

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <http://www.researchgate.net/publication/237838365>

Cambio climático y ecosistemas costeros, bases fundamentales para la conservación de los arrecifes de coral del Pacífico Este.

CHAPTER · JANUARY 2010

CITATION

1

READS

491

4 AUTHORS:



Jose Luis Carballo

Universidad Nacional Autónoma de México

110 PUBLICATIONS **1,282** CITATIONS

SEE PROFILE



Eric Bautista

Universidad Nacional Autónoma de México

10 PUBLICATIONS **94** CITATIONS

SEE PROFILE



Hector Nava

Universidad Michoacana de San Nicolás de ...

17 PUBLICATIONS **161** CITATIONS

SEE PROFILE



José ANTONIO Cruz-Barraza

Universidad Nacional Autónoma de México

30 PUBLICATIONS **189** CITATIONS

SEE PROFILE

CAMBIO CLIMÁTICO Y ECOSISTEMAS COSTEROS. BASES FUNDAMENTALES PARA LA CONSERVACIÓN DE LOS ARRECIFES DE CORAL DEL PACIFICO ESTE

José Luis Carballo, Eric Bautista-Guerrero, Héctor Nava, José Antonio Cruz Barraza

†Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México (Unidad académica Mazatlán). Avenida Joel Montes Camarena s/n, Mazatlán (SIN) 82000. México. PO box 811.

jlcarballo@icmyl.unam.mx

RESUMEN

Las áreas costeras contienen algunos de los ecosistemas más diversos y productivos del mundo, como los manglares, los arrecifes coralinos, los pastos marinos y otros ecosistemas propios de la interfase marino-costera. En el caso concreto de los arrecifes coralinos, a veces llamados las "selvas pluviales tropicales del océano" contienen alrededor de 25 % de las especies marinas aunque cubren solamente el 0.2 % de los fondos marinos. Se estima que los arrecifes coralinos, proporcionan unos 30 mil millones de dólares estadounidenses de beneficios en bienes y servicios. Sin embargo, el 20 % de los arrecifes coralinos del mundo se han perdido en las últimas décadas, y se estima que el 60 % restante podría desaparecer en las siguientes décadas a consecuencia del cambio climático. Por consiguiente, la conservación de estos ecosistemas es ahora más vital que nunca, ya que además de su importancia ecológica y socio-económica, actúan como barreras naturales de contención ante las tormentas tropicales y huracanes futuros. El objetivo de este estudio, es obtener información base que nos permita cuantificar la adaptabilidad y la resistencia de los arrecifes de coral del Pacífico Este al cambio climático. En la actualidad, los datos preliminares indican que la bioerosión juega un papel ecológico a escala regional muy importante en los arrecifes de coral del Pacífico Este. La situación indica que la cobertura de coral ha bajado mientras que las abundancias de las esponjas perforadoras parece que ha aumentado. Esto a su vez tiene como resultado una baja en la producción de carbonatos a escala regional.

Palabras clave: Cambio climático, corales, blanqueamiento, esponjas perforadoras, bioindicadores

ABSTRACT

Coastal areas have one of the most diverse and productive ecosystems in the world, like mangroves, coral reefs, seagrasses and other ecosystems that are characteristic of these areas. Coral reefs, sometimes referred to as "the rainforests of the ocean", contain about 25% of all marine species, although they cover a mere 0.2% of the marine floor. It is estimated that coral reefs provide a benefit of close to 30 billion U.S. dollars in goods and services. Nevertheless, 20% of the world's coral reef systems have been lost in the last few decades, and it is believed that the 60% could disappear soon as a consequence of climate change. Therefore, the conservation of these ecosystems is more vital than ever, since they act as natural barriers for the containment of tropical storms and hurricanes, and considering their ecological and socio-economic importance. The objective of this study is to obtain a basis of information that will allow to measure the adaptability and resistance of

the coral reefs in the Eastern Pacific against climate change. Currently, preliminary data indicates that bioerosion plays a highly significant ecological role at a regional scale in the coral reefs of the Eastern Pacific. There are indications that the total coral coverage in the reefs has lowered, while the abundance of boring sponges has increased. As a result, there is a decrease in the production of carbonates at a regional scale.

Keywords: Climate change, coral reef, bleaching, boring sponges, bioindicators

LOS ARRECIFES DE CORAL COMO BIOMONITORES DEL CAMBIO CLIMÁTICO

Los ecosistemas marinos más vulnerables, y que actualmente experimentan los impactos ecológicos más severos, incluida la extinción de especies y cambios fundamentales en el bioma son los manglares, las marismas de agua salada, los biomas de hielo marino y los arrecifes de coral (Parry *et al.*, 2007). Estos ecosistemas están sometidos actualmente a una gran presión derivada principalmente de las actividades antropogénicas. Sin embargo, desde hace años también se plantea la posibilidad de que el cambio climático esté ejerciendo una presión adicional sobre ellos.

