de la materia orgánica producida por los dinoflagelados es utilizada por el coral.

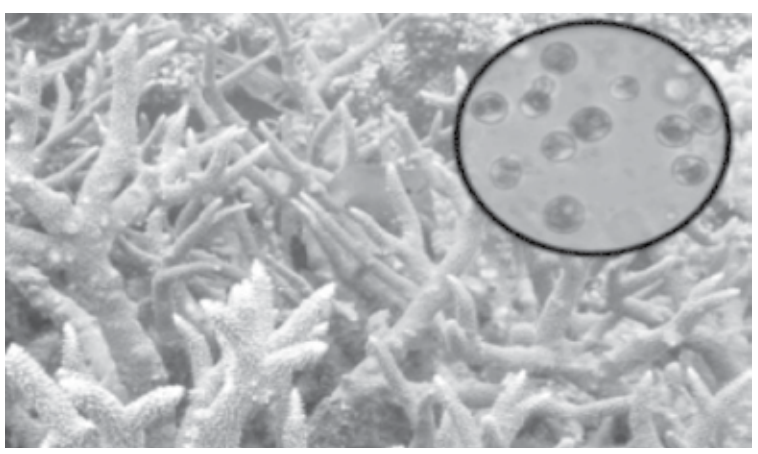


Figura 1 Fotografía de un coral y los *Symbiodinium* que forman parte del holobionte.
(Tomada por el grupo del Dr. Steinberg en Australia).

Los corales y sus dinoflagelados secretan una mucosidad que permite el crecimiento y protección de algunas bacterias. Es curioso, pero algunos trabajos reportan que existen corales que "cultivan" bacterias en la mucosidad para después comerlas. La mucosidad es un polímero sintetizado en células especializadas del pólipo y ésta es excretada por el dinoflagelado a la superficie del coral. Todas las propiedades de la mucosidad son específicas y pueden variar de especie a especie de coral, por lo que se cree que la composición microbiana también puede cambiar entre especies de coral.

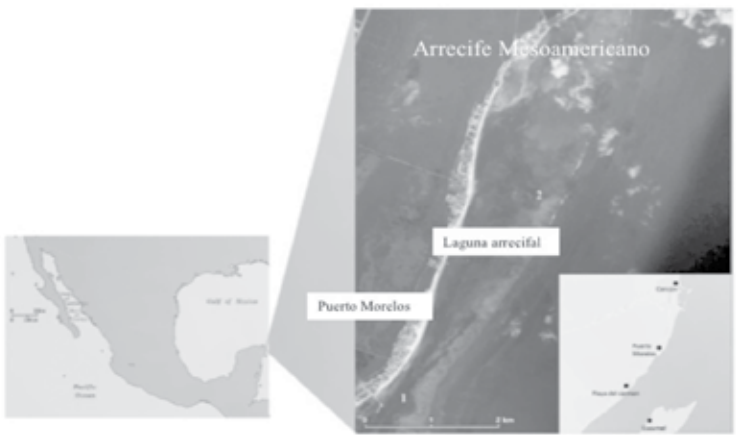


Figura 2. Mapa que muestra la ubicación de Puerto Morelos, una de las zonas más afectadas de *A. palmata* en el caribe mexicano.

***Acropora palmata* en México**

Acropora es el género de corales que dominan los sistemas coralinos en el Mar Caribe mexicano. Las especies del género *Acropora* pertenecen a los llamados corales escleractínios, comúnmente conocidos como corales duros o pétreos, justo por su capacidad de secretar un esqueleto de carbonato de calcio. La especia *A. palmata* habita en los arrecifes tropicales del Caribe y del Golfo de México y está considerada dentro de las principales especies constructoras de arrecifes de coral en la parte poco profunda del arrecife coralino. Es por esto que la pérdida y la alteración del holobionte coralino (pólipo-dinoflagelado-bacterias) pueden incidir significativamente en la estructura y la función del arrecife. Desde hace algunas décadas, *A. palmata* se ha vuelto muy vulnerable, ya que está expuesta a complejos factores de riesgo y a la creciente disminución y deterioro de su hábitat, tanto así que entre los años 70 y 80 se dio tal declive en las poblaciones del Caribe mexicano, que su área de distribución presenta pocos signos de recuperación Figura 2).