En este sentido, la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (artículo 1, párrafo 2) define a este como un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana, que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos comparables. Sin embargo, para sorpresa de muchos, la prestigiosa revista *Nature* ha reconocido recientemente (Editorial 2010) que los científicos tienen dudas sobre el calentamiento global, aunque no desautorizan la tesis general de que en los últimos 200 años las temperaturas globales han aumentado y que la actividad humana ha sido un factor importante para este cambio. Las predicciones y modelos (que varían según las regiones), habían predicho que la temperatura superficial del mar se iba a incrementar de 1 a 3 °C durante este siglo, y que el nivel del mar subirá entre 0.18 y 0.79 m en el mismo periodo, sin embargo, desde 1999, la temperatura media mundial ha subido un casi imperceptible 0,006 grados en toda la década. Como lo que se esperaba era un crecimiento sostenido, la estabilización de la temperatura mundial ha despertado dudas sobre el valor predictivo de los modelos climáticos.

Independientemente del actual debate sobre la influencia humana en el cambio climático, lo que parece evidente es que hay cambios globales en los patrones generales de lluvia y un incremento en la frecuencia de tormentas, y quizás más importante aún, una mayor frecuencia de eventos globales como El Niño (ENSO). Estos cambios están provocando respuestas directas en todos los ecosistemas tanto a escala local como a escala global, y una fuerte presión sobre los sistemas coralinos.

Estas respuestas son muy complejas y variadas, por lo que es necesario seleccionar aquellas que nos indiquen de una manera más clara y rápida lo que está ocurriendo en estos valiosos ecosistemas. En ese contexto, los indicadores biológicos son atributos de los sistemas biológicos que nos informan de un mensaje complejo de una manera útil y simplificada y se emplean para descifrar factores del ambiente donde viven. Además, nos proveen de pistas sobre tendencias o eventos que no pueden observarse directamente (OECD 2003). De hecho, a diferencia de los indicadores físicos que son más útiles durante el impacto, los biológicos son observables incluso mucho tiempo después. Otra ventaja del

uso de los bioindicadores es que los impactos crónicos de baja intensidad, que no suelen ser detectables mediante medidas físicas o químicas, pueden ser detectados mediante su efecto acumulativo en la biota. Los indicadores biológicos además son muy interesantes porque valoran las relaciones aditivas o sinérgicas que se dan cuando coinciden diversos impactos en los ecosistemas marinos (Ginsburg 1994). La selección del indicador depende por tanto de los objetivos planteados, pero en general, las especies bioindicadoras deben ser abundantes, fáciles de identificar, poseer poca movilidad, y si es posible, deberíamos conocer su ciclo biológico. En el caso del ambiente marino, tenemos ecosistemas muy importantes que pueden servir como biomonitores del cambio climático, como son los manglares, los ecosistemas rocosos, las praderas marinas, y especialmente los arrecifes de coral.

En efecto, el carácter sésil de los corales, su alta sensibilidad a los cambios ambientales y su larga permanencia en el tiempo (las colonias pueden alcanzar edades de varios siglos) (Karlson 1999), los hace muy útiles como centinelas de los cambios climáticos globales. Los esqueletos de coral también han sido empleados con gran éxito en la reconstrucción de las condiciones ambientales en el pasado reciente, pues durante la calcificación, incorporan concentraciones de elementos estables en proporción con su concentración en el agua de mar. Por otra parte, lo ideal sería que estas especies respondieran específicamente a un impacto particular del ecosistema. En este sentido, el mejor ejemplo de la utilidad de los corales para evidenciar cambios ambientales es su rápida respuesta al calentamiento del océano que resulta del fenómeno de El Niño.

En el caso particular de los arrecifes coralinos, uno de los impactos más graves, y más globales con los que se están enfrentando es el debido al sobrecalentamiento del agua, que junto con la contaminación, el exceso de turbidez y la exposición al aire producen el llamado blanqueamiento del coral. El blanqueamiento es una respuesta fisiológica genérica de los corales arrecifales hacia las perturbaciones, y sucede ya sea por la pérdida de zooxantelas (dinoflagelados sin teca) y/o por la disminución en la concentración de sus pigmentos (Brown 1997). La mayoría de los corales hermatípicos contienen entre uno y cinco millones de zooxantelas por cm² de superficie de tejido vivo y de 2 a 10 pg de clorofila *a* por zooxantela. Sin embargo, durante los fenómenos de blanqueamiento los corales pueden perder entre el 60 y el 90% de sus zooxantelas, y cada zooxantela a su vez puede perder entre el 50 y el 80 % de sus pigmentos fotosintéticos lo que ocasiona que pierdan su coloración natural y adquieran un aspecto blanquecino (Glynn 1996, Parry *et al.*, 2007).

Los corales también están expuestos al aumento del CO₂ atmosférico, el cual podría ser responsable de la disminución del pH de la superficie oceánica, que perjudicaría la formación de caparzones o esqueletos en los organismos marinos que necesitan carbonato de calcio como los corales.

En México se reconocen tres zonas de arrecifes coralinos: la costa del Pacífico (que incluye algunos de los estados costeros, además de las Islas Marías y Revillagigedo), las costas de Veracruz y Campeche en el Golfo de México y la costa este de la Península de Yucatán, los cuales ocupan en total 1780 kilómetros cuadrados, lo que representa aproximadamente el 0.63 % del área total de este tipo de arrecifes en el mundo (Spalding *et al.*, 2001).

Los arrecifes de la región tropical del Pacífico Este donde se está desarrollado el presente estudio son muy diferentes a los del Indo Pacífico o el Caribe, ya que son típicamente más pequeños (solo tienen unas pocas hectáreas), generalmente construyen

estructuras de poco relieve (menos de 3 m de espesor), presentan una distribución muy discontinua (están frecuentemente asociadas a pequeñas bahías), y la diversidad morfológica (principalmente ramificados), y de especies es baja (Reyes-Bonilla 2003). Algunos de estos arrecifes se desarrollan en zonas donde las condiciones físicas no son del todo adecuadas para su desarrollo (surgencias de agua fría, cargas de nutrientes altas, etc.), y además, la zona presenta los valores más bajos de pH superficial (Kleypas *et al.*, 1999). Sin embargo, se ha demostrado que en algunos lugares los arrecifes se han estado desarrollando desde hace al menos 5600 años (Cortés 1997).

Durante las últimas décadas, estos arrecifes han sido impactados severamente, sobre todo por eventos El Niño. El más fuerte del que se tiene registro fue El Niño 1982/83, el cual causó un blanqueamiento masivo en muchos arrecifes del mundo y fue responsable de la pérdida de más del 50 % de los corales en la región del Pacífico Este (Glynn 1984, 1997, Guzmán *et al.*, 1987, Glynn *et al.*, 1988).

El Niño 1997/98 fue otro de los más importantes, el cual provocó blanqueamientos en muchos arrecifes del mundo, siendo muy notable en el Océano Índico, en donde hasta el 90 % de los corales murieron a lo largo de miles de kilómetros cuadrados (Spalding *et al.*, 2001). En México, el 95 % de los reportes de blanqueamiento de coral se registró entre 1997 y 2000, siendo 1997 y 1998 los únicos años en los cuales los reportes muestran daños severos (blanqueamiento en el 30 % o más de los corales del sitio) (Oliver *et al.*, 2004). Hasta la fecha, muchos de los arrecifes que han sido impactados por los últimos eventos El Niño no se han recuperado o muestran síntomas de una recuperación muy lenta (Guzmán & Cortés 1993). La recuperación tras estos impactos depende de procesos físicos y biológicos muy complejos, de la capacidad de supervivencia de las colonias, de la presencia de poblaciones fuente cercanas, de la capacidad de dispersión de larvas y/o propágulos (Pearson 1981, Colgan 1987, Richmond & Hunter 1990, Roberts 1997).

Otro de los factores que están condicionando la recuperación de los arrecifes afectados por fenómenos de blanqueamiento es la bioerosión (Glynn 1988, 1990, Colgan 1990, Eakin 1996, Reaka-Kudla *et al.*, 1996).

El objetivo de este estudio, es obtener información base que nos permita cuantificar la adaptabilidad y la resistencia de los arrecifes de coral del Pacífico Este al cambio climático. Las evidencias sugieren que los arrecifes coralinos tienen una mayor capacidad para aclimatarse y adaptarse al cambio climático de lo que habíamos pensado inicialmente. Por consiguiente, es necesario establecer las bases fundamentales que no permitan definir el grado de vulnerabilidad de estos arrecifes ante el calentamiento global. Para ello, desde el año 2000, el grupo de Ecología del Bentos del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología (UNAM) está monitoreando periódicamente una serie de variables que nos van a permitir a mediano plazo, establecer cual es el grado de vulnerabilidad y adaptabilidad de algunos arrecifes ante el cambio climático.

BASES FUNDAMENTALES PARA LA CONSERVACIÓN DE LOS ARRECIFES DE CORAL DEL PACÍFICO ESTE

Las evidencias más recientes sugieren cierto grado de adaptación de los arrecifes coralinos al incremento de la temperatura, lo que indica que algunos simbioses de los corales tienen la habilidad para adaptarse a las altas temperaturas (Maynard *et al.*, 2008). También se ha observado que dentro de un mismo arrecife, las diferentes especies de

corales presentan diferente sensibilidad al blanqueamiento, probablemente por un proceso de selección hacia especies más tolerantes (Edmunds 1994, Marshall & Baird 2000). Por consiguiente, es necesario establecer las bases fundamentales que nos permitan definir el grado de vulnerabilidad de estos arrecifes ante el calentamiento global. Para ello, desde el año 2000, estamos monitoreando periódicamente una serie de variables que nos van a permitir a medio plazo, establecer cual es el grado de vulnerabilidad y adaptabilidad de algunos arrecifes de esta región ante el cambio climático (Ver Fig. 1).