Esta situación coincide con la persistencia de enfermedades en los corales, con una mayor incidencia de enfermedades emergentes (banda blanca, parches de necrosis, etc.). Se han reportado pérdidas en la cobertura de este coral del 50 al 100% dependiendo de la localidad analizada. Aunque en el Caribe la mortalidad no fue masiva, aún quedan varios parches de *Acropora* muertas formando lo que llamamos en el laboratorio de Ecología Microbiana como "cementerios de coral".

Un coral sano de *A. palmata* puede reproducirse de manera sexual y asexual, donde la segunda depende que alguna de sus partes se "fragmente", llegue al fondo y comience a formar una nueva colonia. Sin embargo, hemos encontrado que algunas de las colonias que quedan en Puerto Morelos permanecen frágiles y vulnerables, sin la capacidad de formar nuevas colonias. En caso de que la población siga sujeta a estas u otras perturbaciones de forma constante, el coral no se reproducirá de manera eficiente e incluso podría llevar a la muerte del holobionte.

Por otro lado, los efectos del cambio climático están alterando y provocando blanqueamiento, reducción en las tasas de crecimiento y mayor incidencia de enfermedades en las poblaciones de *Acropora* en México–y en el planeta entero (Fugura 3) .

Problemática ambiental de los ecosistemas coralinos

Los arrecifes de coral están degradándose rápidamente a escala global debido a la combinación de diversos factores que dan como resultando la pérdida de su hábitat y biodiversidad: la sobreexplotación, las enfermedades del coral y la eutroficación del agua, entre otros. Cuando existen cambios en el ambiente como el aumento de temperatura, la disminución del pH, la cantidad y calidad de luz, los nutrientes, las fuentes de carbono, la salinidad y la presión, existe un daño irreversible que conlleva al blanqueamiento de coral. Por otra parte, aunque el aumento del CO_2 atmosférico está relacionado principalmente con la combustión de compuestos de origen fósil, las erupciones volcánicas y la deforestación, provocan el cambio climático y también la acidificación del océano (Figura 4).

A medida que el coral se debilita, la estructura calcárea se rompe, lo que conlleva la pérdida creciente de los arrecifes. Algunos de estos fragmentos se depositan en el lecho marino a expensas de ser desintegrados debido a la fricción con la arena y a la bioerosión ocasionada por otros organismos como moluscos, crustáceos y algas que los agujeran o raspan. Asimismo, con los cambios ambientales que afectan al coral, éste puede provocar ya sea la apoptosis o muerte de células simbióticas o la digestión o expulsión del dinoflagelado. Aunado a esto, la composición microbiana de la mucosidad se altera cuando el funcionamiento del holobionte se altera, y al perder al endosimbionte se provoca

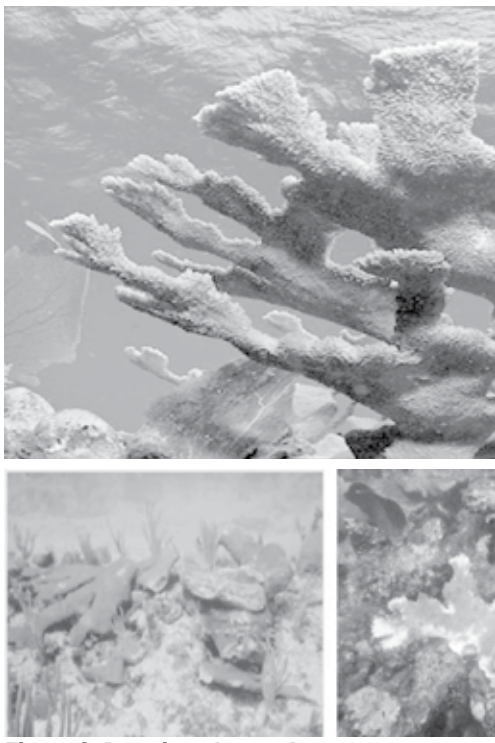
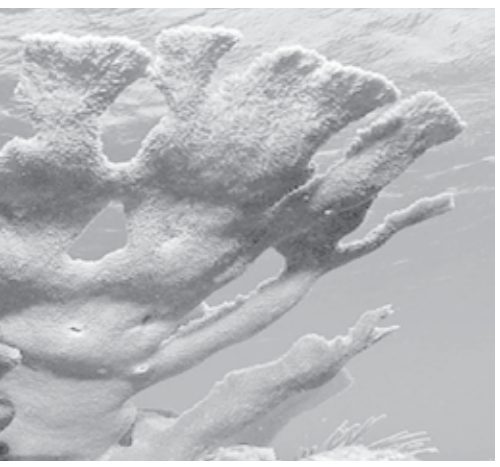


Figura 3. Deterioro de una *Acropora palmata* sana (imagen superior), un resto de *A. palmata* fragmentado (izquierda inferior), el blanqueamiento de una *A. palmata* (medio inferior) y por último un resto calcáreo colonizado por algas y biopelículas microbianas (derecha inferior).

ACADEMIA DE CIENCIAS DE MORELOS, A.C.

¿Comentarios y sugerencias?, ¿Preguntas sobre temas científicos? CONTÁCTANOS: editorial @acmor.org.mx

e mexicano



el blanqueamiento del coral, que en algunas condiciones, termina con la muerte del cnidario mismo, afectando la sobrevivencia y la productividad de los arrecifes de coral.

El impacto del daño dependerá del tiempo e intensidad de las afectaciones ambientales, aunque siendo mitad realistas y mitad pesimistas, el panorama no es esperanzador en el corto y largo plazo.

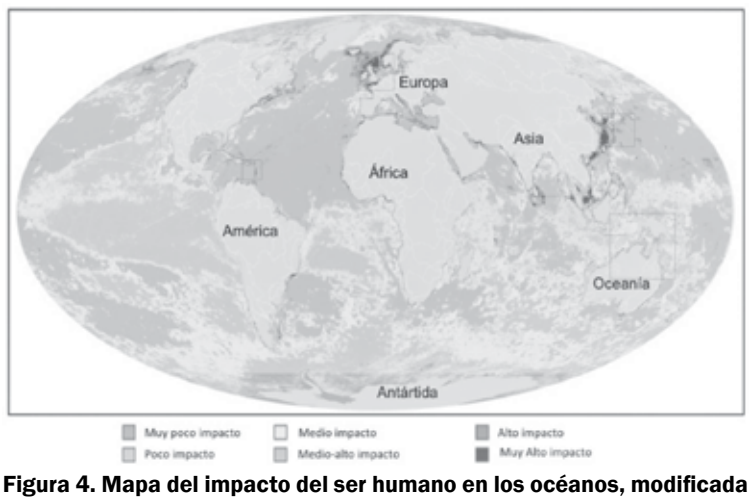


Figura 4. Mapa del impacto del ser humano en los océanos, modificada de https://www.nsf.gov/news/mmg/media/images/global_map_h.jpg

Bajo este escenario el cambio en la homeostasis de las colonias de coral las hace sumamente vulnerables al dominio de algas con capacidad de un desarrollo estable. Además, se afecta la productividad, los ciclos de nutrientes y se incrementan las enfermedades en corales causadas por bacterias patógenas.

A lo largo de los últimos 20 años, las enfermedades de los corales han ido en aumento debido al incremento de la temperatura y contaminación del agua y de la radiación ultravioleta. Por ejemplo, el vertedero de detergentes y agentes patogénicos de drenajes facilitan la proliferación de microbios oportunistas y la formación de biofilms o biotapetes de bacterias que cubren a otros organismos.

No todo está perdido, pero es importante cambiar de inmediato la forma en que nos relacionamos con el medio ambiente, en especial, con el marino. Por otro lado, tampoco satanicemos a las bacterias, ya que en varios trabajos se ha reportado que existen bacterias que secretan sustancias atrayentes para el asentamiento de pólipos de coral y aunque aún faltan estudios que expliquen a fondo la relación bacteria-pólipo, esto pudiera ser utilizado como un potencial "fertilizante" para arrecifes coralinos, y así reestablecer el crecimiento de corales bajo condiciones "amables".