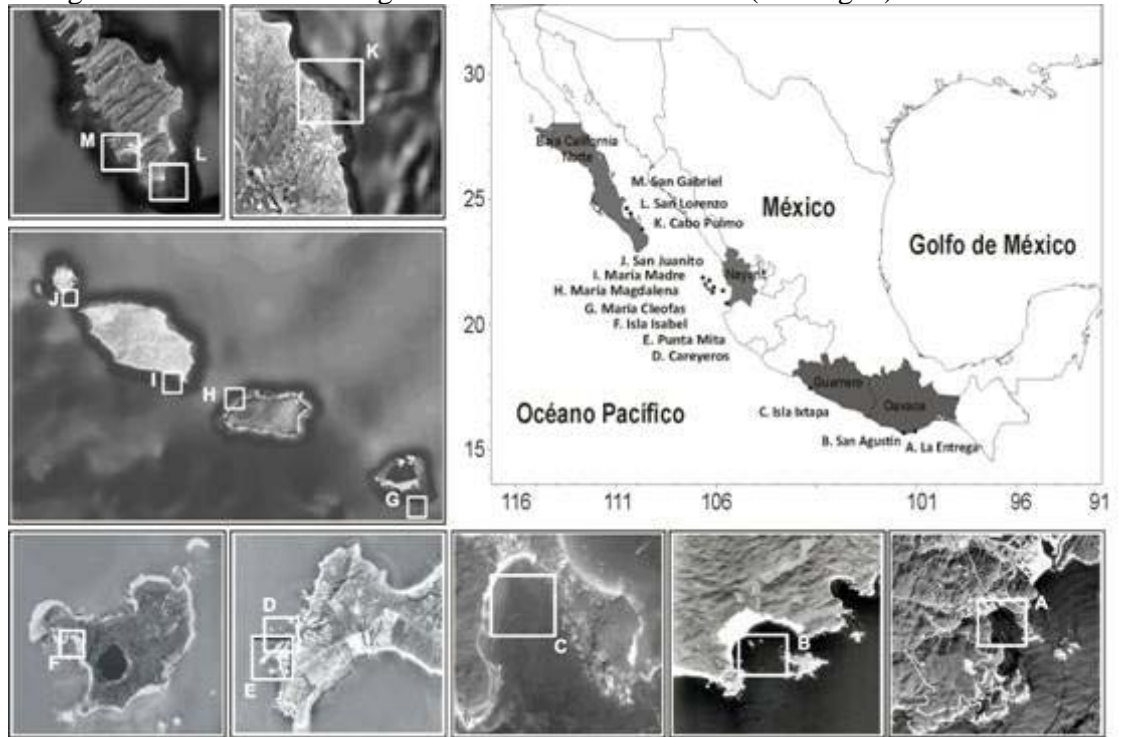


Figura 1. Localización de los arrecifes donde se está realizando el estudio.

Variable 1: *Porcentaje de cobertura de coral vivo*: es un indicador general de estrés en los arrecifes, y es un parámetro básico para establecer las condiciones iniciales de referencia. Este es el principal parámetro usado por el CARICOMP (*Caribbean Coastal Marine Productivity Program*), y otros programas como el AGRR (*Atlantic and Gulf Rapid Reef Assessment*) y el CPACC (*Caribbean Planning for Adaptation to Climate Change Program*). Sin embargo, a pesar de que la reducción en el porcentaje de cobertura es una clara señal de deterioro en los arrecifes, esta medida *per se* no sirve como indicador de aviso temprano porque cuando hayamos detectado diferencias temporales en la cobertura de los arrecifes, estos ya habrían muerto (Linton & Warner 2003). Por este método tampoco podemos identificar las causas por las que ha ocurrido la mortalidad, solo podemos detectar las diferencias. De igual forma, los índices de mortalidad coralina, que miden la proporción de coral vivo vs. muerto solo nos pueden servir como indicadores de estrés pasado o presente, pero tampoco nos sirven como indicadores de alerta temprana.

Variable 2: *Procesos de blanqueamiento*: Este es otro indicador de estrés en los corales, y aunque no es del todo específico, en general se relaciona con los incrementos anormales de temperatura debido a los eventos extremos del El Niño. Dentro de ese programa de monitoreo, intentamos cuantificar el porcentaje de superficie blanqueada, el tiempo que duró el blanqueamiento, y si hubo recuperación posterior al blanqueamiento.

También usamos información relacionada con la bioerosión, ya que como hemos comentado anteriormente, es uno de los factores que están condicionando la recuperación de los arrecifes afectados por fenómenos de blanqueamiento.

Particularmente, se seleccionaron a las esponjas perforadoras, que son componentes muy importantes de los arrecifes de coral (Rützler 1975, 2002). En los arrecifes sanos, y bajo condiciones normales, la bioerosión está balanceada, o predomina la acreción (Goreau & Hartman 1963), pero este balance puede ser alterado por cambios en las condiciones ambientales o por eventos perturbadores. De tal manera que ciertas condiciones ambientales que favorecen a las esponjas tienen un impacto negativo en los corales (Rose & Risk 1985, Holmes 1997). Por ejemplo, baja iluminación, alta sedimentación, altas concentraciones de material orgánica, etc., favorecen el incremento de las esponjas en detrimento de los corales (Wilkinson & Trott 1984, Parra-Velandia & Zea 2003), e incluso parece que la bioerosión de coral por esponjas aumenta en relación directa con el incremento en la eutrofización (Holmes 1997, 2000). Además, las esponjas excavadoras, se benefician del aumento de superficie calcárea que dejan los corales al morir (López-Victoria & Zea 2005), y del hecho de que los esqueletos de los corales se hacen menos densos a consecuencia de mucho de estos factores (Scoffin *et al.*, 1989, Risk & Sammarco 1991). Existen evidencias que indican que algunas especies de coral en ambientes extremos con altas cargas de sedimentación y turbidez responden expandiendo su esqueleto pero haciéndolo más poroso y menos denso (Carricart-Ganivet 1984). A consecuencia de esto, los corales pueden sufrir daños letales, o subletales como los que acabamos de comentar (Berkelmans *et al.*, 2004). Por el contrario, los organismos destructores de carbonato cálcico como las esponjas no solo continúan su actividad, sino que incluso pueden incrementarla ya que un aumento inusual de la temperatura, podría favorecer la expansión de algunas esponjas (Rose & Risk 1985, Vicente 1990, Rützler 2002).

Variable 3: Abundancia y diversidad de esponjas perforadoras: El estudio de la abundancia y de la diversidad de las esponjas con capacidad para destruir el carbonato cálcico que forma el esqueleto de los corales es fundamental para entender la importancia que la bioerosión puede tener en los procesos de recuperación de los arrecifes. La presencia de esponjas perforadoras se pone de manifiesto cuando fragmentamos un pequeño trozo de coral (Fig. 2 A). Sin embargo, además de estas medidas poblacionales, la mejor manera de cuantificar el efecto de las esponjas perforadoras es mediante el estudio de su actividad (ver siguiente variable).

Variable 4: Cuantificación de la bioerosión por esponjas: La bioerosión por esponjas tiene un efecto muy marcado sobre la morfología y la ecología de los arrecifes coralinos (Goreau & Hartman 1963, Carballo *et al.*, 2008), ya que son capaces de erosionar grandes cantidades de sustrato coralino y a su vez, generar grandes cantidades de sedimento (Rützler 1975). En el momento en que la esponja penetra al coral, comienza a construir un amplio sistema de cavidades y túneles eliminando pequeñas partículas de carbonato cálcico que son arrojadas al medio externo a través de su sistema acuífero. Las partículas que producen las esponjas durante el proceso de erosión mecánica tienen una forma muy peculiar, y pueden ser identificadas en el sedimento (Fig. 2B). Por consiguiente, mediante el estudio de muestras de sedimento previamente limpiadas y tamizadas es posible cuantificar la proporción de las partículas producidas por estos organismos durante su actividad erosiva.

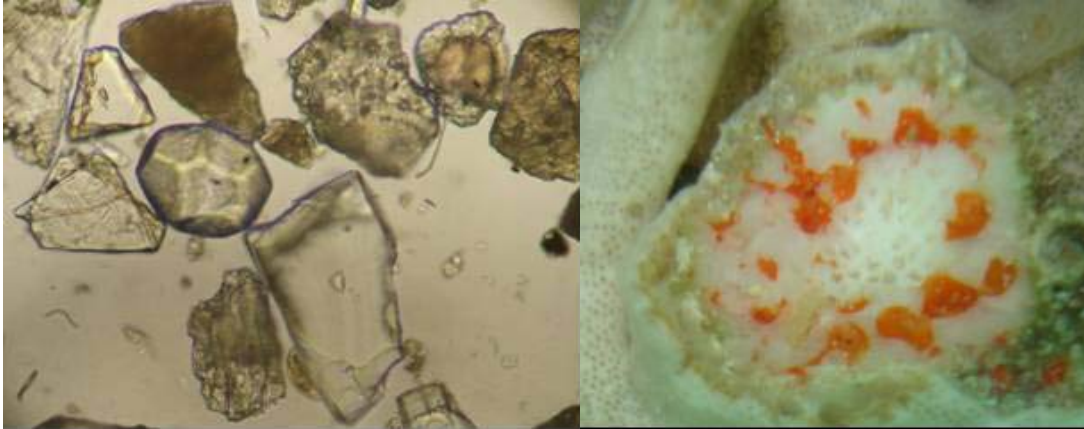


Figura 2. **A)** Muestra de sedimento arrecifal donde se aprecia una partícula de carbonato cálcico (flecha) producida por las esponjas perforadoras durante el proceso de erosión del arrecife. **B)** Fragmento de una rama de un coral del género *Pocillopora* invadido por una especie de esponja perforadora (color naranja). **C)** Porción de varios m² desprendido de la matriz arrecifal por el efecto erosivo de las esponjas perforadoras (fotografías JL Carballo).