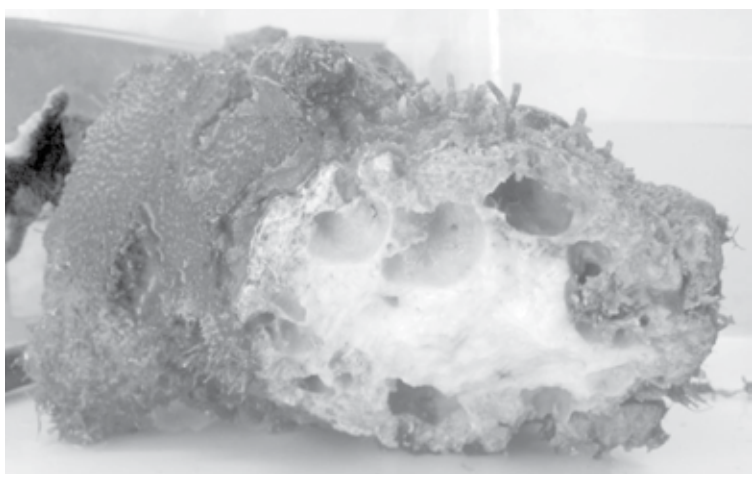


Figura 5. Diferencia entre el carbonato de calcio que forma parte del esqueleto de un coral (interior) y los precipitados de carbonato de calcio formados por las algas y biopeliculas microbianas(exterior).

Biofilms microbianos en arrecifes de coral

En el laboratorio de Ecología Microbiana del Instituto de Ecología, junto con la Unidad Académica de Puerto Morelos, ambos de la UNAM, estamos trabajando con los restos de fragmentos de *Acropora palmata* pegadas al sedimento, por lo que creemos que las bacterias y otros microorganismos pudieran estar implicados en la re-colonización de tales estructuras. Este proceso comienza a crear una nueva edificación arrecifal que aumenta en extensión conforme aumenta el deterioro de los corales. La colonización de consorcios microbianos en estas estructuras es de gran relevancia en los procesos ecológicos dentro del ecosistema, aunque aún no se tenga el conocimiento suficiente en cuanto a su composición ni a su metabolismo.

Ya existen algunos estudios sobre la relaciónentre la aparición de las biopelículas bacterianas y la precipitación (cementación) de carbonatos de calcio. Las investigaciones están permitiendo comprender el papel fundamental de los microorganismos (principalmente procariontes) en la precipitación o la disolución de CO_3.

En los estudios sobre ecología microbiana, hemos encontrado que la comunidad microbiana asociada a corales de *A. palmata* sanos es ~~y~~ diferente a la composición microbiana del biofilm que coloniza el resto calcáreo. También hemos detectado que los microorganismos que colonizan los restos calcáreos no se ven afectados en su composición ante escenarios ambientales de disminución del pH y aumento de la temperatura, lo cual sugiere que estos biofilms microbianos seguirán colonizando los restos calcáreos ante condiciones de cambio climático (Tesis doctoral de Beltrán et al., 2016).

Por otro lado, estamos investigando si la biodiversidad de los biofilms es distinta entre un coral sano y los de los organismos del entorno, para saber si existen microorganismos característicos en cada punto o si se puede encontrar lo mismo en todo el arrecife. Por lo tanto, nos dimos a la tarea de comparar diversas muestras de DNA(ácido desoxirribonucleico) en corales sanos, en el agua adyacente del coral sano, en los restos calcáreos colonizados por biofilms (fragmentos litificados) y en tapetes microbianos que se encontraron por el rumbo del arrecife. Abajo se muestra una figura que resume nuestros resultados(Figura 6).

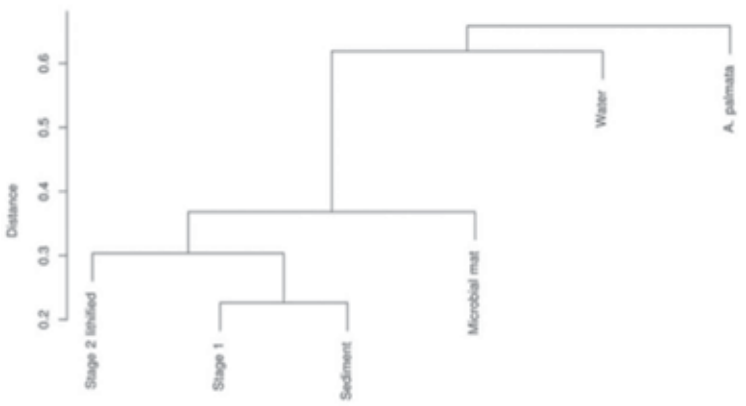


Figura 6. Tomada de Beltrán et al., 2016 que muestra un UPGMA evidenciando las relaciones y la distancia entre los biotipos (muestras), basándose en una matriz de distancia de Bray-Curtis.