Variable 5: *Temperatura del agua*. Como principal variable física usamos los datos de temperatura del agua superficial a escala global suministrada por organismos internacionales como la (NOAA). De forma más específica, colocamos sensores de

temperatura en algunos arrecifes, los cuales registran la temperatura del agua diariamente, y nos permite corroborar los datos satelitales suministrado por la NOAA.

HACIA DÓNDE VAMOS?

En la actualidad, la situación indica que la cobertura de coral a escala regional está disminuyendo en muchas áreas, mientras que por el contrario, la abundancia de las esponjas perforadoras parece que ha aumentado (datos no publicados).

Esto sugiere que aunque las evidencias a nivel mundial sugieren cierto grado de adaptación de los corales al incremento de la temperatura, cuando los impactos son frecuentes y/o prolongados propiedades del ecosistema como la biodiversidad o la capacidad de calcificación se pierden, de tal forma que en estos momentos la bioerosión por esponjas juega un papel ecológico muy importante en los arrecifes de coral del Pacífico Este (Fig. 2C). Esto a su vez tiene como resultado una baja en la producción de carbonatos a escala regional. En efecto, las consecuencias del blanqueamiento son múltiples, pero particularmente ha llamado la atención la disminución en la capacidad de depósito de carbonatos, y el consecuente cese del crecimiento arrecifal (Eakin 1996, Scott *et al.*, 1988). Los arrecifes durante su crecimiento (suponiendo un crecimiento vertical de 3 a 5 mm por año), incorporan en sus esqueletos entre 0.8 y 4 kg de carbonato cálcico por metro cuadrado por año. Cada kilogramo de CaCO_3 contiene aproximadamente 450 g de CO_2 , por lo que en total, los arrecifes del mundo están fijando 700 billones de kilogramos de CO_2 por año (Smith & Kinsey 1976), lo cual claramente los coloca entre los organismos con mayor capacidad para mitigar el efecto invernadero que este gas provoca.

Una de nuestras estrategias por tanto debería ser identificar aquellas áreas específicas donde las condiciones ambientales locales hayan -de alguna manera- “protegido” a los arrecifes de fenómenos regionales de blanqueamiento por un incremento anormal de la temperatura del agua. También debe ser nuestra prioridad localizar aquellas áreas donde se haya producido una recuperación exitosa (total o parcial) tras un fenómeno de blanqueamiento. Estas áreas de interés, en donde las condiciones ambientales locales favorecen la resistencia y la recuperación durante y después de eventos de blanqueamiento a escala regional, podrían ser incorporadas a planes de estrategias de manejo ecológico cuyo objetivo sería maximizar la conservación de la biodiversidad de los arrecifes coralinos, por ejemplo, eliminando todas las posibles fuentes de perturbación antropogénicas en estas áreas.

Por consiguiente, este tipo de estudio debe ser una prioridad no sólo ecológica sino socio-económica del conjunto de políticas públicas para enfrentar los escenarios del calentamiento global in situ, así como para impulsar nuevas formas de desarrollo regional mediante la complementación de acciones de mitigación/adaptación. Debe además considerarse que la presencia de eventos extremos asociados a fenómenos como El Niño o La Niña puede ocasionar pérdidas cuantiosas en años específicos aunque aún es muy complicado pronosticar su evolución futura.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer al Biol. Jorge Castrejón, Director del Parque isla Isabel, y al Ocean. Javier Alejandro González Leija, Director del Parque Nacional Cabo Pulmo, la

ayuda prestada durante este estudio. También agradecen a Gonzalo Pérez, Cayetano Robles, Jesús A. Chávez y Humberto Ovalle por la ayuda en los trabajos de campo. Este estudio fue realizado amparado en el permiso de pesca de fomento científico DGOPA.00978.120209.0457 de las SAGARPA el cual autoriza la recolección de fragmentos de coral vivo en todo el área del Pacífico mexicano. La investigación fue parcialmente financiada por el proyecto CONACYT-SEP-2003-C02-42550 y CONACYTSEP-2008 (102239).

REFERENCIAS

- Berkelmans, G. D., Kininmonth, S. & Skirving, W. J. (2004). A comparison of the 1998 and 2002 coral bleaching events on the Great Barrier Reef: spatial correlation, patterns and predictions. *Coral Reefs* 23, 74–83.
- Brown, B. E. (1997). Disturbances to reefs in recent times. In: C. Birkeland (Ed.). Life and death of coral reefs. Chapman & Hall, New York. Pp. 354–379.
- Carballo, J. L., Bautista-Guerrero, E. & Leyte-Morales, G. E. (2008). Boring sponges and the modeling of coral reefs in the east Pacific Ocean. *Marine Ecology Progress Series*. 356, 113-122.
- carbonate budgets before and after the 1982–1983 El Niño at Uva Island in the eastern Pacific. *Coral Reefs* 15, 109–119.
- Carricart-Ganivet, J. P. & Merino, M. (1984). Growth responses of the reef-building coral *Montastraea annularis* along a gradient of continental influence in the Southern Gulf of Mexico. *Bulletin of Marine Science*, 68(1), 133–46.
- Colgan, M. W. (1987). Coral reef recovery on Guam (Micronesia) after catastrophic predation by *Acanthaster planci*. *Ecology* 68, 1592-1605.
- Colgan, M. W. (1990). El Niño and the history of eastern Pacific reef building, p. 183-229. In Glynn, P.W. (Ed.) Global ecological consequences of the 1982-83 El Niño-Southern Oscillation. Elsevier, Amsterdam.
- Cortés, J. (1997). Biology and geology of coral reefs of the eastern Pacific. *Coral Reefs* 16 (Suppl.), S39–S46.
- Eakin, C. M. (1996). Where have all the carbonates gone? A model comparison of calcium Editorial (2010). Climate of suspicion. *Nature* 463 (7279), 269.
- Edmunds, P. J. (1994). Evidence that reef-wide patterns of coral bleaching may be the result of the distribution of bleaching susceptible clones. *Marine Biology*, 121,137-142.
- Ginsburg, R. N. (Comp).(1994). Proceedings of the Colloquium on Global Aspects of Coral Reefs: Health, Hazards, and History, Rosenstiel School of Marine and Atmospheric Science, University of Miami, Miami, FL, USA, 420pp.
- Glynn, P.W. (1984). Widespread coral mortality and the 1982/83 El Niño warming event. *Environmental Conservation*. 11,133-146.
- Glynn, P. W. (1988). Coral bleaching and mortality in the tropical eastern Pacific during the 1982-83 El Niño warming event. In: Ogden, J. and Wicklund, R. (Eds) Mass bleaching of coral reefs in the Caribbean: a research strategy. NOAA's Undersea Res Prog, St Croix, US Virgin Islands, Res Rpt 88(2), 42-45.
- Glynn, P. W. (1990). Coral mortality and disturbances to coral reefs in the tropical eastern Pacific, p. 55-126. In Glynn, P.W. (Ed.). Global ecological consequences of the 1982-83 El Niño-Southern Oscillation. Elsevier Oceanography Series, Amsterdam.
- Glynn, P.W. (1996). Coral reef bleaching: facts, hypotheses and implications. *Global Change Biology*. 2, 495–509

- Glynn, P.W. (1997). Eastern Pacific reef coral biogeography and faunal flux: Durham's dilemma revisited. *Proceedings of 8th International Coral Reef Symposium*, Panama 1, 371-378.
- Glynn, P. W., Cortés, J., Guzmán, H. M. & Richmond, R. H. (1988). El Niño (1982-83) associated coral mortality and relationship to sea surface temperature deviations in the tropical eastern Pacific. *Proceedings of 6th International Coral Reef Symposium*. 3, 237-243.
- Goreau, T.F. & Hartman, W. D. (1963) Boring sponges as controlling factors in the formation and maintenance of reefs. In: Sognaes, R.F. (Ed) Mechanisms of hard tissue destruction. *American Association for the Advancement of Science*. 75: 25-54.
- Guzmán, H. M. & Cortés, J. (1993). Arrecifes coralinos del Pacífico oriental: Revisión y perspectivas. *Revista de Biología Tropical* 41, 535-557.
- Guzmán, H. M., Cortés, J; Richmond, R.H. y Glynn, P.W. (1987). Efectos del fenómeno de El Niño- Oscilación Sureña 1982-83 en 10s arrecifes coralinos de la Isla del Caño, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 35, 325-332.
- Holmes, K. E. (1997). Eutrophication, its effects on bioeroding sponge communities. *Proceedings of the 8th International Coral Reef Symposium*, Panama City, Panama, 2, 1411-6.
- Holmes, K. E. (2000). Effects of eutrophication on bioeroding sponges communities with the description of new West Indian sponges. *Invertebrate biology*, 119 (2), 125-138.
- Karlson, R. H. (1999). *Dynamics of coral communities*. Kluwer, Amsterdam.
- Kleypas, J. A., Buddemeier, R. W., Archer, D., Gattuso, J. P., Langdon, C. & Opdyke, B. N. (1999). Geochemical consequences of increased atmospheric carbon dioxide on Coral Reefs. *Science* 284 (5411), 118-120.
- Linton, D.M. & Warner, G.F. (2003). *Ocean & Coastal Management* 46, 261-276.
- López-Victoria, M. & Zea, S. (2005). Current trends of space occupation by encrusting excavating sponges on Colombian coral reefs. *Marine Ecology* 26, 33-41.
- Marshall, P. A. & Baird, A. H. (2000). Bleaching of corals on the Great Barrier Reef: differential susceptibilities among taxa. *Coral Reefs*, 19, 155-163.
- Maynard, J. A., Anthony, K. R. N., Marshall, P. A. & Masiri, I. (2008). Major bleaching events can lead to increased thermal tolerance in corals. *Marine Biology*, 155, 173-182.
- OECD—Organisation for Economic Co-Operation Development. (2003). Core Environmental Indicators. Development Measurement and Use. OECD, Paris, 37 pp.
- Oliver, J., Noordeloos, M., Yusuf Y., Tan, M., Nayan, N., Foo, C. & Shahriyah, F.
- ReefBase: A Global Information System on Coral Reefs. (2004). Disponible en: <http://www.reefbase.org>.
- Parra-Velandia, F. J. y Zea, S. (2003). Comparación de la abundancia y distribución de algunas características de las esponjas del género *Ircinia* (Porifera: Demospongiae) en dos localidades contrastantes del área de Santa Marta, Caribe colombiano. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*. 32, 75-91.
- Parry, M. L., Canziani, O. F. y Palutikof, J. P. (2007). Resumen Técnico. Cambio Climático 2007: Impactos, Adaptación y Vulnerabilidad. Aportes del Grupo de Trabajo II al Cuarto Informe de Evaluación del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático. M.L. Parry, M.L.; Canziani, O.F.; Palutikof, J.P.; van der Linden, P.J. y Hanson, C.E. (Eds). Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido.
- Pearson, R. G. (1981). Recovery and recolonization of coral reefs. *Marine Ecology Progress Series* 4, 105 - 122.