Los ecosistemas arrecifales son relevantes porque albergan gran diversidad biológica y porque son reservorios de carbono tanto en biomasa como en carbonatos. Sin embargo, las bacterias asociadas a los corales y sus fragmentos deteriorados, aún no se consideran para las predicciones sobre las respuestas futuras de estos ecosistemas en escenarios de cambio climático. Por ello, el entender la diversidad bacteriana asociada a los fragmentos de corales y sus interacciones en los procesos de cementación resulta fundamental. La principal lección que se puede aprender de la historia de los arrecifes es que están construidos por comunidades biológicas complejas y especializadas. Debido a que estos sistemas están altamente adaptados a una gama limitada de condiciones ambientales, son extremadamente sensibles a las perturbaciones locales, regionales y globales. Las crisis ambientales, que culminaron con los eventos mundiales de extinción masiva en el pasado, han causado repetidamente la desaparición de comunidades enteras de organismos que crean arrecifes y el numeroso conjunto de organismos que dependían de ellas. La recuperación subsecuente de las comunidades de construcción de arrecifes requiere de millones de años ¿Es demasiado esperar que la inteligencia humana pueda utilizarse para poner fin al actual evento de extinción masiva generado por el hombre antes de que las comunidades biológicas más especializadas y diversas, como los arrecifes de coral se pierdan para futuras generaciones? Esperemos que no...

Bibliografía y lectura recomendada:

Ainsworth T.D. Thurber R.V. and R.D. Gates. (2010). The future of coral reefs a microbial perspective. Trends in Ecology and Evolution. 25(4):233-240.

Beltrán, Y., Cerqueda-García, D., Taş, N., Thomé, P. E., Iglesias-Prieto, R., & Falcón, L. I. (2016). Microbial composition of biofilms associated with lithifying rubble of Acropora palmata branches. *FEMS microbiology ecology*, *92*(1), fiv162.

Berges J.A., D. J. Franklin, O. Hoegh-Guldberg, R. J. Jones (2004). Cell death and degeneration in the symbiotic dinoflagellates of the coral Stylophora pistillata during bleaching. Mar Ecol Prog Ser. Vol. 272: 117–130.

Hoegh-Guldberg, O et al, 2007 Coral Reefs under rapid climate change and ocean acidification, Science 318(5857):1737.

Jordán-Dahlgren, E. y Rodríguez-Martínez, R. E. 2004. Coral Diseases in Gulf of México Reefs Cap. 4:105-118. *In*:, Rosenberg, E. & Y. Loya (Ed.). Coral health and Disease. Springer- Verlag. 485pp.

Rohwer, F, M Breitbart, J Java, F Azam, N Knowlton. 2001 Microbial diversity of scleractinian corals. Coral Reefs. 20 (1). 85-95.

Shinzato C, Inoue M, Kusakabe M (2014) A Snapshot of a Coral "Holobiont": A Transcriptome Assembly of the Scleractinian Coral, *Porites*, Captures a Wide Variety of Genes from Both the Host and Symbiotic Zooxanthellae. PLoS ONE 9(1): e85182. doi:10.1371/journal.pone.0085182

Uthicke S, Verena Witt, Christian Wild, Kenneth R. N. Anthony, Guillermo Diaz-Pulido. (2011), Effects of ocean acidification on microbial community composition of, and oxygen fluxes through, biofilms from the Great Barrier Reef. Environmental Microbiology, 13: 2976–2989. doi: 10.1111/j.1462-2920.2011.02571.x

Zhu, T., & Dittrich, M. (2016). Carbonate Precipitation through Microbial Activities in Natural Environment, and Their Potential in Biotechnology: A Review. Frontiers in Bioengineering and Biotechnology, 4, 4. http://doi.org/10.3389/fbioe.2016.00004.

Charles Birkeland (2015). Coral Reefs in the Anthropocene.Honolulu, HI, USA Springer Netherlands