- Reaka-Kudla, M., Feingold, J. S. & Glynn, P. W. (1996) Experimental studies of rapid bioerosion of coral reefs in the Galapagos. *Coral Reefs* 15, 101–107.
- Reyes-Bonilla, H. (2003). Coral reefs of the Pacific coast of Mexico. En: Cortés, J. (Ed), Latin America Coral Reefs. Elsevier, Amsterdam, Pp. 331–350.
- Richmond, R. H. & Hunter, C. (1990). Reproduction and recruitment of corals: comparisons among the Caribbean, the tropical Pacific and the Red Sea. *Marine Ecology Progress Series* 60, 185-203.
- Risk, M. J. & Sammarco, P.W. (1991). Cross-shelf trends in skeletal density of the massive coral *Porites lobata* from the Great Barrier Reef. *Marine Ecology Progress Series* 69, 195-200.
- Risk, M. J.; Sammarco, P. W.. & Edinger, E. N. (1995). Bioerosion in *Acropora* across the continental shelf of the GBR. *Coral Reefs*, 14, 79–86.
- Roberts, C. M. (1997) Connectivity and management of Caribbean coral reefs. *Science* 278, 1454-1457.
- Rose, C. S. & Risk, M. J. (1985). Increase in *Cliona delitrix* infestation of *Montastrea cavernosa* heads on an organically polluted portion of the Grand Caymans. *Marine Ecology* 6, 345–63.
- Rützler, K. (1975). The role of burrowing sponges in bioerosion. *Oecologia* 19, 203-216.
- Rützler, K. (2002). Family Clionidae D'Orbigny, 1851. 173-185. In: Hooper, J.N.A. and; Van Soest, R.W.M. (Eds). *Systema Porifera: A guide to the classification of sponges*, Kluwer Academic, Plenum Publishers, NY. 1, 1101 pp.
- Scoffin, T. P., Tudhope, A. W. & Brown, B. E. (1989). Fluorescent and skeletal density banding in *Porites lutea* from Papua New Guinea and Indonesia. *Coral Reefs* 7, 169-178.
- Scott, P. J. B., Risk, M. J. & Carriquiry, J. D. (1988). El Niño, bioerosion and survival of Eastern Pacific coral reefs. *Proceedings of 5th International Coral Reef Symposium* 2, 517–520. Australia.
- Smith, S. V. & Kinsey, D. W. (1976). Calcium carbonate production, coral reef growth, and sea level change. *Science* 26 (194), 937-939.
- Spalding, M. D., Ravilious, C. & Green, E. P. (2001). *World Atlas of Coral Reefs*. WCMC-UNEP. University of California Press. Berkeley. USA.
- Vicente, V. P. (1990). Response of sponges with autotrophic endosymbionts during the coral-bleaching episode in Puerto Rico (West Indies). *Coral Reefs* 8, 199–202.
- Wilkinson, C. R. & Trott, L. A. (1985). Light as a factor determining the distribution of sponges across the central Great Barrier Reef. *Proceedings of 5th International Coral Reef Symposium*. 5, 125-130.

Carballo, José Luis, Bautista-Guerrero, Eric, Nava, Héctor, Cruz, Barraza, José Antonio (2010) Cambio Climático y Ecosistemas Costeros. Bases Fundamentales Para La Conservación De Los Arrecifes De Coral Del Pacífico Este En: Hernández-Zanuy A., y Alcolado P. M. (Eds). *La biodiversidad en ecosistemas marinos y costeros del litoral de Iberoamérica y el cambio climático: I*. Memorias del Primer Taller de la RED CYTED BIODIVMAR. La Habana, Julio 2010. pag. 183-193. ISBN: 978-959-298-018-1